



Effect of Cow Manure Biochar Levels on the Amount of Spontaneously and Mechanically Dispersible Clays in Two Calcareous Soils with Different Textures at Different Times After Application

Shakiba Sadeghi Askari¹ | Ali Akbar Moosavi² | Mehdi Zarei³

1. Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail:

sh.sadeghi9273@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: aamousavi@gmail.com

3. Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail:

Mehdizarei@shirazu.ac.ir

| Article Info | ABSTRACT |
|--|---|
| <p>Article type: Research Article</p> <p>Article history:</p> <p>Received: March. 1, 2024</p> <p>Revised: June. 9, 2024</p> <p>Accepted: June. 30, 2024</p> <p>Published online: Oct. 2024</p> <p>Keywords: Biochar, Clay Dispersion, Clay Loam Texture, Erosion, Mean Weight Diameter of Aggregates, Sandy Loam Texture.</p> | <p>Considering that biochar is highly regarded as a soil conditioner, it is necessary to investigate its environmental effects and effects on soil properties, including clay dispersion. Dispersion of clay in arid and semi-arid regions, in addition to destroying soil resources, causes environmental pollution and increases soil erosion. For this reason, there is a need to overcome this problem with existing solutions. This study aimed to investigate the effect of the application of different levels (0, 1.5, and 3% wt) of cow manure biochar on the amount of spontaneously and mechanically dispersible clay and the mean weight diameter of aggregates (MWD) in two calcareous soils with different textures (clay loam and sandy loam) in periods of 40, 80, and 120 days after application. The results showed that the application of 3% biochar increased the spontaneously dispersible clay by 4.2%, as well as the levels of 1.5% and 3% of biochar increased mechanically dispersible clay compared to that of the control by 4.3% and 30.8%, respectively. The amount of mechanically and spontaneously dispersible clay increased over time. While the effect of soil texture on spontaneously dispersible clay was insignificant, the amount of mechanically dispersible clay in the clay loam soil was 61.2% more than that of the sandy loam soil. Results also indicated that addition of 1.5% and 3% of biochar decreased the MWD of aggregates by 24.2 and 20.6% in the sandy loam and 16.5 and 13.6% in the clay loam soils, respectively. The mentioned decrease in MWD caused an increase in dispersible clay. The results of this research can provide the necessary information regarding the effect of biochar on the amount of clay dispersion to recommend using biochar as a soil conditioner.</p> |
| <p>Cite this article: Sadeghi Askari, Sh., Moosavi, A. A., & Zarei, M. (2024). Effect of Cow Manure Biochar levels on the Amount of Spontaneously and Mechanically Dispersible Clays in Two Calcareous Soils with Different Textures at Different Times After Application., <i>Iranian Journal of Soil and Water Research</i>, 55 (8), 1237-1254. https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.373304.669673</p> <p>© The Author(s). Publisher: The University of Tehran Press.</p> <p>DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.373304.669673</p> | |





EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Nowadays, droughts, lack of organic matter, and air pollution have become the most important environmental challenges and have involved many countries, especially Iran, due to its arid and semi-arid climate. There are different ways to deal with these problems, one of which is using different soil conditioners such as organic and chemical fertilizers. Among the available fertilizers, organic fertilizers have attracted the attention of many researchers due to their compatibility with the environment. One of the available organic fertilizers is biochar, which, in addition to positive effects on some soil properties, can be effective on soil erosion and stabilization and consequently on the amount of fine dust and air pollution. Therefore, due to the use of this soil conditioner in different sectors, it is necessary to investigate its effects on different soil characteristics, including clay dispersion, which is decisive in different soil and environmental issues.

Methods

To investigate the effect of cow manure biochar on spontaneously and mechanically dispersible clay, a factorial experiment was conducted in the form of a completely randomized design in three replications in the research laboratory of the Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shiraz University. After the preparation of biochar, its 0, 1.5 and 3% (wt) levels were well mixed with 400 (g) of the studied soils in plastic bags and transferred to polyethylene tubes with a height of 30 cm and a diameter of 2.5 cm. They were kept at 20-25°C and field capacity (FC) conditions in the laboratory for 40, 80, and 120 days after biochar application. In addition, the samples were weighed and irrigated to FC conditions once every ten days. After the mentioned times, the amount of spontaneously and mechanically dispersible clays and MWD were measured.

Results and Discussion

The results showed that the application of 3% biochar increased the spontaneously dispersible clay by 4.2%, as well as the levels of 1.5% and 3% of biochar increased mechanically dispersible clay compared to that of the control by 4.3% and 30.8%, respectively. The amount of mechanically and spontaneously dispersible clay increased over time. While the effect of soil texture on spontaneously dispersible clay was insignificant, the amount of mechanically dispersible clay in the clay loam soil was 61.2% more than that of the sandy loam soil. Results also indicated that the application of 1.5% and 3% of biochar decreased the MWD of aggregates by 24.2 and 20.6% in the sandy loam and 16.5 and 13.6% in the clay loam soils, respectively. The mentioned decrease in MWD caused an increase in dispersible clay.

Conclusions

Since today, air pollution by fine dust is a global problem. It is known as one of the environmental hazards, which is very important in most regions, especially arid and semi-arid regions. Therefore, it is necessary to identify the factors affecting it and take necessary approaches to improve it. Due to the small size and low weight of clay particles, clay includes an important part of these pollutions. Owing to its unique characteristics, biochar has received much attention in agriculture today and has been evaluated by many researchers and proposed as a soil conditioner. According to the present research, this soil conditioner may increase the dispersion of clay particles and due to its low weight, it may also cause pollution and increase the amount of wind erosion in arid and semi-arid regions. As a result, more studies are needed in this field and on a larger scale at the field conditions.

Author Contributions

Conceptualization, A.A.M. and M.Z.; methodology, Sh.S.A. and A.A.M.; software, Sh.S.A.; validation, A.A.M., Sh.S.A. and M.Z.; formal analysis, Sh.S.A.; investigation, A.A.M., Sh.S.A. and M.Z.; resources, A.A.M.; data curation, Sh.S.A.; writing—original draft preparation, Sh.S.A.; writing—review and editing, A.A.M., Sh.S.A. and M.Z.; visualization, A.A.M., Sh.S.A. and M.Z.; supervision A.A.M.; project administration, A.A.M.; funding acquisition, A.A.M.

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data is available on reasonable request from the authors.

Acknowledgments

The authors would like to thank Shiraz University for providing all the needed facilities.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

اثر سطوح بیوجار کود گاوی بر میزان رس قابل پراکنش خودبه‌خودی و مکانیکی در دو خاک آهکی با بافت متفاوت در زمان‌های مختلف پس از کاربرد

شکیبا صادقی عسکری^۱ | سید علی اکبر موسوی^۲ | مهدی زارعی^۳^۱. بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: sh.sadeghi9273@gmail.com^۲. نویسنده مسئول، بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: amoussavi@gmail.com^۳. بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: mehdizarei@shirazu.ac.ir

| اطلاعات مقاله | چکیده |
|------------------------------|--|
| نوع مقاله: مقاله پژوهشی | با توجه به اینکه بیوجار به عنوان اصلاح‌کننده بسیار مورد توجه قرار گرفته است، نیاز است اثرات زیست‌محیطی آن و اثرات آن بر ویژگی‌های خاک از جمله پراکنش رس مورد بررسی قرار گیرد. پراکنندگی رس در مناطق خشک و نیمه خشک علاوه بر از بین بردن منابع خاک سبب آلودگی‌های زیست‌محیطی و افزایش فرسایش خاک می‌شود. به همین دلیل نیاز است با راهکارهای موجود بر این مشکل غلبه نمود. این پژوهش با هدف بررسی اثر سطوح مختلف (۰، ۱/۵ و ۳ درصد وزنی) بیوجار کود گاوی بر میزان رس قابل پراکنش خودبه‌خودی و مکانیکی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در دو خاک آهکی با بافت مختلف (لومرسی و لومشنی) در زمان‌های ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ روز پس از کاربرد انجام شد. نتایج نشان داد سطح ۳ درصد بیوجار، رس قابل پراکنش خودبه‌خودی را به میزان ۴/۲ درصد و همچنین سطوح ۱/۵ و ۳ درصد این اصلاح‌کننده رس قابل پراکنش مکانیکی را در مقایسه با شاهد به ترتیب ۴/۳ و ۳۰/۸ درصد افزایش دادند. با گذشت زمان نیز میزان رس قابل پراکنش مکانیکی و خودبه‌خودی افزایش یافت. درحالی‌که اثر بافت خاک بر رس قابل پراکنش خودبه‌خودی معنی‌دار نبود اما در بافت لومرسی میزان رس قابل پراکنش مکانیکی ۶۱/۲ درصد بیشتر از بافت لومشنی بود. نتایج همچنین نشان داد کاربرد سطوح ۱/۵ و ۳ درصد بیوجار، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در بافت لومشنی را به ترتیب به میزان ۲۴/۲ و ۲۰/۶ درصد و در بافت لومرسی به ترتیب ۱۶/۵ و ۱۳/۶ درصد کاهش داده و کاهش میانگین وزنی قطر و پایداری خاکدانه‌ها سبب افزایش رس قابل پراکنش شده است. نتایج این پژوهش می‌تواند اطلاعات لازم در ارتباط با اثر بیوجار بر میزان پراکنش رس برای توصیه در راستای استفاده از بیوجار به عنوان اصلاح‌کننده را فراهم آورد. |
| تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۱ | |
| تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۳/۲۰ | |
| تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۴/۱۰ | |
| تاریخ انتشار: آبان ۱۴۰۳ | |
| واژه‌های کلیدی: | |
| بافت لوم رسی، | |
| بافت لوم شنی، | |
| پراکنش رس، | |
| زغال زیستی، | |
| فرسایش، | |
| میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها. | |

استناد: صادقی عسکری، شکیبا؛ موسوی، علی اکبر؛ و زارعی، مهدی. (۱۴۰۳). اثر سطوح بیوجار کود گاوی بر میزان رس قابل پراکنش خودبه‌خودی و مکانیکی در دو خاک آهکی با بافت متفاوت در زمان‌های مختلف پس از کاربرد. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۵ (۸)، ۱۲۵۴-۱۲۳۷.

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.373304.669673>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.373304.669673>

مقدمه

کشور ایران با قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه‌خشک و با میانگین بارندگی ۲۵۰ میلی‌متر و پتانسیل تبخیر زیاد، در صدر کشورهای کم‌آب قرار دارد و خشکسالی در این کشور ۲۸ استان و ۷۲ درصد از مناطق آن را تحت تأثیر قرار داده است (Zobeidi et al., 2021). کمبود آب می‌تواند بر بخش‌های اقتصادی مختلف، تنوع زیستی، تولیدات کشاورزی و ویژگی‌های خاک تأثیرگذار باشد. از طرف دیگر رابطه مثبتی بین شاخص‌های خشکسالی و فرسایش‌پذیری خاک وجود دارد به طوری که افزایش دما و کاهش بارندگی سبب کاهش ماده آلی در خاک شده و انسجام ذرات خاک را کاهش داده و از خاکدانه‌سازی جلوگیری کرده و سبب افزایش فرسایش‌پذیری خاک می‌شود (Masroor et al., 2022). کاهش پایداری خاکدانه‌ها و افزایش فرسایش خاک تهدیدی جدی برای مدیریت پایدار زمین (SLM)^۱ محسوب می‌شود. بعلاوه فرسایش منجر به اثرات مخرب زیست‌محیطی و انتقال رسوب به محیط‌های آبی شده و با از دست دادن عناصر غذایی همراه است (Deng et al., 2008; Bayabil et al., 2013). پایداری خاکدانه‌ها یک عامل مهم مقاومت خاک در برابر تنش‌های مکانیکی، رواناب سطحی و فرسایش آبی است. شاخص‌های مختلفی از جمله درصد خاکدانه‌های پایدار در آب (WSA)^۲، میانگین وزنی (MWD)^۳ و هندسی (GMD)^۴ قطر خاکدانه‌ها و میزان رس قابل پراکنش در آب (WDC)^۵ برای تعیین این عامل پیشنهاد شده است (Besalatpour et al., 2013). یکی از شاخص‌های کلیدی ارزیابی پایداری خاک، رس قابل پراکنش می‌باشد که مقادیر کمتر این شاخص نشان‌دهنده پایداری و استحکام بیشتر ساختمان خاک می‌باشد (Hosseini et al., 2015). رس‌ها (ذرات با قطر کمتر از ۲ میکرومتر) با سطح و مکان‌های تبادلی زیاد مهم‌ترین جزء خاک هستند و حتی در خاک‌های شنی نیز گونه‌های شیمیایی جذب‌شده را کنترل می‌کنند. ذرات رس می‌توانند هم‌آور^۶ یا در محلول‌های آبی پراکنده^۷ شوند. این ذرات می‌توانند با آب در سطح خاک حرکت کرده یا در پروفیل خاک به سمت لایه‌های پایینی نفوذ کرده و آلاینده‌های جذب‌شده را منتقل کنند (Czyż & Dexter, 2015). رس‌های پراکنده‌شده ممکن است یک آب‌بندی سطحی ایجاد کرده و نفوذ آب به داخل خاک و هدایت هیدرولیکی خاک را کاهش دهند که نتیجه آن افزایش رواناب سطحی و فرسایش است. به همین دلیل شناسایی عوامل مؤثر در پایداری رس‌ها به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک ضروری است (Mbagwu & Schwertmann, 2006). کیفیت خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل کاهش ماده آلی نامناسب است. از این رو می‌توان با کاربرد اصلاح‌کننده‌های مختلف از جمله کودهای حیوانی، بقایای گیاهی، ورمی کمپوست و بیوچار^۸ کیفیت خاک را بهبود بخشید (Kuppusamy et al., 2016; Saffari et al., 2020; Zahedifar et al., 2023). یکی از ترکیبات آلی در دسترس برای افزودن به خاک و افزایش ماده آلی و کیفیت خاک کودهای دامی می‌باشند که می‌توانند به شکل کود و یا به شکل‌های ورمی کمپوست و یا بیوچار به خاک اضافه شوند. این ترکیبات می‌توانند اثرات متفاوتی بر ویژگی‌های خاک و رشد گیاه داشته باشند. فناوری تولید بیوچار یک روش جدید و مقرون به صرفه و سازگار با محیط‌زیست است. استفاده از بیوچار به دلیل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (در فرایند تولید و پس از افزودن به خاک) و مؤثر بودن در جذب، کم‌هزینه و سازگار بودن با محیط‌زیست و همچنین ویژگی‌های منحصر به فرد شیمیایی، فیزیکی، زیستی و سطح ویژه زیاد، رو به افزایش است (Xiang et al., 2020; Lee et al., 2021). بیوچار یک ماده جامد سیاه، غنی از کربن و متخلخل بوده که از طریق گرماکافت^۹ زیست‌توده با حضور اکسیژن کم یا بدون اکسیژن تولید می‌شود (Xie et al., 2022). نوع ماده اولیه، دما و زمان گرماکافت عوامل اصلی مؤثر بر ویژگی‌های بیوچار هستند (Moradi-Choghamarani et al., 2019a, 2019b; Singh et al., 2023). گزارش شده بیوچار تولیدشده در دماهای کم (کمتر از ۵۰۰ درجه سلسیوس) در خاک‌های اسیدی و قلیایی میزان دسترسی به عناصر غذایی را افزایش می‌دهد همچنین برای حذف آلاینده‌های معدنی مناسب است در حالی که بیوچار تولیدشده در دماهای زیاد (بیشتر از ۵۰۰ درجه سلسیوس) مدت زمان ترسیب کربن در طولانی‌مدت را افزایش می‌دهد و برای حذف آلاینده‌های آلی مناسب می‌باشد (Moradi-Choghamarani et al., 2019a, 2019b). بیوچار به دلیل ساختار مولکولی خود و جرم مخصوص ظاهری بسیار کمتر از جرم مخصوص ظاهری خاک، به‌طور قابل‌توجهی تخلخل کل و ذخیره آب در خاک را افزایش می‌دهد (Gavili et al., 2018; Fu et al., 2019). پژوهشگران متعدد نیز گزارش کردند که این اصلاح‌کننده

1. Sustainable Land Management
2. Water Stable Aggregates
3. Mean Weight Diameter
4. Geometric Mean Diameter
5. Water-Dispersible Clay
6. Flocculate
7. Disperse
8. Biochar
9. Pyrolysis

سبب افزایش تولید محصول (Najafian and Zahedifar, 2018; Gavili et al., 2018, 2019a, b; Chen et al., 2021; Li et al., 2021; Cong et al., 2023)، حفظ کیفیت خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک (Zahedifar et al., 2023) و اثر بر ویژگی‌های شیمیایی و سرنوشت عناصر و آلاینده‌ها در خاک (Lusiba et al., 2017; Zahedifar and Moosavi, 2017, 2020; Zahedifar, 2020a, b; Zhang et al., 2021; Sun et al., 2022) می‌شود. بیوپچار را می‌توان توسط زیست‌توده‌های مختلف چوبی (عمدتاً درختان) و غیرچوبی (محصولات و پسماندهای کشاورزی، فضولات حیوانی، زباله‌های جامد شهری و صنعتی) تولید کرد. البته نتایج نشان می‌دهد بیوپچارهای تولیدشده از فضولات حیوانات، سطح ویژه، نسبت هیدروژن به کربن و اکسیژن به کربن زیادتری دارند (Brtnicky et al., 2021). همچنین میزان ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) بیوپچار تهیه‌شده از کود حیوانی بیشتر است (Zhang et al., 2021).

خاک‌های پراکنده به‌عنوان خاک‌های فرسایش پذیر شناخته می‌شوند و چالش‌های زیادی را برای مدیریت زیست‌محیطی، کاربرد در بخش‌های کشاورزی و ساخت و ساز ایجاد می‌کنند. بنابراین بایستی عوامل مؤثر بر پراکنش خاک‌ها شناسایی شده و در راستای رفع این مشکل تلاش شود. از جمله عوامل مؤثر بر پراکنندگی خاک می‌توان به میزان و نوع رس، مواد آلی، میزان آب و پهاش خاک اشاره کرد که سبب شروع فرسایش می‌شوند (Abbaslou et al., 2020). از آنجایی که مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله ایران با خطر جدی فرسایش مواجه هستند و میزان و نوع مواد آلی می‌تواند فرسایش خاک را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین نیاز است برای اصلاح این خاک‌ها اقدامات لازم انجام شود و روش مدیریتی مناسب اعمال شود. با توجه به اینکه تاکنون اثر بیوپچار کود گاوی به عنوان یکی از منابع ماده آلی بر رس قابل پراکنش به‌ویژه در خاک‌های مختلف و زمان‌های مختلف پس از کاربرد بررسی نشده است بنابراین این پژوهش با هدف بررسی اثر سطوح مختلف بیوپچار کود گاوی بر رس قابل پراکنش خودبه‌خودی و مکانیکی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در دو خاک آهکی با بافت مختلف (لومرسی و لوم‌شنی) در زمان‌های مختلف پس از کاربرد انجام شد.

پیشینه پژوهش

اثر بیوپچار بر ویژگی‌های فیزیکی شامل جرم مخصوص ظاهری (Khaledi et al., 2023)، تخلخل، نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی اشباع (Oguntunde et al., 2008; Dokoochaki et al., 2017; Šimanský et al., 2022) و شیمیایی خاک از جمله پهاش، ظرفیت تبادل کاتیونی (Hossain et al., 2011; Singh et al., 2022; Zahedifar et al., 2023)، ماده آلی (Sun et al., 2022)، نیتروژن (Weldon et al., 20119)، روی، منیزیم، فسفر، منگنز و کلسیم (Gavili et al., 2019) مورد بررسی قرار گرفته است. با این حال بررسی‌های محدودی در مورد اثرات بیوپچار بر پراکنش رس انجام شده است. تأثیر ماده آلی بر میزان پراکنش رس به عواملی از جمله درجه سدیمی بودن، نوع ماده آلی و نوع رس خاک بستگی دارد. همچنین (Kay et al., 1990) نیز گزارش کردند رس قابل پراکنش خودبه‌خودی با افزایش اندازه خاکدانه‌ها و افزایش میزان آب خاک افزایش می‌یابد. مواد آلی ممکن است سبب افزایش پراکنش رس یا کاهش آن شوند. به طوری که تقدیسی حیدریان و همکاران (۱۳۹۷) گزارش کردند در یک خاک زیر کشت ذرت افزودن ۰/۵ و ۱ درصد وزنی کود گاوی سبب کاهش رس قابل پراکنش خودبه‌خودی در آب شد (تقدیسی حیدریان و همکاران، ۱۳۹۷). همچنین Kumari et al. (2017) گزارش کردند ۱۰۰ تن در هکتار بیوپچار چوب توس (Birch) تهیه شده در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس سبب افزایش پراکنندگی کلئیدها در خاک‌های کشاورزی می‌شود. در حالی که Marchuk et al. (2013) بر اساس مشاهدات خود گزارش کردند هنگامی که ماده آلی در خاک زیاد باشد برهمکنش آب با ذرات رس که سبب پراکنندگی آن‌ها می‌شود، کم است. زیرا بار منفی روی ذرات رس کاهش می‌یابد و خاکدانه‌ها توسط مواد آلی پوشانده شده و کمتر پراکنده می‌شوند. در پژوهش دیگری که توسط Barzegar et al. (1997) انجام شد نیز به نتایج مشابهی دست یافتند و گزارش کردند افزودن کاه نخود به خاک پس از گذشت ۶۷ روز، رس قابل پراکنش خودبه‌خودی و مکانیکی را به ترتیب ۲ و ۱۵ درصد کاهش داد. درحالی‌که پایداری خاکدانه‌ها را به میزان ۳۵ درصد افزایش داد. Czyn & Dexter (2000) نیز به همین نتیجه دست یافتند و گزارش کردند پراکنندگی رس می‌تواند سبب ایجاد مشکلات کشاورزی و زیست‌محیطی شود. درحالی‌که با رعایت تناوب زارعی، کوددهی مناسب و افزایش مواد آلی می‌توان مشکلات مربوط به پراکنندگی رس از جمله کاهش محصولات کشاورزی، از بین رفتن ساختمان خاک، کاهش نفوذ آب و به همراه آن افزایش سیل و فرسایش خاک و همچنین آلودگی مربوط به فسفر که با ذرات رس حرکت می‌کند را کاهش داد.

خاکدانه‌های واحدهای ساختاری اساسی هستند که بر فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در خاک تأثیر می‌گذارند همچنین می‌توانند مواد آلی خاک را در برابر تجزیه تثبیت و محافظت کنند و به‌عنوان یک شاخص کلیدی برای ارزیابی کیفیت خاک عمل کنند.



مطالعات متعددی به اثر بیوچار بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها پرداخته‌اند. به‌طوری‌که Yang et al. (2024) گزارش کردند کاربرد بیوچار کاه ذرت (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار) بعد از دو سال پایداری خاکدانه‌ها را بهبود بخشید و سبب افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها شد. همچنین Xu et al. (2023) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند و گزارش کردند بیوچار، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را افزایش داد و سبب کاهش مصرف آب و کود شده و پایداری خاکدانه‌ها نیز افزایش یافت. Al-Omran et al. (2021) دلیل آن را بهبود اندازه منافذ دانستند و گزارش کردند در خاک اصلاح‌شده با بیوچار، منافذ ریز افزایش و منافذ درشت کاهش می‌یابد.

روش‌شناسی پژوهش

تهیه و آماده‌سازی خاک

خاک‌های مورد بررسی از افق سطحی صفر تا ۲۰ سانتی‌متری سری‌های کوی اساتید و پمپ نمازی ایستگاه زراعی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز واقع در منطقه باجگاه با ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا و به ترتیب با طول و عرض جغرافیایی، ۲۹ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی و ۵۴ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی نمونه‌برداری شد. نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن و به منظور مطابقت بیشتر خاک‌های مورد تیمار با شرایط طبیعی، از الک چهار میلی‌متری عبور داده شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. بخشی از نمونه‌های خاک نیز برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اولیه خاک با استفاده از روش‌های استاندارد، از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند. ویژگی‌های خاک (جدول ۱) شامل ماده آلی به روش اکسایش مرطوب (Nelson, 1982)؛ پهاش خاک در گل اشباع (Thomas, 1996)؛ قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (Rhoades, 1996)؛ بافت خاک به روش هیدرومتر (Gee & Bauer, 1986)؛ ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش جانشینی کاتیون‌ها با استات سدیم (Summer & Miller, 1996)؛ سدیم و پتاسیم محلول با دستگاه شعله‌سنج (Helmke & Sparks, 1996)؛ کاتیون‌های کلسیم و منیزیم محلول به وسیله تیتراسیون با ای. دی. تی. ا. (Richard, 1954)؛ تخلخل با استفاده از اندازه‌گیری رطوبت اشباع به صورت وزنی و تبدیل به رطوبت حجمی (با داشتن چگالی ظاهری خاک) و کربنات کلسیم معادل با روش خنثی‌سازی به وسیله اسیدکلریدریک (Loeppert & Suarez, 1996) اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه قبل از افزودن بیوچار و شروع آزمایش

| مقدار | | ویژگی |
|----------------|-------------|---|
| سری کوی اساتید | سری دانشکده | |
| ۵۵ | ۱۶ | شن (درصد) |
| ۳۰ | ۵۸ | سیلت (درصد) |
| ۱۵ | ۲۶ | رس (درصد) |
| لوم‌شنی | لوم رسی | کلاس بافت خاک |
| ۷/۹ | ۷/۸۴ | پهاش در خمیر اشباع |
| ۰/۴۵ | ۰/۶۵ | قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (دسی‌زیمنس بر متر) |
| ۱۰/۷ | ۳۹ | ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بار در کیلوگرم خاک) |
| ۳۷ | ۴۰ | کربنات کلسیم معادل (درصد) |
| ۰/۴۹ | ۲/۳ | ماده آلی (درصد) |
| ۳ | ۱۵ | پتاسیم محلول (میلی‌اکی والان در لیتر) |
| ۹ | ۱۲ | سدیم محلول (میلی‌اکی والان در لیتر) |
| ۲/۰۴ | ۲۵ | کلسیم محلول خاک (میلی‌اکی والان در لیتر) |
| ۱/۳۳ | ۱/۶۴ | منیزیم محلول (میلی‌اکی والان در لیتر) |

تهیه کود گاوی و تولید بیوچار مورد نیاز

برای تهیه بیوچار، کود گاوی (تهیه‌شده از ایستگاه دامپروری دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز) هوا خشک‌شده و از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شده و در بسته‌های آلومینیومی ریخته و به‌خوبی بسته‌بندی شد. با توجه به منابع موجود (IBI, 2015; Gavili et al., 2019a) و به منظور اطمینان از تبدیل کود به بیوچار، کودهای بسته‌بندی‌شده به مدت ۴ ساعت در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس در کوره الکتریکی و در

شرایط اکسیژن محدود سوزانده شد. سپس برخی ویژگی‌های شیمیایی آن با استفاده از روش‌های معمول استفاده شده برای اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۲). درصد عناصر کربن، هیدروژن، نیتروژن و گوگرد موجود در کود دامی مورد استفاده و بیوچار حاصل از آن نیز با استفاده از دستگاه آنالیز عنصری (CHNOS Analyzer, Costech-ECS 4010) مربوط به آزمایشگاه جامع تحقیقات دانشگاه علوم پزشکی اصفهان اندازه‌گیری شدند و درصد اکسیژن نیز از تفاضل مجموع درصد سایر عناصر از ۱۰۰ محاسبه شد (Moradi-Choghamarani et al., 2019).

جدول ۲. برخی ویژگی‌های شیمیایی کود گاوی و بیوچار تهیه شده از آن

| مقدار | | ویژگی |
|----------|--------|---|
| کود گاوی | بیوچار | |
| ۸/۴۴ | ۱۰/۶۳ | پهش در نسبت ۱:۱۰ مواد آلی به آب |
| ۶/۴۴ | ۱۰/۱۷ | قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (دسی‌زیمنس بر متر) |
| ۲/۷۰ | ۲/۴۲ | نیتروژن کل (درصد) |
| ۳۲/۲۷ | ۸۰/۶۱ | پتاسیم (میلی‌گرم در لیتر) |
| ۱۲/۵۷ | ۲۹/۹۲ | سدیم (میلی‌گرم در لیتر) |
| ۳/۱۴ | ۲/۹۸ | نیتروژن (درصد) |
| ۳۸/۳۹ | ۴۱/۶۳ | کربن (درصد) |
| ۴/۰۱ | ۱/۱۲ | هیدروژن (درصد) |
| ۰/۳۴ | ۰/۰۰ | گوگرد (درصد) |
| ۵۴/۱۲ | ۵۴/۲۷ | اکسیژن (درصد) |
| ۰/۱۰ | ۰/۰۳ | نسبت هیدروژن به کربن |
| ۱۲/۲۲ | ۱۳/۹۷ | نسبت کربن به نیتروژن |
| ۱/۴۱ | ۱/۳۰ | نسبت اکسیژن به کربن |

اعمال تیمارها و طرح آزمایشی مورد استفاده

به منظور بررسی اثر بیوچار کود گاوی بر رس قابل پراکنش خودبه‌خودی و مکانیکی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در آزمایشگاه پژوهشی بخش علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام شد. پس از تهیه بیوچار سطوح صفر، ۱/۵ و ۳ درصد وزنی آن به خوبی با ۴۰۰ گرم از خاک‌های مورد مطالعه در کیسه‌های پلاستیکی مخلوط و به لوله‌های پلی‌اتیلن با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و قطر ۲/۵ سانتی‌متر منتقل شده و در آزمایشگاه در دمای ۲۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ روز نگهداری شدند. همچنین نمونه‌ها توزین شده و هر ده روز یک بار به روش وزنی در حد ظرفیت زراعی با آب مقطر آبیاری شدند. پس از گذشت زمان‌های مذکور در هر زمان، میزان رس‌های قابل پراکنش خودبه‌خودی و مکانیکی به شرح زیر اندازه‌گیری شدند.

رس قابل پراکنش خود به خودی (SDC^۱)

ابتدا مقدار یک گرم از خاکدانه‌های ۲ تا ۴ میلی‌متری وزن شده و در ظروف پلاستیکی ریخته شد و ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شده و در آزمایشگاه به مدت یک شبانه روز ثابت نگهداری شد. پس از طی زمان مذکور توسط پیپت ۵ میلی‌لیتر از محلول رویی برداشته و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۶۲۰ نانومتر میزان جذب نور اندازه‌گیری شد. با رسم منحنی واسنجی، مقدار رس پراکنده شده خودبه‌خودی بر حسب گرم در ۱۰۰ گرم خاک تعیین شد (Rengasamy et al., 1984).

رس قابل پراکنش مکانیکی (MDC^۲)

برای انجام این آزمایش از روش کدورت‌سنجی با دستگاه اسپکتروفتومتر مطابق دستورالعمل پیشنهادی Pojasok & Kay (۱۹۹۰) که بر مبنای اندازه‌گیری همزمان پایداری خاکدانه‌های تر و رس پراکنده شده است، استفاده شد. بدین صورت که ۵ گرم از خاکدانه‌های ۲ تا ۴



میلی‌متری وزن و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس در آون خشک و به لوله‌های پلاستیکی ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل شد. سپس ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شده و به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه تکان داده شد. سپس محتوی ظرف روی الک ۰/۲۱۲ تخلیه و طی دو نوبت با ۸۰ میلی‌لیتر آب مقطر شسته شد. خاکدانه‌های باقی‌مانده روی الک در قوطی فلزی ریخته و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس در آون خشک شد. تعلیق زیر الک نیز به ظرف دیگری منتقل شده و بعد از ۴۰ دقیقه برای تعیین مقدار رس پراکنده شده (DC)، ۱۰ میلی‌لیتر از روی آن برداشته و مقدار جذب نور با دستگاه اسپکتروفوتومتر و در طول موج ۶۲۰ نانومتر قرائت شد. پیش از قرائت دستگاه برای عبور صددرصد با آب مقطر تنظیم شد. همچنین برای تهیه منحنی واسنجی هر خاک ۵ گرم از خاکدانه‌ها را وزن کرده و در آون به مدت ۲۴ ساعت با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس خشک کرده و سپس به لوله‌های پلاستیکی ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل کرده و ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه کرده و در زمان‌های ۱، ۳، ۵، ۷، ۱۰، ۱۵، ۱۸ و ۲۰ دقیقه با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه تکان داده شد. سپس محتوی ظرف‌ها روی الک ۰/۲۱۲ تخلیه‌شده و طی دو نوبت با ۸۰ میلی‌لیتر آب مقطر شسته شد و بعد از گذشت ۴۰ دقیقه ۵ میلی‌لیتر از تعلیق درون شیشه ساعت ریخته و به مدت ۲ ساعت در آون (دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس) خشک شد و همزمان ۵ میلی‌لیتر از تعلیق نیز برداشته و در طول موج ۶۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر مقدار جذب نور آن قرائت شد. سپس منحنی واسنجی که نشان‌دهنده قرائت دستگاه در مقابل رس پراکنده شده بود، ترسیم شد.

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

برای تعیین میانگین وزنی (MWD^۱) قطر خاکدانه‌ها از روش (Kemper & Rosen, 1986) استفاده شد. به این صورت که پس از گذشت هر یک از زمان‌های مورد نظر (۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ روز)، مقدار ۲۰ گرم از خاک‌های مورد مطالعه توزین و بر روی سری الک‌های مرتب شده از بالا به پایین از قطر بزرگ به کوچک و با قطر سوراخ‌های ۱/۵، ۳/۱۵، ۲، ۱/۶، ۰/۸، ۰/۴ و ۰/۲ میلی‌متر ریخته شد و به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۰/۵ (mm/g) تکان داده شد. سپس مقدار خاک باقی‌مانده روی هر الک به دقت وزن شد. سپس میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد:

$$MWD = \sum_{i=1}^n W_i X_i \quad (1)$$

که در آن X_i متوسط قطر یا اندازه خاکدانه‌ها از هر کلاس اندازه‌ای (میانگین قطر سوراخ الک‌های بالا و پایین) و W_i مقدار نسبی خاکدانه‌های با قطر متوسط می‌باشد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SAS و EXCEL انجام شد و میانگین مربوط به اثر تیمارها به صورت جداگانه و نیز برهمکنش آن‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شد.

یافته‌های پژوهشی و بحث

رس قابل پراکنش خودبه‌خودی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر زمان، بافت خاک، سطوح مختلف بیوجار و اثر متقابل زمان و سطوح مختلف بیوجار بر رس قابل پراکنش خودبه‌خودی در خاک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۳).

اثر سطوح بیوجار بر میانگین رس قابل پراکنش خودبه‌خودی در خاک‌های مورد مطالعه در زمان‌های مختلف پس از کاربرد در جدول (۴) نشان داده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده در بافت لوم‌شنی میانگین رس قابل پراکنش خودبه‌خودی در زمان ۸۰ روز پس از کاربرد نسبت به زمان اولیه (۴۰ روز پس از شروع آزمایش) تفاوت معنی‌داری نداشت ولی با گذشت ۱۲۰ روز از شروع آزمایش نسبت به زمان اولیه به‌طور معنی‌داری به میزان ۳/۴ درصد افزایش یافت. به‌نظر می‌رسد برای اثرگذاری بیوجار بر ویژگی‌های خاک مورد مطالعه زمان نسبتاً زیادی مورد نیاز است (Gavili et al. 2018) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. نتایج نشان داد در بافت لوم‌رسی میانگین رس قابل پراکنش خودبه‌خودی با گذشت زمان به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌طوری‌که در زمان‌های ۸۰ و ۱۲۰ روز

پس از کاربرد نسبت به زمان اولیه (۴۰ روز پس از شروع آزمایش) میانگین رس قابل پراکنش خودبه‌خودی به ترتیب به میزان ۱۴/۱ و ۱۶/۲ درصد افزایش یافت.

نتایج همچنین نشان داد کاربرد ۱/۵ درصد بیوجار در بافت لوم‌شنی در مقایسه با شاهد اثر معنی‌داری بر رس قابل پراکنش خودبه‌خودی نداشت در حالی کاربرد ۳ درصد بیوجار رس قابل پراکنش خودبه‌خودی را به‌طور معنی‌داری به میزان ۴/۵ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد (جدول ۴). احتمالاً به‌دلیل محتوی نسبتاً زیاد سدیم در بیوجار مورد استفاده، کاربرد بیوجار سبب پراکنندگی ذرات رس شده است. نتایج با نتایج تقدیسی حیدریان و همکاران (۱۳۹۷) که گزارش کردند با افزایش سطوح کاربرد کود گاوی در ابتدا میزان رس قابل پراکنش کاهش و سپس افزایش یافت هم‌خوانی دارد. آنان گزارش کردند تأثیر مواد آلی بر پراکنش رس به عوامل مختلفی مانند نوع و میزان اصلاح‌کننده مورد استفاده، نوع و میزان رس خاک و درجه سدیمی بودن خاک بستگی دارد (تقدیسی حیدریان و همکاران، ۱۳۹۷). به همین دلیل برای کاربرد مواد اصلاح‌کننده در خاک باید به ویژگی‌ها و اثر آنها بر ویژگی‌های مختلف خاک توجه شود. نتایج همچنین نشان داد کاربرد سطوح ۱/۵ و ۳ درصد بیوجار در بافت لوم‌رسی نیز سبب افزایش رس قابل پراکنش خودبه‌خودی به ترتیب به میزان ۱/۹ و ۴/۲ درصد در مقایسه با شاهد شد (هرچند افزایش حاصل از کاربرد ۱/۵ درصد بیوجار در مقایسه با شاهد از نظر آماری معنی‌دار نبود).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح بیوجار، زمان و بافت خاک بر مقادیر رس قابل پراکنش خودبه‌خودی و مکانیکی در خاک

| میانگین مربعات | | درجه آزادی | منابع تغییر |
|---|--|------------|-----------------------------------|
| رس قابل پراکنش مکانیکی (گرم در ۱۰۰ گرم خاک) | رس قابل پراکنش خودبه‌خودی (گرم در ۱۰۰ گرم خاک) | | |
| ۵۰/۶۵** | ۲/۸۶۵ ^{ns} | ۱ | بافت خاک |
| ۲۱/۴۵** | ۲/۶۹۹** | ۲ | زمان |
| ۵/۸۲** | ۸/۵۲** | ۲ | سطوح بیوجار |
| ۷/۳۷** | ۱/۹۱۲** | ۲ | برهم‌کنش بافت و زمان |
| ۵/۴۰۳** | ۲/۱۲۷** | ۲ | برهم‌کنش بافت و سطوح بیوجار |
| ۶/۲۱۹** | ۱/۳۴۳** | ۴ | برهم‌کنش زمان و سطوح بیوجار |
| ۱/۸۸۷** | ۵/۴۴۹* | ۴ | برهم‌کنش بافت، زمان و سطوح بیوجار |
| ۰/۱۶۰ | ۱/۵۵۷ | ۳۶ | خطا |

ns و ** و *** به ترتیب معنی‌داری در سطوح ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌داری را نشان می‌دهند.

جدول ۴. اثر بیوجار بر میزان رس قابل پراکنش خودبه‌خودی (گرم در ۱۰۰ گرم خاک) در زمان‌های مختلف پس از کاربرد در خاکهای مورد مطالعه

| بیوجار (درصد وزنی) | زمان پس از کاربرد (روز) | | |
|--------------------|------------------------------------|------------|------------|
| | ۱۲۰ | ۸۰ | ۴۰ |
| | بافت لوم‌شنی (میانگین: A: ۰/۰۰۲۶۷) | | |
| صفر | ۰/۰۰۲۸۴ ab | ۰/۰۰۲۶۳ c | ۰/۰۰۲۵۰ d* |
| ۱/۵ | ۰/۰۰۲۶۴ c | ۰/۰۰۲۵۵ cd | ۰/۰۰۲۵۷ cd |
| ۳ | ۰/۰۰۲۷۸ b | ۰/۰۰۲۶۳ c | ۰/۰۰۲۹۲ a |
| میانگین | ۰/۰۰۲۷۵ A | ۰/۰۰۲۶۱ B | ۰/۰۰۲۶۶ B |
| | بافت لوم‌رسی (میانگین: A: ۰/۰۰۲۶۶) | | |
| صفر | ۰/۰۰۲۷۴ b | ۰/۰۰۲۶۵ c | ۰/۰۰۲۴۳ d |
| ۱/۵ | ۰/۰۰۲۶۶ B | ۰/۰۰۲۷۹ b | ۰/۰۰۲۴۲ d |
| ۳ | ۰/۰۰۲۹۳ a | ۰/۰۰۲۸۲ b | ۰/۰۰۲۴ d |
| میانگین | ۰/۰۰۲۸ A | ۰/۰۰۲۷۵ B | ۰/۰۰۲۴۱ C |

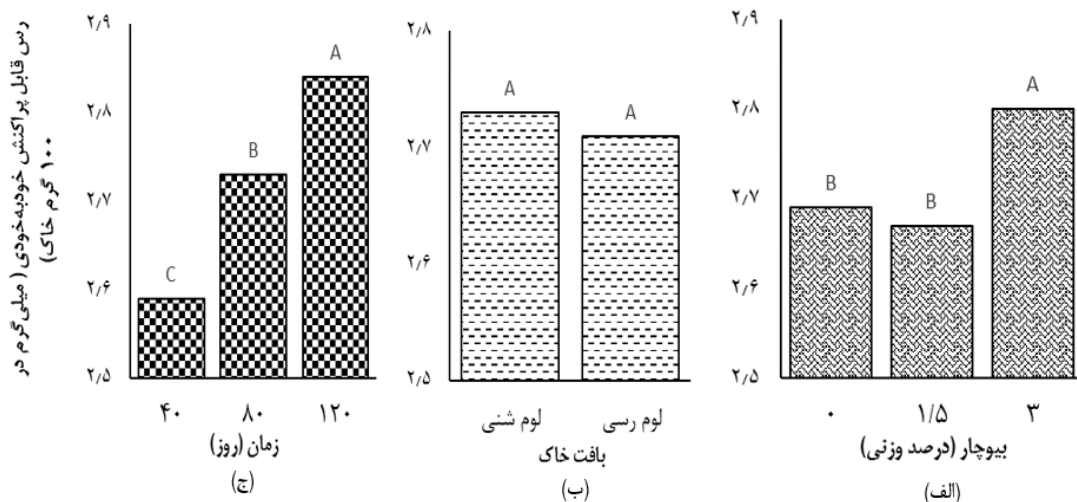
*. در مورد هر خاک، میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون حداقل در یک حرف آماری بزرگ و اعدادی که در بدنه جدول حداقل در یک حرف آماری

کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

به‌طور کلی نتایج نشان داد اثر بافت خاک بر میانگین رس قابل پراکنش خودبه‌خودی از نظر آماری معنی‌دار نبود. درحالی که دریایی و همکاران (۱۴۰۱) در مطالعه‌ای که به بررسی اثر مواد نفتی مختلف بر میزان رس قابل پراکنش پرداختند گزارش کردند درصد رس قابل پراکنش خودبه‌خودی در خاک با بافت شن‌لومی بیشتر از خاک‌های با بافت لوم‌رسی و لوم‌شنی بوده است (دریایی و همکاران، ۱۴۰۱). که

دلیل تفاوت در نتایج می‌تواند تفاوت در ویژگی‌های خاک‌ها و تیمارهای مورد مطالعه باشد.

شکل (۱) اثرات کلی بافت خاک، سطوح بیوچار و زمان را بر رس قابل پراکنش خودبه‌خودی نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد اثر بافت مختلف بر میانگین کلی رس قابل پراکنش خودبه‌خودی از نظر آماری معنی‌دار نیست (هرچند میزان رس قابل پراکنش خودبه‌خودی در خاک لوم‌شنی به‌طور غیرمعنی‌داری به میزان ۰/۳۷ درصد از خاک لوم‌رسی بیشتر است). کاربرد ۱/۵ درصد بیوچار در مقایسه با شاهد بر میانگین کلی رس قابل پراکنش خودبه‌خودی اثر معنی‌داری نداشت در حالی که کاربرد ۳ درصد بیوچار در مقایسه با شاهد میانگین رس قابل پراکنش خودبه‌خودی را به‌طور معنی‌داری به میزان ۴/۲ درصد افزایش داد. (Kumari et al., 2017). نیز به نتایج مشابهی دست یافتند و گزارش کردند افزودن ۱۰۰ تن در هکتار بیوچار درخت توس تولیدشده در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس با تأثیر بر ویژگی‌های شیمیایی رس‌ها، سبب افزایش رس قابل پراکنش خودبه‌خودی شده و پیشنهاد کردند برای نتیجه‌گیری دقیق‌تر نیاز است این آزمایش‌ها به صورت طولانی مدت نیز انجام شود. گزارش شده مواد آلی با افزایش بار منفی سطح ذرات رس و همچنین کاهش فعالیت کاتیون‌های چند ظرفیتی مانند کلسیم و آلومینیوم در محلول خاک سبب افزایش پراکنش رس‌ها در خاک می‌شوند (Nelson et al., 1999). به‌طور کلی زمان‌های ۸۰ و ۱۲۰ روز سبب افزایش معنی‌دار میانگین کلی رس قابل پراکنش خودبه‌خودی به ترتیب به میزان ۵/۵ و ۹/۸ درصد نسبت به زمان اولیه (۴۰ روز پس از کاربرد) شدند.



شکل ۱. اثر سطوح مختلف بیوچار کود گاوی (الف) بر میانگین رس قابل پراکنش خودبه‌خودی در خاک‌های مورد مطالعه (ب) در زمان‌های مختلف پس از کاربرد (ج) در هر تیمار ستون‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).

رس قابل پراکنش مکانیکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر زمان، بافت خاک، سطوح مختلف بیوچار و اثر متقابل زمان و سطوح مختلف بیوچار بر رس قابل پراکنش مکانیکی در خاک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۳).

نتایج نشان داد در بافت لوم‌شنی میانگین رس قابل پراکنش مکانیکی در زمان‌های ۸۰ و ۱۲۰ روز پس از کاربرد نسبت به زمان اولیه (۴۰ روز پس از شروع آزمایش) به ترتیب به میزان ۵۴/۳۲ و ۲۰/۵ درصد افزایش یافته است. احتمالاً با گذشت زمان بیوچار تجزیه شده و اثرات آن بر رس قابل پراکنش افزایش یافته است. همچنین نتایج نشان داد در بافت لوم‌رسی میانگین رس قابل پراکنش مکانیکی با گذشت زمان به طور معنی‌داری افزایش یافت. به طوری که در زمان‌های ۸۰ و ۱۲۰ روز پس از کاربرد نسبت به زمان اولیه (۴۰ روز پس از شروع آزمایش) میانگین رس قابل پراکنش مکانیکی به‌طور معنی‌داری به ترتیب به میزان ۷۹/۶ و ۹۵ درصد افزایش یافت.

نتایج همچنین نشان داد کاربرد ۱/۵ درصد بیوچار سبب ۱۷/۹ درصد کاهش و ۳ درصد بیوچار به میزان ۷/۳ درصد افزایش رس پراکنده‌شده مکانیکی در مقایسه با شاهد شد که احتمالاً با توجه به شنی بودن بافت خاک و با افزایش میزان بیوچار تأثیر آن بر رس قابل پراکنش مکانیکی نیز افزایش پیدا کرده است و سبب افزایش این پارامتر شده است (هرچند افزایش مشاهده شده در سطح ۳ درصد نسبت به شاهد از نظر آماری معنی‌دار نبود) (جدول ۵). نتایج همچنین نشان داد کاربرد سطوح ۱/۵ و ۳ درصد بیوچار در خاک لوم‌رسی سبب افزایش معنی‌دار رس قابل پراکنش مکانیکی در مقایسه با شاهد (صفر درصد) به ترتیب به میزان ۳۵/۵ و ۵۰/۶ درصد شد. در حالی که

درستکار و والی (۱۳۹۶) گزارش کردند بقایای برگ انگور و پوست انار در سطوح ۲ و ۵ درصد سبب کاهش معنی‌دار رس قابل پراکنش در آب به ترتیب به میزان ۲۶ و ۴۱ درصد شد (درستکار و والی، ۱۳۹۶). شاید بتوان دلیل تفاوت در نتایج را تفاوت در ماده آلی مورد استفاده و نوع خاک دانست.

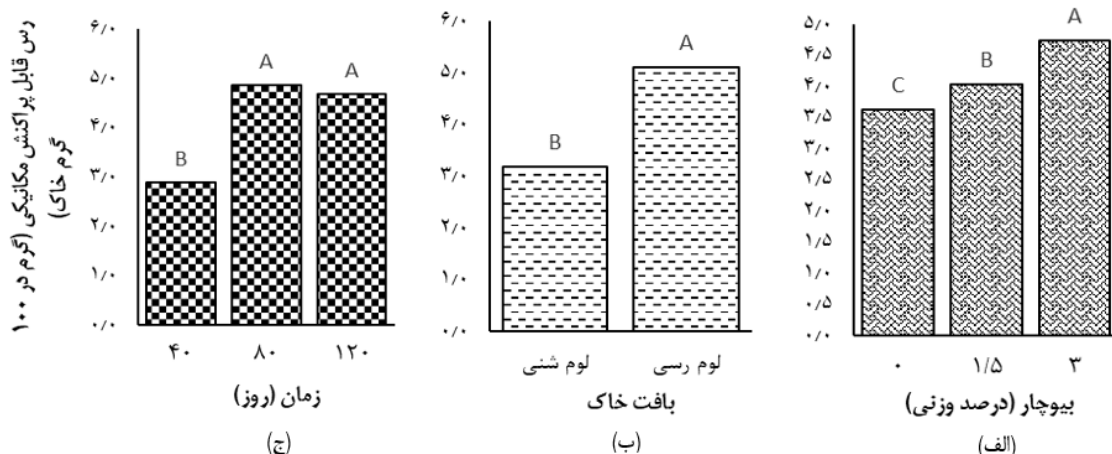
جدول ۵. اثر بیوجار بر رس قابل پراکنش مکانیکی (گرم در ۱۰۰ گرم خاک) در زمان‌های مختلف پس از کاربرد در خاک‌های مورد مطالعه

| میانگین | زمان پس از کاربرد (روز) | | | بیوجار (درصد وزنی) |
|---------------------------------------|-------------------------|---------|---------|--------------------|
| | ۱۲۰ | ۸۰ | ۴۰ | |
| بافت لوم‌شنی (میانگین: ۳/۱۷ B) | | | | |
| ۳/۲۹ A | ۴/۰۵b | ۴/۶۸ a | ۱/۱۴ e* | صفر |
| ۲/۷۰ B | ۲/۳۹ d | ۲/۹۶ c | ۲/۷۶ cd | ۱/۵ |
| ۳/۵۳ A | ۲/۷۳ cd | ۴/۱۳ ab | ۳/۷۲ b | ۳ |
| | ۳/۰۶ B | ۳/۹۲ A | ۲/۵۴ C | میانگین |
| بافت لوم‌رسی (میانگین: ۵/۱۱ A) | | | | |
| ۳/۹۷ C | ۶/۶۸ ab | ۳/۸۳ d | ۱/۴۰ e | صفر |
| ۵/۳۸ B | ۶/۰۱ b | ۶/۵۲ ab | ۳/۶۲ d | ۱/۵ |
| ۵/۹۸ A | ۶/۲۲ b | ۷/۰۴ a | ۴/۶۸ c | ۳ |
| | ۶/۳۰ A | ۵/۸۰ B | ۳/۲۳ C | میانگین |

*. در مورد هر خاک، میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون حداقل در یک حرف آماری بزرگ و اعدادی که در بدنه جدول حداقل در یک حرف آماری کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

احتمالاً به دلیل وجود میزان رس بیشتر در بافت لوم‌رسی، میزان پراکنش رس در این خاک نسبت به خاک لوم‌شنی بیشتر بوده است. Burrell et al. (2016) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند و گزارش کردند بیوجار چوب انگور تولید شده در دماهای ۵۲۵ و ۴۰۰ درجه سلسیوس در خاک درشت بافت پراکنش رس را به ترتیب به میزان ۲۴ و ۲۱ درصد کاهش داده و سبب بهبود پایداری خاکدانه‌ها شد. همچنین آنان گزارش کردند خاک‌های درشت بافت از نظر ساختاری سود بیشتری از بیوجار می‌برند.

شکل (۲) اثرات کلی بافت خاک، سطوح بیوجار و زمان را بر میزان رس قابل پراکنش مکانیکی در خاک‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. به طور کلی در بافت لوم‌رسی میزان رس قابل پراکنش مکانیکی به طور معنی‌داری به میزان ۶۱/۲ درصد بیشتر از بافت لوم‌شنی است. که می‌تواند به دلیل زیادتر بودن میزان رس در خاک لوم‌رسی در مقایسه با خاک لوم‌شنی باشد. کاربرد سطوح ۱/۵ و ۳ درصد بیوجار نیز به طور کلی میانگین رس قابل پراکنش مکانیکی را به طور معنی‌داری به ترتیب به میزان ۱۱/۳ و ۳۰/۸ درصد در مقایسه با شاهد افزایش دادند. که می‌تواند به دلیل میزان نسبتاً زیاد سدیم موجود در بیوجار مورد استفاده باشد که سبب پراکندگی ذرات رس می‌شود. در حالی که Tang et al. (2006) گزارش کردند پلیمرها سبب تشکیل پوششی روی سطوح خاکدانه‌ها شد و همچنین سبب اتصال و پیوند بین ذرات خاک شده و از رواناب و فرسایش جلوگیری می‌کند. همچنین خان‌محمدی و همکاران (۱۴۰۰) نیز گزارش کردند افزودن بیوجار کود گاوی به خاک میزان رس قابل پراکنش مکانیکی را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش داد که دلیل آن را زیاد بودن شاخص آبگریزی و کربن آلی این خاک عنوان کردند (خان‌محمدی و همکاران، ۱۴۰۰). نتایج با نتایج این پژوهشگران هم‌خوانی نداشت و دلیل آن را می‌توان تفاوت در اصلاح‌کننده مورد استفاده، نوع خاک و شرایط آزمایش عنوان کرد. به طور کلی گذشت زمان‌های ۸۰ و ۱۲۰ روز سبب افزایش معنی‌دار رس قابل پراکنش مکانیکی به ترتیب به میزان ۶۸/۲ و ۶۱/۹ درصد نسبت به زمان اولیه (۴۰ روز پس از کاربرد) شدند.



شکل ۲. اثر سطوح مختلف بیوجار (الف) بر میانگین رس قابل پراکنش مکانیکی در خاک‌های مورد مطالعه (ب) در زمان‌های مختلف پس از کاربرد (ج) (ستون‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر زمان، بافت خاک، سطوح مختلف بیوجار و اثر متقابل زمان و سطوح مختلف بیوجار بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۳).

اثر سطوح بیوجار بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های مورد مطالعه در زمان‌های مختلف پس از کاربرد در جدول (۶) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد در بافت لوم‌شنی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در زمان‌های ۸۰ و ۱۲۰ روز پس از کاربرد نسبت به زمان اولیه (۴۰ روز پس از شروع آزمایش) به ترتیب به میزان ۲۲/۳ و ۲۳/۸ درصد افزایش یافته است. Asghari et al. (2009) نیز به نتایج مشابه دست یافتند و گزارش کردند پایداری خاکدانه‌ها در زمان ۱۲۰ و ۱۸۰ روز بیشتر از ۶۰ روز بود. نتایج همچنین نشان داد کاربرد سطوح ۱/۵ و ۳ درصد بیوجار سبب کاهش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در مقایسه با شاهد به ترتیب به میزان ۲۴/۲ و ۲۰/۶ درصد شد (جدول ۶).

جدول ۶. اثر بیوجار بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (میلی متر) در زمان‌های مختلف پس از کاربرد در خاک‌های مورد مطالعه

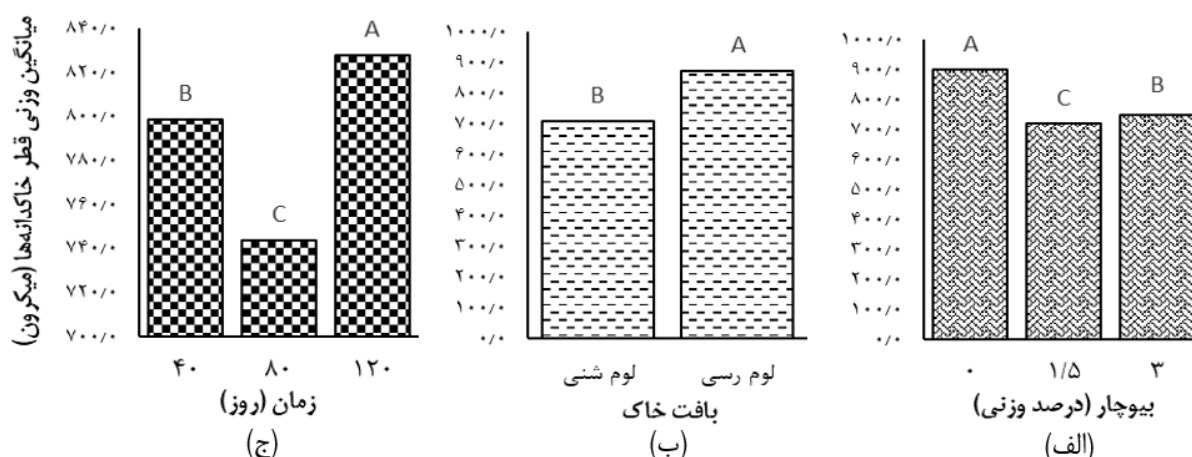
| میانگین | زمان پس از کاربرد (روز) | | | بیوجار (درصد وزنی) |
|---------|---|----------|----------|--------------------|
| | ۱۲۰ | ۸۰ | ۴۰ | |
| | بافت لوم‌شنی (میانگین - ۰/۷۰۸ B) | | | |
| ۰/۸۳۳ A | ۱/۰۷۹ a | ۰/۸۷۶ b | ۰/۵۴۴* e | صفر |
| ۰/۶۳۱ C | ۰/۶۵۰ d | ۰/۵۸۶ e | ۰/۶۵۷ d | ۱/۵ |
| ۰/۶۶۱ B | ۰/۵۵۱ e | ۰/۷۹۱ c | ۰/۶۴۱ d | ۳ |
| | ۰/۷۶۰ A | ۰/۷۵۱ A | ۰/۶۱۴ B | میانگین |
| | بافت لوم‌رسی (میانگین - ۰/۸۷۲ A) | | | |
| ۰/۹۷۰ A | ۰/۹۱۷ c | ۰/۸۷۸ cd | ۱/۱۱۵ a | صفر |
| ۰/۸۱۰ B | ۰/۸۵۲ d | ۰/۷۴۲ e | ۰/۸۲۶ d | ۱/۵ |
| ۰/۸۳۸ B | ۰/۹۲۱ c | ۰/۵۹۲ f | ۱/۰۰۱ b | ۳ |
| | ۰/۸۹۶ B | ۰/۷۳۷ C | ۰/۹۸۴ A | میانگین |

* در مورد هر خاک، میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون حداقل در یک حرف آماری بزرگ و اعدادی که در بدنه جدول حداقل در یک حرف آماری کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

نتایج نشان داد در بافت لوم‌رسی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با گذشت زمان به طور معنی‌داری کاهش یافت. به طوری که در زمان‌های ۸۰ و ۱۲۰ روز پس از کاربرد نسبت به زمان اولیه (۴۰ روز پس از شروع آزمایش) میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان ۲۵/۱ و ۸/۹ درصد کاهش یافت. نتایج همچنین نشان داد کاربرد سطوح ۱/۵ و ۳ درصد بیوجار در بافت لوم‌رسی سبب کاهش معنی‌دار

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان ۱۶/۵ و ۱۳/۶ درصد در مقایسه با شاهد شد. به طور کلی نتایج نشان داد میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در خاک لومرسی در مقایسه با خاک لومشنی مورد مطالعه در شرایط تیمار با بیوپچار به میزان ۲۳/۲ درصد بیشتر بود. محمدی و همکاران (۱۳۹۹) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند و گزارش کردند بیوپچار باگاس نیشکر در سطوح ۲ و ۴ درصد میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را کاهش داد. دلیل کاهش پایداری خاکدانه‌ها را نیز پوشیده شدن سطح ذرات خاک دانستند و عنوان کردند با پوشیده شدن سطح ذرات با مواد آلی، سطح تماس ذرات خاک با یکدیگر و در نتیجه چسبندگی ذرات به یکدیگر کم شده و پایداری خاکدانه‌ها کاهش می‌یابد. در حالی (Sun & Lu (2014) گزارش کردند بیوپچار کاه و فاضلاب در یک خاک رسی سبب افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و پایداری خاک شد زیرا بیوپچار مقاومت در برابر سایش را افزایش داده و انسجام بین خاکدانه‌ها را نیز بهبود می‌بخشد. دلیل تفاوت نتایج آنان با نتایج این پژوهش را می‌توان تفاوت در نوع خاک و بیوپچار و درصد مورد استفاده، گزارش کرد.

شکل (۳) اثرات اصلی بافت خاک، سطوح بیوپچار و زمان را بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد در بافت لومرسی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به میزان ۲۴/۲ درصد بیشتر از بافت لومشنی است. کاربرد سطوح ۱/۵ و ۳ درصد بیوپچار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را به ترتیب به میزان ۲۰/۱ و ۱۶/۹ درصد در مقایسه با شاهد کاهش داد. در زمان‌های ۸۰ و ۱۲۰ روز پس از شروع آزمایش، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نسبت به زمان اولیه (۴۰ روز پس از شروع آزمایش) به ترتیب به میزان ۶/۹ درصد کاهش و ۳/۶ درصد افزایش یافت.



شکل ۳. اثر سطوح مختلف بیوپچار کود گاوی (الف) بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های مورد مطالعه (ب) در زمان‌های مختلف پس از کاربرد (ج) (در هر تیمار ستون‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد اثر سطوح مختلف بیوپچار به طور معنی‌داری میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را کاهش داد و بر میزان رس قابل پراکنش خودبه‌خودی و مکانیکی با گذشت زمان تقریباً روندی مشابه داشته و سبب افزایش این ویژگی‌ها شد. به طوری که کاربرد سطوح مختلف بیوپچار (۱/۵ و ۳ درصد وزنی) رس قابل پراکنش خودبه‌خودی را به ترتیب به میزان ۱/۹ و ۴/۲ درصد و رس قابل پراکنش مکانیکی را به ترتیب به میزان ۳۵/۵ و ۵۰/۶ درصد افزایش دادند. هرچند اثر بافت مختلف بر رس قابل پراکنش خودبه‌خودی از نظر آماری معنی‌دار نبود، با این حال در بافت لومرسی احتمالاً به دلیل میزان بیشتر رس، میزان رس قابل پراکنش مکانیکی بیشتر بود. نتایج همچنین نشان داد کاربرد ۳ درصد بیوپچار در بافت لومرسی بیشترین تأثیر را بر رس قابل پراکنش مکانیکی داشت. می‌توان دلیل افزایش رس قابل پراکنش را نیز کاهش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها دانست. باتوجه به اینکه امروزه آلودگی هوا به وسیله ریزگردها یک معضل جهانی است و به‌عنوان یکی از خطرات زیست‌محیطی شناخته می‌شود که در بیشتر مناطق به ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار اهمیت دارد. بنابراین نیاز است عوامل مؤثر بر آن شناسایی و در جهت بهبود آن اقدامات لازم انجام شود. از طرفی به دلیل اندازه ریز و وزن سبک ذرات رس، رس بخش مهمی از این آلودگی‌ها را شامل می‌شود. بیوپچار با توجه به ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود امروزه در کشاورزی بسیار مورد توجه قرار گرفته است و توسط بسیاری از پژوهشگران مورد ارزیابی قرار گرفته و به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک پیشنهاد شده است. درحالی که



باتوجه به پژوهش حاضر، ممکن است این اصلاح‌کننده سبب افزایش پراکندگی ذرات رس شده و به‌دلیل وزن کم نیز خود سبب آلودگی شود و میزان فرسایش بادی را در مناطق خشک و نیمه‌خشک افزایش دهد. در نتیجه نیاز است مطالعات بیشتری در این زمینه و در مقیاس بزرگتر (در سطح مزرعه) انجام شود. همچنین پیشنهاد می‌شود در مطالعات صحرایی از درصدهای بیشتر بیوچار استفاده و نتایج مورد بررسی قرار گرفته و انواع مختلف بیوچار (ضایعات گیاهی، فضولات دامی و غیره) نیز با یکدیگر مقایسه شوند. با توجه به اینکه زمان یک عامل مهم در تأثیرگذاری مواد اصلاح‌کننده می‌باشد به همین دلیل پیشنهاد می‌شود تأثیر اصلاح‌کننده‌های مذکور در زمان‌های طولانی‌تر نیز مورد بررسی قرار گیرد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- تقدیسی حیدریان، زهره؛ خراسانی، رضا و امامی، حجت (۱۳۹۷). تأثیر زئولیت و کود گاوی بر برخی پارامترهای فیزیکی خاک. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۵ (۵)، ۱۶۶-۱۴۹.
- خان محمدی، زهرا؛ افیونی، مجید و مصدقی، محمدرضا (۱۴۰۰). اثر کاربرد لجن فاضلاب و بیوچار آن بر آب‌گریزی و پایداری ساختمان در دو خاک آهکی تحت کشت ذرت. روابط خاک و گیاه، ۱۳ (۱)، ۲۸-۱۵.
- درستکار، وجیهه و والی، ریحانه (۱۳۹۶). بررسی پایداری ساختمان و آب‌گریزی خاک در پاسخ به افزودن بقایای برگ انگور و پوست انار در سطوح مختلف شوری. مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی)، ۴۰ (۲)، ۴۶-۲۹.
- دریایی، راضیه؛ موسوی، علی‌اکبر؛ قاسمی، رضا و ریاضی، مسعود. (۱۴۰۱). اثر مواد نفتی بر میزان رس قابل پراکنش خودبه‌خودی و مکانیکی در خاک‌های با بافت مختلف. نشریه علمی پژوهش‌های خاک، ۳۶ (۲)، ۲۲۴-۲۰۹.
- محمدی، نیلوفر و خادم الرسول، عطالله. (۱۳۹۹). ارزیابی اثر بخشی اثر بخشی زئولیت و بیوچار ضایعات نیشکر بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و حدود آتربرگی خاک‌های آلوده به مواد نفتی، تحقیقات خاک و آب ایران، ۵۲ (۲)، ۳۹۶-۴۰۷.

REFERENCES

- Abbaslou, H., Hadifard, H., & Ghanizadeh, A. R. (2020). Effect of cations and anions on flocculation of dispersive clayey soils. *Heliyon*, 6(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03462>.
- Al-Omran, A., Ibrahim, A., & Alharbi, A. (2021). Effects of biochar and compost on soil physical quality indices. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(20), 2482-2499. <https://doi.org/10.1080/00103624.2021.1949461>
- Asghari, S., Neyshabouri, M. R., Abbasi, F., Aliasgharzad, N., & Oustan, S. (2009). The effects of four organic soil conditioners on aggregate stability, pore size distribution, and respiration activity in a sandy loam soil. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 33(1), 47-55. <http://dx.doi.org/10.3906/tar-0804-20>.
- Barzegar, A. R., Nelson, P. N., Oades, J. M., & Rengasamy, P. (1997). Organic matter, sodicity, and clay type: Influence on soil aggregation. *Soil Science Society of America Journal*, 61(4), 1131-1137. <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100040020x>.
- Bayabil, H. K., Lehmann, J. C., Yitaferu, B., Stoof, C., & Steenhuis, T. S. (2013). Hydraulic properties of clay soils as affected by biochar and charcoal amendments. *NBDC Technical Report*, 9(10), 1-11. <https://hdl.handle.net/10568/34249>.
- Besalatpour, A. A., Ayoubi, S., Hajabbasi, M. A., Mosaddeghi, M., & Schulin, R. (2013). Estimating wet soil aggregate stability from easily available properties in a highly mountainous watershed. *Catena*, 111, 72-79. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.07.001>.
- Brtnicky, M., Datta, R., Holatko, J., Bielska, L., Gusiatin, Z. M., Kucerik, J., ... & Pecina, V. (2021). A critical review of the possible adverse effects of biochar in the soil environment. *Science of the Total Environment*, 796, 148-756. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148756>.
- Burrell, L. D., Zehetner, F., Rampazzo, N., Wimmer, B., & Soja, G. (2016). Long-term effects of biochar on soil physical properties. *Geoderma*, 282, 96-102. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.07.019>.
- Chen, X., Yang, S., Ding, J., Jiang, Z., & Sun, X. (2021). Effects of biochar addition on rice growth and yield under water-saving irrigation. *Water*, 13(2), 1-11. <https://doi.org/10.3390/w13020209>.
- Cong, M., Hu, Y., Sun, X., Yan, H., Yu, G., Tang, G., ... & Jia, H. (2023). Long-term effects of biochar application on the growth and physiological characteristics of maize. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1-15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1172425>.

- Czyż, E. A., & Dexter, A. R. (2015). Mechanical dispersion of clay from soil into water: readily-dispersed and spontaneously-dispersed clay. *International Agrophysics*, 29(1), 1-11. 10.1515/intag-2015-0007.
- Daryaei, R., Moosavi, A. A., Ghasemi, R., & Riazi, M. (2022). Effect of petroleum products on the amount of spontaneously and mechanically dispersible clays in soils with different textures. *Journal of Soil Research*, 36(2), 209-224 (In Persian).
- Deng, Z. Q., de Lima, J. L., & Jung, H. S. (2008). Sediment transport rate-based model for rainfall-induced soil erosion. *Catena*, 76(1), 54-62. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.09.005>.
- Dexter, A. R., & Czyz, E. A. (2000). Effects of soil management on the dispersibility of clay in a sandy soil. *International Agrophysics*, 14(3), 269-272.
- Dokoohaki, H., Miguez, F. E., Laird, D., Horton, R., & Basso, A. S. (2017). Assessing the biochar effects on selected physical properties of a sandy soil: an analytical approach. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(12), 1387-1398. <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1358742>.
- Dorostkar, V., Vali, R. (2018). Effect of grape leaves and pomegranate peel on soil structural stability and water repellency in different salinity levels. *Agricultural Engineering (Agricultural Scientific Journal)*, 40(2), 29-46. doi: <https://doi.org/10.22055/agen.2018.17035.1254> (In Persian).
- Fu, Q., Zhao, H., Li, H., Li, T., Hou, R., Liu, D., ... & Yu, P. (2019). Effects of biochar application during different periods on soil structures and water retention in seasonally frozen soil areas. *Science of the Total Environment*, 694, 133-732. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133732>.
- Gavili, E., Moosavi, A. A., & Kamgar Haghighi, A. A. (2019a). Does biochar mitigate the adverse effects of drought on the agronomic traits and yield components of soybean? *Industrial Crops and Products*, 128, 445-454.
- Gavili, E., Moosavi, A. A., & Moradi Choghamarani, F. (2018). Cattle manure biochar potential for ameliorating soil physical characteristics and spinach response under drought. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(12), 1714-1727. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1453925>.
- Gavili, E., Moosavi, A. A., & Moradi Choghamarani, F. (2018). Cattle manure biochar potential for ameliorating soil physical characteristics and spinach response under drought. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(12), 1714-1727. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1453925>.
- Gavili, E., Moosavi, A. A., & Zahedifar, M. (2019b). Integrated effects of cattle manure-derived biochar and soil moisture conditions on soil chemical characteristics and soybean yield. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65(12), 1758-1774. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1576864>.
- Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle size analysis, hydrometer methods. In Sparks, D. L. et al. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2*, (pp. 383-411). Madison, WI, USA: American Society of Agronomy.
- Helmke, P., & Sparks, D. L. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. In: Sparks, D. L. et al. (Eds.), *Method of Soil Analysis, Part 3*, (pp. 551-574). Madison, WI, US: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.
- Hossain, M. K., Strezov, V., Chan, K. Y., Ziolkowski, A., & Nelson, P. F. (2011). Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. *Journal of Environmental Management*, 92(1), 223-228. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.09.008>.
- Hosseini, F., Mosaddeghi, M. R., Hajabbasi, M. A., & Sabzalian, M. R. (2015). Influence of tall fescue endophyte infection on structural stability as quantified by high energy moisture characteristic in a range of soils. *Geoderma*, 249, 87-99. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.03.013>.
- IBI. 2015. Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil. International Biochar Initiative. p. 1-48. [23 November 2015]. [http://www. Biochar-international.org/sites/default/files/ibi_biochar_standards_v1.1.pdf](http://www.Biochar-international.org/sites/default/files/ibi_biochar_standards_v1.1.pdf).
- Kay, B. D., & Dexter, A. R. (1990). Influence of aggregate diameter, surface area and antecedent water content on the dispersibility of clay. *Canadian Journal of Soil Science*, 70(4), 655-671. <https://doi.org/10.4141/cjss90-068>.
- Kemper, W. D., & Rosen, R. C. (1986). Aggregate stability and distribution. In Sparks, D. L. et al. (Eds.), *Method of soil Analysis, Part 3*, (pp. 425-441).
- Khaledi, S., Delbari, M., Galavi, H., Bagheri, H., & Chari, M. M. (2023). Effects of biochar particle size, biochar application rate, and moisture content on thermal properties of an unsaturated sandy loam soil. *Soil and Tillage Research*, 226 (10), 55-79. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105579>.
- Khanmohammadi, Z., Afyuni, M., & Mosaddeghi, M. R. (2022). Effect of sewage sludge and its biochar application on water repellency and structural stability of two calcareous soils under corn cultivation. *Soil and Plant Interactions*, 13(1), 15-28 (In Persian).
- Kumari, K. G. I. D., Moldrup, P., Paradelo, M., Elsgaard, L., & de Jonge, L. W. (2017). Effects of biochar on



- dispersibility of colloids in agricultural soils. *Journal of Environmental Quality*, 46(1), 143-152. [10.2134/jeq2016.08.0290](https://doi.org/10.2134/jeq2016.08.0290).
- Kumari, K. G. I. D., Moldrup, P., Paradelo, M., Elsgaard, L., & de Jonge, L. W. (2017). Effects of biochar on dispersibility of colloids in agricultural soils. *Journal of Environmental Quality*, 46(1), 143-152. <https://www.researchgate.net/publication/312348991>.
- Kuppasamy, S., Thavamani, P., Megharaj, M., Venkateswarlu, K., & Naidu, R. (2016). Agronomic and remedial benefits and risks of applying biochar to soil: current knowledge and future research directions. *Environment International*, 87, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.10.018>.
- Lee, M. H., Chang, E. H., Lee, C. H., Chen, J. Y., & Jien, S. H. (2021). Effects of biochar on soil aggregation and distribution of organic carbon fractions in aggregates. *Processes*, 9(8), 1431. <https://doi.org/10.3390/pr9081431>.
- Li, S., Li, Z., Feng, X., Zhou, F., Wang, J., & Li, Y. (2021). Effects of biochar additions on the soil chemical properties, bacterial community structure and rape growth in an acid purple soil. *Plant, Soil, and Environment*, 67(3), 121-129. <https://doi.org/10.17221/390/2020-PSE>.
- Loeppert, R. H. & Suarez, D. L. (1996). Carbonate and gypsum. In Sparks, D. L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 3, 3rd Ed.* (pp. 437- 474). Madison, WI, USA: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy.
- Lusiba, S., Odhiambo, J., & Ogola, J. (2017). Effect of biochar and phosphorus fertilizer application on soil fertility: soil physical and chemical properties. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(4), 477-490.
- Marchuk, A., Rengasamy, P., & McNeill, A. (2013). Influence of organic matter, clay mineralogy, and pH on the effects of CROSS on soil structure is related to the zeta potential of the dispersed clay. *Soil Research*, 51(1), 34-40. <https://doi.org/10.1071/SR13012>.
- Masroor, M., Sajjad, H., Rehman, S., Singh, R., Rahaman, M. H., Sahana, M., ... & Avtar, R. (2022). Analysing the relationship between drought and soil erosion using vegetation health index and RUSLE models in Godavari middle sub-basin, Indiaan. *Geoscience Frontiers*, 13(2), 101312. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101312>.
- Mbagwu, J. S. C., & Schwertmann, U. (2006). Some factors affecting clay dispersion and aggregate stability in selected soils of Nigeria. *International Agrophysics*, 20(1), 23-30. <http://www.ipan.lublin.pl/int-agrophysics>.
- Mohhamadi, N., & Khademalrasoul, A. (2021). Assessment of Zeoplant and Biochar of Sugarcane Residual on Mean Weight Diameter and Atterberg Limits of Soil Contaminated with Total Petroleum Hydrocarbon. *Journal of Soil and Water Research*, 52(2), 396-407. doi: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2021.313247.668793> (In Persian).
- Moradi-Choghamarani, F., Moosavi, A. A., & Baghernejad, M. (2019a). Determining organo-chemical composition of sugarcane bagasse-derived biochar as a function of pyrolysis temperature using proximate and Fourier transform infrared analyses. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 138, 331-342. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08186-9>.
- Moradi-Choghamarani, F., Moosavi, A. A., Sepaskhah, A. R., & Baghernejad, M. (2019b). Physico-hydraulic properties of sugarcane bagasse-derived biochar: the role of pyrolysis temperature. *Cellulose*, 26, 7125-7143.
- Najafian, S., & Zahedifar, M. (2018). Productivity, essential oil components and herbage yield, of sweet basil as a function of biochar and potassium-nano chelate. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 21(4), 886-894.
- Nelson R. E. (1982). Carbonate and Gypsum. In Page, A. L. et al. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2, 2nd Ed.* (pp. 181-196). Madison, WI, USA: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy.
- Nelson, P. N., Baldock, A., Oades, J. M., Churchman, G. J., & Clarke, P. (1999). Dispersed clay and organic matter in soil: their nature and associations. *Soil Research*, 37(2), 289-316. <https://doi.org/10.1071/S98076>.
- Oguntunde, P. G., Abiodun, B. J., Ajayi, A. E., & Van De Giesen, N. (2008). Effects of charcoal production on soil physical properties in Ghana. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(4), 591-596. <https://doi.org/10.1002/jpln.200625185>.
- Pojasok, T., & Kay, B. D. (1990). Assessment of a combination of wet sieving and turbidimetry to characterize the structural stability of moist aggregates. *Canadian Journal of Soil Science*, 70(1), 33-42. <https://doi.org/10.4141/cjss90-004>.
- Rendana, M., Idris, W. M. R., Rahim, S. A., Rahman, Z. A., & Lihan, T. (2021). Characterization of physical,

- chemical and microstructure properties in the soft clay soil of the paddy field area. *SAINS TANAH- Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 18(1), 81-88. <https://dx.doi.org/10.20961/stjssa.v18i1.50489>.
- Rengasamy, P., Greene, R. S. B., Ford, G. W., & Mehanni, A. H. (1984). Identification of dispersive behaviour and the management of red-brown earths. *Soil Research*, 22(4), 413-431.
- Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In Sparks, D. L. et al. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 3, 3rd Ed.* (pp. 417-436). Madison, WI, USA: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy.
- Richard, S. L. A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils*, U. S. Salinity Laboratory Staff. USDA Hand book NO. 60. Washington DC, USA. 160 P.
- Saffari, N., Hajabbasi, M. A., Shirani, H., Mosaddeghi, M. R., & Mamedov, A. I. (2020). Biochar type and pyrolysis temperature effects on soil quality indicators and structural stability. *Journal of Environmental Management*, 261, 110-190. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110190>.
- Šimanský, V., Horák, J., & Bordoloi, S. (2022). Improving the soil physical properties and relationships between soil properties in arable soils of contrasting texture enhancement using biochar substrates: Case study in Slovakia. *Geoderma Regional*, 28 (2), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00443>.
- Singh, H., Northup, B. K., Rice, C. W., & Prasad, P. V. (2022). Biochar applications influence soil physical and chemical properties, microbial diversity, and crop productivity: a meta-analysis. *Biochar*, 4(1), 1-8. <https://doi.org/10.5539/jas.v6n1p1>.
- Singh, S., Chaturvedi, S., & Dhyani, V. C. (2023). Response of Enriched Biochar and Vermicompost on Nutrient and Seed Quality by Sweet Corn. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(19), 587-591. <https://www.sdiarticle5.com/review-history/104425>.
- Summer, M. E. & Miller, W. P. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficients. In Sparks, D. L. et al. (Eds.). *Methods of Soil Analysis, Part 3, 3rd Ed* (pp. 1201-1229). Madison, WI, USA: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy.
- Sun, F., & Lu, S. (2014). Biochars improve aggregate stability, water retention, and pore-space properties of clayey soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(1), 26-33. <https://doi.org/10.1002/jpln.201200639>.
- Sun, Z., Hu, Y., Shi, L., Li, G., Pang, Z. H. E., Liu, S., ... & Jia, B. (2022). Effects of biochar on soil chemical properties: A global meta-analysis of agricultural soil. *Plant, Soil and Environment*, 68(6), 272-289. 10.17221/522/2021-PSE.
- Sun, Z., Hu, Y., Shi, L., Li, G., Pang, Z. H. E., Liu, S., ... & Jia, B. (2022). Effects of biochar on soil chemical properties: A global meta-analysis of agricultural soil. *Plant, Soil and Environment*, 68(6), 272-289.
- Taghdisi Heydarian1, S.Z., Khorasani, R., & Emami, H. (2019). Effect of zeolite and cow manure on some physical properties of soil. *Water and Soil Conservation*, 25(5), 149-166. doi: 10.22069/jwsc.2018.12334-2691 (In Persian).
- Tang, Z., Lei, T., Yu, J., Shainberg, I., Mamedov, A. I., Ben-Hur, M., & Levy, G. J. (2006). Runoff and interrill erosion in sodic soils treated with dry PAM and phosphogypsum. *Soil Science Society of America Journal*, 70(2), 679-690. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0395>.
- Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil acidity. In Sparks, D. L. et al. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 3, 3rd Ed.* (pp. 475-490). Madison, WI, USA: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy.
- Weldon, S., Rasse, D. P., Budai, A., Tomic, O., & Dörsch, P. (2019). The effect of a biochar temperature series on denitrification: which biochar properties matter? *Soil Biology and Biochemistry*, 135, 173-183. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.04.018>.
- Xiang, W., Zhang, X., Chen, J., Zou, W., He, F., Hu, X., ... & Gao, B. (2020). Biochar technology in wastewater treatment: A critical review. *Chemosphere*, 252, 126539. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126539>.
- Xie, Y., Wang, L., Li, H., Westholm, L. J., Carvalho, L., Thorin, E., ... & Skreiberg, Ø. (2022). A critical review on production, modification and utilization of biochar. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 161, 105-405. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105405>.
- Xinliang, D. O. N. G., & Qimei, L. I. N. (2018). Biochar effect on soil physical properties: a review. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 26(12), 1846-1854. 10.13930/j.cnki.cjea.180277.
- Xu, S., Zhou, M., Chen, Y., Sui, Y., & Jiao, X. (2023). Biochar addition with water and fertilization reduction increases soil aggregate stability of 0–60 cm soil layer on greenhouse eggplant in mollisols. *Agronomy*, 13(6), 1-14. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061532>.



- Yang, W., Wang, Z., Zhao, H., Li, D., Jia, H., & Xu, W. (2024). Biochar application influences the stability of soil aggregates and wheat yields. *Plant, Soil & Environment*, 70(3), 125-141. <https://doi.org/10.17221/199/2023-PSE>.
- Zahedifar, M. (2020a). Effect of biochar on cadmium fractions in some polluted saline and sodic soils. *Environmental Management*, 66(6), 1133-1141.
- Zahedifar, M. (2020b). Iron fractionation in the calcareous soils of different land uses as influenced by biochar. *Waste and Biomass Valorization*, 11(5), 2321-2330.
- Zahedifar, M., & Moosavi, A. A. (2017). Modeling desorption kinetics of the native and applied zinc in biochar-amended calcareous soils of different land uses. *Environmental Earth Sciences*, 76, 1-11.
- Zahedifar, M., & Moosavi, A. A. (2020). Assessing cadmium availability of contaminated saline-sodic soils as influenced by biochar using the adsorption isotherm models. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66(12), 1735-1752.
- Zahedifar, M., Moosavi, a. a., & Gavili, E. (2023). Monitoring soil quality indices and soybean yield as influenced by integrated biochar and drought stress. *Environment, Development and Sustainability*, 20(12), 1-20. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03947-x>.
- Zhang, Y., Wang, J., & Feng, Y. (2021). The effects of biochar addition on soil physicochemical properties: A review. *Catena*, 202, 105-284. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105284>.
- Zhang, Y., Wang, J., & Feng, Y. (2021). The effects of biochar addition on soil physicochemical properties: A review. *Catena*, 202, 105284.
- Zobeidi, T., Yazdanpanah, M., Komendantova, N., Sieber, S., & Loehr, K. (2021). Factors affecting smallholder farmers' technical and non-technical adaptation responses to drought in Iran. *Journal of Environmental Management*, 298, 113-552. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113552>.