Archive of SID

نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال هفتم، شماره اول، پاییز ۱۳۹۶

ISSN 2251-7480

اثر سطوح مختلف بیوچار بر خواص فیزیکی خاک با بافت‌های مختلف

فاطمه رزاقی[1*] و ناهید رضایی[2]

۱*) استادیار بخش مهندسی آب؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه شیراز؛ شیراز؛ ایران

* نویسنده مسئول مکاتبات: razzaghi@shirazu.ac.ir

۲) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه شیراز؛ شیراز؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٦/٤/۲۸

چکیده

بیوچار زغال تهیه شده از زیست توده‌های گیاهی و حیوانی است که سوختن آن در حضور اکسیژن کم و یا عدم حضور اکسیژن انجام می‌شود. بیوچار به‌دلیل ساختار متخلخلی که دارد سبب بهبود شرایط فیزیکی خاک می‌شود. از این رو پژوهش حاضر به‌منظور بررسی کاربرد سطوح مختلف بیوچار بر برخی خواص فیزیکی و شیمیایی چهار نوع بافت خاک در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. سطوح صفر (شاهد)، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ تن در هکتار بیوچار تولید شده از کاه و کلش گندم در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد در چهار نوع خاک با بافت‌های لوم شنی، لومی، لوم رسی و رسی در ۳ تکرار و در قالب طرح کاملاً تصادفی اعمال گردید. چهل روز پس از اختلاط خاک و بیوچار و تعیین نمودن رطوبت در حد ظرفیت مزرعه‌ای، سایر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک (رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم، چگالی ظاهری و حقیقی، هدایت هیدرولیکی اشباع و ظرفیت تبادل کاتیونی) با نمونه‌گیری از خاک اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که کاربرد بیوچار سبب بهبود وضعیت فیزیکی خاک با بافت‌های مختلف می‌گردد به نحوی‌که کاربرد ۷۵ تن در هکتار بیوچار سبب افزایش ۴۵، ۱۳، ۹۵ و ۵۲ درصدی آب قابل دسترس، تخلخل، هدایت هیدرولیکی و ظرفیت تبادل کاتیونی نسبت به عدم کاربرد بیوچار گردید. با توجه به نتایج به‌دست آمده در این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از بیوچار به‌عنوان یک اصلاح‌کننده به‌خصوص در خاک‌های سنگین بافت که برای بهبود وضعیت زهکشی و نفوذ و همچنین در خاک‌های سبک بافت که ظرفیت نگهداری آب کمی دارند استراتژی مناسبی است.

کلید واژه‌ها: چگالی ظاهری؛ ظرفیت تبادل کاتیونی؛ ظرفیت نگهداری آب؛ هدایت هیدرولیکی اشباع

مقدمه

در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک که قسمت عمده کشور ایران را نیز شامل می‌شود، عدم وجود پوشش گیاهی کافی و مناسب، عدم مدیریت صحیح استفاده از بقایای گیاهان و همچنین کاهش بازگشت بقایای گیاهی به خاک سبب کمبود مواد آلی شده است. مواد آلی نقش قابل‌ملاحظه‌ای در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و تأمین برخی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه داشته و می‌توان از آن‌ها برای اصلاح ویژگی‌های نامطلوب خاک و افزایش پایدار محصول استفاده کرد. به همین دلیل کشاورزان مدام در تلاش بوده‌اند تا با تأمین نیاز غذایی گیاه به‌ویژه از طریق مصرف کودهای شیمیایی و بازگرداندن بقایای آلی به خاک و یا سوزاندن بقایا، تولید محصول را تا حد امکان افزایش دهند (Mary *et al.*, 1996). در کشورهای پیشرفته در زمینه کشاورزی پایدار به‌دلیل توجه زیاد به مسئله تثبیت کربن در خاک و نقش آن در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تولید اصلاح‌کننده‌های خاک کارآمد و در عین حال با کم‌ترین آسیب به محیط‌زیست مورد توجه زیادی قرار گرفته است. در سال‌های اخیر از بیوچار (زغال زیستی) به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک (منبع

www.SID.ir

Archive of SID

کربن آلی) و به نوعی روشی برای ترسیب کربن در خاک‌های کشاورزی استفاده شده است. در واقع بیوچار یک محصول کربنی است که از تجزیه زیست توده گیاهی مانند بقایای محصولات کشاورزی مانند کاه و کلش گندم، ذرت، سبوس برنج و تفاله نیشکر و یا فضولات حیوانی در حرارت زیاد و در شرایط عدم حضور اکسیژن یا حضور بسیار کم آن به دست آمده است (Lehmann and Joseph, 2009). افزودن بیوچار به خاک می‌تواند سبب بهبود خواص فیزیکی (Mukherjee and Lal, 2013; Eastman, 2011)، شیمیایی (Laird *et al.*, 2010) و بیولوژیکی (Lehmann *et al.*, 2011) شود و در اکثر موارد کاربرد بیوچار می‌تواند سبب افزایش محصولات کشاورزی نیز شود (Major *et al.*, 2010). در اکثر آزمایشات که اثر بیوچار بر خواص خاک بررسی می‌شود، نوع خاک یک پارامترکیفی مهم است و تفاوت در نوع خاک سبب ایجاد اختلاف معنی‌داری در تجزیه و تحلیل‌های آماری می‌شود (Jeffery *et al.*, 2011). یکی از مهم‌ترین پارامترهای فیزیکی خاک که به شدت تولید محصول را هم تحت تاثیر قرار می‌دهد، آب در دسترس گیاه است. مطالعات اخیر نشان دادند که بیوچار سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب می‌شود (Martinsen *et al.*, 2014; Basso *et al.*, 2013).

افزایش آب قابل دسترس در اثر افزودن بیوچار به دلیل تغییری است که بیوچار به‌دلیل سطح ویژه بالایی که دارد در توزیع اندازه ذرات و تخلخل خاک ایجاد کرده است (Sun *et al.*, 2014). در همین راستا، Glab و همکاران (۲۰۱٦) در یک آزمایش گلخانه‌ای با افزودن مقدار ٤ درصد وزنی بیوچار تولید شده از ساقه گندم در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد به یک خاک ماسه‌ای، به‌ترتیب افزایش ٥۹/٦، ۲۷، ٦٥/٦ درصدی رطوبت در حد ظرفیت زراعی، رطوبت در نقطه پژمردگی دائم و آب قابل دسترس را گزارش کردند. وزن مخصوص ظاهری نیز یک پارامتر فیزیکی خاک می‌باشد که بیان کمی آن در بسیاری از مطالعات آب و خاک اهمیت زیادی دارد. افزودن بیوچار سبب کاهش چگالی ظاهری می‌شود (Chen *et al.*, 2011; Laird *et al.*, 2010)، چون در یک واحد حجم خاک، بیوچار وزن خاک را کاهش می‌دهد و همچنین سبب افزایش حجم منافذ خاک نیز می‌شود. از طرفی، تخلخل بیوچار به ماده اولیه‌ای که بیوچار از آن تولید می‌شود و شرایط تجزیه در اثر حرارت از جمله دمایی که در آن تولید می‌شود و مدت زمان تجزیه بستگی دارد (Glaser *et al.*, 2002; Major *et al.*, 2010).

Obia و همکاران (۲۰۱٦) در یک آزمایش مزرعه‌ای گزارش کردند که افزودن بیوچار تهیه شده از بلال ذرت در دمای ۳٥۰ درجه سانتی‌گراد در یک خاک لوم شنی، چگالی ظاهری را ۳ تا ٥ درصد به ازای هر درصد بیوچار اضاف شده، کاهش و تخلخل خاک را ۲ درصد به ازای هر درصد بیوچار اضاف شده، افزایش داد. Burrell و همکاران (۲۰۱٦) نیز اثر بیوچار تولید شده از خرده چوب در دمای ٥۲٥ درجه سانتی‌گراد را بر چگالی ظاهری و آب قابل دسترس در سه نوع خاک با بافت‌های لوم شنی، سیلتی لوم و لوم رسی بررسی کردند. بیوچار به میزان ۳ درصد وزنی به خاک‌ها اضافه شد. نتایج نشان داد که افزودن بیوچار به خاک‌های لوم شنی، سیلتی لوم و لوم رسی به ترتیب سبب افزایش ۹/٦، ٤/۲ و ۱/۹ درصدی آب قابل دسترس و سبب کاهش ۱۳/۳، ۱۰/۳ و ۹/۹ درصدی چگالی ظاهری شد. در تحقیق انجام شده توسط نوروزی و همکاران (۱۳۹٥) تاثیر بیوچار حاصل از برگ خرما بر خصوصیات فیزیکی خاک با بافت لوم شنی مورد بررسی قرار گرفت. بیوچار در پنج دمای ۳۰۰، ۳٥۰، ٤۰۰، ٤٥۰ و ٥۰۰ درجه سانتی‌گراد تهیه گردید. نتایج نشان داد که بیوچار علاوه‌بر تاثیر مثبت بر خصوصیات فیزیکی خاک و افزایش ظرفیت نگهداری، قادر است که منافذ ذخیره و انتقال خاک را با تشکیل منافذ ثانویه و نیز تغییر اندازه و تراکم خاکدانه‌های خاک افزایش دهد. علاوه بر این، افزایش دمای تولید بیوچار در دامنه ۳۰۰ تا ٥۰۰ درجه سانتی‌گراد، تغییرات معنی‌داری بر خصوصیات فیزیکی و رطوبتی خاک ایجاد نکرد. نتایج

www.SID.ir

Archive of SID

متفاوتی از افزودن بیوچار به خاک و اثر آن بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک گزارش شده است. در چندین آزمایش انجام شده، مشاهده شده است که افزودن بیوچار سبب کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع شده است (Githinji, 2014; Uzoma *et al.*, 2011). این کاهش در خاک‌های درشت دانه بیشتر مشاهده شده است. در خاک‌های سبک و شنی بیوچار با قرار گرفتن بین منافذ ماکرو در مسیر مستقیم آب، پیچ خوردگی ایجاد می‌کند و این سبب کندتر و مشکل‌تر شدن حرکت آب و در نتیجه کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌های درشت دانه می‌شود. از طرفی، در چندین مطالعه دیگر افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع در اثر افزودن بیوچار در خاک‌های رسی (اندازه منافذ کوچکتر) بیشتر مشاهده شده است (Moutier *et al.*, 2000; Herath, 2012). این افزایش به‌دلیل افزایش تخلخل و افزایش حجم منافذ ماکرو و کاهش چگالی ظاهری در این خاک‌ها گزارش شده است. Lim و همکاران (۲۰۱٦) در آزمایشی به بررسی اثر بیوچار حاصل از تراشه چوب درخت کاج در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک پرداختند. سطوح بیوچار بکار برده شده ۱، ۲ و ۵ درصد وزنی بوده و چهار نوع بافت شن درشت، شن ریز، لومی و رسی مورد استفاده قرار دادند. افزودن بیوچار به دو خاک شن ریز و درشت سبب کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع شد. اما در خاک لومی و رسی، بیوچار سبب افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع شد به‌نحوی که افزودن ۵ درصد بیوچار به خاک لومی و رسی به‌ترتیب سبب افزایش ۱/٦ و ۲۲ درصدی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک شد.

افزودن بیوچار به خاک سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی نیز می‌شود. بیوچار ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی دارد. این ویژگی بیوچار برخاسته از سطح ویژه زیاد آن و سطوح باردار آن و همچنین وفور گروه‌های کربوکسیل در آن است (Laird *et al.*, 2010). Uzoma و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند که کاربرد سطوح ۱۰، ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار تولید شده از کود گاوی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به خاک شنی موجب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شد. به‌طور کلی استفاده از بیوچار در خاک‌های کشاورزی این پتانسیل را دارد که تا حد زیادی شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را بهبود ببخشد. بیوچار با افزایش ظرفیت نگهداشت رطوبت و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک از یک طرف می‌تواند آب و از طرف دیگر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را فراهم کند و در نتیجه سبب افزایش بهره‌وری از خاک‌ها گردد (فتحی گردلیدانی و میرسید حسینی، ۱۳۹٤).

با توجه به آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ سطح زیر کشت گندم در استان فارس معادل ٤۰۸ هزار هکتار و تولید آن برابر با ۱۱۵۰ تن بوده است، این در حالی است که بخشی از کاه و کلش تولیدی جهت مصارف دامداری مصرف می‌گردد و بخش دیگر سوزانده می‌شود که خطرات محیط‌زیستی را به دنبال دارد. لذا اهمیت استفاده بهینه از این کاه و کلش با کاربرد آن به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک بیشتر مطرح می‌گردد. بر این اساس، در این پژوهش به بررسی اثر سطوح مختلف بیوچار (تولید شده از کاه و کلش گندم) بر برخی خواص فیزیکی خاک با بافت‌های لوم شنی، لومی، لوم رسی و رسی پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش گلخانه‌ای در گلخانه‌ی پژوهشکده خشکسالی (با پوشش شیشه‌ای) واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز با عرض جغرافیایی ´۳٦ °۲۹ و طول جغرافیایی ´ ۵۲ °۳۳ و ارتفاع ۱۸۱۰متر از سطح دریا انجام شد. در این پژوهش تأثیر چهار سطح بیوچار بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی ٤ نوع خاک با بافتهای مختلف در ۳ تکرار و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. چهار سطح بیوچار شامل صفر (B_0) (شاهد)، ۲۵ (B_{25})، ۵۰ (B_{50}) و ۷۵ (B_{75}) تن در هکتار (به‌ترتیب معادل صفر، ۱/۲۵، ۲/۵ و ۳/۷۵ درصد وزنی) و چهار نوع بافت خاک شامل بافت‌های لوم

www.SID.ir

Archive of SID

شنی، لومی، لوم رسی و رسی می‌باشد. مشخصات خاک‌های مورد آزمایش در جدول ۱ آمده است.

تهیه بیوچار

برای تهیه بیوچار از کاه وکلش گندم استفاده شد. ابتدا کاه و کلش‌ها بسته بندی شده و سپس در دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ٤٨ ساعت و در شرایط بدون اکسیژن سوزانده شده و سپس سرد شدند. بعضی از ویژگی‌های بیوچار مورد استفاده در جدول ۲ آورده شده است. به‌منظور بررسی اثر سطوح بیوچار در چهار بافت خاک، در مجموع ٤٨ گلدان مورد استفاده قرار گرفت. متوسط ارتفاع و قطر گلدان‌های مورد استفاده به‌ترتیب برابر ۱۸ و ۲۲ سانتی‌متر می‌باشد. مقدار بیوچار در هر سطح توزین و پس از افزودن به خاک عبور کرده از الک دو میلی‌متری به‌طور کامل با خاک مخلوط شد. بعد از تعیین رطوبت در حد ظرفیت زراعی برای تمام سطوح بیوچار در هر چهار بافت به روش گلدانی، مخلوط خاک و بیوچار یک بار در هفته به مدت چهل روز تا حد ظرفیت مزرعه‌ای آبیاری گردیدند تا اینکه خاک و بیوچار به تعادل برسند و سپس سایر اندازه‌گیری‌ها انجام گردید.

تعیین رطوبت در حد ظرفیت مزرعه‌ای (θ_{FC})، رطوبت در نقطه پژمردگی دائم (θ_{PWP}) و آب قابل دسترس

برای تعیین رطوبت در حد ظرفیت مزرعه‌ای، به‌دلیل عدم دسترسی به صفحه مکش یک دهم بار (برای خاک‌های با بافت سبک)، از روش گلدانی استفاده گردید. لذا در ابتدای آزمایش، رطوبت در حد ظرفیت مزرعه‌ای برای هر سطح اعمالی بیوچار در هر ٤ بافت خاک به روش گلدانی اندازه‌گیری شد. بدین منظور داخل گلدان‌ها (پس از پر کردن گلدان‌ها از مخلوط خاک و بیوچار) آب ریخته به حدی که خاک کاملاً اشباع گردید و از انتهای گلدان‌ها خروج آب مشاهده گردد. سپس روی گلدان‌ها با پلاستیک پوشانیده شد تا آبی در اثر تبخیر از دست نرود. گلدان‌ها مرتباً (چند بار در روز و به مدت ۱۰ روز) وزن گردیدند.

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های مورد استفاده (قلی زاده، ۱۳۸۸؛ حسینی، ۱۳۸٤)

نام خاک	بافت خاک	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	چگالی ظاهری ($g\ cm^{-3}$)
گربایگان فسا	لوم شنی	۷۰	۱۸	۱۲	۱/۵
کوی اساتید	لومی	۳۹	۵۱	۱۰	۱/۲۲
سری دانشکده	لوم رسی	٤۰	۲۸	۳۲	۱/۳٤
منطقه کوشکک	رسی	۱٦	٤۸	۳٦	۱/٤۸

جدول ۲. برخی از ویژگی‌های بیوچار مورد استفاده

خواص	بیوچار
سدیم ($meq\ l^{-1}$)	۲/۳
پتاسیم ($meq\ l^{-1}$)	۸۳
منیزیم ($meq\ l^{-1}$)	۳/۸
کلسیم ($meq\ l^{-1}$)	۱۵
قابلیت هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	۷/۵
ظرفیت تبادل کاتیونی ($meq\ 100g^{-1}\ soil$)	۲٤/۹۸
PH	۸/۵
چگالی ظاهری ($g\ cm^{-3}$)	۰/۲۵

www.SID.ir

Archive of SID

زمانی که قرائت‌های وزن گلدان به مقدار ثابت رسید و آبی از انتهای گلدان خارج نشد، این مقدار رطوبت برابر با رطوبت ظرفیت زراعی منظور گردید. برای تعیین رطوبت در نقطه پژمردگی دائم نیز از دستگاه صفحات فشاری استفاده شد. با اعمال مکش ۱۵ بار و در نهایت θ_{PWP} تعیین شد. آب قابل دسترس نیز از تفاضل رطوبت در حد ظرفیت مزرعه‌ای و رطوبت در نقطه پژمردگی دائم محاسبه گردید.

اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری و حقیقی

در ابتدا از تیمارها، نمونه خاک دست نخورده تهیه گردید. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شده و در آون در دمای ۱۱۰-۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲٤ خشک گردید. وزن مخصوص ظاهری (ρ_b[1]، g cm^{-3}) از رابطه زیر تعیین گردید:

$$\rho_b = \frac{m_s}{V_t} \qquad (۱)$$

که m_s: وزن خاک خشک (g) و V_t حجم کل خاک معادل حجم استوانه نمونه‌برداری (cm^3) در نظر گرفته شد.

برای محاسبه وزن مخصوص حقیقی ρ_s[2]، وزن خشک خاک به همان صورتی که برای وزن مخصوص ظاهری توضیح داده شد، تهیه و محاسبه گردید. حجم خاک خشک هم به روش جابجایی محاسبه شد. بدین صورت که ابتدا حجم مشخصی آب در یک استوانه ریخته و سپس مقدار معینی از نمونه خاک خشک مورد نظر به آب اضافه گردید. افزایش حجم آب در اثر افزودن خاک، معادل حجم نمونه خاک خشک است (رابطه ۲).

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \qquad (۲)$$

که در آن، V_s حجم خاک خشک (cm^3) می‌باشد.

اندازه گیری هدایت هیدرولیکی اشباع (K_{sat}[3])

برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک گربایگان فسا و خاک کوی اساتید که بافتی سبک‌تر دارند، از روش بار ثابت استفاده شد و برای خاک سری دانشکده و کوشکک که سنگین بافت هستند، از روش بار افتان استفاده شد.

اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار ثابت

ابتدا مقداری خاک دست خورده را در استوانه ریخته و آن را پر می‌کنیم سپس درب استوانه می‌بندیم. ارتفاع ستون خاک و قطر استوانه یادداشت می‌شود. روی ستون خاک ارتفاع ثابت آب قرار داده می‌شود. با استفاده از یک بشر و کرنومتر در یک بازه زمانی مشخص، حجم آب عبوری از ستون خاک را اندازه‌گیری می‌کنیم. با استفاده از معادله دارسی هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار ثابت تعیین گردید.

$$K = \frac{Q \times L}{A \times \Delta h} \qquad (۳)$$

Q: حجم آب عبوری از ستون خاک در واحد زمان (m^3 s^{-1})، k: هدایت هیدرولیکی اشباع (m s^{-1})، A: سطح مقطع ستون خاک (m^2)، Δh: اختلاف گرادیان هیدرولیکی بین نقطه خروجی و سطح آب ثابت شده روی ستون خاک (m) و L: طول ستون خاک (m) می‌باشد.

اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار افتان

مشابه اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی با بار ثابت، روی ستون خاک دست خورده، ارتفاع آب قرار داده می‌شود. ارتفاع آب ثابت نبوده و به تدریج کم می‌گردد. زمان نزول سطح آب را با استفاده از کورنومتر ثبت می‌کنیم. ارتفاع آب روی ستون خاک در زمان‌های مختلف پس از انجام آزمایش یادداشت می‌شود. با استفاده از رابطه زیر مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار افتان محاسبه شد:

$$K = \frac{2.3 \times a \times L}{A \times t} \log \frac{h_1}{h_2} \qquad (٤)$$

K: هدایت هیدرولیکی اشباع (m s^{-1})، a: سطح مقطع لوله بورت (m^2)، L: طول ستون خاک (m)، h_1: بارآبی در آغاز آزمایش (m)، h_2: بار آبی در خاتمه آزمایش (m)، t:

[1] *Bulk density*
[2] *Particle density*
[3] *Saturated hydraulic conductivity*

www.SID.ir

Archive of SID

کل زمان برای پایین افتادن آب در بورت از h_1 به h_2 (s) و A: سطح مقطع ستون خاک (m^2) می‌باشد.

اندازه‌گیری ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC[1])

ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جانشینی کاتیون‌ها با استات سدیم (Summer and Miller, 1996) و با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید:

$$CEC=\frac{\text{میزان رقیق کردن سدیم} \times (\text{ppm})\text{غلظت سدیم}}{100 \times \text{عدد جرمی سدیم} \times (\text{g})\text{وزن نمونه خاک}} \times 1000 \qquad (۵)$$

CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی ($meq\ 100g^{-1}\ soil$).

محاسبات آماری

این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم افزار SAS انجام شد. پردازش داده‌ها نیز با نرم‌افزار Sigma Plot صورت گرفت. تفاوت بین معنی‌داری تیمارها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن (با احتمال ۹۵ درصد) مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

رطوبت وزنی در حد ظرفیت مزرعه‌ای (θ_{FC}) با روش گلدانی

نتایج مربوط به مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثر متقابل تیمارها بر رطوبت وزنی در حد ظرفیت مزرعه‌ای به روش گلدانی در جدول ۳ نشان داده شده است. همانگونه که نتایج نشان می‌دهد سنگین‌تر شدن بافت خاک‌ها (افزایش میزان رس)، سبب افزایش θ_{FC} گردید که این تفاوت بین دو بافت لومی و لوم رسی معنی‌دار نبود. در هر ٤ بافت، افزایش بیوچار سبب افزایش معنی‌دار θ_{FC} شد. تیمار ۷۵ تن در هکتار بیوچار نسبت به تیمار شاهد (B_0) در بافت لوم شنی، لومی، لوم رسی و رسی به ترتیب ٤۷/٦، ۵۰، ٤۷/۸ و ٤۰ درصد افزایش θ_{FC} را نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقدار θ_{FC} نیز با میانگین ۰/۳۵ گرم بر گرم در تیمار ۷۵ تن در هکتار بیوچار در خاک رسی و کم‌ترین مقدار آن با میانگین ۰/۲۱ گرم بر گرم در تیمار شاهد (صفر تن بیوچار) در خاک لوم شنی به دست آمد. در سطح بیوچار B_0، در خاک کوشکک با بافت رسی (که میزان شن آن ۷۷ درصد کمتر و میزان سیلت و رس به ترتیب ۲/٦ و ۳ برابر بیشتر از خاک گربایگان با بافت لوم شنی است)، رطوبت وزنی در حد ظرفیت زراعی ۱۹ درصد بیشتر از خاک گربایگان با بافت لوم شنی است. این در حالی است که میزان رطوبت وزنی در حد ظرفیت زراعی با افزودن ۲۵ تن در هکتار بیوچار به بافت خاک لوم شنی، تقریباً برابر با بافت خاک رسی می‌شود. در واقع می‌توان نتیجه گرفت افزودن بیوچار به یک خاک شنی، سبب متخلخل‌تر شدن خاک می‌گردد. Briggs و همکاران (۲۰۱۲) با بکار بردن مقادیر ۰/۵، ۱ و ۲ درصد وزنی بیوچار حاصل از بقایای درخت کاج در دمای ٤۵۰ درجه سانتی‌گراد به یک خاک لومی شنی در شرایط آزمایشگاهی، افزایش رطوبت در حد ظرفیت مزرعه‌ای را گزارش کردند.

رطوبت در نقطه پژمردگی دائم (θ_{PWP})

نتایج مربوط به مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثر متقابل تیمارها بر رطوبت در نقطه‌ی پژمردگی دائم در شکل ۱ نشان داده شده است. همانگونه که نتایج نشان می‌دهد افزایش میزان رس خاک، سبب افزایش معنی‌دار θ_{PWP} می‌شود. در هر بافت خاک نیز افزایش بیوچار سبب افزایش θ_{PWP} شد. تیمار ۷۵ تن در هکتار بیوچار نسبت به تیمار شاهد در بافت لوم شنی، لومی، لوم رسی و رس به ترتیب ۱۳٤/۷، ٤۷/۳، ۵۰/۵ و ۳۵/۵ درصد افزایش θ_{PWP} را نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقدار θ_{PWP} نیز با میانگین ۰/۲۱ گرم بر گرم در تیمار ۷۵ تن در هکتار بیوچار در بافت خاک رسی و کم‌ترین مقدار آن با میانگین ۰/۰۵ گرم بر گرم در تیمار شاهد (B_0) در خاک لوم شنی به دست آمد. Suliman و همکاران (۲۰۱۷) با افزودن ٤۰ تن در هکتار بیوچار (تولید شده از پوست درخت کاج در دمای ٦۰۰ درجه سانتی‌گراد)، سبب افزایش رطوبت در نقطه پژمردگی دائم در خاک ماسه‌ای را گزارش کردند.

[1] *Cation exchange capacity*

www.SID.ir

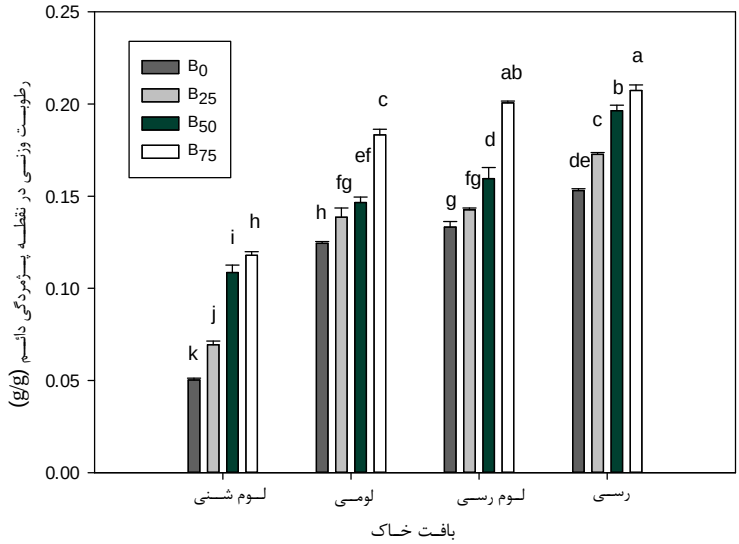
Archive of SID

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های اثر بیوچار و بافت خاک بر رطوبت در حد ظرفیت مزرعه‌ای ($g\ g^{-1}$) به روش گلدانی

بافت خاک	سطوح بیوچار				میانگین
	B_0*	B_{25}	B_{50}	B_{75}	
لوم شنی	۰/۲۱± ۰/۰۰۳ h**	۰/۲۵ ± ۰/۰۰۱ f	۰/۲۹ ±۰/۰۰۳ d	۰/۳۱ ±۰/۰۰۱ c	۰/۲۷ C
لومی	۰/۲۲ ± ۰/۰۰٤ gh	۰/۲٦ ± ۰/۰۰۳ e	۰/۳۰ ±۰/۰۰۳ cd	۰/۳۳ ±۰/۰۰۳ b	۰/۲۸ B
لوم رسی	۰/۲۳ ±۰/۰۰۳ g	۰/۲۷ ±۰/۰۰۳ e	۰/۳۰ ±۰/۰۰۱ d	۰/۳٤ ±۰/۰۰٥ a	۰/۲۸ B
رسی	۰/۲٥ ±۰/۰۰٤ f	۰/۲۹ ±۰/۰۰۲ d	۰/۳۲ ±۰/۰۰۲ b	۰/۳٥ ±۰/۰۰۷ a	۰/۳۰ A
میانگین	۰/۲۳ D	۰/۲۷ C	۰/۳۰ B	۰/۳۳ A	

* سطوح بیوچار B_0، B_{25}، B_{50} و B_{75} بیان کننده سطوح بیوچار اعمال شده به ترتیب در سطح صفر، ۲۵، ۵۰ و۷۵ تن در هکتار می‌باشد.

** حروف مشابه بزرگ و کوچک به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ برای اثرات اصلی تیمارها (سطوح بیوچار و بافت‌های مختلف خاک) و اثرات متقابل تیمارها (سطوح بیوچار × بافت‌های مختلف خاک) می‌باشد.



شکل ۱. روند تغییرات رطوبت در نقطه پژمردگی دائم متاثر چهار سطح بیوچار B_0، B_{25}، B_{50} و B_{75} برای چهار بافت لوم شنی، لومی، لوم رسی و رسی. خطوط عمودی بیان کننده مقدار خطای استاندارد می‌باشد. B_0، B_{25}، B_{50} و B_{75} بیان کننده سطوح بیوچار اعمال شده به ترتیب در سطح صفر، ۲۵، ۵۰ و۷۵ تن در هکتار می‌باشد. حروف مشابه کوچک نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ برای اثرات متقابل تیمارها (سطوح بیوچار × بافت‌های مختلف خاک) می‌باشد.

آب قابل دسترس

در شکل ۲ مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثر متقابل تیمارها بر میزان آب قابل دسترس نشان داده شده است. همانگونه که در نمودار نیز قابل مشاهده است، افزایش بیوچار سبب افزایش معنی‌دار آب قابل دسترس در هر چهار بافت شد. تیمار ۷۵ تن در هکتار بیوچار نسبت به تیمار شاهد (B_0) در بافت لوم شنی، لومی، لوم رسی و رسی به ترتیب ۱۸، ٥٤، ۵۵ و ٥٦/٥ درصد افزایش میزان

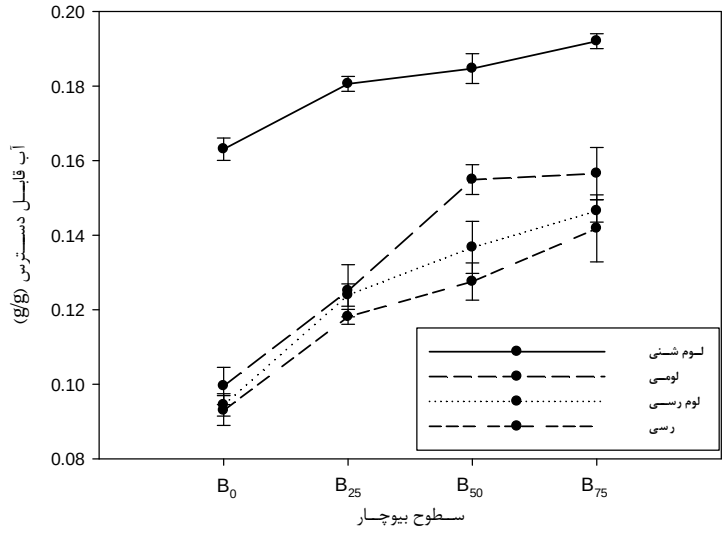
www.SID.ir

Archive of SID

آب قابل دسترس را نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقدار آب قابل دسترس نیز با میانگین ۰/۱۹گرم بر گرم در تیمار ۷۵ تن در هکتار بیوچار در بافت خاک لوم شنی و کم‌ترین مقدار آن با میانگین ۰/۰۹ گرم بر گرم در تیمار شاهد (B_0) در بافت خاک رسی به دست آمد. بهشتی و همکاران (۱۳۹٤) گزارش کردند که توانایی بالای بیوچار در حفظ آب (افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک) به خصوصیات فیزیکی آن از قبیل ساختار متخلخل و سطح ویژه بالای آن بر می‌گردد. در همین راستا، Andrenelli و همکاران (۲۰۱٦) با افزودن ١٤ تن در هکتار بیوچار تولید شده از سبوس گندم در دو دمای ۸۰۰ و ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به یک خاک لوم رسی سیلتی، به‌ترتیب افزایش ١٦/٢ و ۸/۸ درصدی آب قابل دسترس را گزارش کردند.

چگالی ظاهری

نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثر متقابل تیمارها بر چگالی ظاهری نشان می‌دهد که سطوح بیوچار اثر معنی‌داری بر چگالی ظاهری داشت (جدول ٤)، به‌طوری که کاربرد ۲۵، ۵۰ و ۷۵ تن در هکتار بیوچار در مقایسه با شاهد (B_0) چگالی را به ترتیب ۱۵، ٢٤ و ٤١ درصد کاهش داد. افزایش میزان رس خاک نیز سبب کاهش چگالی ظاهری شد (میزان چگالی در بافت خاک لوم شنی ۱/۲ برابر چگالی در بافت خاک رسی به‌دست آمد). بیش‌ترین مقدار چگالی نیز با میانگین ۱/۵گرم بر سانتی‌متر مکعب در تیمار شاهد (B_0) در بافت خاک لوم شنی و کم‌ترین مقدار آن با میانگین ۰/٦٦ گرم بر سانتی‌متر مکعب در تیمار ۷۵ تن در هکتار بیوچار در بافت خاک رسی به دست آمد. در سطح پیوچار B_0، در بافت خاک لوم رسی با ۷۵ درصد شن کمتر، ۵۵/۵ درصد سیلت بیشتر و ١٦٧ درصد رس بیشتر نسبت به بافت خاک لوم شنی، میزان چگالی ظاهری ۱۳/۸ درصد کمتر از چگالی ظاهری بافت خاک لوم شنی به دست آمد. در حالیکه با افزودن ۲۵ تن در هکتار بیوچار به بافت خاک لوم شنی میزان چگالی ظاهری تقریباً برابر با چگالی ظاهری بافت خاک لوم رسی به‌دست می‌آید.



شکل ۲. روند تغییرات آب قابل دسترس متاثر چهار سطح بیوچار B_0، B_{25}، B_{50} و B_{75} برای چهار بافت لوم شنی، لومی، لوم رسی و رسی. خطوط عمودی بیان کننده مقدار خطای استاندارد می‌باشد. B_0، B_{25}، B_{50} و B_{75} بیان کننده سطوح بیوچار اعمال شده به ترتیب در سطح صفر، ۲۵، ۵۰ و۷۵ تن در هکتار می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

یافته قبلی نشان میدهد که بیوچار این قابلیت را دارد که سبب کاهش چگالی ظاهری و متخلخل‌تر شدن خاک گردد و لذا می‌توان بدون تغییر دادن بافت خاک، صرفاً با افزودن بیوچار (حتی در سطوح پایین) سبب بهبود وضعیت فیزیکی خاک گردید. Peake و همکاران (۲۰۱٤) اثر بیوچار حاصل از زغال درخت کاج در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد را در چهار بافت لوم شنی، لومی، لوم سیلتی و لوم رسی سیلتی بررسی کردند. بیوچار در سه سطح ۰/۵، ۱ و ۲/۵ درصد وزنی به خاک‌ها افزوده شد. نتایج آن‌ها نشان داد که در تمام بافت‌ها، بیوچار سبب کاهش چگالی ظاهری می‌شود.

چگالی حقیقی

سطوح بیوچار اثر معنی‌داری بر چگالی حقیقی داشت (جدول ۵) به‌طوری که کاربرد ۱/۲۵، ۲/۵ و ۳/۷۵ درصد وزنی بیوچار (معادل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ تن در هکتار) در مقایسه با شاهد (B_0) چگالی حقیقی را به ترتیب ۱۳/۸، ۲۵/٤ و ۳۳ درصد کاهش داد. افزایش میزان رس خاک سبب کاهش چگالی شد. بیش‌ترین مقدار چگالی نیز با میانگین ۲/۷۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب در تیمار شاهد (صفر تن بیوچار) در بافت خاک لوم شنی و کم‌ترین مقدار آن با میانگین ۱/٦۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب در تیمار ۷۵ تن در هکتار بیوچار در بافت خاک رسی به دست آمد. همانطور که گفته شد در یک واحد حجم خاک، بیوچار با کاهش جرم خاک سبب کاهش چگالی حقیقی می‌شود. Anndrenelli و همکاران (۲۰۱٦) در یک آزمایش مزرعه‌ای ۱٤ تن در هکتار بیوچار تولید شده از سبوس گندم در دو دمای ۸۰۰ و ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد را به یک خاک لوم رسی سیلتی اضافه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که افزودن بیوچار تولید شده در دمای ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد، چگالی حقیقی خاک را از ۲/٦۵ به ۲/۵۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب کاهش داد. بیوچار تولید شده در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد نیز چگالی حقیقی خاک را از ۲/٦۵ به ۲/۵۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب کاهش داد.

با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده چگالی ظاهری و چگالی حقیقی برای کلیه سطوح بیوچار در بافت‌های مختلف خاک، مقادیر تخلخل محاسبه گردید. نتایج نشان داد که افزودن بیوچار از سطح B_0 به B_{75} سبب افزایش معنی‌دار تخلخل گردیده است. از طرف دیگر با سنگین‌تر شدن بافت خاک، مقادیر تخلل افزایش معنی‌داری را نشان داد. به‌طور کلی افزودن اصلاح‌کننده به خاک سبب افزایش تخلخل و در نتیجه آن افزایش آب قابل دسترس می‌گرددو به دنبال آن به وضعیت فیزیکی خاک بهبود می‌بخشد.

جدول ٤. مقایسه میانگین‌های اثر بیوچار و بافت خاک بر چگالی ظاهری ($g\ cm^{-3}$)

بافت خاک	بیوچار سطوح				میانگین
	B_0*	B_{25}	B_{50}	B_{75}	
لوم شنی	۱/۵۰± ۰/۰۰۵ a**	۱/۳۱ ±۰/۰٤۷ b	۱/۱٤ ±۰/۰۱٤ cd	۰/۹٤ ±۰/۰۱۱ f	۱/۲۲ A
لومی	۱/۲۲ ± ۰/۰۱۵ c	۱/۱٦ ±۰/۰۲۳ cd	۱/۰۹ ±۰/۰۲۸ de	۰/۸۸ ±۰/۰۰۱ fg	۱/۰۹ B
لوم رسی	۱/۳٤ ±۰/۰۰۵ b	۱/۱۳ ±۰/۰۰۲ d	۱/۰۲ ±۰/۰۰۹ e	۰/۸۱ ±۰/۰٤۵ g	۱/۰۷ BC
رسی	۱/٤۸ ±۰/۰۳۳ a	۱/۰۸ ±۰/۰٦ de	۰/۹۳ ±۰/۰۲۵ f	۰/٦٦ ±۰/۰۲۱ h	۱/۰٤ C
میانگین	۱/۳۹ A	۱/۱۷ B	۱/۰۵C	۰/۸۲ D	

* سطوح بیوچار B_0، B_{25}، B_{50} و B_{75} بیان کننده سطوح بیوچار اعمال شده به ترتیب در سطح صفر، ۲۵، ۵۰ و۷۵ تن در هکتار می‌باشد.

** حروف مشابه بزرگ و کوچک به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ برای اثرات اصلی تیمارها (سطوح بیوچار و بافت‌های مختلف خاک) و اثرات متقابل تیمارها (سطوح بیوچار × بافت‌های مختلف خاک) می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های اثر بیوچار و بافت خاک بر چگالی حقیقی ($g\ cm^{-3}$)

بافت خاک	بیوچار سطوح				میانگین
	B_0*	B_{25}	B_{50}	B_{75}	
لوم شنی	۲/۷۷± ۰/۰۱۵ a**	۲/۵ ±۰/۰۰۱ abcd	۲/۳۳ ±۰/۱۶۷ cd	۱/۹٤ ±۰/۰٦۱ e	۲/۳۹ A
لومی	۲/۷۰ ± ۰/۱۱۵ ab	۲/٤٤ ±۰/۰۵۷ bcd	۲/۰۰ ±۰/۰۰۱ e	۱/۸۲ ±۰/۰۰۱ ef	۲/۲٤ B
لوم رسی	۲/٦۷ ±۰/۱٦۷ ab	۲/۳۱ ±۰/۰۹۳ d	۱/۸۹ ±۰/۱۱۱ e	۱/۷۸ ±۰/۱۱۱ ef	۲/۱٦ B
رسی	۲/۵۹ ±۰/۰٤۹ abc	۲/۰۰ ±۰/۰۰۱ e	۱/۷٦ ±۰/۰٦۳ ef	۱/٦۱ ±۰/۰۵۷ f	۱/۹۹ C
میانگین	۲/٦۸ A	۲/۳۱ B	۲/۰۰C	۱/۷۹ D	

* سطوح بیوچار B_0، B_{25}، B_{50} و B_{75} بیان کننده سطوح بیوچار اعمال شده به ترتیب در سطح صفر، ۲۵، ۵۰ و۷۵ تن در هکتار می‌باشد.

** حروف مشابه بزرگ و کوچک به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ برای اثرات اصلی تیمارها (سطوح بیوچار و بافت‌های مختلف خاک) و اثرات متقابل تیمارها (سطوح بیوچار × بافت‌های مختلف خاک) می‌باشد.

در این نتایج مشاهده گردید که با افزودن ۲۵ تن در هکتار بیوچار مقدار تخلخل در بافت خاک لوم شنی تفاوت معنی‌داری با مقدار تخلخل در بافت خاک لومی بدون اعمال بیوچار نداشت. همچنین می‌توان گفت، بیوچار سبب کاهش تراکم خاک و افزایش هوادهی می‌شود که این خود سبب بیشتر شدن تخلخل خاک می‌گردد (Downie *et al.*, 2009; Majot *et al.*, 2010). Laird و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که کاربرد سطوح ۰/۵، ۱ و ۲ وزنی بیوچار تولید شده از بقایای درخت بلوط و گردو در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به یک خاک لومی سبب افزایش تخلخل شد.

هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

نشان داد سطوح بیوچار اثر معنی‌داری بر هدایت هیدرولیکی اشباع داشت به‌نحوی که کاربرد ۱/۲۵، ۲/۵ و ۳/۷۵ درصد وزنی بیوچار (معادل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ تن در هکتار) در مقایسه با شاهد (B_0) میزان هدایت هیدرولیکی اشباع را به‌ترتیب ٤۵، ۷۰ و ۹۵ درصد افزایش داد (جدول ٦). در حالی که افزایش میزان رس خاک، سبب کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع شد. کاربرد بیوچار سبب افزایش معنی‌دار تخلخل و کاهش چگالی ظاهری (جدول ٤) خاک شد که احتمالاً به همین دلایل هدایت هیدرولیکی اشباع خاک نیز افزایش یافته است. Wang و همکاران (۲۰۱٤) بیان کردند افزودن سطوح ۲/۵، ۵ و ۱۰ درصد وزنی بیوچار تهیه شده از پوسته برنج در دمای ٤۰۰ درجه سانتی گراد سبب کاهش چگالی ظاهری شد، در حالی که سبب افزایش تخلخل و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک شد.

ظرفیت تبادل کاتیونی

نتایج مربوط به مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثر متقابل تیمارها بر ظرفیت تبادل کاتیونی در شکل ۳ نشان داده شده است. همانگونه که نتایج نشان می‌دهد سنگین‌تر شدن بافت خاک‌ها (افزایش میزان رس)، سبب افزایش معنی‌دار ظرفیت تبادل کاتیونی گردید.

در هر بافت خاک، افزایش بیوچار سبب افزایش معنی‌دار CEC شد. تیمار ۷۵ تن در هکتار بیوچار نسبت به تیمار شاهد در بافت لوم شنی، لومی، لوم رسی و رسی به ترتیب ٦۷، ۵۳، ٤۱ و ۵۵ درصد افزایش CEC را نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقدار CEC نیز با میانگین ۲٦/۳٦ میلی اکی‌والان بر ۱۰۰ گرم خاک در تیمار ۷۵ تن در هکتار بیوچار در بافت خاک رسی به‌دست آمد.

www.SID.ir

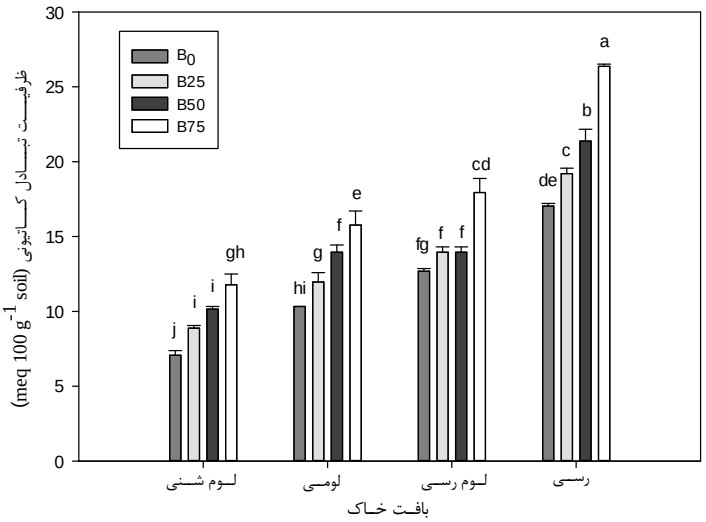
Archive of SID

جدول ٦. مقایسه میانگین‌های اثر بیوچار بر هدایت هیدرولیکی اشباع ($mm\ hr^{-1}$)

بافت خاک	بیوچار سطوح				میانگین
	B_0*	B_{25}	B_{50}	B_{75}	
لوم شنی	۰/۹۱± ۰/۰۰۱ e**	۱/۰۱ ±۰/۰۵٤ d	۱/۱۲ ±۰/۰۰۲ b	۱/۲۵ ±۰/۰۲۹ a	۱/۰۷ A
لومی	۰/٦۳ ± ۰/۰۰۱ f	۰/۹۹ ±۰/۰٦ d	۱/۰٤ ±۰/۰٤٤ cd	۱/۱۲ ±۰/۰۰۹ b	۰/۹٤ B
لوم رسی	۰/٤۹ ±۰/۰۱۲ g	۰/۸۸ ±۰/۰۳۳ e	۱/۰۰ ±۰/۰۰۳ d	۱/۰۸ ±۰/۰۳٤ bc	۰/۸٦ C
رسی	۰/۲۲ ±۰/۰۰۳ i	۰/۳۷ ±۰/۰۱٦ h	۰/٦۲ ±۰/۰۱ f	۰/۹۰ ±۰/۰۰۹ e	۰/۵۳ D
میانگین	۰/۵٦ D	۰/۸۱ C	۰/۹۵ B	۱/۰۹ A	

* سطوح بیوچار B_0، B_{25}، B_{50} و B_{75} بیان کننده سطوح بیوچار اعمال شده به ترتیب در سطح صفر، ۲۵، ۵۰ و۷۵ تن در هکتار می‌باشد.

** حروف مشابه بزرگ و کوچک به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ برای اثرات اصلی تیمارها (سطوح بیوچار و بافت‌های مختلف خاک) و اثرات متقابل تیمارها (سطوح بیوچار × بافت‌های مختلف خاک) می‌باشد.



شکل۳. روند تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی متاثر چهار سطح بیوچار B_0، B_{25}، B_{50} و B_{75} برای چهار بافت لوم شنی، لومی، لوم رسی و رسی. خطوط عمودی بیان کننده مقدار خطای استاندارد می‌باشد. B_0، B_{25}، B_{50} و B_{75} بیان کننده سطوح بیوچار اعمال شده به ترتیب در سطح صفر، ۲۵، ۵۰ و۷۵ تن در هکتار می‌باشد. حروف مشابه کوچک نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ برای اثرات متقابل تیمارها (سطوح بیوچار × بافت‌های مختلف خاک) می‌باشد.

همچنین کم‌ترین مقدار آن با میانگین ۷/۰۷ میلی اکی‌والان بر ۱۰۰ گرم خاک در تیمار شاهد (صفر تن بیوچار) در بافت خاک لوم شنی به دست آمد. در همین راستا، Novak و همکاران (۲۰۰۹) با افزودن ۲٪ وزنی بیوچار به یک خاک شنی لومی، افزایش CEC را مشاهده کردند. می‌توان گفت افزایش میزان قابلیت هدایت الکتریکی در اثر کاربرد بیوچار، وجود املاح در مواد اولیه تولیدکننده و وفور گروه‌های کربوکسیل در آن است. در واقع می‌توان گفت بیوچار با افزایش غلظت یون‌ها در محلول خاک و از طرفی با جذب عناصری مثل سدیم و کلر، سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی می‌شود.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که بیوچار اثر معنی‌داری بر رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه‌ای و در نقطه پژمردگی دائم در هر چهار بافت خاک داشت که این امر خود سبب افزایش آب قابل دسترس در کلیه بافت

www.SID.ir

Archive of SID

خاک‌ها با افزودن بیوچار گردید. چگالی ظاهری و حقیقی در هر چهار بافت با افزایش بیوچار نسبت به تیمار شاهد (صفر تن بر هکتار) کاهش معنی‌داری داشت که این کاهش به‌دلیل کاهش جرم خاک و افزایش حجم منافذ خاک توسط بیوچار رخ داده است. از طرفی از آنجایی که افزودن بیوچار به خاک سبب افزایش حجم منافذ ماکرو و کاهش چگالی می‌گردد، سبب بهبود هدایت هیدرولیکی اشباع خاک گردید. همچنین تاثیر مثبت بیوچار بر مقدار تبادل کاتیونی خاک در بافت‌های مختلف مشاهده گردید که این امر بدلیل باردار بودن سطوح بیوچار می‌باشد. به‌طور کلی تیمار ۷۵ تن در هکتار بیوچار نسبت به تیمار شاهد بیش‌ترین تاثیر را بر پارامترهای اندازه‌گیری در بافت خاک رسی داشته است. لذا با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از بیوچار به‌عنوان یک اصلاح‌کننده به خصوص در خاک‌های سنگین بافت، که برای بهبود زهکشی و افزایش نفوذ جهت افزایش بهره‌وری محصول نیاز به اصلاح دارند، گزینه بسیار مناسبی به شمار می‌آید. همچنین کاربرد بیوچار در خاک‌های سبک بافت که ظرفیت نگهداری آب کمی دارند و به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک که با مساله کمبود منابع آب مواجه هستند، استراتژی بسیار مناسبی است. اما بایستی در نظر داشت که افزایش سطوح بیوچار در خاک می‌تواند اثرات منفی مانند افزایش شوری خاک به دنبال داشته باشد. با توجه به تاثیر مثبت بیوچار بر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در بافت‌های مختلف، انتخاب بهینه‌ترین سطح بیوچار بایستی به گونه‌ای باشد که استفاده از آن از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد که این امر نیاز به تحقیقات بیشتر را به‌خصوص در شرایط مزرعه‌ای می‌طلبد.

فهرست منابع

بهشتی، م.، آهنگری، ا. و علیخانی، ح.ع. ۱۳۹٤. بیوچار و نقش آن در اصلاح خاک. سومین همایش ملی انجمن‌های علمی-دانشجویی رشته‌های کشاورزی و منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ۱۷-۱٦ اردیبهشت.

حسینی، س.ن. ۱۳۸٤. اثر آبیاری جویچه ای یک در میان و سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد گندم در دو منطقه باجگاه و کوشکک. پایان نامه کارشناسی ارشد، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران، ۱۹۰ صفحه.

فتحی گردلیدانی، ا. و میرسید حسینی، ح. ۱۳۹٤. جنبه‌های مختلف اثرات بیوچار در اصلاح و بهبود کیفیت خاک. همایش بین المللی پژوهش‌های کاربردی در کشاورزی، شرکت تعاونی علم گستران پیشتاز ایرانیان، تهران – ملارد، ۱ خرداد.

قلی زاده، ش. ۱۳۸۸. اثر کاربرد زئولیت کلسیمی-پتاسیمی بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و معادله نفوذ آب در خاک با شوری‌های مختلف آب آبیاری در خاک‌های مختلف. پایان نامه کارشناسی ارشد، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران، ۱۳۷ صفحه.

نوروزی، م.، طباطبائی، س.ح.، نوری، م.ر. و متقیان، ح.ر. ۱۳۹۵. اثرات کوتاه مدت بایوچار حاصل از برگ خرما بر حفظ رطوبت در خاک لوم شنی. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ٦ (۲): ۱۳۷-۱۵۰.

Andrenelli, M.C., Maienza, A. Genesio, L. Miglietta, F. Pellegrini, S. Vaccari, F.P. and 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 (1):190-196.

Basso, A.S., Miguez, F.E. Laird, D.A. Horton, R. and Westgate, M. 2013. Assessing potential of biochar for increasing water-holding capacity of sandy soils. Global Change Biology Bioenergy, 5:132-143.

Briggs, C., Breiner, J.M. and 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. and Soja, G. 2016. Long-term effects of biochar on soil physical properties. Geoderma, 282: 96-102.

www.SID.ir

Archive of SID

Chen, H.X., Du, Z.L. Guo, W. and Zhang, Q.Z. 2011. Effects of biochar amendment on cropland soil bulk density, cation exchange capacity, and particulate organic matter content in theNorth China Plain. The Journal of Applied Ecology, 22:2930-2934.

Downie, A., Crosky, A. and Munroe, P. 2009. Physical properties of biochar. In Lehmann, J., and S. Joseph (eds) Biochar for Environmental Management - Science and Technology. p. 13-32.

Eastman, CM. 2011. Soil physical characteristics of an Aeric Ochraqualf amended with Biochar. The (Dissertation) Ohio State University. 134 pp.

Githinji, L. 2014. Effect of biochar application rate on soil physical and hydraulic properties of a sandy loam. Archives of Agronomy and Soil Science, 60: 457-470.

Glab, T., Palmowska, J. Zaleski, T. and Gondek, K. 2016. Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. Geoderma, 281: 11-20.

Glaser, B., Lehmann, J. and Zech, W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal–a review. Biology and Fertility of Soils, 35: 219-230.

Herath, H.M.S.K. 2012. Stability of Biochar and its Influence on the Dynamics of Soil Properties. (Dissertation) Massey University. 185 pp.

Jeffery, S., Verheijen, F. Velde, M. Bastos, A.C. 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. Agriculture, Ecosystems and Environment. 144: 175–187.

Laird, D.A., Fleming, P. Davis, D.D. Horton, R. Wang, B. and Karlen, D.L. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. Geoderma, 158: 443-449.

Lehmann, J., and Joseph, S. 2009. Biochar for environmental management: an introduction. In: Lehmann J. and S. Joseph (eds.): Biochar for Environmental Management: Science and Technology.Earthscan, London, pp. 1-12.

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

Lim, T.J., Spokas, K.A. eyereisen, G. F and Novak, J.M. 2016. Predicting the impact of biochar additions on soil hydraulic properties. Chemosphere, 142: 136-144.

Major, J., Lehmann, J. Rondon, M. and Goodale, C. 2010. Fate of soil applied black carbon:downward migration, leaching and soil respiration. Global Change Biology, 16: 1366-1379.

Mary, B., Recous, S. Darwis, D. and Robin, D. 1996. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. Plant and Soil, 181: 71-82.

Martinsen, V., Mulder, J. Shitumbanuma, V. Sparrevik, M. Børresen, T. and Cornelissen, G. 2014. Farmer-led maize biochar trials: Effect on crop yield and soil nutrients under conservation farming. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 177: 681-695.

Moutier, M., Shainberg, I. and Levy, G.J. 2000. Hydraulic gradient and wetting rate effects on the hydraulic conductivity of two calcium vertisols. Soil Science Society of America Journal, 64: 1211-1219.

Mukherjee, A., and Lal, R. 2013. Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. Agronomy, 3: 313-339.

Novak, J.M., Lima, I. Xing, B. Gaskin, J.W. Steiner, C. Das, K.C. and Busscher, W.J. 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. Annals of Environmental Science, 3: 195-206.

Obia, A., Mulder, J. Martinsen, V. Cornelissen, G. and 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.

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

Suliman, W., Harsh, J.B. Abu-Lail, N.I. Fortuna, A.M. Dallmeyer, I. and 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.

Summer, M.E., and Miller, W.P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. In: D.L. Sparks *et al.* (Eds). Methods of soil analysis. Part 3. 3rd Ed. PP. 1201-1229.

Sun, Z., Bruun, E.W. Arthur, E. De Jonge, L.W. Moldrup, P. Hauggaard-Nielsen, H. and Elsgaard, L. 2014. Effect of biochar on aerobic processes, enzyme activity, and crop yields in two sandy loam soils. Biology and Fertility of Soils, 50:1087-1097.

Wang, Y., Pan, F. Wang, G. Zhang, G. Wang, Y. Chen, X. and Mao, Z. 2014. Effects of biochar on photosynthesis and antioxidative system of Malus hupehensis Rehd. seedlings under replant conditions. Scientia Horticulturae, 175:9-15.

Uzoma, K.C., Inoue, M. Andry, H. Fujimaki, H. Zahoor, A. and Nishihara, E. 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. Soil use and Management, 27: 205-212.

www.SID.ir

Archive of SID

ISSN 2251-7480

Effects of different levels of biochar on soil physical properties with different textures

Fatemeh Razzaghi[1*] and Nahid Rezaie[2]

1) Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
[*] Corresponding author email: razzaghi@shirazu.ac.ir
2) M.sc. Student, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

Received: 31-12-2016 Accepted: 19-07-2017

Abstract

Biochar is a charcoal made from biomass and animal manure, which is produced by thermal decomposition under a limited or zero supply of oxygen. Therefore, the current research was conducted to evaluate the effect of different biochar levels on some soil physical and chemical properties in four soil types under greenhouse conditions. The experiment was performed in completely randomized design with four levels of biochar produced from wheat straw in 500^{o}C (0 (as control), 25, 50 and 75 ton ha^{-1}) and four soils having various textures (sandy loam, loam, clay loam and clay) in three replications. Forty days after mixture of soil and biochar and determination of soil moisture content at field capacity, other physical and chemical parameters (soil moisture at permanent wilting point, bulk and particle density, saturated hydraulic conductivity and cation exchange capacity) were measured by taking soil samples from the pots. The results showed that application of biochar enhanced soil physical properties. Increasing biochar levels from 0 to 75 ton ha^{-1} increased soil available water content, porosity, hydraulic conductivity and cation exchange capacity by 45, 13, 95 and 52 %, respectively. It is concluded that biochar can be used as a soil amendment in coarse textured soil to increase water holding capacity and in fine textured soil to improve the drainage and infiltration.

Keywords: bulk density, cation exchange capacity, saturated hydraulic conductivity , water holding capacity

www.SID.ir