Archive of SID
DOI: 10.22059/ijswr.2019.266029.668011 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۴، شهریور ۱۳۹۸ (ص۹۷۵-۹۶۵)

The Effect of Two Different Biochars on the Soil Physical Properties Affecting Irrigation Management in Desert Regions

ALI YAZDANPANAHI[1], KHALED AHMADAALI[2*], SALMAN ZARE[3], AND MOHAMAD JAFARI[4]

1. MSc student in Management of Desert Areas, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
4. Professor, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

(Received: Sep. 25, 2018- Revised: Jan. 5, 2019- Accepted: Jan. 7, 2019)

ABSTRACT

Water is the most important limiting factor for plant growth in dry and desert regions. Addition of soil amendments is one of the most important practices to reduce water shortage by improving soil physical properties and water use efficiency. In this study, the effect of natural and urban waste-compost biochars on the soil physical properties (e.g., bulk density, particle density, field capacity, permanent wilting point, available water, saturated hydraulic conductivity, and irrigation interval) as the most effective parameters on irrigation were investigated. This experiment was conducted as factorial and in a completely randomized blocks design with three factors and three replications in greenhouse condition. The proposed factors were consisted of four levels of natural biochar (0, 1, 3, and 5 % of weight) and four levels of municipal waste-compost biochar (0, 1, 3, and 5 %) and a plant factor at one level (*Calligonum* species). The results showed that the addition of biochars to the soil had a significant increasing effect on the field capacity, available water, and irrigation intervals and a significant decreasing effect on the saturated hydraulic conductivity, bulk and particle density. Field capacity, permanent wilting point, available water and irrigation interval had an average incremental rate of 17.2, 16.8, 17.4, and 3.2% respectively and hydraulic conductivity, bulk and actual density had an average decremental rate of 39.4, 4.4 and 11.7 % respectively as compared to the control treatment. Treatment No. 13 (soil+5% natural biochar+5% urban waste compost biochar) had the most effectiveness on the above mentioned parameters.

Keywords: Natural biochar, soil physical properties, urban waste-compost biochar

* Coresonding Author's Email: khahmadauli@ut.ac.ir
www.SID.ir

Archive of SID

اثر دو نوع بیوچار بر خصوصیات فیزیکی خاک موثر در مدیریت آبیاری مناطق بیابانی

علی یزدان پناهی[۱]، خالد احمدالی[۲*]، سلمان زارع[۳]، محمد جعفری[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲. استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳. استادیار دانشکده منابع طبیعی ، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۴. استاد دانشکده منابع طبیعی ، دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۳- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۰/۱۵- تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۰/۱۷)

چکیده

آب مهم‌ترین عامل محدودکننده توسعه و رشد بسیاری از گیاهان، در مناطق خشک و بیابانی است. افزودن مواد اصلاحی به خاک برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک و افزایش کارایی مصرف آب، یکی از مهم‌ترین راه‌های مقابله با کمبود آب بشمار می‌رود. در این مطالعه به منظور بررسی اثر افزودن بیوچارهای طبیعی و بیوچار کمپوست زباله شهری بر ویژگی‌های فیزیکی خاک (وزن مخصوص ظهری، وزن مخصوص حقیقی، رطوبت ظرفیت زراعی، رطوبت نقطه پژمردگی، آب قابل دسترس، هدایت هیدرولیکی اشباع و دور آبیاری)، که مهمترین تاثیر را در مدیریت آبیاری دارند، آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه انجام گرفت. فاکتورهای در نظر گرفته‌شده شامل فاکتور بیوچار طبیعی در چهار سطح (۰، ۱، ۳ و ۵ درصد)، بیوچار کمپوست زباله شهری در چهار سطح (۰، ۱، ۳ و ۵ درصد) و فاکتور گونه گیاهی در یک سطح (گونه گیاهی اسکنبیل) (جمعاً ۱۶ بستر خاک) بود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیکی خاک نشان داد که افزودن بیوچارها به خاک تأثیر افزایشی معناداری بر ظرفیت زراعی، آب قابل‌دسترس و دور آبیاری و تأثیر کاهشی معنی‌داری بر هدایت هیدرولیکی اشباع، وزن مخصوص ظاهری و حقیقی داشت. به‌طوری‌که با افزودن بیوچارها به خاک ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم، آب قابل‌دسترس و دور آبیاری هر کدام به ترتیب میانگین افزایشی ۱۷/۲، ۱۶/۸، ۱۷/۴ و ۳/۲ درصدی و هدایت هیدرولیکی، وزن مخصوص ظاهری و حقیقی هر کدام به ترتیب میانگین کاهشی ۳۹/۴، ۴/۴ و ۱۱/۷ درصدی نسبت به تیمار شاهد داشتند. از بین تیمارهای مورد مطالعه، تیمار ۱۳ (خاک + ۵ ٪ بیوچار طبیعی + ۵ ٪ بیوچار زباله شهری) نسبت به تیمار شاهد بیشترین تأثیر را بر پارامترهای ذکر شده داشت.

واژه‌های کلیدی: بیوچار طبیعی، خصوصیات فیزیکی خاک، بیوچار کمپوست زباله

مقدمه

امروزه کمبود منابع آب شیرین در بسیاری از کشورها به‌صورت یک معضل جدی در آمده است؛ به گونه ای که این محدودیت توانسته است بر توسعه این کشورها تأثیر بگذارد. در کشور ما که جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا است، کمبود منابع آب، اولین و مهم‌ترین عامل محدودیت در توسعه کشاورزی (Alihouri *et al.*, 2015) و عدم موفقیت اکثر طرح‌های بیابان‌زدایی بوده است. در این مناطق، آب مهم‌ترین عامل محدودکننده توسعه پوشش گیاهی است و رشد بسیاری از گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بر اساس پژوهش‌های انجام شده، مواد آلی نقش قابل‌ملاحظه‌ای در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و تأمین برخی از عناصر غذایی موردنیاز گیاه داشته و می‌توان از آن‌ها برای اصلاح ویژگی‌های نامطلوب خاک و افزایش پایدار محصول استفاده کرد. افزودن مواد آلی اصلاحی به خاک، از طریق تأثیر بر افزایش کارایی مصرف آب و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک، یکی از راه‌های مؤثر در مقابله با کمبود آب بشمار می‌آید (Beigi Harchegani and Haghshenas Gorgabi, 2013). عمده-ترین منابع تأمین مواد آلی در خاک‌ها عبارت‌اند از: فضولات دامی، بقایای گیاهی، لجن فاضلاب‌ها و کمپوست زباله شهری و بیوچارهای حاصل از آن‌ها، که امروزه با توجه به اهمیت کشاورزی اُرگانیک بیشتر مورد توجه قرارگرفته است (Mirzaei Talarposhti *et al.*, 2009 ؛ Khandan and Astaraee, 2005). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به علت نبود پوشش گیاهی کافی و بازگشت مقدار کم بقایای گیاهی به خاک، میزان

* نویسنده مسئول: khahmadauli@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

ماده‌ی آلی خاک بسیار کم است (Yazdanpanahi *et al*, 2018a)؛ لذا مصرف انواع کودهای آلی می‌تواند راهی برای بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک در این مناطق باشد (Aggelides and Londra, 2000). در سال‌های اخیر از بیوچار (زغال زیستی) به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک (منبع کربن آلی) و به‌نوعی روشی برای ترسیب کربن در خاک‌های مناطق خشک و بیابانی استفاده‌شده است. بیوچار، که طلای سیاه برای کشاورزی نیز نامیده می‌شود، یک ماده جامد سیاه‌رنگ، متخلخل، غنی از کربن است که از حرارت دادن زیست‌توده، شامل بقایای محصولات کشاورزی مانند کاه و کلش گندم، ذرت، سبوس برنج و تفاله نیشکر، فضولات حیوانی و یا پسماندهای شهری در عدم حضور یا حضور میزان اندک اکسیژن حاصل می‌شود (Parichehre *et al*., 2017). بیوچار به‌وسیله تجزیه حرارتی مواد آلی تحت حضور اندک اکسیژن و در دماهای نسبتاً پایین (کمتر از ۷۰۰ درجه سلسیوس) تولید می‌شود (Lehmann and Joseph, 2015). پژوهش‌های اخیر نشان داده است که کاربرد اکثر بیوچارها می‌تواند نقش مهمی در بهبود کربن‌آلی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب (Abel *et al*., 2013)، بهبود تهویه خاک، افزایش درصد اشباع خاک، افزایش نگهداری و قابلیت دسترسی مواد غذایی، کاهش نیاز به کودهای شیمیایی و آبشویی مواد غذایی (Lehmann *et al*., 2003؛ Steiner *et al*., 2007؛ Laird, 2008)، افزایش رشد و عملکرد گیاهان و کاهش جریان گازهای گلخانه‌ای ایفا کند (Lal, 2011). یکی از مهم‌ترین پارامترهای فیزیکی خاک که به‌شدت تولید محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد، آب قابل دسترس گیاه است (Obia *et al*, 2016). برخی بیوچارها به دلیل داشتن سطح ویژه بالا، باعث تغییر در توزیع اندازه ذرات و تخلخل خاک شده و میزان آب قابل‌دسترس گیاه را افزایش می‌دهند (Andrenelli *et al*., 2016). نتایج حاصل از یک بررسی نشان داد که بیوچار تهیه شده از درخت بلوط باعث افزایش آب قابل‌دسترس گیاه شد (Mukherjee *et al*., 2014). Burrell *et al*. (2016) در بررسی اثر بیوچار تولیدشده از خرده چوب در دمای ۵۲۵ درجه سانتی‌گراد بر وزن مخصوص ظاهری و آب قابل‌دسترس در سه نوع خاک با بافت‌های لوم شنی، سیلتی لوم و لوم رسی به میزان ۳ درصد وزنی به خاک، به این نتیجه رسیدند که افزودن بیوچار به خاک‌های لوم شنی، سیلتی لوم و لوم رسی به ترتیب سبب افزایش ۹/۶، ۴/۲ و ۱/۹ درصدی آب قابل‌دسترس و سبب کاهش۱۳/۳، ۱۰/۳، ۹/۹ درصدی وزن مخصوص ظاهری شده است. پژوهش Koide *et al*. (2015) بر روی اصلاح خاک با بیوچار حاصل از شاخساره‌های درخت نشان داد که افزودن این بیوچار، مقدار آب موجود در خاک را افزایش داده و باعث بالا بردن مقدار آب موجود در ظرفیت زراعی در خاک شد. Trifunovic *et al*. (2018) به این نتیجه رسیدند که کاربرد بیوچار در خاک سبب کاهش هدایت هیدرولیکی ماسه شد. Andrenelli *et al*. (2016) در یک آزمایش مزرعه‌ای، به بررسی تأثیر دو نوع بیوچار تولید شده از سبوس گندم در دماهای ۸۰۰ و ۱۲۰۰درجه سانتی‌گراد (۱۴ تن در هکتار) در یک خاک لوم رسی سیلتی پرداختند. نتایج نشان داد که مصرف بیوچار وزن مخصوص حقیقی را کاهش داد. نتیجه تحقیق Razzaghi and Rezaie (2017) در بررسی اثر سطوح مختلف بیوچار (۲۵، ۵۰ و ۷۵ تن در هکتار) بر ویژگی‌های فیزیکی خاک با بافت‌های مختلف نشان داد که این سطوح، وزن مخصوص حقیقی را به ترتیب ۱۳/۸، ۲۵/۴ و ۳۳ درصد کاهش دادند. Ibrahim *et al*. (2017) گزارش نمودند که افزودن بیوچار باعث کاهش هدایت هیدرولیکی خاک شنی و ماسه‌ای می‌شود زیرا ذرات ریز بیوچار منافذ درشت خاک شنی را می‌گیرد و سبب کاهش تخلخل و درنتیجه کاهش هدایت هیدرولیکی این خاک‌ها می‌گردد. Zhang *et al*. (2016) نیز نتایج مشابهی را در این ارتباط گزارش نمودند. در تحقیق دیگری De Melo Carvalho *et al*. (2014) اثرات افزایش سطوح مختلف بیوچار حاصل از چوب اکالیپتوس (۰، ۸، ۱۶، ۳۲ تن در هکتار) را بر حفظ رطوبت در یک خاک لوم شنی بررسی کردند. نتایج نشان داد که آب قابل‌دسترس گیاه در لایه سطحی خاک حدود ۰/۸ درصد به ازای هر تن مصرف بیوچار افزایش پیدا می‌کند. با توجه به مرور منابع ملاحظه می‌شود که پژوهش‌های مختلفی درباره کاربرد اصلاح کننده‌های مختلف نظیر کمپوست کود دامی، کمپوست زباله شهری و ... صورت گرفته ولی کمتر مطالعه‌ای به بررسی اثر بیوچار طبیعی بر خصوصیات ویژگی‌های خاک با دیدگاه پارامترهای مؤثر در مدیریت آبیاری خاک‌های مناطق بیابانی (ماسه‌بادی) پرداخته است. لذا هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثرات دو نوع بیوچار طبیعی و بیوچار کمپوست زباله شهری بر ویژگی‌های خاک مؤثر در مدیریت آبیاری گیاهان مناطق بیابانی (خاک‌های ماسه‌بادی) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تهیه خاک

در این پژوهش، خاک ماسه‌بادی از تپه‌های شنی روان واقع در کاشان تهیه گردید. خاک موردنظر بعد از انتقال به آزمایشگاه کوبیده و از الک دو میلی‌متری جهت انجام آزمایشات عبور داده شد. سپس، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مانند بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee and Bauder, 1986)، قابلیت هدایت الکتریکی(EC متر) (Rhoades, 1996) و pH (pH متر)

www.SID.ir

Archive of SID

(Thomas, 1996) در عصاره‌ی اشباع، منیزیم عصاره خاک به‌روش تیتراسیون با کلسیمتر (Miller and Curtin, 2006) و فسفر قابل‌استفاده توسط عصاره‌گیری با بی‌کربنات سدیم ۰/۵ نرمال (Olsen, 1954) و قرائت با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-2100)، کلرید به‌روش موهر با افزودن نیترات نقره (Frankenberger *et al*, 1996) و ماده آلی به روش اکسیداسیون با اسیدکرومیک و سپس تیتر کردن توسط فروآمونیوم سولفات (Nelson and Sommers, 1982) و پتاسیم قابل‌استفاده توسط استات‌آمونیوم ۱ مولار (Helmke and Spark, 1996) اندازه‌گیری شد.

برای مشخص کردن برنامه آبیاری گیاه اسکنبیل در تیمارهای مورد نظر (جدول ۲)، ابتدا رطوبت خاک در ظرفیت زراعی[1] (FC) و پژمردگی دائم[2] (PWP) برای هر ۱۶ تیمار خاک، با استفاده ا از دستگاه صفحات فشاری در مکش‌های ۰/۱ و ۱۵، در سه تکرار اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری نقاط رطوبتی ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی و لحاظ نمودن درصد مناسب تخلیه مجاز رطوبتی[3] (MAD) یک برنامه آبیاری[4] برای هر یک از تیمارهای مختلف تهیه شد و آبیاری و جبران کمبود رطوبتی[5] (SMD) بر اساس آن انجام گرفت. برای پایش رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه از دستگاه رطوبت‌سنج TDR مدل HH2، در چند نقطه از گلدان و در اعماق مختلف استفاده شد (شکل ۱). همچنین هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار ثابت اندازه‌گیری شد. این پارامتر از رابطه (۳) محاسبه گردید.

$$K = \frac{\Delta V \times L}{A \times \Delta h \times \Delta t}$$ (رابطه ۳)

که در آن ΔV : حجم آب عبوری از ستون خاک (m^3) در بازه زمانی Δt (s)، K: هدایت هیدرولیکی اشباع (m/s)، A: سطح مقطع ستون خاک (m^2)، Δh : اختلاف گرادیان هیدرولیکی بین نقطه خروجی و سطح آب ثابت‌شده روی ستون خاک (m) و L: طول ستون خاک (m) می‌باشد.

برای اندازه‌گیری رطوبت FC و PWP از دستگاه صفحات فشاری استفاده گردید. برای این منظور ابتدا صفحه سرامیکی دستگاه به مدت ۲۴ ساعت اشباع شدند، سپس خاک مخلوط شده با بیوچارهای طبیعی و کمپوست زباله شهری در استوانه‌هایی از جنس PVC به قطر ۶ سانتیمتر و ارتفاع ۳ سانتیمتر که بر روی صفحات سرامیکی قرار داشتند، انتقال داده شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت با آب شهر ($EC = 1 dS/m$) اشباع شدند و در روز بعد به مدت ۴۸ ساعت برای تعیین منحنی رطوبتی تحت‌فشار، در مکش‌های ۰/۱ و ۱۵ بار در دستگاه محفظه فشاری قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها از دستگاه خارج و بلافاصله وزن شدند، و بعد نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ °C در آون کاملاً خشک شدند و وزن نهایی آن‌ها نیز اندازه‌گیری شد (شکل ۱). با استفاده از رابطه (۱) درصد وزنی رطوبت در این نقاط تعیین شد (Yu *et al*., 2013).

$$\theta_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$ (رابطه ۱)

که در آن θ_m : رطوبت وزنی خاک در نقاط مورد نظر (درصد)، m_1 و m_2 به ترتیب وزن خاک مرطوب و وزن خاک خشک‌شده در آون (گرم) است. آب قابل‌دسترس گیاه[6] (AW) که مقدار رطوبت بین دو حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم است، از رابطه (۲) تعیین گردید (Veihmeyer and Hendrickson, 1949):

$$Aw = FC - PWP$$ (رابطه ۲)

برخی از ویژگی‌های خاک اولیه در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

ویژگی	واحد	مقدار
pH	(-)	۷/۲۷
EC	($dS.m^{-1}$)	۱/۳۰
بافت خاک	(-)	شنی
P	(ppm)	۰/۴۲
Mg	($meq.L^{-1}$)	۱۰/۶۷
Cl	($meq.L^{-1}$)	۳/۶
K	(ppm)	۳۰۳/۸
ماده آلی	(٪)	۰/۳۳
FC	(درصد وزنی)	۱۸/۶۱
PWP	(درصد وزنی)	۵/۸۹
AW	(درصد وزنی)	۱۲/۷۲
هدایت هیدرولیکی	(cm/day)	۷۰۷/۹

تهیه بیوچارهای مورداستفاده

بیوچار طبیعی از یک معدن واقع در شهرستان کوهبنان واقع در استان کرمان تهیه شد. این بیوچار کاملاً طبیعی بوده و بر اساس مطالعات زمین‌شناسی، در فرآیندی طبیعی در طول ۶۵۰ میلیون سال پیش تشکیل گردیده است (Yazdanpanahi *et al*, 2018a).

1. Field Capacity
2. Permanent Wilting Point
3 . Management Allowed Depletion
4. Irrigation Scheduling
5 . Soil Moisture Deficit
6 . Available Water

www.SID.ir

Archive of SID

برای تهیه بیوچار کمپوست زباله شهری، کمپوست زباله شهری تازه از مجتمع دفع و پردازش آراد کوه واقع در جنوب شهر کهریزک تهیه و سپس هوا خشک و برای یکنواخت‌کردن مواد اولیه موردنظر، ذرات خرد و از الک ۲ میلی‌متری گذرانده شد. پس از توزین، نمونه‌ها در داخل قوطی‌های فلزی به ابعاد ۵۰ ×۳۰ سانتی‌متر قرار داده شد. سپس به منظور حذف اکسیژن ظرف، شمع روشنی روی مواد اولیه درون قوطی قرار داده شد. سپس ظرف دربسته، درون کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت سه ساعت قرار گرفت (Kim *et al*, 2012).

تیمارهای مختلف بستر خاک

این مطالعه به‌صورت فاکتوریل با عامل نسبت‌های مختلف خاک و مواد افزودنی (بایوچار طبیعی و بیوچار تولیدشده از کمپوست زباله شهری) و یک نوع گیاه اسکنبیل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام گردید. فاکتورهای در نظر گرفته‌شده در این طرح، شامل فاکتور بیوچار طبیعی در چهار سطح (۰، ۱، ۳ و ۵ درصد)، بیوچار تولیدشده از کمپوست زباله شهری در چهار سطح (۰، ۱، ۳ و ۵ درصد) و فاکتور گونه گیاهی در یک سطح (گونه گیاهی اسکنبیل) می‌باشد. تیمارهای مختلف خاک شامل ۱۶ سطح به‌صورت جدول (۲) است.

تهیه گیاه و آماده‌سازی گلدان‌ها

در این پژوهش از یک‌گونه گیاهی مقاوم به شوری، خشکی، دمای زیاد و مناسب برای تثبیت خاک و تپه‌های شنی روان به نام اسکنبیل استفاده شد. اسکنبیل جزو خانواده علف هفت‌بند (*Polygonaceae*)و از جنس‌های درختچه‌ای بیابانی محسوب می‌شود که اغلب در نواحی خشک و نیمه‌خشک پراکنش دارند (Moghimi, 2005). با توجه به گلدان‌های انتخاب شده (۶ کیلوگرمی) نسبت‌های موردنظر وزنی بیوچار طبیعی و بیوچار کمپوست زباله شهری با ترازوی دیجیتالی وزن‌کشی و سپس با خاک ماسه‌بادی مخلوط و بعد اقدام به کاشت نهال‌ها در بسترهای تهیه‌شده گردید.

جدول ۲. تیمارهای مختلف تهیه شده برای انجام پژوهش

شماره	مشخصات تیمار	شماره	مشخصات تیمار
۱	خاک (شاهد)	۹	خاک + ۳ ٪ بیوچار طبیعی + ۵ ٪ بیوچار زباله شهری
۲	خاک + ۱ ٪ بیوچار طبیعی	۱۰	خاک + ۵ ٪ بیوچار طبیعی
۳	خاک + ۱ ٪ بیوچار طبیعی + ۱ ٪ بیوچار زباله شهری	۱۱	خاک + ۵٪ بیوچار طبیعی + ۱ ٪ بیوچار زباله شهری
۴	خاک + ۱ ٪ بیوچار طبیعی + ۳ ٪ بیوچار زباله شهری	۱۲	خاک + ۵ ٪ بیوچار طبیعی + ۳ ٪ بیوچار زباله شهری
۵	خاک + ۱ ٪ بیوچار طبیعی + ۵ ٪ بیوچار زباله شهری	۱۳	خاک + ۵ ٪ بیوچار طبیعی + ۵ ٪ بیوچار زباله شهری
۶	خاک + ۳ ٪ بیوچار طبیعی	۱۴	خاک + ۱ ٪ بیوچار زباله شهری
۷	خاک + ۳ ٪ بیوچار طبیعی + ۱ ٪ بیوچار زباله شهری	۱۵	خاک + ۳ ٪ بیوچار زباله شهری
۸	خاک + ۳ ٪ بیوچار طبیعی + ۳ ٪ بیوچار زباله شهری	۱۶	خاک + ۵ ٪ بیوچار زباله شهری

شکل ۱. نحوه کار با دستگاه صفحات فشاری (سمت راست) و نحوه قرائت رطوبت با دستگاه TDR (سمت چپ)

www.SID.ir

Archive of SID

تحلیل آماری

داده‌های وزن مخصوص ظاهری و حقیقی، ظرفیت زراعی، پژمردگی دائم، هدایت هیدرولیکی اشباع و دور آبیاری برای هر ۱۶ تیمار خاک با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمـون دانکن در سطح ۱ و ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول (۱) خاک اولیه (تیمار شاهد) دارای بافت شنی بوده و اسیدیته تقریباً خنثی دارد همچنین دارای هدایت الکتریکی و ماده آلی کمی می‌باشد.

اثر بیوچار بر وزن مخصوص ظاهری و حقیقی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح مختلف بیوچار اثر کاهشی معنی‌داری بر وزن مخصوص ظاهری و حقیقی در سطح ۱ درصد داشت ($P<۰/۰۱$) (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های مربوطه بر اساس آزمون دانکن در شکل‌های (۱ و ۲) ارائه شده است.

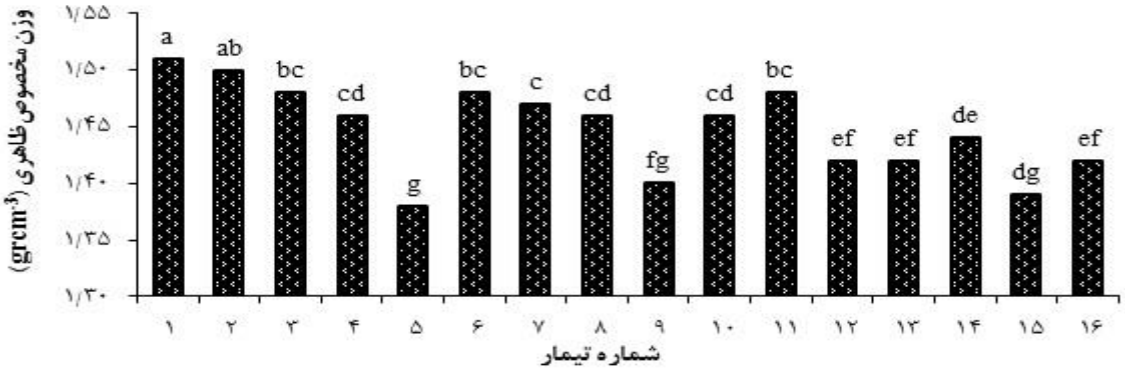
با توجه به شکل (۲) ملاحظه می‌شود که وزن مخصوص ظاهری در بین تیمارهای مختلف، تغییرات معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد داشته است. در بین تیمارهای مختلف خاک تیمار ۵ (خاک + ۱ ٪ بیوچار طبیعی + ۵٪ بیوچار زباله شهری) کمترین وزن مخصوص ظاهری را داشته که کاهش ۹ درصدی نسبت به تیمار شاهد دارد و بیشترین وزن مخصوص ظاهری هم مربوط به تیمار شاهد بوده است. بیوچار قادر است از طریق تغییر در تراکم دانه‌های خاک، وزن مخصوص ظاهری آن را کاهش دهد (Lim *et al.*, 2016). Peake *et al.* (2014) در بررسی اثر بیوچار حاصل از زغال درخت کاج، به نتایج مشابهی دست یافتند.

جدول۳. تجزیه واریانس اثر بیوچارهای طبیعی وکمپوست زباله شهری بر وزن مخصوص ظاهری و حقیقی

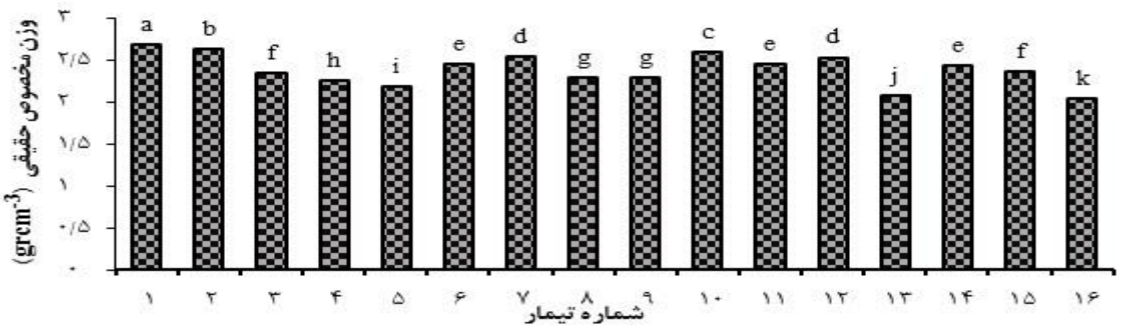
منبع تغییرات	درجه آزادی	وزن مخصوص حقیقی	وزن مخصوص ظاهری
تیمار	۱۵	۰/۱۰۹ **	۰/۰۰۵ **
تکرار	۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
خطا	۳۰	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۹
کل	۴۸		

**** و *: معنی‌داری به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد**

با توجه به شکل (۳) ملاحظه می‌شود که مصرف سطوح مختلف بیوچار، وزن مخصوص حقیقی خاک را به‌صورت معنی-داری کاهش داد. تیمارهای ۱۶ (خاک + ۵٪ بیوچار زباله شهری)، ۱۳ (خاک + ۵٪ بیوچار طبیعی + ۵٪ بیوچار زباله شهری) و ۵ (خاک + ۱ ٪ بیوچار طبیعی + ۵٪ بیوچار زباله شهری) بیشترین کاهش در میزان وزن مخصوص حقیقی خاک را نشان دادند که به ترتیب معادل ۲۳، ۲۲ و ۱۸ درصد نسبت به تیمار شاهد بوده است. این نتیجه با نتایج Andrenelli *et al.* (2016) و Razzaghi and Rezaie (2017) مطابقت دارد.



شکل۲. اثر تیمارها بر وزن مخصوص ظاهری در خاک



شکل۳. اثر تیمارها بر جرم مخصوص حقیقی در خاک

www.SID.ir

Archive of SID

اثر بیوچار بر ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بیوچار بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک شامل: رطوبت در نقطه ظرفیت مزرعه (FC)، آب قابل‌دسترس گیاه و رطوبت در نقطه پژمردگی دائم (PWP) در جدول (۴) و مقایسه میانگین‌های مربوطه بر اساس آزمون دانکن در جدول (۵) ارائه‌شده است. بر اساس جداول (۴) و (۵)، ملاحظه می‌شود که به‌طورکلی کاربرد بیوچارها سبب شده است تا ضرایب فوق نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش پیدا کنند. همچنین نتایج تجزیه واریانس (جدول۴) نشان داد که اثر بیوچارها بر رطوبت ظرفیت زراعی در سطح ۱ درصد معنادار می‌باشد (P<۰/۰۱). با توجه به جدول (۵) نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که رطوبت در وضعیت ظرفیت مزرعه بین تیمارهای مختلف، تیمار ۵ (خاک + ۱ ٪ بیوچار طبیعی + ۵٪ بیوچار زباله شهری) بیشترین مقدار را با افزایش ۳۲ درصدی نسبت به تیمار شاهد دارد، بعد از آن تیمارهای ۱۳ (خاک + ۵٪ بیوچار طبیعی + ۵٪ بیوچار زباله شهری)، ۱۵ (خاک + ۳ ٪ بیوچار زباله شهری) و ۱۶ (خاک + ۵ ٪ بیوچار زباله شهری) هر کدام به ترتیب افزایش ۲۶ ، ۲۷ و ۲۵ درصدی نسبت به تیمار شاهد را نشان دادند. ازنظر میزان رطوبت در نقطه FC تنها بین تیمارهای ۲ (خاک + ۱ ٪ بیوچار طبیعی) و ۵ (خاک + ۱ ٪ بیوچار طبیعی + ۵٪ بیوچار زباله شهری) تفاوت معنی‌دار ملاحظه شد (جدول ۵).

جدول۴ . تجزیه واریانس اثر بیوچارهای طبیعی وکمپوست زباله شهری بر پارامترهای رطوبتی خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		رطوبت زراعی	رطوبت معادل نقطه پژمردگی دائم	درصد آب قابل‌استفاده
		(درصد وزنی)		
تیمار	۱۵	۹/۳۷ **	۴/۳۳ **	۶/۱۲ **
تکرار	۲	۵۴/۶۳	۰/۶۸	۴۳/۰۹
خطا	۳۰	۱/۰۷	۰/۳۰	۱/۲۵
کل	۴۸			

**** و *: معنی‌داری به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد**

طبق نتایج تجزیه واریانس در جدول (۴) اثر بیوچارها بر نقطه پژمردگی دائم در سطح ۱ درصد معنادار می‌باشد (P<۰/۰۱). بر اساس نتایج مقایسه رطوبت در نقطه پژمردگی دائم (جدول ۵)، اغلب تیمارها روند افزایشی داشته‌اند که در این بین تیمار ۱۶ (خاک + ۵ ٪ بیوچار زباله شهری) بیشترین مقدار افزایش (۴۵ درصدی) را نسبت به شاهد، داشته است. تیمار ۶ (خاک + ۳ ٪ بیوچار طبیعی) کمترین میزان رطوبت را در بین تیمارهای مختلف داشت (PWP= ۴/۸۳). Suliman *et al*. (2017) افزایش رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم در خاک ماسه‌ای در نتیجه مصرف ۴۰ تن در هکتار بیوچار تولیدشده از پوست درخت کاج در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد را گزارش کردند. Briggs *et al*. (2012) با بکار بردن مقادیر ۰/۵، ۱ و ۲ درصد وزنی بیوچار حاصل از بقایای درخت کاج در دمای۴۵۰ درجه سانتی‌گراد به یک خاک لومی شنی در شرایط آزمایشگاهی، افزایش رطوبت در حد ظرفیت مزرعه‌ای را گزارش کردند. نتایج تحقیقات Koide *et al*. (2015) نشان داد که افزودن بیوچار، مقدار آب موجود در خاک را افزایش و باعث بالا بردن مقدار آب موجود در ظرفیت زراعی در خاک می‌شود. Emerson (1995) گزارش کرد که با افزایش ماده آلی در علفزارها، مقدار رطوبت FC و PWPافزایش می‌یابد. این افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک، در اثر تشکیل مواد حاصل از تجزیه بقایای آلی و افزایش ترشحات میکروبی در خاک است. علاوه بر این‌ها، تغییر در توزیع اندازه ذرات، توزیع اندازه خلل و فرج و توزیع اندازه خاکدانه‌ها نیز سبب افزایش رطوبت معادل FC و PWP در خاک‌ها گردید که با نظر Wu *et al*. (1990) مطابقت دارد.

اثر بیوچار بر آب قابل‌دسترس

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، بیوچارهای افزوده‌شده به خاک اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر آب قابل‌دسترس داشته است (P<۰/۰۱) (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش سطح بیوچار مصرفی، آب قابل‌دسترس گیاه افزایش یافته است. بیشترین مقدار آب قابل‌دسترس مربوط به تیمار ۵ (خاک + ۱ ٪ بیوچار طبیعی + ۵٪ بیوچار زباله شهری) بوده که افزایش ۳۹ درصدی نسبت به تیمار شاهد را در پی داشته است. پس از آن، تیمارهای ۹ (خاک + ۳ ٪ بیوچار طبیعی + ۵٪ بیوچار زباله شهری) و ۷ (خاک + ۳ ٪ بیوچار طبیعی + ۱ ٪ بیوچار زباله

www.SID.ir

Archive of SID

شهری) با افزایش ۳۰ و ۲۸ درصد نسبت به تیمار شاهد، بیشترین مقدار آب قابل‌دسترس گیاه را داشتند. این نتایج با مطالعه Burrell *et al*. (2016)، در رابطه با تأثیر بیوچار تولیدشده از خرده چوب بر وزن مخصوص ظاهری و آب قابل‌دسترس و همچنین تحقیق De Melo Carvalho *et al*. (2014) در بررسی اثر چوب اکالیپتوس تحت فرایند پیرولیز آهسته (دمای حدود ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد) بر حفظ رطوبت در یک خاک لوم شنی مطابقت داشته است.

جدول۵. مقایسه میانگین پارامترهای رطوبتی خاک متاثر از بیوچارهای طبیعی وکمپوست زباله شهری

شماره تیمار خاک	ظرفیت زراعی	پژمردگی دائم	آب قابل‌دسترس
۱	۱۸/۶۱ e*	۵/۸۹ cde	۱۲/۷۲ e
۲	۱۸/۸۰ e	۵/۸۰ cde	۱۳ de
۳	۲۰/۵۵ cde	۵/۹۲ cde	۱۴/۶۳ bcde
۴	۲۲/۰۰ bcd	۸/۸۹ a	۱۳/۱۱ de
۵	۲۴/۷۰ a	۷/۰۳ bc	۱۷/۶۷ a
۶	۲۰/۲۶ cde	۴/۸۳ e	۱۵/۴۳ abcde
۷	۲۲/۲۳ abcd	۵/۹۶ cde	۱۶/۲۷ abc
۸	۲۱/۱۹ bcde	۵/۴۸ de	۱۵/۷۱ abcd
۹	۲۲/۸۹ bcde	۶/۲۶ cd	۱۶/۶۳ ab
۱۰	۱۹/۸۰ abc	۶/۶۰ bcd	۱۳/۲۰ de
۱۱	۲۰/۵۱ cde	۷/۰۱ bc	۱۳/۵۰ cde
۱۲	۲۲/۳۴ abcd	۷/۸۱ ab	۱۴/۵۳ bcde
۱۳	۲۳/۴۲ ab	۸/۳۹ a	۱۵/۰۳ abcde
۱۴	۲۱/۵۳ bcd	۶/۷۳ bcd	۱۴/۸۰ bcde
۱۵	۲۳/۶۹ ab	۷/۹۵ ab	۱۵/۷۴ abcd
۱۶	۲۳/۲۰ ab	۸/۵۴ a	۱۴/۶۶ bcde

***: داده‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند، از نظر آماری اختلاف معنی‌دار با یکدیگر ندارند.**

اثر بیوچار بر هدایت هیدرولیکی اشباع (Ks)

تجزیه واریانس نتایج مربوط به اثر تیمارهای مختلف بیوچار بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در جدول (۶) و مقایسه میانگین‌های مربوطه بر اساس آزمون دانکن در جدول (۷) ارائه شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که با افزودن بیوچارها در خاک، هدایت هیدرولیکی در سطح ۱ درصد کاهش معنی‌دار داشته است ($P<0/01$). همچنین با توجه به نتایج مقایسه میانگین (جدول۶) ملاحظه می‌شود که در بین تیمارهای مختلف، از نظر هدایت هیدرولیکی اختلاف معنی‌داری وجود دارد.

با توجه به جدول (۷)، همان‌طور که انتظار می‌رفت بیوچار سبب شده است تا هدایت هیدرولیکی اشباع خاک نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌دار کاهش پیدا کنند. به‌طوری‌که تیمار ۱۱ (خاک + ۵٪ بیوچار طبیعی + ۱ ٪ بیوچار زباله شهری) و سپس ۱۳ (خاک + ۵٪ بیوچار طبیعی + ۵٪ بیوچار زباله شهری) بیشترین کاهش (به ترتیب ۶۴ و ۶۱ درصد) را در بین تیمارهای مختلف نسبت به شاهد داشته است. به نظر می‌رسد که با افزودن سطوح مختلف بیوچار طبیعی و کمپوست زباله شهری به خاک، از طریق ایجاد خاکدانه‌های به نسبت پایدار و کم کردن خلل و فرج درشت، هدایت هیدرولیکی نسبت به شاهد به صورت معنی‌داری کاهش می‌یابد. Trifunovic *et al*. (2018) اثرات کاربرد بیوچار بر اندازه ذرات و خواص هیدرولیکی ماسه را مورد مطالعه قرار دادند، نتایج نشان داد که با کاربرد بیوچار به خاک می‌توان هدایت هیدرولیکی را کاهش داد. Ibrahim *et al*. (2017) گزارش نمودند که کاربرد بیوچار در خاک شنی و ماسه‌ای باعث کاهش هدایت هیدرولیکی می‌شود زیرا ذرات ریز بیوچار منافذ درشت خاک شنی را می‌گیرد و باعث کاهش هدایت هیدرولیکی می‌گردد. همچنین در تحقیق دیگری توسط Zhang *et al*. (2016)، نتیجه مشابهی در خصوص تأثیر کاربرد بیوچار بر هدایت هیدرولیکی خاک شنی بدست آمد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶. تجزیه واریانس اثرات بیوچار بر هدایت هیدرولیکی اشباع

منبع تغییر	df	هدایت هیدرولیکی اشباع (cm/day)
تیمار	۱۵	۶۱۰۴۴**
تکرار	۲	۰/۰۰۰۱
خطا	۳۰	۰/۰۰۱
کل	۴۸	

** و *: معنی‌داری به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد

جدول ۷. مقایسه میانگین هدایت هیدرولیکی اشباع در تیمارهای مورد مطالعه

شماره تیمار	هدایت هیدرولیکی اشباع (cm/day)	شماره تیمار	هدایت هیدرولیکی اشباع (cm/day)
۱	۷۰۷/۹ a	۹	۳۴۵/۶ l
۲	۶۳۹/۴ b	۱۰	۴۰۳/۶ h
۳	۴۹۱/۹ g	۱۱	۲۵۴/۸ p
۴	۳۴۸/۱ j	۱۲	۳۵۵/۲ i
۵	۵۲۷/۵ f	۱۳	۲۷۳/۷ o
۶	۳۴۷/۹ k	۱۴	۵۷۶/۱ d
۷	۳۴۲/۵ m	۱۵	۶۳۴/۷ c
۸	۳۳۹/۸ n	۱۶	۵۴۷/۷ e

*: داده‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند، از نظر آماری اختلاف معنی‌دار با یکدیگر ندارند.

اثر بیوچار بر دور آبیاری

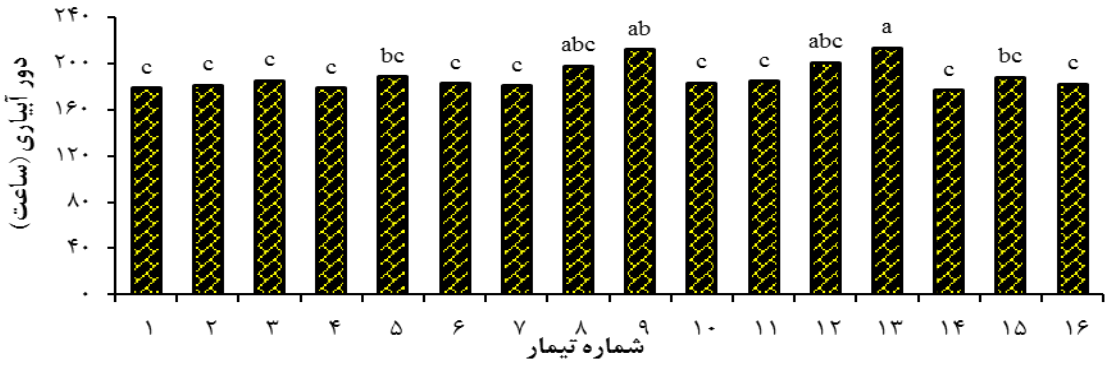
نتایج حاصل از تجزیه واریانس در جدول (۸) نشان داد که افزودن بیوچارها به خاک باعث تغییرات معنی‌داری بر دور آبیاری در سطح ۵ درصد شد (P<۰/۰۵). همچنین نتایج مقایسه میانگین در شکل (۴) نشان داد که افزودن بیوچارها باعث افزایش دور آبیاری در تیمارهای مختلف شده است.

در بین تیمارهای مختلف، تیمارهای ۹ (خاک + ۳ ٪ بیوچار طبیعی + ۵٪ بیوچار زباله شهری) و ۱۳ (خاک + ۵٪ بیوچار طبیعی + ۵٪ بیوچار زباله شهری) بیشترین (به ترتیب برابر با ۲۰۵/۱ و ۲۰۳/۸ ساعت) و تیمارهای ۷ (خاک + ۳ ٪ بیوچار طبیعی + ۱ ٪ بیوچار زباله شهری) و ۱۴ (خاک + ۱ ٪ بیوچار زباله شهری) کمترین دور آبیاری (به ترتیب برابر با ۱۶۲/۹ و ۱۶۹/۳ ساعت) را نسبت به تیمار شاهد (۱۷۷ ساعت) داشتند. این نتیجه با نتایج Burrell *et al*. (2016)، همخوانی دارد.

جدول ۸. تجزیه واریانس اثر کاربرد بیوچارها بر دور آبیاری

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات دور آبیاری (ساعت)
تیمار	۱۵	۵۲۲/۵ *
تکرار	۳	۴۲۶۱۷/۹**
خطا	۴۵	۲۴۵/۷
کل	۶۴	

** و *: معنی‌داری به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد



شکل ۴. اثر کاربرد بیوچارها بر دور آبیاری

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که کاربرد بیوچار طبیعی و بیوچار کمپوست زباله شهری در یک خاک ماسه‌بادی می‌تواند باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک و میزان آب قابل استفاده گیاه شود. افزودن سطوح مختلف بیوچارهای مذکور به خاک، در اکثر تیمارها به‌طور معنی‌داری سبب افزایش ظرفیت زراعی، آب قابل‌دسترس و دور آبیاری شده است. همچنین افزودن این مواد به‌صورت معنی‌داری سبب کاهش هدایت هیدرولیکی، وزن مخصوص ظاهری و وزن مخصوص حقیقی شده است. به‌طور میانگین افزودن بیوچارها به خاک، ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم، آب قابل‌دسترس و دور آبیاری را به ترتیب ۱۷/۲، ۱۶/۸، ۱۷/۴ و ۳/۲ درصد افزایش داده و هدایت هیدرولیکی، وزن مخصوص ظاهری و وزن مخصوص حقیقی را به ترتیب ۳۹/۴، ۴/۴ و ۱۱/۷ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داده است. کاهش هدایت هیدرولیکی می‌تواند به این دلیل باشد که ذرات ریز بیوچارهای مورد استفاده، منافذ درشت خاک ماسه‌ای را پر نموده و باعث کاهش تخلخل و در نتیجه کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع شده است. کاهش وزن مخصوص ظاهری و حقیقی به دلیل افزایش حجم منافذ خاک در اثر افزایش بیوچار ایجاد شده است. بیوچار مانند آب انبارهای مینیاتوری عمل نموده و با نگهداری رطوبت سبب افزایش دور آبیاری می‌گردد. از بین تیمارهای مورد مطالعه، تیمار ۱۳ (خاک + ۵٪ بیوچار طبیعی + ۵٪ بیوچار زباله شهری) نسبت به تیمار شاهد بیشترین تأثیر را بر پارامترهای ذکر شده داشت. در کل استفاده از بیوچار برای اصلاح خاک‌های با بافت سبک که ظرفیت نگهداری آب کمی دارند به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با مساله کمبود منابع آب مواجه هستند، راهکار بسیار مناسب و کارآمدی برای مدیریت منابع آب و خاک می‌باشد.

REFERENCE

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*, 183-191.

Aggelides, S. M., & Londra, P. A. (2000). Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. *Bioresource technology*, *71*(3), 253-259.

Alihouri, M., Naseri, A. A., Boroomand-Nasab, S., & Kiani, A. (2015). Effect of deficit irrigation and water salinity on soil salinity distribution and date plants vegetative growth. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 4(3), 1-13. (In Farsi)

Andrenelli, M. C., Maienza, A., Genesio, L., Miglietta, F., Pellegrini, S., Vaccari, F. P., & Vignozzi, N. (2016). Field application of pelletized biochar: Short term effect on the hydrological properties of a silty clay loam soil. *Agricultural Water Management*, *163*, 190-196.

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 Reseach*, 19(4), 679-692. (In Farsi)

Briggs, C., Breiner, J. M., & Graham, R. C. (2012). Physical and chemical properties of Pinus ponderosa charcoal: implications for soil modification. *Soil Science*, *177*(4), 263-268.

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.

De Melo Carvalho, M., Maia, A. d. H. N., Madari, B., Bastiaans, L., Van Oort, P., Heinemann, A., . . . Meinke, H. (2014). Biochar increases plant-available water in a sandy loam soil under an aerobic rice crop system. *Solid Earth*, *5*(2), 939.

Emerson, W. W. (1995). Water-retention, organic-C and soil texture. *Soil Research*, *33*(2), 241-251.

Frankenberger, W., Tabatabai, M., Adriano, D., & Doner, H. (1996). Bromine, chlorine, & fluorine. *Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods* (methodsofsoilan3), 833-867.

Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis1. *Methods of soil analysis: Part 1—Physical and mineralogical methods* (methodsofsoilan1), 383-411.

Helmke, P. A., & Sparks, D. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods (methodsofsoilan3), 551-574.

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.

Khandan, A., and Astaraee, A. (2005). Effect of organic (municipal waste composte, manure) and fertilizers on some physical properties of soil. *Journal of Desert*, 10(2), 361-368. (In Farsi)

Kim, K. H., Kim, J.-Y., Cho, T.-S., & Choi, J. W. (2012). Influence of pyrolysis temperature on physicochemical properties of biochar obtained from the fast pyrolysis of pitch pine (Pinus rigida). *Bioresource technology*, *118*, 158-162.

Koide, R. T., Nguyen, B. T., Skinner, R. H., Dell, C. J., Peoples, M. S., Adler, P. R., & Drohan, P. J. (2015). Biochar amendment of soil improves

www.SID.ir

Archive of SID

resilience to climate change. *Gcb Bioenergy*, *7*(5), 1084-1091.

Lal, R. (2011). Sequestering carbon in soils of agro-ecosystems. *Food policy*, *36*, S33-S39.

Laird, D. A. (2008). The charcoal vision: a win–win–win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. *Agronomy journal*, *100*(1), 178-181.

Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). Biochar for environmental management: science, technology and implementation: Routledge.

Lehmann, J., da Silva, J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., & Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and soil*, *249*(2), 343-357.

Lim, T., Spokas, K., Feyereisen, G., & Novak, J. (2016). Predicting the impact of biochar additions on soil hydraulic properties. *Chemosphere*, *142*, 136-144.

Miller, J. J., & Curtin, D. (2006). Electrical conductivity and soluble ions. *Soil sampling and methods of analysis*, *2*.

Mirzaei Talarposhti, R., Kambozia, J., Sabahi, H., and damghany, A. (2009). Effect of different organic fertilizers on soil physicochemical properties, production and biomass yield of tomato (Lycopersicon esculentum L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 7(1), 257-268. (In Farsi)

Moghimi, J. (2005). The introduction of some of the important range plants for the development and improvement of Iranian pastures. *Aron* (1th ed), 624 P.

Mukherjee, A., Lal, R., & Zimmerman, A. (2014). Effects of biochar and other amendments on the physical properties and greenhouse gas emissions of an artificially degraded soil. *Science of the Total Environment*, *487*, 26-36.

Nelson, D., & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter1. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* (methodsofsoilan2), 539-579.

Obia, A., Mulder, J., Martinsen, V., Cornelissen, G., & Børresen, T. (2016). In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soils. *Soil and Tillage Research*, *155*, 35-44.

Olsen, S. R. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate: United States Department of Agriculture; Washington.

parichehre, M., SadeghZadeh, F., Behmanyar, M. a., & Ghajar Sepanlu, M. (2017). Effects of Rice Straw and Dicer Biochars on Chemical Characteristics of Clay-Loam, Saline-Sodic Soil. *Journal of Water and Soil Science*, 27(4), 49-1. (In Farsi)

Peake, L. R., Reid, B. J., & Tang, X. (2014). Quantifying the influence of biochar on the physical and hydrological properties of dissimilar soils. *Geoderma*, *235*, 182-190.

Razzaghi, F., and Rezaie, N. (2017). Effects of different levels of biochar on soil physical properties with different textures, Journal of Water and Soil Resources conservation. Vol 7(1), 75-88. (In Farsi)

Rhoades, J. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods* (methodsofsoilan3), 417-435.

Steiner, C., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Nehls, T., de Macêdo, J. L. V., Blum, W. E., & Zech, W. (2007). Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant and soil*, *291*(1-2), 275-290.

Suliman, W., Harsh, J. B., Abu-Lail, N. I., Fortuna, A. M., Dallmeyer, I., & Garcia-Pérez, M. (2017). The role of biochar porosity and surface functionality in augmenting hydrologic properties of a sandy soil. *Science of the Total Environment*, *574*, 139-147.

Thomas, G. (1996). Soil pH and soil acidity. *Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods* (methodsofsoilan3), 475-490.

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.*

Veihmeyer, F. J., & Hendrickson, A. H. (1949). Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils. *Soil science*, *68*(1), 75-94.

Wu, L., Vomocil, J. A., & Childs, S. W. (1990). Pore size, particle size, aggregate size, and water retention. *Soil Science Society of America Journal*, *54*(4), 952-956.

Yazdanpanahi, A., Ahmadaali, Kh, Zare, S., & Shabani Omran, T. (2018a). Investigating the effect of natural and urban waste compost biochars on hydraulic parameters in sandy soils. *Journal of Range & Watershed Management*, 71(2), 555-561. (In Farsi)

Yu, O.-Y., Raichle, B., & Sink, S. (2013). Impact of biochar on the water holding capacity of loamy sand soil. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, *4*(1), 44.

Zhang, J., Qun, C., & Changfu, Y. (2016). Biochar effect on water evaporation and hydraulic conductivity in sandy soil. *Pedosphere*, *26*(2), 265-272.

www.SID.ir