Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Water and Soil Conservation

Print ISSN: 2322-2069
Online ISSN: 2322-2794

Effect of the amount and particles size of Conocarpus Biochar on physical and hydraulic properties and evaporation from loam sandy soil surface

Faeze Barahooi[1], Halimeh Piri[*2], Amir Naserin[3]

1. M.Sc. Student, Dept. of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: faezehbarahouie890@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: h_piri2880@uoz.ac.ir
3. Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran. E-mail: a.naserin@asnrukh.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 03.06.2023
Revised: 05.28.2023
Accepted: 08.12.2023

Keywords:
Sistan plain,
Soil amendment,
Soil conservation,
Soil water holding capacity

ABSTRACT

Background and Objectives: One of the important activities to improve water holding in the soil and as a result increasing soil fertility is the use of modifiers. In arid and semi-arid areas, due to the lack of sufficient vegetation and the return of a small number of plant residues to the soil, the amount of organic matter in the soil is very low. Therefore, the use of organic fertilizers can be a suitable solution to improve the physical and chemical conditions of the soil in these areas. In recent years, Biochar has been used as a soil modifier (source of organic carbon) and as a method for carbon sequestration in the soils of arid and desert areas. The high ability of this material to absorb and store nutrients and prevent them from leaching, and absorb toxics compounds and chemical fertilizers increases soil fertility. The Sistan plain is located in the southeast of Iran with poor soils in terms of organic matter and high evaporation. The predominant texture of the soil in the Sistan region is loam sandy, which has a low water holding capacity. Accordingly, due to the very low rainfall, the soil condition of the region and high evaporation, this research aims to maintain and increase the water retention capacity in the soil and improve the physical characteristics of the loam sand of the Sistan region by using different compositions and sizes of biochar (prepared by pruning the leaves of Conocarpus shrubs).

Materials and Methods: In this research, the effect of three biochar diameter ranges (<0.25, 0.25-1 and 1-2 mm) and three amounts of Cenocarpus biochar (2, 4 and 8% by weight) on the properties of hydraulic and physical soil and evaporation from the soil surface with loam sandy were studied. The experiments were conducted in 3 replications in a completely randomized design. To carry out the experiments, polyethylene columns with a diameter of 10cm and a height of 35 cm were prepared. The bottom of columns was covered with cloth. The soil with different treatments of size and amount of biochar was manually added to the columns and filled with gentle blows to the column to reaching a height of 30 cm. To measure evaporation, 100 mm of water was added to the soil for 5 weeks (20 mm per week). Evaporation was measured by weighting method every day. The saturated hydraulic conductivity was measured by constant head method. Also, the soil salinity and moisture were measured

at three depths of 0-10, 10-20 and 20-30 cm. The bulk density and water holding capacity of the soil were also measured.

Results: The results showed that with the increase in the amount of used biochar (treatment 8% biochar), the bulk density and saturated hydraulic conductivity of the soil decreased by 29.32 and48.1%, respectively, compared to the control treatment (treatment without biochar). By increasing the amount of biochar and decreasing its particle size, the water holding capacity in the soil increased. The treatment with 8% by weight of biochar and the particle size of <0.25 mm had the greatest (43.54%) increase in the water holding capacity in the soil. By increasing the amount of biochar and decreasing its particle size, soil salinity increased compared to the control treatment. However, the evaporation decreased with the increasing in the amount of biochar and the decrease in its particle size.

Conclusion: According to the obtained results, biochar has positive effects on the physical and hydraulic properties of coarse texture soils. However, these changes depend on the amount and size of biochar particles. Utilizing biochar as a soil modifier in coarse soils with low water holding capacity and high evaporation condition, especially in arid and semi-arid areas that are facing the water scarcity, is a very suitable solution. Nevertheless, it is noteworthy that increasing biochar levels in soil can increase soil salinity. In general, according to the obtained results, in order to maximize the benefits of adding biochar, in to determine optimal amount, economic conditions should also be considered. This requires more research, especially in field conditions.

Cite this article: Barahooi, Faeze, Piri, Halimeh, Naserin, Amir. 2023. Effect of the amount and particles size of Conocarpus Biochar on physical and hydraulic properties and evaporation from loam sandy soil surface. *Journal of Water and Soil Conservation*, 30 (2), 97-117.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jwsc.2023.21149.3633
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۶۹
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۹٤

تأثیر مقدار و اندازه ذرات زغال زیستی کنوکارپوس بر خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی و تبخیر از سطح خاک لوم شنی

فائزه براهویی[۱]، حلیمه پیری*[۲]، امیر ناصرین[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: faezehbarahouie890@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: h_piri2880@uoz.ac.ir
۳. استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران. رایانامه: a.naserin@asnrukh.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۰۱/۱۲/۱۵
تاریخ ویرایش: ۰۲/۰۳/۰۷
تاریخ پذیرش: ۰۲/۰۵/۲۱

واژه‌های کلیدی:
اصلاح خاک،
حفاظت خاک،
دشت سیستان،
ظرفیت نگهداری آب خاک

چکیده

سابقه و هدف: یکی از اقدامات مهم برای بهبود نگهداری آب در خاک و درنتیجه افزایش حاصلخیزی خاک، استفاده از اصلاح‌کننده‌ها است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌علت نبود پوشش گیاهی کافی و بازگشت مقدار کم بقایای گیاهی به خاک، مقدار مواد آلی خاک بسیار کم است. بنابراین، مصرف انواع کودهای آلی می‌تواند راه‌کار مناسبی برای بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک در این مناطق باشد. در سال‌های اخیر از زغال زیستی به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک (منبع کربن آلی) و به‌نوعی روشی برای ترسیب کربن در خاک‌های مناطق خشک و بیابانی استفاده شده است. توانایی بالای این ماده در جذب و نگهداری عناصر غذایی و جلوگیری از آبشویی آن‌ها، جذب ترکیبات سمی و کودهای شیمیایی حاصلخیزی خاک را افزایش می‌دهد. دشت سیستان با خاک‌های فقیر ازنظر مواد آلی و تبخیر زیاد از سطح آب در جنوب شرقی ایران قرار دارد. بافت غالب خاک منطقه سیستان لوم شن با ظرفیت نگهداری آب پایین است. بنابراین به‌علت بارندگی بسیار کم، وضعیت خاک منطقه و تبخیر بالا، این پژوهش با هدف حفظ و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک لوم شنی منطقه سیستان با به کار بردن ترکیبات و اندازه‌های مختلف زغال زیستی تهیه شده از هرس شاخ و برگ درختچه‌های کنوکارپوس انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش به بررسی تأثیر سه دامنه قطر زغال زیستی کنوکارپوس (کم‌تر از ۰/۲۵، ۰/۲۵-۱ و ۱-۲ میلی‌متر) و سه مقدار زغال زیستی کنوکارپوس (۲، ٤ و ۸ درصد وزنی) بر هدایت هیدرولیکی و خصوصیات فیزیکی خاک و تبخیر از سطح خاک با بافت لوم شنی پرداخته شد. آزمایش‌ها در ۳ تکرار و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. برای انجام آزمایش‌ها ستون‌هایی از جنس پلی‌اتیلن به قطر ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر تهیه شد.

ستون‌ها از کف به‌وسیله پارچه بسته شد. خاک با تیمارهای مختلف اندازه و مقدار زغال زیستی به‌صورت دستی به ستون‌ها افزوده شد و با ضربات آرام به بدنه ستون تا رسیدن به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر پر شد. برای اندازه‌گیری تبخیر، ۱۰۰ میلی‌متر آب در ۵ هفته (هر هفته ۲۰ میلی‌متر) به خاک اضافه شد. تبخیر از سطح خاک هرروز به روش وزنی اندازه‌گیری شد. هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به روش بار ثابت اندازه‌گیری شد. هم‌چنین شوری و رطوبت خاک در سه عمق ۱۰-۰، ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ سانتی‌متری خاک اندازه‌گیری شد. چگالی ظاهری و ظرفیت نگهداشت آب در خاک نیز اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد با افزایش مقدار زغال زیستی مصرفی (تیمار ۸ درصد وزنی زغال زیستی)، چگالی ظاهری و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک نسبت به تیمار شاهد (تیمار بدون بیوچار) به ترتیب ۲۹/۳۲٪ و ٤٨/١٪ کاهش یافت. با افزایش مقدار بیوچار و کاهش اندازه ذرات آن، ظرفیت نگهداشت آب در خاک افزایش یافت. تیمار ۸ درصد وزنی زغال زیستی و اندازه ذرات کم‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر بیش‌ترین (٤٣/٥٤٪) افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک را دارا بود. با افزایش مقدار زغال زیستی و کاهش اندازه ذرات آن، شوری خاک نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. هرچند، با افزایش مقدار زغال زیستی و کاهش اندازه ذرات آن، تبخیر کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست آمده زغال زیستی اثرات مثبتی بر خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک‌های با بافت نسبتاً سبک دارد. اگرچه، این تغییرات بستگی به مقدار و اندازه ذرات بیوچار دارد. استفاده از زغال زیستی به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک در خاک‌های سبک بافت که ظرفیت نگهداری آب کم و تبخیر بالایی دارند، به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با مشکل کمبود آب مواجه هستند، راهکار بسیار مناسبی است. اما باید توجه داشت که افزایش سطوح زغال زیستی در خاک می‌تواند باعث افزایش شوری خاک شود. به‌طورکلی، با توجه به نتایج به‌دست آمده جهت بهره‌برداری حداکثری از افزودن زغال زیستی، علاوه بر انتخاب مقدار بهینه آن، در نظر گرفتن شرایط اقتصادی هم ضروری است. این امر مستلزم انجام پژوهش‌های بیش‌تر به‌خصوص در شرایط مزرعه‌ای است.

استناد: براهویی، فائزه، پیری، حلیمه، ناصرین، امیر (۱۴۰۲). تأثیر مقدار و اندازه ذرات زغال زیستی کنوکارپوس بر خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی و تبخیر از سطح خاک لوم شنی. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۳۰ (۲)، ۱۱۷-۹۷.

DOI: 10.22069/jwsc.2023.21149.3633

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده در رشد و استقرار نهال به‌خصوص در ایجاد پوشش جنگلی در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. خشکی همیشه یک تهدید اصلی برای گیاهان زراعی به شمار می‌آید و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی در نظر گرفته می‌شود. کاهش رشد به علت کاهش تقسیم سلولی، کاهش توسعه سلول، کاهش فتوسنتز به علت بسته شدن روزنه‌ها، اختلال در جذب مواد غذایی، کاهش تولید ماده خشک و کاهش عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان زراعی از اثرات منفی تنش خشکی بر رشد و نمو آن‌ها می‌باشد (۱). گزارش‌ها و پژوهش‌ها نشان داده است مقدار آب مورداستفاده در بخش کشاورزی قادر به تأمین آب کل اراضی قابل‌کشت نیست (۲). از طرفی خاک‌های با بافت سبک ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی کمی دارند. آب و مواد غذایی در محدوده ریشه گیاه در این خاک‌ها شسته شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود و باعث نابود شدن گیاه می‌شود. بنابراین استفاده از فناوری‌های جدید برای بالا بردن کارایی مصرف آب در خاک‌های با بافت سبک امری ضروری است. استفاده از مواد اصلاح‌کننده و افزودنی به خاک مانند زغال زیستی در این راستا می‌تواند مفید باشد. افزودن مواد آلی اصلاحی به خاک، از طریق تأثیر برافزایش کارایی مصرف آب و بهبود خصوصیات فیزیکی خاک، یکی از راه‌های مؤثر در مقابله با کمبود آب است (۲).

در سال‌های اخیر از زغال زیستی به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک (منبع کربن آلی) و به‌نوعی روشی برای ترسیب کربن در خاک‌های مناطق خشک و بیابانی استفاده شد (۳). توانایی بالای این ماده در جذب و نگهداری عناصر غذایی و جلوگیری از آبشویی آن‌ها، جذب فلزات سمی و کودهای شیمیایی باعث افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود (٤). زغال زیستی به علت سرعت تجزیه بسیار کند نسبت به سایر مواد آلی، ظرفیت زیادی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسیدکربن و متان که از ضایعات آزاد می‌شود، دارد و می‌تواند کربن را برای دوره‌های طولانی ذخیره کند و باعث بهبود عملکرد خاک شود (۵). گزارش‌هایی مبنی بر تأثیر مثبت زغال زیستی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند بهبود سطح ویژه، افزایش ظرفیت ذخیره آب و نفوذپذیری خاک ارائه شده است (٦). اثرات بلندمدت بیوچار خرما بر تخلخل و پایداری ساختمان خاک لوم رسی شنی موردبررسی قرار گرفت و بیان شد زغال زیستی با داشتن تخلخل و مقدار کربن آلی قابل‌توجه، سبب بهبود تخلخل و پایداری ساختمان خاک شده است. بنابراین می‌توان از آن برای بهبود ساختمان خاک‌های تخریب‌یافته و ضعیف استفاده کرد (۷). ایده اصلی استفاده از زغال زیستی در خاک‌های سبک، بهبود از دست دادن تبخیر آب و حاصلخیزی خاک و جلوگیری از بیابان‌زایی است. زغال زیستی از دو طریق ظرفیت نگهداری آب در خاک را افزایش می‌دهد: اولاً، با نگه‌داشتن آب در منافذ با نیروی موئینگی باعث افزایش نگهداری آب خاک شود و از تحرک آب بکاهد (۸). ثانیاً، راه دیگر تغییر خصوصیات هیدرولیکی خاک است (۹). زغال زیستی اضافه‌شده به خاک می‌تواند بااتصال به سایر مواد تشکیل‌دهنده خاک، تجمع خاک را بهبود بخشد (۱۰ و ۱۱). پژوهش‌گران در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که کاربرد زغال زیستی در خاک سبب کاهش هدایت هیدرولیکی خاک ماسه‌ای می‌شود (۱۲). پژوهش‌ها نشان داده است افزودن زغال زیستی باعث کاهش هدایت هیدرولیکی خاک شنی و ماسه‌ای می‌شود. ذرات ریز زغال زیستی منافذ درشت خاک شنی را می‌گیرد و سبب کاهش تخلخل و درنتیجه

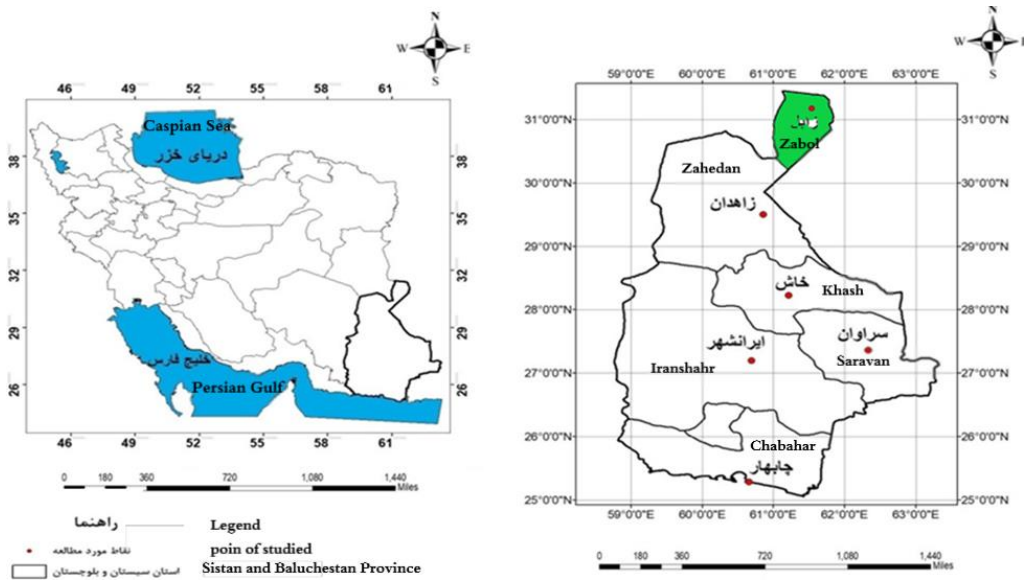
کاهش هدایت هیدرولیکی این خاک‌ها می‌شود (۱۳). اثر بیوچار برگ خرما بر مقدار رطوبت در خاک لوم شنی موردبررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد زغال‌زیستی مورداستفاده باعث کاهش وزن مخصوص و افزایش رطوبت خاک شد (۱٤). هم‌چنین زغال‌زیستی حاصل از شلتوک برنج در سطوح ۰، ۲ و ٦ درصد وزنی به یک خاک رسی افزوده شد. نتایج نشان داد در نمونه‌های حاوی زغال‌زیستی در مقایسه با تیمار شاهد (بدون زغال‌زیستی) ظرفیت نگهداری رطوبت به ترتیب ۱۲، ۲۰ و ۳۱ درصد افزایش پیدا می‌کند (۱۵).

کنوکارپوس درختچه‌ای همیشه‌سبز است که معمولاً در مناطق گرمسیر و با خاک شور کشت می‌شود. نام علمی این درخت، *Conocarpus* و نام محلی آن مانگرو است. این درخت بومی آمریکای شمالی است (۱٦). کنوکارپوس درختچه‌ای زینتی، به ارتفاع یک و نیم تا چهار متر است که به دلیل رشد بسیار سریع، مقاومت و سازگاری بالا با آب‌وهوای گرم و خشک، شرایط ضعیف تهویه خاک، زهکشی بد و خاک خشک در فضاهای سبز به‌طور گسترده کاشته می‌شود (۱۷). با توجه به مقاومت بالا و سازگاری خوب این گیاه به شرایط گرم و خشک، در دهه گذشته به‌صورت وسیع در فضای سبز استان خوزستان و شهرهای جنوبی ایران و ایرانشهر در استان سیستان و بلوچستان کاشته شده است. رشد بسیار سریع این درختچه یکی دیگر از عوامل مهمی است که در اهمیت بالقوه آن نقش داشته است (۱۸). در دهه‌های اخیر کاشت کنوکارپوس در شهرستان ایرانشهر به‌منظور ایجاد فضای سبز، تلطیف هوا و کاستن آلودگی هوا و خاک، رشد فزاینده‌ای داشته است. هم‌چنین کاشت این گیاه در فضای سبز شهر زابل نیز دیده می‌شود. یکی از مشکلاتی که این گیاه ایجاد کرده است، رشد سریع آن و هرس این درخت است. با توجه به مقدار کشت این درخت غیرچوبی در مناطق شهری و ضرورت هرس سالیانه، حجم زیادی پسماند لیگنوسلولزی تولید می‌کند که می‌تواند به‌عنوان یک پتانسیل جهت استفاده در صنایع کاغذ و زغال‌زیستی موردتوجه قرار گیرد.

دشت سیستان از دیرباز یکی از قطب‌های مهم کشاورزی در مناطق خشک ایران بوده است. چندی است که به علت خشک‌سالی، سیاست نادرست کشور افغانستان در خصوص جلوگیری از ورود آب رودخانه هیرمند به منطقه سیستان و مواجه‌شدن این منطقه با کم‌آبی شدید، روش‌های نامناسب و نادرست آبیاری و مزید بر همه این مسائل، وضعیت آب و هوایی نامناسب، بارندگی سالانه ناچیز و تبخیر بسیار شدید از سطح منطقه به‌میزان قابل‌توجهی حاصلخیزی اراضی منطقه کاهش یافته و هم‌چنین بادها و طوفان‌های شدید تابستانه، تمام سطح زمین را به شوره‌زار تبدیل کرده است و زمین دیگر قابلیت محصول‌دهی قبلی را ندارد. فعالیت‌های نادرست کشاورزی و خشک‌سالی‌های شدید به دلیل تغییرات آب و هوایی منجر به تخریب بیش‌تر خاک و بیابان‌زایی در منطقه شده است. مشکل ماسه‌های روان ناشی از بیابان‌زایی در مناطق مختلف دشت سیستان قابل‌مشاهده است که همه‌ساله، علاوه بر عوارض اجتماعی و بهداشتی، خسارات مالی جبران‌ناپذیری را برای ساکنان منطقه به وجود آورده است (۱۹). بافت غالب خاک منطقه سیستان لوم شن است. که دارای ظرفیت نگهداری آب پایین است. بنابراین به علت بارندگی بسیار کم، بافت خاک منطقه و تبخیر بالا، این پژوهش با هدف حفظ و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک لوم شنی منطقه سیستان با به کار بردن ترکیبات و اندازه‌های مختلف زغال‌زیستی تهیه‌شده از هرس شاخ و برگ درختچه‌های کنوکارپوس کشت‌شده در ایرانشهر انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه دشت سیستان است. این منطقه در طول جغرافیایی ٦١ درجه و ١٠ دقیقه تا ٦١ درجه و ٤٩ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ٢٩ درجه و ٥٥ دقیقه تا ٣١ درجه و ٢٠ دقیقه شمالی واقع‌شده است. این منطقه با اقلیم گرم و خشک با متوسط بارش سالیانه منطقه ٥٥ میلی‌متر و میزان تبخیر سالیانه ٤٥٠٠ تا ٥٠٠٠ میلی‌متر و ارتفاع از سطح دریا ٤٨٩/٢ متر است (٢٠). شکل ١ منطقه موردمطالعه را نشان می‌دهد. غالب بافت خاک منطقه لوم شن است (٢١). در پژوهش حاضر، ابتدا خاک با بافت لوم شنی از منطقه تهیه شده، هوا خشک شده و سپس از الک ٢ میلی‌متر عبور داده شد. خصوصیات خاک شامل بافت خاک به روش هیدرومتری، وزن مخصوص ظاهری با استفاده از پیکنومتر و شوری خاک به روش عصاره اشباع خاک اندازه‌گیری شد (جدول ١).



شکل ١- موقعیت منطقه موردمطالعه در کشور و استان سیستان و بلوچستان.

Figure 1. Location of the studied area in the country and province of Sistan and Baluchistan.

جدول ١- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه موردمطالعه.

Table 1. Some physical and chemical characteristics of the soil in study area.

بافت خاک Soil texture	شن Sand (%)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	وزن مخصوص ظاهری Bulk density ($gr.cm^{-3}$)	شوری خاک Soil salinity ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH
لوم شن Loam sandy	56	7	37	1.33	9.5	6.9

زغال‌زیستی مورداستفاده از بقایای شاخ و برگ کنوکارپوس تهیه شد. بدین‌منظور، شاخ و برگ کنوکارپوس تا خشک شدن در معرض نور خورشید قرارگرفته و سپس به قطعات ریز خردشد. قطعات خرد شده به مخزن تهیه زغال‌زیستی منتقل شد و در شرایط تقریباً بدون اکسیژن در معرض حرارت ٤٠٠-٤٥٠ درجه قرار گرفت (٢٢). جدول ٢ برخی خصوصیات بیوچار مورداستفاده را نشان می‌دهد.

زغال‌زیستی تهیه‌شده در روی سری الک‌ها قرار داده شد و در سه اندازه کم‌تر از ۰/۲۵، ۱-۰/۲۵ و ۲-۱ میلی‌متر جداسازی شد. زغال‌زیستی در اندازه‌های مختلف در مقادیر ۲، ٤ و ۸ درصد وزنی به‌طور یکنواختی با خاک اختلاط داده شد.

جدول ۲- برخی خصوصیات شیمیایی بیوچار مورداستفاده در پژوهش حاضر.

Table 2. Some chemical characteristics of the biochar used in current research.

منیزیم Magnesium (meq/lit)	کلسیم Calcium (meq/lit)	پتاسیم Potassium (meq/lit)	فسفر Phosphorus (meq/lit)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (ds/m)	اسیدیته pH
11.5	14.5	84.8	10.1	22.3	41.4	6.9	7.3

برای انجام این آزمایش ستون‌هایی از جنس پلی‌اتیلن به قطر ۱۰ و ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر تهیه شد. ستون‌ها از کف به‌وسیله پارچه بسته شدند. خاک (در هر یک از اختلاط‌های موردنظر) به‌صورت دستی به ستون‌ها افزوده شد و با ضربات آرام به بدنه ستون با هدف رسیدن و نزدیک شدن به جرم مخصوص خاک منطقه تا رسیدن به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر پر شد.

در یک دوره ۳۵ روزه به میزان ۱۰۰ میلی‌متر آب به ستون خاک داده شد. این کار به‌صورت ۷ روز یک‌بار و هر دفعه به میزان برابر ۲۰ میلی‌متر آب به هر ستون داده شد. درنتیجه خاک به‌صورت هفتگی یک دوره خشک- تر داشت. در طی این مدت میزان تبخیر تجمعی از هر ستون برای هر دوره و برای کل مدت آزمایش محاسبه شد. برای تعیین میزان آب تبخیر شده از ستون خاک، ستون‌ها به‌صورت روزانه با ترازوی با دقت بالا توزین شد.

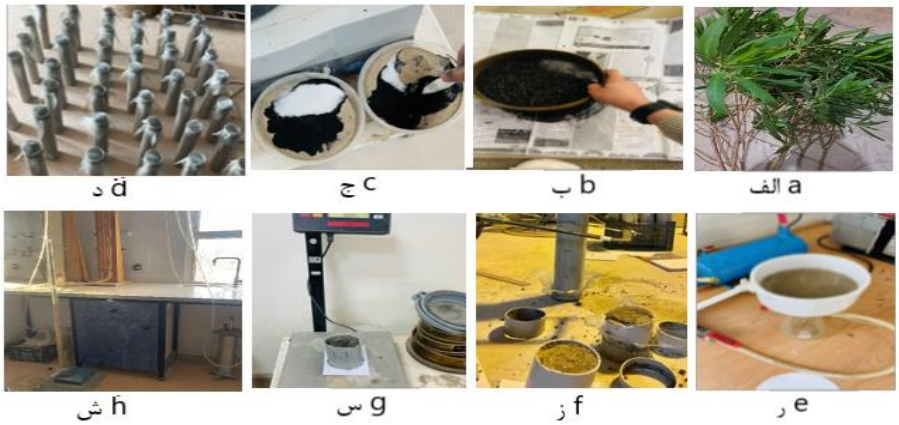
پس از گذشت دوره ۳۵ روزه با ۵ نوبت آبیاری، برای تعیین چگونگی توزیع رطوبت خاک، ستون خاک به سه قطعه ۱۰ سانتی‌متری تقسیم شد و رطوبت هر بخش به‌صورت وزنی اندازه‌گیری شد. برای تعیین مقدار رطوبت، نمونه‌ها به مدت ٢٤ ساعت در آون قرار گرفت. هم‌چنین شوری عصاره اشباع نمونه‌ها برای بررسی توزیع شوری خاک در هر سه عمق اندازه‌گیری شد.

آزمایش‌ها با استفاده از یک ستون به ارتفاع ۳۰ و قطر ۱۰ سانتی‌متر انجام شد. برای ایجاد یک هد ثابت در ستون خاک، یک مخزن به‌صورت بطری ماریوت به ستون خاک وصل شد. آزمایش، تا حصول اطمینان از رسیدن رطوبت به حالت تعادل (٤٨ ساعت) انجام شد. در انتهای آزمایش، رطوبت به‌صورت وزنی تعیین شد.

با توجه به بافت سبک خاک به‌کار رفته در انجام این پژوهش، هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار ثابت انجام شد. برای این منظور هد ثابتی روی نمونه اعمال و بااستفاده از روش دارسی هدایت هیدرولیکی اشباع نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. با توجه به رابطه دارسی، هدایت هیدرولیکی با استفاده از رابطه ۱ اندازه‌گیری شد:

$$K_s = \frac{Q \times L}{A \times t \times h} \qquad (۱)$$

که در آن، Ks هدایت هیدرولیکی اشباع، Q دبی خروجی از ستون، t زمان انجام آزمایش، L طول نمونه، A سطح مقطع ستون و h اختلاف هد در دو سرستون است. در شکل ۲ نمونه‌ای از مراحل انجام آزمایش‌ها نشان داده شده است.



شکل ۲- نمونه‌ای از آزمایش‌ها انجام‌شده، تهیه شاخ و برگ کنوکارپوس (الف)، الک کردن بیوچار (ب)، اختلاط خاک و زغال‌زیستی (ج)، تهیه ستون‌های آزمایش (د)، تهیه عصاره اشباع خاک (ر)، برش ستون‌های خاک (ز)، وزن کردن نمونه‌ها (س)، اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی (ش).

Figure 2. An example of the tests performed, Preparation of Conocarpus foliage (a), sieving biochar (b), mixing soil and biochar (c), preparation of test columns (d), preparation of saturated soil extract (e), cutting of soil columns (f)), weighing samples (g), measuring hydraulic conductivity (h).

اندازه‌گیری‌های پژوهش در سه تکرار انجام شد. در پایان داده‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل و میانگین‌ها با آزمون دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری شده در جدول ۳ داده شده است. همان‌طور که از جدول مشاهده می‌شود اندازه ذرات زغال زیستی، مقدار زغال زیستی کاربردی و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال پنج و یک درصد بر پارامترهای تبخیر از سطح خاک، شوری، نگهداشت رطوبت، رطوبت وزنی، جرم مخصوص ظاهری و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک تأثیر معنی‌دار داشت.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات و درجه آزادی) پارامترهای اندازه‌گیری شده.

Table 3. The results of variance analysis(mean square and degree of freedom) of the measured parameters.

منابع تغییرات Sources of changes	درجه آزادی Degree of freedom	چگالی ظاهری Bulk density	تبخیر Evapotranspiration	شوری Salinity	رطوبت وزنی Weighted moisture	نگهداشت رطوبت Moisture retention	هدایت هیدرولیکی Hydraulic conductivity
اندازه ذرات زغال زیستی particle size of Biochar (A)	2	0.00076*	0.0035*	0.0081*	42.63*	39.72*	218.42*
مقدار زغال زیستی amount of biochar (B)	2	0.00023**	0.024**	0.0042**	59.24**	71.56**	362.25**
A*B	4	0.00017*	0.0075*	0.0093*	98.83*	78.62*	394.82*
خطا Error		0.00006ns	0.0004ns	0.00005ns	19.41ns	12.45ns	116.25ns
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation		8.1	6.5	3.7	4.7	7.2	5.4

مقایسه میانگین اثرات ساده و متقابل مقدار و اندازه ذرات زغال زیستی بر جرم مخصوص ظاهری، نگهداشت رطوبت و هدایت هیدرولیکی خاک در جدول‌های ٤ و ٥ نشان داده شده است.

جرم مخصوص ظاهری خاک: مطابق جدول ٤ مقدار بیوچار بر جرم مخصوص ظاهری تأثیر معنی‌دار داشت. با افزایش مقدار زغال زیستی مصرفی، جرم مخصوص ظاهری نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. بیش‌ترین مقدار جرم مخصوص ظاهری ۱/۳۳ (گرم بر سانتی‌مترمکعب) از تیمار شاهد (بدون مصرف زغال زیستی) و کم‌ترین مقدار آن (۰/۹٤ گرم بر سانتی‌مترمکعب) از تیمار ۸ درصد وزنی مصرف زغال زیستی به‌دست آمد. تیمارهای ۲، ٤ و ۸ درصد وزنی زغال زیستی باعث کاهش به ترتیب ٥/۲٦، ۱۳/٥۳ و ۲۹/۳۲ درصدی جرم مخصوص ظاهری نسبت به تیمار شاهد شد. کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در حضور زغال زیستی به دو دلیل می‌تواند رخ دهد، یکی به‌دلیل مخلوط شدن خاک با ماده‌ای با جرم مخصوص ظاهری کم‌تر و دیگری ناشی از تأثیر افزایش ماده آلی خاک در اثر کاربرد زغال زیستی است. ماده آلی باعث بهبود ساختمان خاک، شکل‌گیری خاکدانه‌ها و پایداری آن‌ها می‌شود و از این طریق جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد (۲۳). سایر پژوهش‌گران نیز براساس نتایج پژوهش خود بیان کردند که افزایش منافذ خاک در اثر مواد آلی موجود در زغال زیستی، باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود (۲٤، ۲٥ و ۲٦). مصرف زغال زیستی ذرت باعث کاهش ۸٤ درصدی جرم مخصوص ظاهری خاک شد (۲۳). هم‌چنین بررسی اثر زغال زیستی تولید شده از خرده‌چوب نشان داد افزودن ۳ درصد وزنی زغال زیستی به خاک لوم شن، باعث کاهش ۱۳/۳ درصدی جرم مخصوص ظاهری خاک شد (۲۷). افزایش کربن آلی خاک با افزودن اصلاح‌کننده‌های آلی مانند زغال زیستی و تغییر در تراکم دانه‌های خاک باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود و علت آن را تغییر اندازه خاکدانه عنوان کردند. افزودن زغال زیستی باعث هماوری خاکدانه‌های میکرو شده و در نتیجه جرم مخصوص ظاهری کاهش می‌یابد (۲۸ و ۲۹). اندازه ذرات زغال زیستی نیز بر جرم مخصوص ظاهری خاک تأثیر معنی‌دار داشت. کاهش مقدار جرم مخصوص ظاهری نسبت به تیمار شاهد، در ذرات ریز کم‌تر از ذرات درشت زغال زیستی بود. به طوری‌که ذرات با اندازه کم‌تر از ۰/۲٥ میلی‌متر، ۱۱/۲۷ درصد و ذرات با اندازه ۲-۱ میلی‌متر، ۲۸/٥۷ درصد جرم مخصوص ظاهری را کاهش داد. استفاده از ذرات ۲-۱ میلی‌متر به علت درشت بودن و قرار گرفتن در فضای بین ذرات و ایجاد تخلخل درشت، در کاهش جرم مخصوص ظاهری مؤثر بودند. در صورتی که ذرات ریز زغال زیستی عموماً منافذ درشت خاک (جایی که ذرات درشت زغال زیستی نمی‌توانند قرار گیرند) را پر کرده و پیوند ذرات خاک را بهبود می‌بخشد. ذرات ریز و پودری زغال زیستی در خاک‌های درشت بافت، منافذ و کانال‌های تهویه‌ای را پر و مسدود کرده و با عدم تعادل بین فاز مایع و هوا سبب کاهش تخلخل درشت می‌شود (۳۰). اثر متقابل مقدار و اندازه ذرات زغال زیستی (جدول ٥) نشان داد استفاده از ۸ درصد وزنی زغال زیستی و با اندازه ذرات ۲-۱ میلی‌متر بیش‌ترین تأثیر در کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک را داشت. با افزایش مصرف زغال زیستی و افزایش قطر ذرات، جرم مخصوص ظاهری کاهش داشت. دلیل اصلی کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک‌های درشت بافت با اضافه شدن زغال زیستی به آن، افزایش سطح ویژه کل خاک است.

نگهداشت رطوبت خاک: مطابق جدول ٤ با افزایش مصرف زغال زیستی نگهداشت رطوبت در خاک افزایش یافت. استفاده ۸ درصد وزنی زغال زیستی نسبت به تیمار شاهد، ٤٨/١٪ نگهداشت آب در خاک را افزایش داد. یکی از خصوصیات اصلی زغال زیستی افزایش نگهداشت آب در خاک است (۳۱). بررسی مطالعات انجام شده نشان‌دهنده نقش مثبت زغال زیستی در افزایش تخلخل کل، کاهش چگالی ظاهری خاک و نیز افزایش ظرفیت نگهداشت رطوبت خاک است. علت افزایش قدرت نگهداشت رطوبت در خاک لومی شنی را اصلاح ساختار منافذ خاک بعد از اعمال زغال زیستی در خاک عنوان کردند (۳۲). افزایش نگهداشت آب در خاک به‌علت منافذ زیاد زغال زیستی است که این منافذ باعث تجمع مواد غذایی و افزایش نگهداری آب در خاک می‌شود (۳۳). نتایج نشان داد هرچه ذرات زغال زیستی ریزتر باشند، نگهداشت آب در خاک افزایش می‌یابد. تیمار اندازه ذرات زغال زیستی کم‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر نسبت به تیمار شاهد، به اندازه ٥١/٤١ درصد نگهداشت آب در خاک را افزایش داد. کم‌ترین افزایش ۷/۰٤ درصد مربوط به اندازه ذرات ۲-۱ میلی‌متر بود. اثر متقابل اندازه و مقدار زغال زیستی (جدول ٥) نشان داد با افزایش مقدار زغال زیستی مصرفی و کاهش اندازه ذرات مقدار نگهداشت آب در خاک افزایش می‌یابد. تیمار ۸ درصد وزنی زغال زیستی و اندازه ذرات کم‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر بیش‌ترین (٤٣/٥٤٪) و تیمار ۲ درصد وزنی زغال زیستی و اندازه ذرات ۲-۱ میلی‌متر کم‌ترین (۳۱/۲۸٪) نگهداشت آب در خاک را داشت. اثر تغییر در اندازه ذرات زغال زیستی در یک مقدار ثابت، به مقدار زغال زیستی اضافه شده به خاک بستگی داشت. مطابق جدول ٥ می‌توان بیان کرد در صورتی‌که زغال زیستی با ذرات درشت یا ریز استفاده شود، با افزایش مقدار زغال زیستی مصرفی می‌توان ظرفیت نگهداشت آب در خاک را افزایش داد. به‌عنوان نمونه تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای اندازه ذرات کم‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر و مقدار ٤ درصد وزنی زغال زیستی با تیمارهای ۲-۱ و ۱-۰/۲۵ میلی‌متر و ۸ درصد وزنی زغال زیستی مشاهده نشد. به عبارت دیگر می‌توان نتیجه گرفت با افزایش مقدار زغال زیستی مصرفی می‌توان اثر تغییر اندازه ذرات را جبران کرد. نتایج پژوهش‌ها نشان داد زغال زیستی کاه گندم با اندازه ذرات ۰/٥-۰ و مقادیر ۰/٥٪ باعث پایداری خاکدانه و افزایش قابلیت نگهداشت آب در خاک شد (۳٤). تأثیر اندازه ذرات به نوع، مقدار و روش تهیه زغال زیستی بستگی دارد (۳٥). در این راستا پژوهش‌گران گزارش کردند استفاده از زغال چوب تهیه شده از چوب کاج به میزان ۰/٥ و ۱ درصد وزنی در خاک لوم شنی نتوانست تأثیر معنی‌داری بر ظرفیت نگهداری آب در خاک داشته باشد (۳٦).

هدایت هیدرولیکی اشباع خاک: همان‌طور که از جدول ٤ مشاهده می‌شود استفاده ۲، ٤ و ۸ درصد وزنی زغال زیستی به ترتیب باعث کاهش ۸/٦۲٪، ۲۷/۷۱٪ و ٤۰/۰۸٪ هدایت هیدرولیکی اشباع خاک نسبت به تیمار شاهد شد. با افزودن زغال زیستی به خاک بافت سبک، به‌دلیل ایجاد خاکدانه‌های نسبتاً پایدارو کم کردن خلل و فرج درشت خاک، هدایت هیدرولیکی نسبت به تیمار شاهد کاهش می‌یابد (۱۳). هم‌چنین ذرات ریز زغال زیستی منافذ درشت خاک شنی را پر می‌کنند و باعث کاهش هدایت هیدرولیکی می‌شوند (۱۳). پژوهش‌گران دیگر نیز در خصوص خاک‌های با بافت سبک به نتایج مشابه دست یافتند (۱۲). در پژوهش دیگری که اثر دو نوع زغال زیستی

طبیعی گیاه اسکنبیل و بیوچار کمپوست زباله شهری بر خصوصیات فیزیکی خاک را مقایسه کرده است، نتایج نشان داد استفاده از بیوچار باعث کاهش ۳۹/٤ درصدی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک شد (۳۷). نتایج بررسی تأثیر اندازه ذرات زغال زیستی بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (جدول ٤) نشان داد هرچه اندازه ذرات زغال زیستی مصرفی کوچک‌تر باشد هدایت هیدرولیکی اشباع نسبت به تیمار شاهد بیش‌تر کاهش داشت. تیمار اندازه ذرات کم‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر با ٤٤/۳۷٪ و اندازه ذرات ۲-۱ میلی‌متر با ۲۳/۵۷٪ به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین کاهش هدایت هیدرولیکی را نسبت به تیمار شاهد داشتند. ذرات ریز زغال زیستی نسبت به ذرات درشت (قطر ۸-۵ میلی‌متر)، به مقدار بیش‌تری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را کاهش می‌دهند (۳۸). اثر متقابل اندازه ذرات و مقدار زغال زیستی مصرفی (جدول ۵) نشان داد با افزایش مقدار زغال زیستی مصرفی و کاهش اندازه ذرات زغال زیستی، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک کاهش یافت. تیمار ۸ درصد وزنی زغال زیستی و اندازه ذرات کم‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر با ۱۳/۳۸ سانتی‌متر در روز کم‌ترین مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را دارا بودند. هدایت هیدرولیکی اشباع خاک بستگی به شکل، اندازه و پیوستگی منافذ خاک دارد (۳۹). ذرات ریز زغال زیستی درون منافذ درشت خاک قرار می‌گیرد و باعث افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک می‌شود (٤۰). اثر اندازه ذرات، مقدار و نوع زغال زیستی بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با دو بافت مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد زغال زیستی برگ نخل در مقایسه با زغال زیستی پوست لیمو سبب افزایش معنی‌دار متوسط هدایت هیدرولیکی اشباع به میزان ٤۲٪ در خاک لوم رس سیلتی و هم‌چنین کاهش معنی‌دار ۱۲٪ در خاک لوم شنی شد. علاوه بر آن بیش‌ترین تأثیر زغال زیستی بر هدایت هیدرولیکی اشباع در هر دو بافت خاک مربوط به ذرات زغال زیستی کم‌تر از ۰/۸ میلی‌متر به‌دست آمد (٤۱).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات ساده اندازه و مقدار زغال زیستی بر پارامترهای اندازه‌گیری شده.

Table 4. Comparison of the average effects of the simple size and amount of Biochar on the measured parameters.

هدایت هیدرولیکی اشباع Saturated hydraulic conductivity (cm/day)	نگهداشت رطوبت Moisture retention (٪)	چگالی ظاهری Bulk density (gr/cm^3)	تیمارهای آزمایشی Experimental treatments	
14.25^{d}	41.67^{a}	1.18^{b}	<0.25	اندازه ذرات زغال زیستی (میلی‌متر) Particle size of Biochar (mm)
16.46^{c}	34.54^{b}	1.08^{c}	0.25-1	
19.58^{b}	29.46^{c}	0.95^{d}	1-2	
25.62^{a}	27.52^{d}	1.33^{a}	بدون زغال زیستی Without biochar	شاهد Control
23.41^{b}	30.42^{c}	1.26^{b}	2	مقدار زغال زیستی (درصد) Amount of Biochar (%)
18.52^{c}	33.68^{b}	1.15^{c}	4	
15.35^{d}	40.73^{a}	0.94^{d}	8	
25.62^{a}	27.52^{d}	1.33^{a}	بدون بیوچار Without biochar	شاهد Control

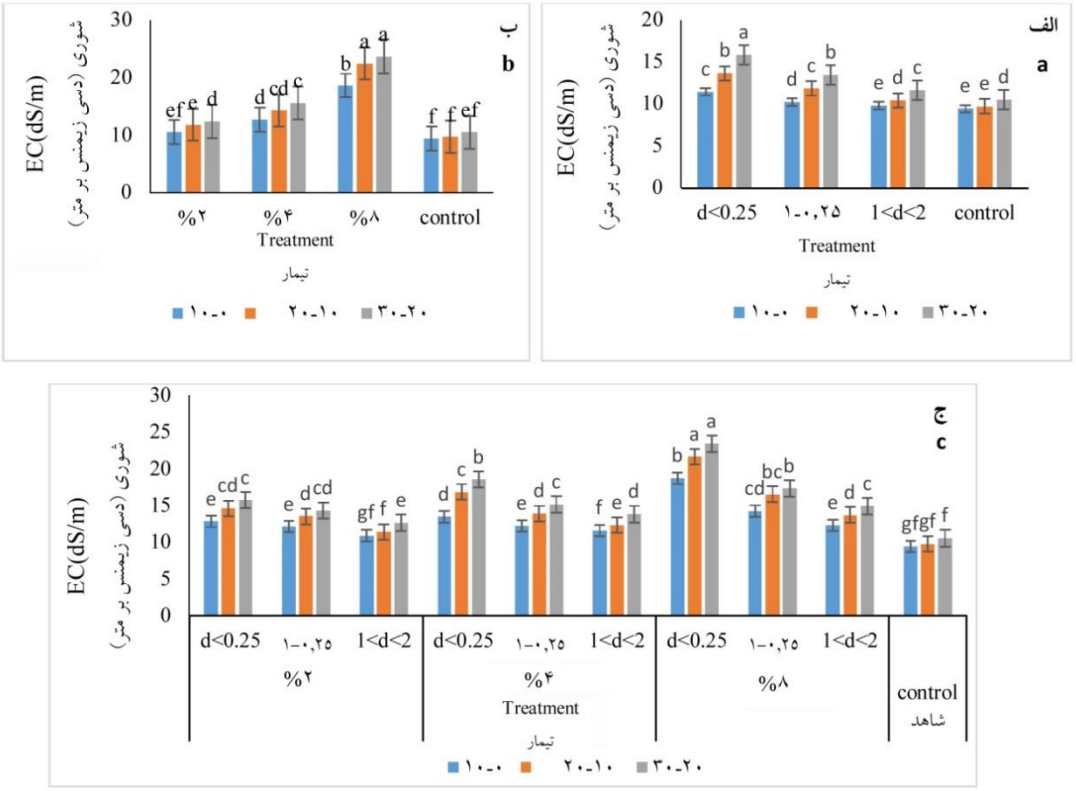
جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل اندازه و مقدار زغال زیستی بر پارامترهای اندازه‌گیری شده.

Table 5. Comparison of the average intraction effects of the size and amount of Biochar on the measured parameters.

هدایت هیدرولیکی اشباع Saturated hydraulic conductivity (cm/day)	نگهداشت رطوبت Moisture retention (٪)	چگالی ظاهری Bulk density (gr/cm^3)	تیمارهای آزمایشی Experimental treatments	
18.12^{d}	37.63^{c}	1.29^{b}	2	
14.75^{ef}	39.41^{b}	1.18^{c}	4	<0.25
13.38^{f}	43.54^{a}	1.01^{ef}	8	
19.41^{d}	35.46^{d}	1.11^{d}	2	
17.54^{ed}	37.27^{c}	1.06^{e}	4	0.25-1
15.63^{e}	39.16^{b}	0.98^{f}	8	
23.56^{b}	31.28^{e}	0.97^{f}	2	
22.49^{b}	34.82^{d}	0.94^{gf}	4	1-2
21.78^{c}	38.57^{b}	0.89^{g}	8	
25.62^{a}	27.52^{f}	1.33^{a}	بدون زغال زیستی Without Biochar	تیمار شاهد Control

شوری خاک: همان‌طور که گفته شد شوری خاک در سه عمق اندازه‌گیری شد. شکل ۳ اثرات ساده و متقابل اندازه ذرات و مقدار زغال زیستی را در سه عمق مختلف خاک نشان می‌دهد. در هر سه عمق، با افزیش زغال زیستی مصرفی و کاهش اندازه ذرات زغال زیستی، شوری خاک افزایش یافت. به طوری‌که بیش‌ترین شوری خاک نسبت به تیمار شاهد در تیمارهای ۸ درصد وزنی زغال زیستی با اندازه ذرات کم‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر به‌دست آمد. هم‌چنین در تمامی تیمارها شوری در عمق ۳۰-۲۰ سانتی‌متری خاک از سایر اعماق خاک بیش‌تر بود. افزایش شوری خاک با مصرف زغال زیستی می‌تواند به‌دلیل غلظت بالای نمک‌های محلول در زغال زیستی و بالاتر بودن حد EC آن نسبت به خاک شاهد باشد (٤٢). از طرفی با ریزترشدن اندازه ذرات زغال زیستی، هدایت الکتریکی خاک افزایش یافت زیرا کاهش اندازه ذرات باعث افزایش سطح زغال زیستی و ماتریکس خاک، کاهش مسیر تبادل یونی بین آن‌ها و سهولت انتشار یون‌ها می‌شود. ریز بودن ذرات زغال زیستی حلالیت آن در آب را افزایش می‌دهد که منجر به افزایش EC می‌شود. EC بالاتر زغال زیستی می‌تواند مربوط به غلظت بیش‌تر عناصر قلیایی مانند سدیم و پتاسیم باشد (٤٣). واکنش زغال زیستی بر واکنش خاک تأثیر مستقیم دارد. واکنش زغال زیستی نیز به شرایط دمایی و نوع ماده‌ای که برای تهیه زغال زیستی انتخاب می‌شود بستگی دارد. عامل دیگر برای افزایش واکنش، حضور بارهای منفی مثل گروه‌های کربوکسیل و هیدروکسیل بر روی سطح زغال زیستی است (٤٤). ساختار فیزیکی و شیمیایی ماده اولیه زغال زیستی هنگام فرایند تولید در غیاب اکسیژن یا در حضور اکسیژن محدود دگرگون می‌شود. در فرایند پیرولیز زغال زیستی، دی‌اکسید کربن تولید نمی‌شود بلکه گازهای خاص و روغن زیستی تولید می‌شود (٤٤). به‌طورکلی افزایش شوری خاک‌های ترکیب شده با زغال زیستی به‌علت افزایش مقدار خاکستر است (٤٥). مقدار زیاد پتاسیم موجود در خاکستر به‌علت

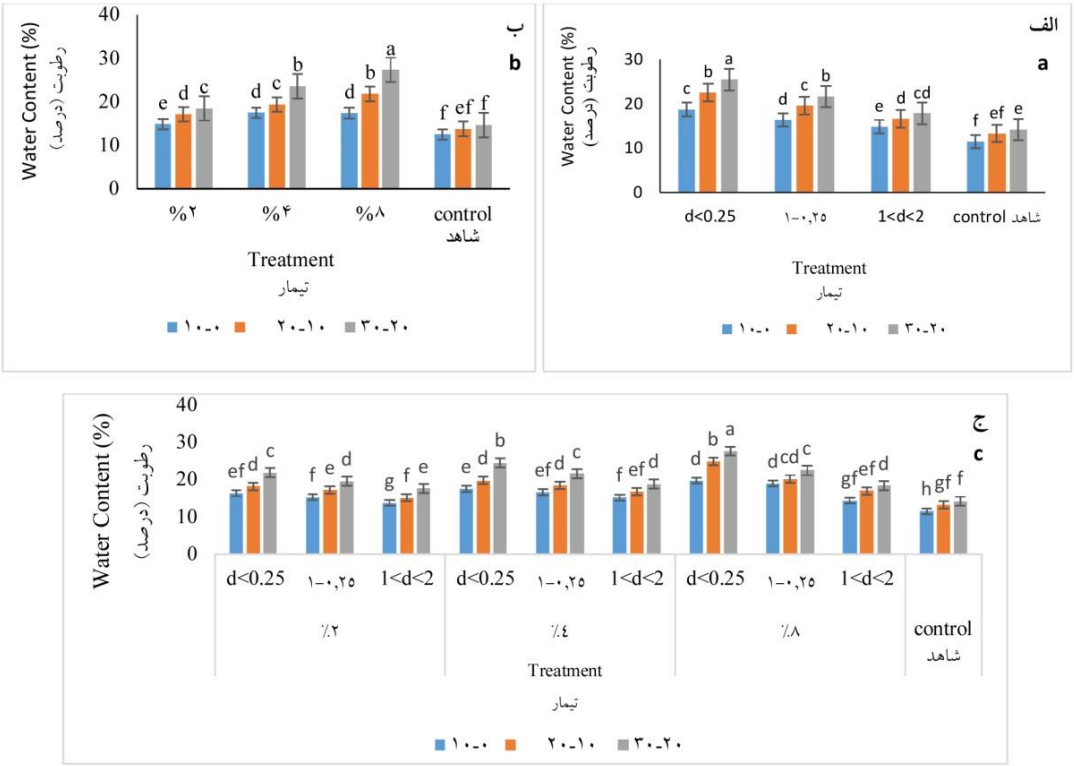
تحرک زیاد باعث افزایش شوری خاک می‌باشد (٤٦). در اثر افزایش زغال زیستی مصرفی، شوری خاک افزایش می‌یابد (٤٧). اثر بیوچار تولید شده از کود مرغی بر ویژگی‌های خاک نشان داد که زغال زیستی باعث افزایش شوری خاک می‌شود (۳۸).



شکل ۳- اثرات ساده اندازه ذرات زغال زیستی بر شوری خاک (الف)، اثرات ساده مقدار زغال زیستی بر شوری خاک (ب) و اثرات متقابل اندازه ذرات و مقدار زغال زیستی بر شوری خاک (ج) در اعماق مختلف.

Figure 3. Simple effects of the particle size of biochar on soil salinity (a), Simple effects of the amount of biochar on soil salinity (b) and intraction effects of the particle size and amount of biochar on soil salinity (c) at different depths.

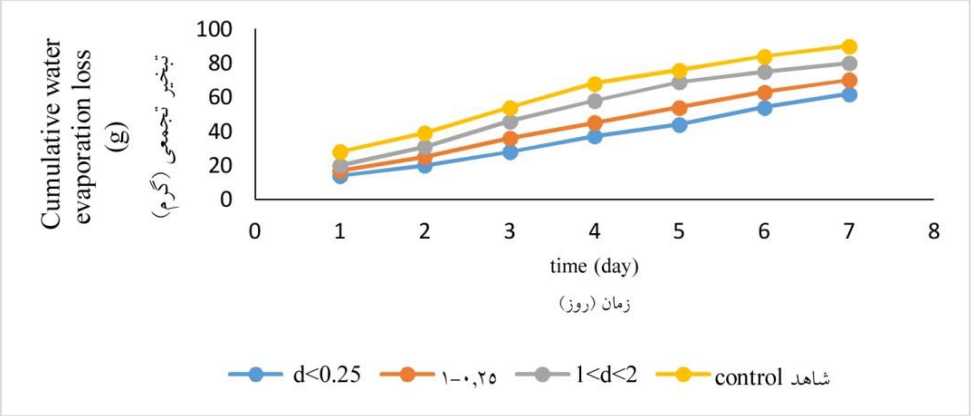
رطوبت خاک: رطوبت خاک نیز مانند شوری در سه عمق مختلف مورد بررسی قرار گرفت (شکل ٤). نتایج نشان داد تیمارهای حاوی زغال زیستی در مقایسه با تیمار شاهد، مقدار رطوبت بیش‌تری داشتند که علت آن ساختار منافذ ریز و سطوح ویژه بالای زغال زیستی است. مطابق شکل ٤ هرچه مقدار زغال زیستی مصرفی افزایش و اندازه ذرات زغال زیستی کاهش داشت، مقدار رطوبت خاک افزایش یافت. بیش‌ترین مقدار رطوبت خاک در تیمار ۸ درصد وزنی مصرف بیوچار با اندازه ذرات کم‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر به‌دست آمد. کم‌ترین مقدار رطوبت نیز در تیمار شاهد مشاهده شد. هم‌چنین از شکل ٤ مشاهده می‌شود مقدار رطوبت ذخیره شده خاک در عمق ۳۰-۲۰ سانتی‌متری ستون خاک بیش‌تر از سایر اعماق بود. مصرف زغال زیستی به‌دلیل داشتن منافذ زیاد و بالابردن ظرفیت نگهداری آب در خاک، رطوبت خاک را افزایش داده و باعث افزایش کارایی مصرف آب می‌شود (٤٨).



شکل ٤- اثرات ساده و متقابل اندازه ذرات و مقدار زغال زیستی بر رطوبت خاک در اعماق مختلف اثرات ساده اندازه ذرات زغال زیستی بر رطوبت خاک (الف)، اثرات ساده مقدار زغال زیستی بر رطوبت خاک (ب) و اثرات متقابل اندازه ذرات و مقدار زغال زیستی بر رطوبت خاک (ج) در اعماق مختلف.

Figure 4. Simple effects of the particle size of biochar on soil moisture (a), Simple effects of the amount of biochar on soil moisture (b) and intraction effects of the particle size and amount of biochar on soil moisture (c) at different depths.

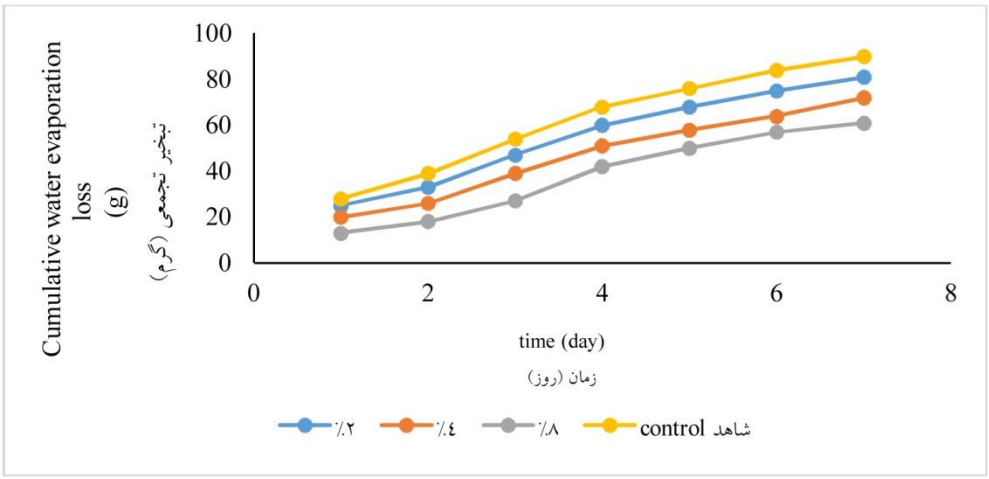
تبخیر آب از خاک: شکل ۵ اثرات ساده اندازه ذرات بیوچار بر تبخیر تجمعی از سطح خاک را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تبخیر در روزهای اول با شدت بیش‌تری و در روزهای انتهایی (روز ۷) با شدت کم‌تری انجام شد. در هر سه اندازه زغال زیستی روند تبخیر تجمعی یکسان بود. ستون‌های خاک حاوی ذرات زغال زیستی با اندازه کم‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر، تبخیر کم‌تری نسبت به سایر تیمارها داشتند. ذرات ریز زغال زیستی درون حفره‌های موجود در میان ذرات خاک شنی پر شده و منافذ خاک ماسه توسط زغال زیستی مسدود می‌شود، که هدایت هیدرولیکی خاک را به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌دهد. بنابراین مقدار تبخیر کاهش می‌یابد (۲۲).



شکل ۵- اثرات ساده اندازه ذرات زغال زیستی بر تبخیر تجمعی از سطح خاک.

Figure 5. Simple effects of the particle size of biochar on cumulative evaporation from the soil surface.

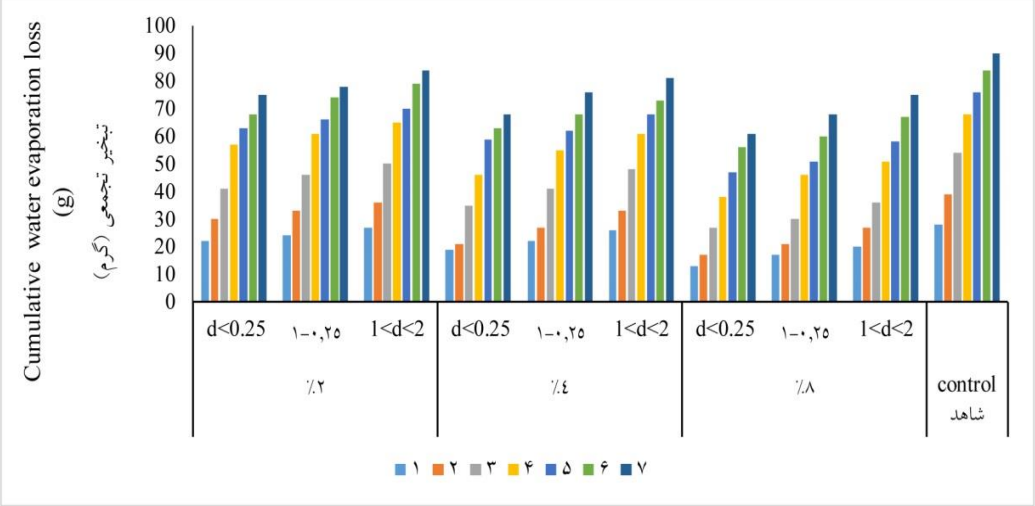
اثرات ساده مقدار زغال زیستی بر تبخیر تجمعی از سطح خاک (شکل ٦) نشان داد به‌کاربردن زغال زیستی همراه با خاک باعث کاهش تبخیر از سطح خاک نسبت به تیمار شاهد شد. هم‌چنین با افزایش مقدار زغال زیستی مخلوط شده با خاک، کاهش تبخیر بیش‌تر اتفاق افتاد. تیمار ۸ درصد وزنی زغال زیستی نسبت به سایر تیمارها کم‌ترین مقدار تبخیر از سطح خاک را دارا بود. روند کاهش تبخیر در هر ۷ روز در همه تیمارها مشابه بود. افزودن زغال زیستی می‌تواند باعث تغییر رفتار جریان آب در خاک شنی از طریق تغییر در خصوصیات هیدرولیکی خاک شود. هدایت هیدرولیکی اشباع خاک شنی به تدریج با افزایش نسبت‌های زغال زیستی اضافه شده به خاک، کاهش می‌یابد. بنابراین تبخیر از سطح خاک نیز کاهش می‌یابد (۲۲).



شکل ٦- اثرات ساده مقدار زغال زیستی بر تبخیر تجمعی از سطح خاک.

Figure 6. Simple effects of the amount of biochar on cumulative evaporation from the soil surface.

اثرات متقابل اندازه ذرات و مقدار زغال زیستی بر تبخیر تجمعی از سطح خاک در هفت روز مورد مطالعه (شکل ۷) نشان داد بیش‌ترین مقدار تبخیر تجمعی در تیمار شاهد (بدن بیوچار) مشاهده شد. با افزایش مصرف زغال زیستی و کاهش اندازه ذرات زغال زیستی، مقدار تجمعی کاهش یافت. تیمار ۸ درصد وزنی زغال زیستی با قطر کم‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر کم‌ترین مقدار تبخیر تجمعی را داشت. با گذشت زمان مقدار تبخیر تجمعی از سطح خاک افزایش یافت اما مقدار این افزایش در روزهای انتهایی آزمایش کم‌تر از روزهای ابتدایی آن بود. در روزهای اول آزمایش تبخیر با شیب بیش‌تری اتفاق افتاد که با گذشت زمان، شیب این افزایش، کاهش یافت. این امر می‌تواند به این دلیل باشد که در روزهای انتهایی به‌دلیل کاهش رطوبت خاک، پتانسیل مکش خاک بیش‌تر شده و تبخیر از سطح خاک کاهش می‌یابد.



شکل ۷- اثرات متقابل مقدار و اندازه ذرات زغال زیستی بر تبخیر تجمعی از سطح خاک در هفت روز متوالی.

Figure 7. The intraction effects of the amount and size of biochar particles on cumulative evaporation from the soil surface in seven consecutive days.

نتیجه‌گیری

در منطقه سیستان مناطق وسیعی وجود دارد که به‌دلیل کمبود آب، گیاهان و غلات به‌سختی قابل‌کشت هستند. فعالیت‌های نادرست کشاورزی و خشک‌سالی‌های شدید به دلیل تغییرات آب و هوایی منجر به تخریب بیش‌تر خاک و بیابان‌زایی در منطقه شده است. وضعیت تخریب خاک، تهدیدهای جدی برای امنیت زیست‌محیطی در سراسر کشور است. بنابراین تلاش برای کاهش یا معکوس کردن اثرات بیابان‌زایی بسیار حیاتی است. این پژوهش باهدف حفظ رطوبت و کاهش تبخیر از سطح خاک مناطق سیستان انجام شد. نتایج پژوهش نشان داد استفاده از زغال‌زیستی در خاک لوم شنی باعث کاهش چگالی ظاهری خاک، افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک، کاهش هدایت هیدرولیکی خاک، افزایش رطوبت خاک و کاهش تبخیر از سطح خاک شد. از بین تیمارهای موردمطالعه مقدار زغال‌زیستی، با افزایش زغال‌زیستی کاربردی از ۲ درصد وزنی به ۸ درصد وزنی خاک، تأثیر زغال‌زیستی بر پارامترهای مذکور بیش‌تر شد. علاوه بر مقدار بیوچار، اندازه ذرات زغال زیستی نیز بر این پارامترها مؤثر است. هدایت هیدرولیکی خاک با ریزتر شدن ذرات

زغال‌زیستی (تیمار اندازه ذرات کم‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر) نسبت به تیمار (اندازه ذرات ۲-۱ میلی‌متر) کاهش داشت. اما مقدار نگهداشت رطوبت و چگالی ظاهری با ریزترشدن ذرات خاک، افزایش یافتند. با ریزترشدن ذرات و افزایش مقدار زغال‌زیستی، تبخیر تجمعی از سطح خاک نیز کاهش یافت. ذرات ریز زغال‌زیستی، منافذ درشت خاک لوم شن را پر نموده و باعث کاهش تخلخل و درنتیجه کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع شده است. کاهش وزن مخصوص ظاهری به دلیل افزایش حجم منافذ خاک در اثر افزایش زغال‌زیستی ایجاد شده است. زغال‌زیستی مانند آب‌انبارهای مینیاتوری عمل نموده و باعث حفظ رطوبت خاک می‌شود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش می‌توان گفت، استفاده از زغال زیستی به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک در خاک‌های سبک بافت که ظرفیت نگهداری آب کم و تبخیر بالایی دارند، به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با مشکل کمبود منابع آب مواجه هستند، راهکار بسیار مناسبی است. اما باید توجه داشت که افزایش سطوح زغال‌زیستی در خاک می‌تواند باعث افزایش شوری خاک شود. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و تأثیر مثبت زغال‌زیستی بر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک، انتخاب بهینه سطح زغال‌زیستی باید به‌گونه‌ای باشد که استفاده از آن ازلحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه باشد و این امر مستلزم پژوهش‌های بیش‌تر به‌خصوص در شرایط مزرعه‌ای است.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از دانشگاه زابل (گروه مهندسی آب) و مسئولین آزمایشگاه‌های گروه مهندسی آب و گروه علوم خاک، جهت همکاری‌های کارساز و راهگشا در طی انجام این پژوهش کمال سپاسگزاری را دارند.

داده‌ها و اطلاعات

این پژوهش با اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی رساله کارشناسی‌ارشد نویسنده اول نگارش شده است. آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌ها در سال ۱۴۰۱ در آزمایشگاه‌های آب‌وخاک دانشکده آب‌وخاک دانشگاه زابل انجام شده است.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافعی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: آماده‌سازی و اندازه‌گیری داده‌ها، انجام محاسبات، تهیه پیش‌نویس مقاله.

نویسنده دوم: طرح تحقیق و روش‌شناسی، نظارت تحقیق، اصلاح نهایی مقاله و بازبینی مقاله.

نویسنده سوم: مشارکت در آنالیزها، طرح تحقیق و روش‌شناسی.

اصول‌اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر، رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها است.

حمایت‌مالی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه زابل کد پژوهانه IR-UOZ-GR-1837 انجام شده است.

منابع

1.Pessarakli, M. (2014). Handbook of plant and crop physiology: CRC Press.

2.Beigi Harchegani, H. A., & Haghshenas Gorgabi, M. (2013). Interaction effect of Mianeh Zeolite and Taravat A200 polymer on water retention and available water in a coarse-textured soil. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 19 (4), 679-692. [In Farsi]

3.Li, J., Li, Y. E., Wan, Y., Wang, B., Waqas, M. A., Cai, W., & Gao, Q. (2018). Combination of modified nitrogen fertilizers and water saving irrigation can reduce greenhouse gas emissions and increase rice yield. *Geoderma*, 315, 1-10.

4.Berek, A. K., Hue, N., & Ahmad, A. (2011). Beneficial use of biochar to correct soil acidity. The Food Provider. Available at Website **http:// www.ctahr. hawaii.edu/ huen/ nvh/ biochar. Biol.** 16, 1366-1379. black carbon: downward migration, leaching and soil respiration. Glob. Change.

5.Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota: A review. *Soil Biology and Biochemistry*. 43, 1812-1836.

6.Khadem, A., Raisi, F., & Besharati, H. (2016). A review of the effects of biochar on the physical, chemical and biological properties of soil. *Land Management*, 5 (1), 13-30. [In Persian]

7.Nasimi Karimi, A., & Garami, Z. (2019). Long-term effects of date leaf biochar on porosity and structural stability of sandy loam soil. *Soil Research*, 34 (2), 200-213. [In Persian]

8.Karhu, K., Mattila, T., Bergstr¨om, I., & Regina, K. (2011). Biochar addition to agricultural soil increased CH4 uptake and water holding capacity-Results from a short-term pilot field stu dy. *Agr Ecosyst. Environ.* 140, 309-313.

9.DeLuca, T. H., MacKenzie, M. D., & Gundale, M. J. (2009). Biochar ef fects on soil nutrient transformations. In: Lehmann, J., Joseph, S. (eds.) Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan, London. pp. 251-270.

10.Herath, H. M. S. K., Camps-Arbestain, M., & Hedley, M. (2013). Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: *An Alfisol and an Andisol. Geoderma*. 209-210, 188-197.

11.Soinne, H., Hovi, J., Tammeorg, P., & Turtola, E. (2014). Effect of bio char on phosphorus sorption and clay soil aggregate stability. Geoderma. 219-220, 162-167.

12.Trifunovic, B., Gonzales, H. B., Ravi, S., Sharratt, B. S., & Mohanty, S. K. (2018). Dynamic effects of biochar concentration and particle size on hydraulic properties of sand. Land Degradation & Development, 29 (4), 884-893.

13.Ibrahim, A., Usman, A. R. A., Al-Wabel, M. I., Nadeem, M., Ok, Y. S., & Al-Omran, A. (2017). Effects of conocarpus biochar on hydraulic properties of calcareous sandy soil: influence of particle size and application depth. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63 (2), 185-197.

14.Nowrozi, M., Tabatabai, S. H., Nouri, M., & Motagian, H. R. (2015). Short-term effects of date leaf biochar on moisture retention in sandy loam soil. Conservation of Water and Soil Resources, 6 (2), 138-149. [In Persian]

15.Lu, S. G., Sun, F. F., & Zong, Y. T. (2014). Effect of rice husk biochar and coalfly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol). *Catena*. 114, 37-44.

16.Tomlinson, P. B. (1980). The Biology of Trees Native to Tropical, Florida, 480 p.

17.Ayoub, N. A. (2010). A trimethoxyellagic acid glucuronide from Conocarpus erectus leaves: Isolation, characterization and assay of antioxidant capacity, *Pharmaceutical Biology*, 48 (3), 328-332.

18.Amiri, L., Azadi, R., Rostgarzadeh, S., & Zofan, P. (2018). Monitoring the concentration of heavy metals in the Kenocarpus plant in different areas of the industrial city of Abadan. Natural Environment, Natural Resources of Iran, 72 (2), 143-157. [In Persian]

19. Maqsoodi, M., Negahban, S., & Bagheri, S. (2013). Analysis of risks caused by quicksands on settlements in the west of Dasht Lot (case study of Hojat Abad village - East of Shahdad). *Geography and Environmental Hazards*, 1, 96-83. [In Persian]
20. Shamkhal, S., Gholamalizadeh, A., Gazmeh, S., Foroghifar, H., & Bameri, A. (2015). Evaluation of different interpolation methods in spatial estimation of some soil characteristics of Sistan Plain. *Soil and Water Science*, 26 (2), 151-162. [In Persian]
21. Negaresh, H., & Latifi, L. (2018). The origin of wind deposits in the east of Zabol through morphoscopy and physical and chemical analysis of sediments. Geography and Environmental Planning, 20 (1), 1-22. [In Persian]
22. Zhang, J., Chen, Q., & You, C. F. (2016). Biochar effect on water evaporation and hydraulic conductivity in sandy soil. Pedosphere. 26 (2), 265-272.
23. Abel, S., Peters, A., Trinks, S., Schonsky, H., Facklam, M., & Wessolek, G. (2013). Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. *Geoderma*, 202-203, 183-191.
24. Devereux, R. C., Sturrock, C. J., & Mooney, S. J. (2013). The Effects of Biochar on Soil Physical Properties and Winter Wheat Growth. *Journal of Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 103 (1), 13-18.
25. Hardie, M., Clothier, B., Bound, S., Oliver, G., & Close, D. (2014). Does biochar influence soil physical properties and soil water availability? *Plant Soil*, 376, 347-361.
26. Kumar, S., Masto, R. E., Ram, L. C., Sarkar, P., George, J., & Selvi, V. A. (2013). Biochar preparation from Parthenium hysterophorus and its potential use in soil application. *Ecological Engineering*, 55, 67-72.
27. 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.
28. Busscher, W., Novak, J. M., & Ahmedna, M. (2011). Physical effects of organic matter amendment of a southeastern US coastal loamy sand. *Soil Science Society of American Journal*, 176, 661-667.
29. Lim, T., Spokas, K., Feyereisen, G., & Novak, J. (2016). Predicting the impact of biochar additions on soil hydraulic properties. *Chemosphere*, 142, 136-144.
30. De Jesus Duarte, S., Glaser, B., & Pellegrino Cerri, C. E. (2019). Effect of biochar particle size on physical, hydrological and chemical properties of loamy and sandy tropical soils. *Agronomy*, 9 (4), 165.
31. Jeffery, S., Verheijen, F. G. A., van der Velde, M., & Bastos, A. C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using met-analysis. Agriculture, *Ecosystems and Environment*, 144, 175-187.
32. Sun, Z., Arthur, E., De Jonge, L. W., Elsgaard, L., & Moldrup, P. (2015). Pore Structure Characteristics after 2 Years of Biochar Application to a Sandy Loam Field. *Soil Science*, 180, 41-46.
33. Hao Jien, S., & Sheng Wang, C. (2013). Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. *Catena*, 110, 225-233.
34. Osooli, H., Karimi, A., Shirani, H., & Tabatabai, S. H. (2021). Effect of type, size and amount of biochar on some physical and mechanical properties of calcareous soil. *Journal of Soil and Water Resources Protection* (*Scientific - Research*), 11 (1), 113-128. [In Persian]
35. Obia, A., Mulder, J., Martinsen, V., Cornelissen, G., & Børresen, T. (2016). In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in lighttextured tropical soils. *Soil and Tillage Research*, 155, 35-44.
36. Briggs, C., Breiner, J. M., & Graham, R. C. (2012). Physical and chemical properties of Pinus ponderosa charcoal: Implications for soil modification. *Soil Science Society of American Journal*, 177 (4), 263-268.

37. Yazdan Panahi, A., Ahmadali, Kh., Zare, S., & Jafari, M. (2018). The effect of two types of biochar on the physical properties of soil effective in irrigation management of desert areas. *Iran Water and Soil Research*, 50 (4), 966-974. [In Persian]
38. Zolfi-Bavoriani, M., Ronaghi, A., Karimian, N., Ghasemi, R., & Yasrebi, J. (2016). Effect of biochar prepared from poultry manure at different temperatures on chemical properties of a calcareous soil. *Journal of Soil and Water Sciences*, 20, 73-86.
39. Edeh, I. G., Mašek, O., & Buss, W. (2020). A meta-analysis on biochar's effects on soil water properties–New insights and future research challenges. *Science of the Total Environment*, 714, 136857.
40. Gluba, Ł., Rafalska-Przysucha, A., Szewczak, K., Łukowski, M., Szlązak, R., Vitková, J., & Usowicz, B. (2021). Effect of Fine Size-Fractionated Sunflower Husk Biochar on Water Retention Properties of Arable Sandy Soil. *Materials*, 14 (6), 1335.
41. Yekzaban, A., Mousavi, S. A. A., Thamani, A., & Rezaei, M. (2022). Effect of particle size, amount and type of biochar on saturated hydraulic conductivity in two soils with different textures. *Soil Research*, 36 (3), 322-335. [In Persian]
42. Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T. E., Papiernik, S. K., Malo, D. D., Clay, D. E., & Gulbrandson, D. W. (2013). Nitrate sorption and desorption in biochars from fast pyrolysis. Microporous and Mesoporous Materials, 179, 250-257.
43. Sangani, M. F., Abrishamkesh, S., & Owens, G. (2020). "Physicochemical characteristics of biochars can be beneficially manipulated using post-pyrolyzed particle size modification." *Bioresour. Technol.* 306, 123157.
44. Claoston, N. A., Samsuri, M. H., & Husni, A. (2014). Effects of pyrolysis temperature on the physicochemical properties of empty fruit bunch and rice husk biochars. *Waste Management & Research*, 32 (4), 331-339.
45. Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). Biochar for environmental management: science, technology and implementation. Routledge. ISBN 9780367779184976 Pages, Published March 31, 2021 by Routledge.
46. Joseph, S., Downie, A., Munroe, P., & Crosky, A. (2007). Biochar for carbon sequestration, reduction of greenhouse gas emissions and enhancement of soil fertility; a review of the materials science. *Proceeding of the Australian Combustion Symposium*, 130-133.
47. Palangi, S., Bahmani, A., & Atlasi Pak, V. (2019). Comparison of different levels of biochar and animal manure on yield and yield components and water consumption efficiency of wheat. *Applied Soil Research*, 8 (3), 160-171. [In Persian]
48. Mir, A., Piri, H., & Naserin, A. (2021). The effects of different levels of wheat biochar and water stress on the quantitative and qualitative characteristics of carla (bitter melon) in pots. *Water Research in Agriculture*, 35 (2), 169-186. [In Persian]