تاثیر بیوچار هسته زیتون بر برخی از ویژگی‌های تأثیرگذار خاک بر بهره‌وری مصرف آب

عباس شعبانی روفچائی*[۱]، سپیده ابریشم کش[۲]، محمود شعبانپور[۳]، محمود فاضلی[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان

۴- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان

*نویسنده مسئول: **abbas-shabani@msc.guilan.ac.ir**

چکیده

اخیراً کاربرد بیوچار به عنوان راهکاری برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، بهبود کیفیت خاک، افزایش تولید محصول، مدیریت پسماندهای آلی و تولید انرژی مورد توجه قرار گرفته است. بیوچار با دارا بودن خواص ویژه مانند کربن، سطح ویژه و تخلخل زیاد می‌تواند باعث تأثیرگذاری بر خواصی از خاک شود که مستقیم و یا غیر مستقیم موجب بهبود کارایی مصرف آب شده و از هدر رفت آن به صورت رواناب سطحی جلوگیری می‌کنند. در این پژوهش، تأثیر کاربرد سطوح یک و دو درصد وزنی بیوچار هسته زیتون در دو اندازه ۲۵۰-۵۳ و ۵۰۰-۲۵۰ میکرون در یک خاک فقیر از ماده آلی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد بیوچار در سطح دو درصد به طور معنی‌دار باعث کاهش آبگریزی و افزایش ماده آلی و هدایت هیدرولیکی خاک شد. در حالی‌که سطح یک درصد بیوچار فقط بر روی کاهش آبگریزی خاک، تأثیر معنی‌دار داشت و اندازه ذرات بیوچار نتوانست تأثیر معنی‌داری داشته باشد. با توجه به افزایش ماده آلی، هدایت هیدرولیکی و کاهش آبگریزی به وسیله بیوچار در این پژوهش، این ماده پتانسیل حفظ و بهبود میزان رطوبت و افزایش نفوذپذیری خاک را دارد و بنابراین می‌تواند با افزایش کارایی مصرف آب، از هدر رفت آن جلوگیری کند.

کلمات کلیدی: آبگریزی، پایداری خاکدانه، رواناب، هدایت هیدرولیکی، نفوذپذیری

مقدمه

آب، عامل کلیدی تأثیرگذار بر تولید محصولات کشاورزی است. اما انتظار می‌رود که تعادل بین عرضه و تقاضای آب در بخش کشاورزی، در اثر تغییرات اقلیمی دچار اختلال شود (Fischer et al., 2019) و این مسئله خصوصاً در کشورهای گرمسیری بیشتر خود را نشان می‌دهد (Ray et al., 2013). خشکسالی‌های مکرر در سال‌های اخیر باعث کاهش تولید محصولات کشاورزی به دلیل محدودیت میزان دسترسی به آب شده است (Langeroodi et al., 2019). طبق گزارش سازمان ملل، پیش بینی می‌شود که جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ میلادی به ۹/۷ میلیارد نفر برسد، که نسبت به سال ۲۰۱۹، ۳۰ درصد افزایش را تجربه خواهد کرد (UN., 2019). افزایش سریع جمعیت باعث فشار بیشتر بر منابع خاک و آب، دو پایه اساسی بهره‌وری در کشاورزی می‌شود (Sauer et al., 2010). از سوی دیگر، با توسعه شهرنشینی و صنعتی شدن، استفاده از آب برای مصارف صنعتی و شهرنشینی به طور متناوب افزایش یافته و به همین دلیل سهم آب موجود در بخش کشاورزی کاهش می‌یابد (Du et al., 2018). علاوه بر این‌ها فرسایش شدید خاک، باعث از دست رفتن آب قابل

دسترس و خاک غنی از مواد مغذی، آلودگی منابع آبی، کاهش کیفیت و تخریب خاک شده و در نتیجه باعث کاهش بهره-وری در کشاورزی و محیط زیست می‌شود (Quinton et al., 2010). بنابراین ارائه راه‌کارهای بهینه جهت کاهش مصرف آب در محصولات زراعی، بدون تأثیر منفی بر عملکرد محصول، یعنی افزایش بهره‌وری در مصرف آب ضروری است. اخیراً در پاسخ به چالش‌های چند جانبه انتشار گازهای گلخانه‌ای، تخریب کیفیت خاک، عدم تعادل بین عرضه و تقاضای آب، مدیریت پسماندها و بهبود بهره‌وری آب در کشت محصول، استفاده از ماده‌ای به نام بیوچار به عنوان یک راهکار امیدوار کننده معرفی شده است (Fischer et al., 2019). بیوچار یک ترکیب آلی غنی از کربن است که توسط پیرولیز (تجزیه حرارتی) زیست توده در دمای معمولاً بین ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد در شرایط بدون یا محدودیت اکسیژن تولید می‌شود (Verheijen et al., 2010). بیوچار را می‌توان از پسماندهای متنوع دارای مواد سلولزی از قبیل چوب، غلاف دانه، پوسته تنقلات، کود مرغی، کلش گندم، کاه و پوسته شلتوک برنج تولید کرد (Verheijen et al., 2009). بیشتر کربن موجود در بیوچار به صورت آروماتیک و مقاوم به تجزیه است، بنابراین بیوچار می‌تواند به عنوان یک ذخیره کربنی برای صدها تا هزاران سال در خاک باقی بماند که آن را به ابزاری مفید برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تعدیل تغییرات اقلیمی تبدیل می‌کند (Liu et al.,2014; Singla et al., 2014). تحقیقات صورت گرفته نشان داده است که افزودن بیوچار به خاک علاوه بر اثرات مثبت بر توقف کربن در خاک موجب بهبود ویژگی‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و بهبود رشد گیاه نیز می‌شود (Guo et al., 2020). بیوچار همچنین می‌تواند موجب تأثیر بر خواصی در خاک شود که به طور مستقیم و غیر مستقیم بر کارایی مصرف آب در خاک، تأثیر دارند. به عنوان مثال: بیوچار می‌تواند با افزایش پایداری خاکدانه‌ها و تولید خاکدانه‌های جدید (Ouyang et al., 2013)، کاهش جرم مخصوص ظاهری (Gamage et al., 2016) و آبگریزی خاک (Ibrahim et al., 2013)، باعث افزایش نفوذ آب و بهبود هدایت هیدرولیکی خاک شود. افزایش نفوذ پذیری و هدایت هیدرولیکی خاک نیز موجب کاهش رواناب شده و آب بیشتری می‌تواند در داخل خاک نفوذ کرده و در دسترس گیاه قرار گیرد. این امر با افزایش کارایی آبیاری از هدر رفت آب به صورت تبخیر از سطح و انتقال به محلی غیر از محل کاشت گیاه جلوگیری می‌کند.

علاوه بر ویژگی‌های اولیه بیوچار که به نوع ماده خام کاربردی و نیز شرایط شیمیایی- حرارتی تولید بیوچار بستگی دارد. مانند هر تیمار افزودنی به خاک (اعم از تیمارهای آلی و معدنی) روش کاربرد بیوچار از قبیل سطح کاربرد و اندازه ذرات بیوچار از اهمیت شایانی برخوردار و احتمالاً موثر بر میزان کارایی بیوچار می‌باشد. نتایج یک پژوهش نشان داد که افزودن بیوچار به میزان یک درصد وزنی و اندازه ذرات کوچکتر از ۰/۲۵ میلی متر می‌تواند باعث افزایش هدایت هیدرولیکی خاک و پایداری خاکدانه‌های بزرگتر از ۲ میلی متر شود که این امر نشانگر نقش بیوچار در تجمیع خاکدانه-های کوچک‌تر و درنتیجه باعث بهبود ساختمان خاک و افزایش هدایت هیدرولیکی خاک می‌باشد (Li et al., 2019). در یک پژوهش دیگر بیوچار با اندازه ذرات کوچکتر از ۲ میلی‌متر و در سه سطح صفر، ۲/۵ و ۵ درصد وزنی به یک خاک با بافت رس سیلتی افزوده شد و این خاک به مدت ۱۰۵ روز در حالت انکوباسیون قرار گرفت. در این پژوهش بعد از زمان انکوباسیون، افزایش معنی‌دار و قابل‌توجهی در هدایت هیدرولیکی، تخلخل خاک و پایداری خاکدانه‌ها مشاهده شد (Jien and Wang., 2013). با توجه به تاثیر گذاری بیوچار بر خصوصیات مختلف خاک که می‌توانند بر نفوذ و نگهداری آب در خاک تأثیر گذار باشد، هدف از این مطالعه بررسی تاثیر اندازه ذرات و سطوح کاربرد بیوچار تولید شده از هسته‌ی زیتون بر روی درصد ماده آلی، آبگریزی، هدایت هیدرولیکی خاک و پایداری خاکدانه خاک می‌باشد. از سوی دیگر از جمله مواردی که هدف این پژوهش را توجیه می‌کند استفاده از پسماندهای گیاهی برای تولید بیوچار است زیرا همواره یافتن یک روش مناسب برای مدیریت بقایای گیاهان مورد توجه بوده است. تبدیل پسماندهای گیاهی از قبیل هسته زیتون به بیوچار علاوه

بر مدیریت پایدار آن‌ها می‌تواند موجب توقف طولانی مدت کربن در خاک و کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای همانند دی‌اکسید کربن به اتمسفر شود.

مواد و روش‌ها

بیوچار مورد استفاده در این آزمایش از هسته زیتون تولید شد. هسته‌های زیتون مورد استفاده برای تولید بیوچار از یک کارخانه روغن‌کشی واقع در شهر منجیل تهیه و سپس این هسته‌های زیتون به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد خشک شدند. بعد از فرایند خشک شدن، هسته‌های زیتون در داخل یک محفظه فلزی قرار گرفته و درب محفظه به منظور جلوگیری از ورود اکسیژن در هنگام احتراق، به طور کامل مهر و موم شد. سپس محفظه حاوی هسته-های زیتون داخل یک کوره الکتریکی القائی قرار گرفتند و عمل پیرولیز به مدت زمان دو ساعت و چهل و پنج دقیقه در دمای پیک ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. بعد از این فرایند، بیوچارهای تولید شده به ظروف سربسته منتقل شدند. میزان هیدروژن، نیتروژن و کربن کل بیوچار به روش احتراق خشک و توسط دستگاه CHN آنالایزر تعیین شدند.

محل نمونه برداری برای این تحقیق با مختصات جغرافیایی N36° 45′.618 عرض شمالی و E49° 20′.607 طول شرقی در منطقه منجیل استان گیلان انتخاب و نمونه خاک از عمق ۱۰-۰ سانتی متری از خاک برداشت شد. خاک‌های این منطقه به دلیل وجود سازندهای حساس به فرسایش از قبیل مارن، دارا بودن پوشش گیاهی ضعیف، مقدار کم کربن آلی و غیره از زمره خاک‌های فرسایش‌پذیر به شمار می‌آیند و اشکال مختلف فرسایشی از قبیل فرسایش ورقه‌ای، شیار، خندق و بدلندها در این منطقه به وضوح مشاهده می‌شوند.

بیوچار هسته زیتون توسط یک آسیاب و الک به دو اندازه ۲۵۰-۵۳ و ۵۰۰-۲۵۰ میکرون تقسیم شدند. سپس این دو اندازه بیوچار در سطوح صفر، یک و دو درصد به خاک افزوده و کاملاً مخلوط شدند. سپس هر کدام از تیمارها در داخل ستون‌های پلاستیکی (قطر: ۲۵ و ارتفاع: ۱۵ سانتی متر) منتقل شدند (شکل ۱). در انتها ۲۴ ستون به مدت ۹ ماه در گلخانه در شرایط انکوباسیون در دمای ۲۵-۲۰ درجه سانتیگراد قرار گرفته و به وسیله آبیاری رطوبت آن‌ها در ۷۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه حفظ شد. بعد از گذشت دوره انکوباسیون، نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده از خاک ستون‌ها تهیه شد. پایداری خاکدانه ها به روش الک تر، هدایت هیدرولیکی به روش بار افتان، آبگریزی خاک به روش نفوذ قطره آب و کربن آلی خاک به روش والکی بلاک اندازه گیری شد.



شکل ۱- ستون‌های خاک مورد آزمایش

سپس تأثیر دو فاکتور شامل اندازه ذرات بیوچار (۲۵۰-۵۳ و ۵۰۰-۲۵۰ میکرون) و سطح کاربرد بیوچار (صفر، یک و دو درصد) در چهار تکرار به صورت فاکتویل (۴×۳×۲) در قالب طرح کاملاً تصادفی توسط نرم افزار آماری SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. همچنین میانگین داده‌ها با استفاده از روش آزمون توکی و در سطح احتمال یک و پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

میزان کربن، هیدروژن و نیتروژن هسته زیتون و بیوچار تولیدی از آن در جدول ۱ و خصوصیات اولیه خاک در جدول ۲ آورده شده است. هسته زیتون و بیوچار تولیدی از آن به ترتیب دارای نسبت مولی ۱/۶۰ و ۰/۳۵ بود. نسبت مولی هیدروژن به کربن، شاخص مناسبی جهت ارزیابی خصوصیات بیوچار می‌باشد. کمتر بودن نسبت مولی هیدروژن به کربن، نشاندهنده‌ی حضور کربن آروماتیک بیش‌تر و در نتیجه مقاومت بیش‌تر در برابر تجزیه است. مواد اولیه زیست‌توده دارای نسبت مولی هیدروژن به کربن حدود ۱/۵ هستند اما با تجزیه حرارتی زیست‌توده این نسبت کاهش می‌یابد. (Schmidt and Novak., 2000). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت بیوچار هسته زیتون دارای میزان زیادی کربن آروماتیک و مقاوم به تجزیه است و در نتیجه ابزار موثری جهت توقف کربن در خاک و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کربنی خواهد بود.

جدول ۲- میزان کربن، هیدروژن و نیتروژن هسته زیتون و بیوچار آن

	کربن (٪)	هیدروژن (٪)	نیتروژن (٪)
هسته زیتون	۵۵/۴۷	۷/۴۱	۰/۵۵
بیوچار هسته زیتون	۷۹/۷۹	۲/۳۱	۰/۴۱

خاک مورداستفاده در این تحقیق دارای بافت رس سیلت، میزان ناچیز ماده آلی و پایداری ضعیف خاکدانه‌ها بود (جدول ۲).

جدول ۲- برخی از خصوصیات خاک مورد مطالعه

شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	بافت	ماده آلی (٪)	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتیمترمکعب)	میانگین وزنی قطر خاکدانه (میلیمتر)
۱۵	۴۰	۴۵	رس سیلت	۰/۳	۱/۳	۰/۴۵

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطح کاربرد بیوچار بر میانگین وزنی قطر خاکدانه در سطح احتمال پنج درصد و بر ماده آلی، هدایت هیدرولیکی و آبگریزی خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تأثیر اندازه ذرات بیوچار و اثرات متقابل اندازه ذرات و سطح کاربرد بیوچار بر هیچ یک از ویژگی‌های موردبررسی معنی‌دار نبود (جدول ۱).

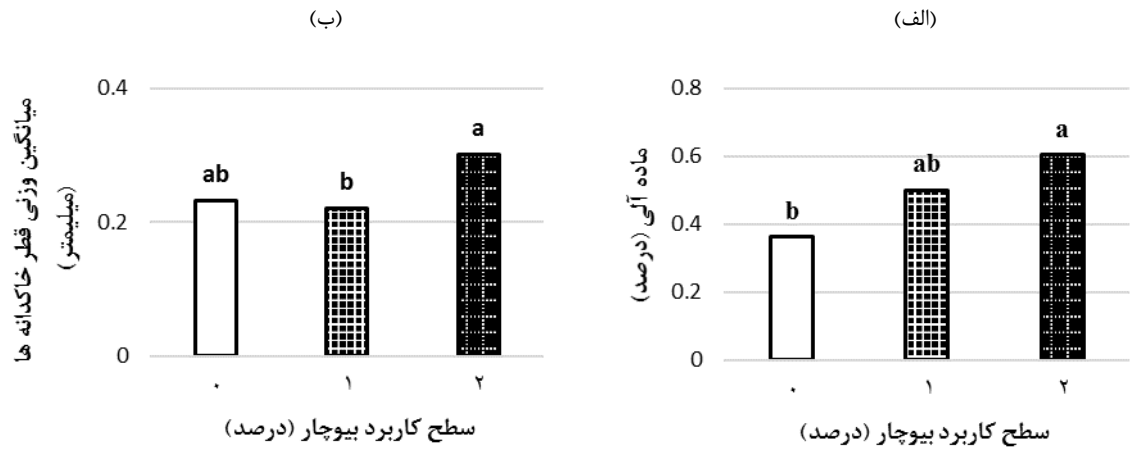
جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر بیوچار بر ویژگی‌های خاک

منبع تغییرات	درجه آزادی	ماده آلی	میانگین وزنی قطر خاکدانه	هدایت هیدرولیکی	آبگریزی
سطح کاربرد بیوچار	۱	۰/۱۱۷**	۰/۰۱۴۹*	۴/۳۸۵×۱۰$^{-۶}$**	۸۶/۲۷**
اندازه ذرات بیوچار	۲	۰/۰۲۱^{ns}	۰/۰۰۱۰^{ns}	۱/۹۲۱×۱۰$^{-۷}$^{ns}	۰/۲۹۹^{ns}
اندازه ذرات × سطح کاربرد	۲	۰/۰۰۶۹^{ns}	۰/۰۰۰۵۴^{ns}	۳/۹۸۹×۱۰$^{-۷}$^{ns}	۰/۸۳۷^{ns}
خطا	۱۸	۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۳۲	۱/۵×۱۰$^{-۷}$	۲/۳۲۸
ضریب تغییرات		۱۹/۳۹	۲۲/۵۸	۳۶/۶۲	۶۱/۳۴

ns، *، ** به ترتیب نشاندهندی غیر معنی دار، معنی دار بودن در سطح پنج و یک درصد می‌باشند.

تأثیر بیوچار بر ماده آلی خاک

درصد ماده آلی خاک در تیمار دو درصد بیوچار به طور معنی‌دار بیشتر از تیمار شاهد (بدون بیوچار: سطح صفر) بود اما با وجود بالاتر بودن درصد ماده آلی در تیمار یک درصد بیوچار نسبت به شاهد، این تفاوت معنی‌دار نبود (شکل۲، الف). بیوچار به علت دارا بودن مقدار قابل توجه کربن می‌تواند باعث افزایش ماده آلی خاک شود. سطح کاربرد بیوچار به مقدار دو درصد توانست ماده آلی خاک را از مقدار ۰/۳ درصد در خاک شاهد به مقدار ۰/۶ درصد برساند (شکل ۲، الف). افزایش مقدار ماده آلی می‌تواند باعث کاهش تراکم خاک شده و زمین را بیشتر مستعد کشت و کار کند. این موضوع باعث افزایش تخلخل کل خاک و بهبود توزیع اندازه منافذ نیز می‌شود (Mentges et al., 2016). در نتیجه، توانایی خاک برای ذخیره آب موجود برای گیاهان بهبود می‌یابد (Wang et al., 2015).



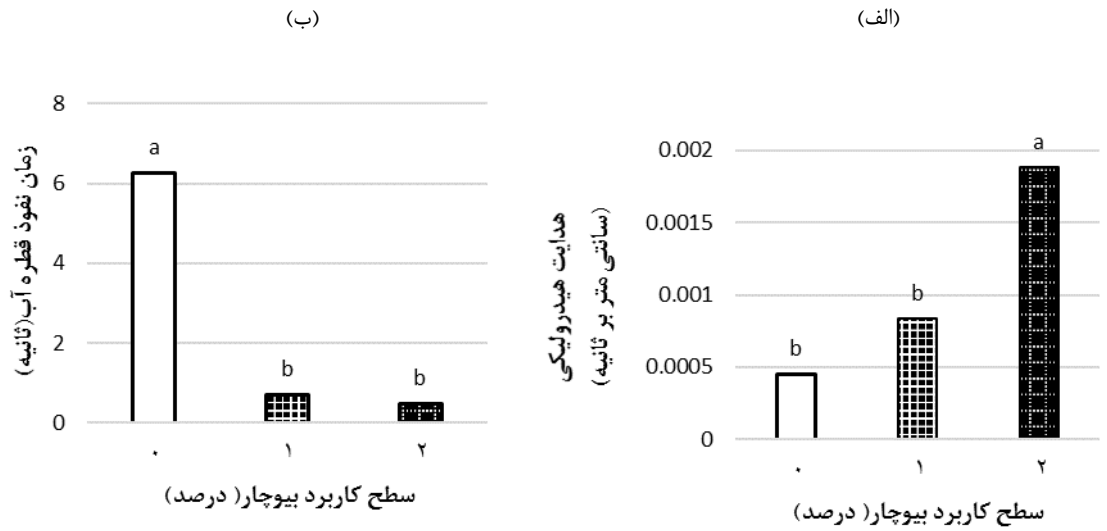
شکل ۲- تأثیر سطح کاربرد بیوچار بر الف) ماده آلی و ب) میانگین وزنی قطر خاکدانه ها

تأثیر بیوچار بر پایداری خاکدانه‌ها (میانگین وزنی قطر خاکدانه)

میانگین وزنی قطر خاکدانه در تیمار دو درصد بیوچار به طور معنی‌دار بیشتر از تیمار یک درصد بیوچار بود. اما با وجود بیشتر بودن میانگین وزنی قطر خاکدانه در تیمار دو درصد بیوچار نسبت به شاهد (سطح صفر بیوچار)، کاربرد بیوچار نتوانست تفاوت معنی داری در مقایسه با تیمار شاهد ایجاد کند (شکل ۲، ب). کاربرد بیوچار با افزایش کربن آلی خاک می‌تواند موجب بهبود پایداری خاکدانه‌ها شود (Six et al., 2004). بیوچار همچنین با افزایش کاتیون‌های دوظرفیتی در خاک می‌تواند باعث فلوکوله شدن ذرات خاک شود. افزایش غلظت الکترولیت‌ها در خاک موجب کاهش ضخامت لایه‌های پخشیده دوگانه در کلوئید خاک و تشدید حالت فلوکولیشن می‌شود و پایداری و تشکیل خاکدانه‌ها را در خاک افزایش می‌دهد (McBride., 1997). اما از آنجایی‌که بهبود ساختمان خاک یک فرایند زمان‌بر است به نظر می‌رسد مدت زمان انکوباسیون در این مطالعه برای بهبود معنی‌دار پایداری خاکدانه‌ها کافی نبوده است.

تأثیر بیوچار بر هدایت هیدرولیکی خاک

تیمار دو درصد بیوچار سبب افزایش هدایت هیدرولیکی خاک نسبت به تیمار شاهد (سطح صفر بیوچار) شد (شکل ۳، الف). همچنین سطح کاربرد یک درصد بیوچار نیز هدایت هیدرولیکی خاک را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد اما این افزایش معنی‌دار نبود. تخلخل خاک می‌تواند به دلیل منافذ موجود در داخل ذرات بیوچار، بین ذرات بیوچار و ذرات خاک افزایش یابد (Masiello et al., 2015). چنین افزایشی باعث افزایش حرکت آب در منافذ خاک و افزایش هدایت هیدرولیکی در خاک می‌شود (Ouyang et al., 2013).



شکل۳- تاثیر سطح کاربرد بیوچار بر الف) هدایت هیدرولیکی و ب) آبگریزی خاک

تأثیر بیوچار بر آبگریزی خاک

سطح کاربرد بیوچار باعث کاهش معنی دار در آبگریزی خاک نسبت به تیمار شاهد(سطح صفر بیوچار) شد. اما دو سطح کاربرد یک و دو درصد بیوچار نسبت به یکدیگر نتوانستند تفاوت معنی‌داری را ایجاد کنند (شکل ۳، ب). آبگریزی خاک به علت تأثیر آن در خواص فیزیکی خاک، مورد توجه قرار گرفته است. آبگریزی خاک باعث افزایش زمان نفوذ آب در خاک می‌شود، به طوری که مرطوب شدن خاک ممکن است از چند ثانیه تا چند روز یا حتی هفته‌ها به طول انجامد (Doerr and Thomas., 2000). افزایش آبگریزی باعث به وجود آمدن مشکلات زیادی برای رشد گیاهان شده (York., 1993) و تاثیرات منفی بر خواص هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی خاک می‌گذارد. به عنوان مثال موجب کاهش نفوذ آب در خاک و افزایش رواناب سطحی می‌شود، به این ترتیب فرسایش خاک، الگوهای نامنظم مرطوب شدن، ایجاد جریان ترجیحی و آبشویی مواد شیمیایی تسریع می‌شود (Briggs et al., 2012).

نتیجه‌گیری

افزایش میزان ماده آلی خاک در اثر کاربرد بیوچار به ویژه در خاک موردمطالعه که دارای ماده آلی ناچیزی بود می‌تواند موجب بهبود نگهداری رطوبت در خاک شود. بیوچار همچنین می‌تواند با کاهش آبگریزی و افزایش هدایت هیدرولیکی باعث بهبود نفوذپذیری خاک نسبت به آب و سهولت عبور آن در پروفیل خاک شود. در نتیجه آب با سهولت بیشتری در داخل خاک نفوذ کرده و در اختیار ریشه گیاه قرار می گیرد. همچنین افزایش نفوذپذیری خاک می‌تواند باعث کاهش رواناب بر روی سطح خاک شده و از هدر رفت آب به وسیله تبخیر و انتقال آب به محلی جز محل ریشه گیاه جلوگیری کرده و باعث افزایش راندمان آب مصرفی می شود.

منابع

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

Doerr, S.H. and Thomas, A.D. 2000 The role of soil moisture in controlling water repellency: new evidence from forest soils in Portugal. Journal of Hydrology, (231-232): 134–147.

Du, Y.D. Niu, W.Q. Gu, X.B. Zhang, Q. Cui, B.J. Zhao, Y. 2018. Crop yield and water use efficiency under aerated irrigation: a meta-analysis. Agriculture, Water Manage, (210): 158–164.

Fischer, B.M. Manzoni, S. Morillas, L. Garcia, M. Johnson, MS. Lyon, S.W. 2019. Improving agricultural water use efficiency with biochar. a synthesis of biochar effects on water.

Gamage, D.N. Mapa, R.B. Dharmakeerthi, R.S. and Biswas, A. 2016. Effect of ricehusk biochar on selected soil properties in tropical alfisols. Soil Research, (54): 302–310.

Guo, X.X. Liu, H.T. and Zhang, J. 2020. The role of biochar in organic waste composting and soil improvement: A review. Waste Management, (102): 884-899.

Ibrahim, H. Al-wabel, M. Usman, A. and Al-omran, A. 2013. Effect of Conocarpus biochar application on the hydraulic properties of a sandy loam soil. Soil Science, (178): 165–173.

Jien, S.H. and Wang, C.S. 2013. Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. Catena, (110): 225-233.

Langeroodi, A.R.S. Campiglia, E. Mancinelli, R. Radicetti, E. 2019. Can biochar improve pumpkin productivity and its physiological characteristics under reduced irrigation regimes Sci. Hortic, (247): 195–204.

Lehmann, J. 2007. Bio-energy in the black. Frontiers in Ecology and the Environment, (5): 381-387.

Li, Y. Zhang, F. Yang, M. Zhang, J. and Xie, Y. 2019. Impacts of biochar application rates and particle sizes on runoff and soil loss in small cultivated loess plots under simulated rainfall. Science of the Total Environment, (649): 1403-1413.

Liu, Z. Chen, X. Jing, Y. Li, Q. Zhang, J. and Huang, Q. 2014. Effects of biochar amendment on rapeseed and sweet potato yields and water stable aggregate in upland red soil. Catena, (123): 45-51.

Masiello, C. Dugan, B. Brewer, C. Spokas, K. Novak, J. Liu, Z.L. Sorrenti, G. 2015. Biochar effects on soil hydrology. In: Lehmann, J. Joseph, S. (Eds.), Biochar for Environmental Management Science. Technology and Implementation, second edition, Routledge, London, UK, pp. 541–560.

McBride, M.B. 1997. A critique of diffuse double layer models applied to colloid and surface chemistry. Clay Clay Miner. (45): 598–608.

Mentges, M.I. Reichert, J.M. Rodrigues, M.F. Awe, G.O. Mentges, L.R. 2016. Capacity and intensity soil aeration properties affected by granulometry, moisture, and structure in no-tillage soils. Geoderma, (263): 47–59.

Mentges, M.I. Reichert, J.M. Rodrigues, M.F. Awe, G.O. Mentges, L.R. 2016. Capacity and intensity soil aeration properties affected by granulometry, moisture, and structure in no-tillage soils. Geoderma, (263): 47–59.

Ouyang, L. Tang, W.J. and Zhang, R. 2013. Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties. Journal, Soil Science. Plant Nutrition, (13): 991–1002.

Ouyang, L. Wang, F. Tang, J. Yu, L. Zhang, R. 2013. Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties. Journal Soil Plant Nutrition, (13): 991–1002.

Quinton, J.N. Govers, G. Oost, K.V. Bardgett, R.D. 2010. The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. Nat. Geosci, (3): 311–314.

Ray, D.K. Mueller, N.D. West, P.C. Foley, J.A. 2013. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. PLoS One, (8): e66428.

Sauer, T. Havlík, P. Schneider, U.A. Schmid, E. Kindermann, G. Obersteiner, M. 2010. Agriculture and resource availability in a changing world. the role of irrigation. Water Resour, Res, (46): W06503.

Singla, A. Dubey, S.K. Singh, A. and nubushi, K. I. 2014. Effect of biogas digested slurry-based biochar on methane flux and methanogenic archaeal diversity in paddy soil. Agriculture, Ecosystems & Environment, (197): 278-287.

Six, J. Bossuyt, H. Degryze, S. and Denef, K. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. Soil and Tillage Research, 79(1): 7-31.

Schmidt, M.W. and Noack, A.G. 2000. Black carbon in soils and sediments: analysis, distribution, implications, and current challenges. Global biogeochemical cycles, 14(3): 777-793.

UN. 2019. World Population Prospects 2019: Highlights. Available at: https://population.un.org/wpp.html.

Verheijen, F.G.A. Jeffery, S. Bastos, A.C. van der Velde, M. Diafas, I. 2010. Biocharapplication to soils-a critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. In: EUR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities. Luxembourg.

Verheijen, F.G.A. S. Jeffery, A.C. Bastos, M. Velde, V.D and Diafas, I. 2009. Biochar Application to Soils - A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. EUR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg, pp. 149.

Wang, W. Li, J. Su, L. Wang, Q. 2015. Soil air permeability model based on soil physical basic parameters. Nongye Jixie Xuebao/ Trans China Agricultural Machinery Machinery , 46 (3): 125–130.

York, C.A. 1993. A questionnaire survey of dry patch on golf courses in the United Kingdom. journal Sports Turf Research, (69): 20–26.