

تأثیر زغال‌های زیستی چوب گردو و پوست سبز میوه گردو بر وضعیت نگهداشت آب در یک خاک شنی

مه‌دیس توژی^۱، شجاع قربانی دشتکی^{۲*}، حمیدرضا متقیان^۳، احمدرضا قاسمی^۴

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۵)

(تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۹)

چکیده

خشکسالی و تنش حاصل از آن یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی بوده که ویژگی‌های مختلف خاک و در نتیجه تولیدات کشاورزی را با محدودیت روبرو می‌سازد. پژوهشگران به‌منظور بهینه نمودن ویژگی‌های خاک و کم نمودن اثر تنش‌های یادشده از اثر بهسازهای آلی از جمله زغال زیستی استفاده نموده‌اند. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر زغال زیستی و ماده خام چوب درخت گردو و پوست سبز میوه آن بر منحنی رطوبتی و پارامترهای هیدرولیکی خاکی با بافت شنی در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. زغال زیستی مورد استفاده در دمای ۴۰۰ درجه‌ی سلسیوس و مدت زمان دو ساعت در شرایط محدودیت اکسیژن تهیه شد. بهسازها (چوب درخت گردو و پوست سبز میوه گردو و زغال‌های زیستی حاصل از آن‌ها) در نسبت‌های یک و دو درصد وزنی/وزنی (معادل صفر، ۳۶ و ۷۲ تن در هکتار) در سه تکرار با خاک مخلوط و به‌مدت ۱۲۰ روز در شرایط گلخانه انکوبه شدند. پس از آن، منحنی رطوبتی نمونه‌ها با دستگاه جعبه شنی و صفحات فشاری اندازه‌گیری شد. آنالیز آماری داده‌ها نشان داد ویژگی‌های جرم ویژه ظاهری، تخلخل، پایداری خاکدانه‌ها در حالت تر و پارامترهای معادله ون‌گنوختن به جزء پارامتر رطوبت باقی‌مانده در تیمارهای زغال زیستی نسبت به تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری داشتند. به‌طوری که با کاربرد دو درصد زغال زیستی پوست سبز گردو جرم ویژه ظاهری ۱۷ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش و تخلخل کل خاک به ترتیب ۱۳ و ۱۱ درصد افزایش یافت. کاربرد دو درصد زغال زیستی بیش‌ترین تأثیر را بر منحنی رطوبتی خاک داشت. همچنین، افزودن زغال زیستی به خاک باعث افزایش چشمگیر نگهداشت آب خاک در مکش‌های کم شد و با افزایش مکش تفاوت در رطوبت خاک بین تیمارهای مختلف کاهش یافت. با توجه به اینکه منحنی رطوبتی در مکش‌های کم متأثر از حجم منافذ درشت و ساختمان خاک است می‌توان گفت که افزودن زغال زیستی موجب افزایش منافذ درشت خاک گردید. به‌کارگیری مقادیر مناسب زغال زیستی به‌عنوان یک بهساز خاک کشاورزی تا حدی می‌تواند ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک‌های شنی مناطق نیمه‌خشک را بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: پوست سبز میوه گردو، چوب گردو، زغال زیستی، منحنی مشخصه رطوبتی، ویژگی‌های فیزیکی

توژی م.، قربانی دشتکی ش.، متقیان ح.، قاسمی، الف. ۱۳۹۹. تأثیر زغال‌های زیستی چوب گردو و پوست سبز میوه گردو بر وضعیت نگهداشت آب در یک خاک شنی. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۸، شماره ۴. صفحه: ۴۴-۵۶.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۲- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۳- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*پست الکترونیک: ghorbani-sh@sku.ac.ir

مقدمه

کمبود آب و تخریب خاک می‌تواند باعث ایجاد خطر جدی برای تولید غذا شود. بر اساس پژوهش‌های انجام شده میزان کربن آلی در بیش از ۶۰ درصد از اراضی زیر کشت ایران کم‌تر از یک درصد و در بخش قابل توجهی از آن کم‌تر از ۰/۵ درصد است (Samavat et al., 2015). به همین دلیل افزایش سطح ماده آلی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. خاک‌های شنی رایج‌ترین خاک‌ها در دنیا از نظر کمبود ماده‌ی آلی هستند (Crocker et al., 2004). این خاک‌ها به دلیل ظرفیت محدود برای حفظ آب و مواد مغذی به‌طور طبیعی نابارور شناخته شده‌اند (Noble et al., 2001). بر این اساس برای کشت بسیاری از محصولات زراعی در این خاک‌ها به مقدار قابل توجهی ماده آلی نیاز است. در نتیجه افزودن کودهای آلی به این خاک‌ها به‌منظور حصول اطمینان از رشد مناسب گیاه می‌تواند به جبران کمبود مواد آلی و افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت در این خاک‌ها کمک کند (Spalding et al., 2001). استفاده از بهسازهای ماندگار در خاک مانند زغال زیستی برای افزایش آب خاک به یک مسأله مهم تبدیل شده است (Mohawesh, 2016).

زغال زیستی ترکیب آلی غنی از کربن ریزدانه و متخلخل بوده و از طریق تجزیه گرمایی هر نوع زیست-توده و به‌طور معمول در دمای کم‌تر از ۷۰۰ درجه سلسیوس در محدودیت اکسیژن که در اصطلاح به آن گرماکافت (Pyrolysis) گفته می‌شود، بدست می‌آید (Sohi et al., 2009; Lehmann & Joseph, 2005). زغال زیستی را می‌توان از طیف گسترده‌ای از ضایعات کشاورزی (Demirbas, 2004) و ضایعات حیوانی (Chan et al., 2008) تولید کرد. اهمیت و نقش کاربرد زغال زیستی در خاک به‌دلیل ساختمان متخلخل و سطح ویژه‌ی زیاد ذرات آن می‌باشد (Downie et al., 2009). افزودن زغال زیستی به خاک اثر معنی‌داری بر خلل و فرج خاک دارد به گونه‌ای که سبب کاهش جرم ویژه ظاهری خاک و مقاومت در برابر نفوذ می‌شود و تخلخل خاک و سطح ویژه را می‌افزاید (Lu et al., 2014). افزایش ظرفیت نگهداری آب و ظرفیت آب در دسترس (Available Water Capacity) در خاک‌های شنی با افزودن زغال زیستی در چندین پژوهش گزارش شده

است (Abel et al., 2013). زغال زیستی به‌دلیل دارا بودن سطح ویژه بالا و همچنین تخلخل زیاد، قابلیت جذب آب غیرقابل دسترس گیاه را دارد (Guo et al., 2002). همچنین افزودن زغال زیستی به خاک سبب افزایش میزان آب در نقطه پژمردگی دائم (Permanent Wilting Point) می‌شود. بوورل و همکاران (Burrell et al., 2016) بررسی اثر افزودن سه درصد وزنی/وزنی زغال زیستی تولیدشده از خرده چوب در دمای ۵۲۵ درجه سلسیوس را بر جرم ویژه ظاهری و آب قابل دسترس در سه نوع خاک با بافت‌های لوم شنی، سیلتی لوم و لوم رسی بررسی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن زغال زیستی به خاک‌های لوم شنی، سیلتی لوم و لوم رسی به ترتیب سبب افزایش ۱/۹، ۴/۶ و ۹/۶ درصدی آب قابل دسترس و کاهش ۳/۹، ۱۰/۹ و ۱۳/۳ درصدی جرم ویژه ظاهری شد. طبق گزارش هراث و همکاران (Herath et al., 2013)، افزودن زغال زیستی ذرت موجب کاهش جرم ویژه ظاهری، افزایش پایداری خاکدانه و در نهایت افزایش نگهداشت آب در دو نوع خاک رده آلفی‌سول و اندی‌سول گردید. نتایج پژوهش بلانکو و همکاران (Blanco et al., 2017) نشان داد پایداری خاکدانه‌ها در حالت خشک در یک خاک با بافت لوم شنی با کاربرد زغال زیستی کم‌تر از یک درصد افزایش یافت، در حالی‌که در خاک شنی، پایداری خاکدانه‌ها فقط در تیمار یک درصد زغال زیستی (۲۵ میلی‌گرم بر هکتار) افزایش یافت. بایامونته و همکاران (Baiamonte et al., 2019) تأثیر کاربرد زغال زیستی زیست توده جنگلی تولیدشده در دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس را بر ویژگی‌های فیزیکی یک خاک شنی بیابانی در منطقه الفوح، امارات متحده عربی، مطالعه نمودند. در این پژوهش، زغال زیستی در نسبت‌های صفر (فقط خاک)، ۱/۴، ۱/۹، ۲۳، ۳۳ و ۱۰۰ (فقط زغال زیستی) درصد وزنی، مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از زغال زیستی به طور قابل ملاحظه‌ای تخلخل خاک و میزان منافذ ذخیره‌سازی آب و در نتیجه ظرفیت نگهداشت آب در خاک را از ۱۹/۳ درصد در تیمار شاهد به ۶۰/۸، ۱۰۲/۳ و ۱۰۷/۶ به ترتیب در سطوح ۱/۹، ۲۳ و ۳۳ درصد افزایش داد. به-طور کلی نتایج این پژوهش‌گران نشان داد استفاده از زغال زیستی موجب بهبود ساختمان خاک و افزایش

زغال زیستی به نوع خاک و مقدار کاربرد آن وابستگی دارد. از دیگر سو، استان چهارمحال و بختیاری یکی از قطب‌های تولید گردو در کشور بوده و در نتیجه امکان تهیه زغال زیستی گردو (چوب یا پوست سبز میوه آن) به صورت عملی وجود دارد. بنابراین، هدف از این پژوهش، بررسی کاربرد یک و دو درصد وزنی/وزنی زغال زیستی و ماده خام چوب درخت گردو و پوست سبز میوه درخت گردو بر منحنی رطوبتی و پارامترهای هیدرولیکی در خاکی با بافت شنی بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش نمونه خاک از لایه سطحی (صفر تا ۳۰ سانتی‌متری) اراضی باغی در منطقه چلوان شهرستان سامان واقع در استان چهارمحال و بختیاری جمع‌آوری و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن شامل بافت خاک به روش هیدرومتر (Gee & Bauder, 1986)، pH در سوسپانسیون دو به یک آب به خاک (Thomas, 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره دو به یک آب به خاک و ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (Nelson & Sommers, 1996) اندازه‌گیری شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است. این خاک دارای بافت شنی و مقدار ماده آلی آن کم‌تر از یک درصد است.

نگهداشت آب می‌شود و در نتیجه موجب بهینه‌سازی مدیریت آبیاری و کاهش نیاز آبیاری در منطقه الفوج و یا مشابه آن در مناطق دیم می‌گردد.

ویلاگر و همکاران (Villagra *et al.*, 2018) در پژوهشی تأثیر افزودن زغال زیستی چوب انبه تولیدشده در در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس (۲/۵ و ۵ درصد وزنی/وزنی) را بر برخی ویژگی‌های هیدرولیکی در دو خاک با بافت-های شنی و لوم شنی بررسی کردند. افزون بر نمونه‌های اصلی، نمونه‌های دیگری در معرض چهار چرخه شدیدتر و خشک کردن به مدت سه روز متوالی، با خشک کردن نمونه‌ها در دمای ۳۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد که میزان نگهداشت آب در خاک شنی اصلاح‌شده در مقایسه با خاک اصلاح‌نشده بیشتر بود. همچنین توزیع اندازه منافذ ذرات به طور معنی‌داری تغییر یافته و موجب افزایش تخلخل خاک می‌شود. چرخه‌های تر و خشک شدن، پایداری ساختمان و هدایت هیدرولیکی اشباع را افزایش می‌دهد. این نتایج نشان‌دهنده مناسب بودن زغال زیستی برای غلبه بر شرایط خشکی هیدرولوژیکی شدید است. در سال‌های اخیر خشکسالی باعث گرایش بیشتر به استفاده از بهسازها شده است. در پژوهش‌های انجام شده از مواد گیاهی گوناگون برای تهیه زغال زیستی استفاده شده و تأثیر زغال زیستی افزون بر نوع

جدول ۱- برخی ویژگی‌های خاک مورد مطالعه

Table 1. Some properties of the study soil

EC	pH	Organic matter	Clay	Silt	Sand	Texture	Bulk density
dS m^{-1}			(%)				g cm^{-3}
0.37	7.83	0.86	16	4.6	79.6	Sandy	1.30

pH_{1:2} and EC_{1:2}

زغال زیستی مورد استفاده در این پژوهش از چوب درخت گردو و پوست سبز میوه درخت گردوی شهرستان سامان تهیه گردید. پس از جمع‌آوری شاخه‌های درخت گردو و پوست سبز میوه آن و خرد کردن آن‌ها؛ به منظور تهیه زغال زیستی، آن‌ها در لوله‌های استوانه‌ای با دیوش فلزی در شرایط محدودیت اکسیژن در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس به مدت دو ساعت درون کوره قرار گرفتند. زغال زیستی معمولاً به صورت پودری یا دانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد زیرا در این حالت به طور یکنواخت با خاک مخلوط می‌شود

زغال زیستی مورد استفاده در این پژوهش از چوب درخت گردو و پوست سبز میوه درخت گردوی شهرستان سامان تهیه گردید. پس از جمع‌آوری شاخه‌های درخت گردو و پوست سبز میوه آن و خرد کردن آن‌ها؛ به منظور تهیه زغال زیستی، آن‌ها در لوله‌های استوانه‌ای با دیوش فلزی در شرایط محدودیت اکسیژن در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس به مدت دو ساعت درون کوره قرار گرفتند. زغال زیستی معمولاً به صورت پودری یا دانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد زیرا در این حالت به طور یکنواخت با خاک مخلوط می‌شود

جدول ۲- برخی ویژگی‌های چوب درخت گردو و پوست سبز میوه گردو و زغال زیستی آن‌ها

Table 2. Some properties of the wood of walnut and walnut green shell and the biochar

Type of Materials	pH	EC
		dS m ⁻¹
Walnut wood	7.08	1.23
Walnut green shell	8.41	1.32
Walnut wood biochar	8.84	2.45
Walnut green shell biochar	10.04	3.22

pH and EC of 1:10 soil:water

درصد با خاک عبور داده شده از الک دو میلی‌متر مخلوط و در گلدان‌های پلاستیکی سه کیلوگرمی ریخته شدند. جدول (۳) معرف تیمارها و علامت‌های به کار برده در کل متن، شکل‌ها و جدول‌ها است.

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. بهسازها (چوب و پوست سبز میوه گردو و زغال‌های زیستی تهیه شده از آن‌ها) در دو سطح (یک و دو درصد) به همراه تیمار شاهد در سه تکرار استفاده شد. زغال زیستی و ماده خام به نسبت وزنی یک و دو

جدول ۳- معرفی تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق

Table 3. The treatments and the symbols

Treatments	Treatment acronym	The number of repetitions
Control	c	3
1% Walnut wood	Mw1	3
1% Walnut green shell	Ms1	3
1% Walnut wood biochar	Bw1	3
1% Walnut green shell biochar	Bs1	3
2% Walnut wood	Mw2	3
2% Walnut green shell	Mw2	3
2% Walnut wood biochar	Bw2	3
2% Walnut green shell biochar	Bs2	3

$$F = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_p} \right) \times 100 \quad (2)$$

که در آن ρ_b جرم ویژه ظاهری بر حسب گرم بر مترمکعب و ρ_p جرم ویژه حقیقی بر حسب گرم بر مترمکعب است. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (Mean Weight Diameter) (رابطه ۳) به روش الک تر اندازه‌گیری و بر مبنای آن پایداری ساختمان خاک ارزیابی شد (Kemper & Rosenau, 1986).

$$MWD = \sum_{i=1}^n W_i X_i \quad (3)$$

در این معادله W_i نسبت جرم خشک خاکدانه روی هر الک به جرم کل خاک و X_i میانگین قطر خاکدانه‌های باقی‌مانده بر روی هر الک بر حسب میلی‌متر می‌باشد (Kemper & Rosenau, 1986). به‌منظور اندازه‌گیری و تعیین منحنی مشخصه رطوبتی خاک، میزان رطوبت خاک را برای رطوبت‌های کم‌تر از ۳۰۰ هکتوپاسکال بوسیله دستگاه جعبه شنی و برای رطوبت‌های بیش‌تر از ۳۰۰ هکتوپاسکال دستگاه صفحات فشاری مورد استفاده

سپس نمونه‌ها به مدت ۱۲۰ روز در شرایط گلخانه (در دمای ۲۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت معادل ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه) انکوبه شدند. پس از پایان دوره انکوباسیون، نمونه‌ها برای انجام آزمایش‌ها به آزمایشگاه منتقل و ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری جرم ویژه ظاهری از روش استوانه، نمونه‌برداری دست‌نخورده از خاک‌های موجود در گلدان‌ها صورت گرفت. جرم ویژه ظاهری خاک طبق رابطه (۱) به‌دست آمد.

$$\rho_b = \frac{M_s}{V_t} \quad (1)$$

که در آن ρ_b جرم ویژه ظاهری (g.cm^{-3})، M_s جرم خاک خشک و V_t حجم کل خاک است. جرم ویژه حقیقی خاک به روش آزمایشگاهی با استفاده از پیکنومتر (Blake & Hartge, 1986) اندازه‌گیری شد. تخلخل کل خاک (F) با اندازه‌گیری جرم ویژه ظاهری و جرم ویژه حقیقی از رابطه زیر محاسبه گردید:

خاک‌ها به همراه داشته است (Omuto, 2009 & Van Genuchten, 1991).

رطوبت نمونه خاک‌های دارای زغال زیستی و بدون زغال زیستی در مکش‌های ۳۰۰، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰، ۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ هکتوپاسکال، با استفاده از دستگاه صفحات فشاری و در مکش‌های صفر، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ هکتوپاسکال با استفاده از دستگاه جعبه شنی اندازه‌گیری شد (Ghotbizadeh & Sepaskhah, 2015). پس از تعیین نقاط رطوبتی تغییرات میزان آب در هر پتانسیل و در هر تیمار بدست آمد. در هر خاک معادله ون‌گونختن به داده‌های بدست آمده برازش شد. پارامترهای معادله ون‌گونختن با استفاده از نرم افزار RETC تعیین شد. این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. پس از اطمینان از نرمال بودن نتایج بدست آمده اثر عامل تغییرات (بهساز) بر ویژگی‌های فیزیکی، منحنی رطوبتی خاک و پارامترهای معادله ون-گونختن با استفاده از تجزیه واریانس با اندازه‌گیری تک متغیره (One-way ANOVA) بررسی شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون Fisher-LSD استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر بهسازها (چوب و پوست سبز میوه گردو) بر جرم ویژه ظاهری خاک (ρ_b)، جرم ویژه حقیقی (ρ_p)، تخلخل کل (F) و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر بهسازها بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک مورد مطالعه

Table 4. The results of ANOVA for the effect of amendments on some physical properties of the study soil

Sources of variation	df	Mean squares			
		MWD _w	F	ρ_p	ρ_b
Treatment	8	0.0037**	14.32*	0.007**	0.014**
Error	18	0.000001	0.49	0.0001	0.0009

(1% Significance level):**, (5% Significance level):*.

ρ_b : Bulk density, ρ_p : particle density, F: Total porosity, MWD_w: Mean Weight Diameter

زغال زیستی به‌کار برده شده، زغال زیستی چوب و پوست سبز میوه گردو در سطح دو درصد بیش‌ترین کاهش (۱۷ درصد) و زغال زیستی چوب گردو کم‌ترین کاهش (۱۳ درصد) را در جرم ویژه ظاهری خاک باعث شده‌اند. زغال زیستی با جرم ویژه ظاهری کم به

قرار گرفت. از مدل ون‌گونختن-معلم (Van Genuchten, 1980) برای کمی‌نمودن منحنی مشخصه رطوبتی خاک مطابق با روابط ۴ تا ۷ استفاده شد.

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + |\alpha h|^n\right]^m} \\ \theta_s \end{cases} \quad (4)$$

$$K(h) = K_s S_e^l \left[1 - \left(1 - S_e^{\frac{1}{m}}\right)^m\right]^2 \quad (5)$$

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta} \quad (6)$$

$$m = 1 - \frac{1}{n} \quad (7)$$

در رابطه‌های θ میزان رطوبت خاک در پتانسیل ماتریک h هدایت هیدرولیکی در پتانسیل ماتریک، θ_r میزان رطوبت باقیمانده، θ_s میزان رطوبت اشباع $[L^3.L^{-3}]$ ، K_s هدایت هیدرولیکی اشباع $[L.T^{-1}]$ ، α پارامتر تجربی است که به طور معکوس متناسب است با مکش در نقطه ورود هوا $[L^{-1}]$ ، n شاخص توزیع اندازه منافذ و l پارامتر اتصال منافذ که برای بیش‌تر خاک‌ها برابر ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود و S_e درجه اشباع مؤثر خاک است. m و n نیز پارامترهای برازشی معادله هستند که پژوهش‌ها نشان داده $m=1-1/n$ بهترین نتیجه را برای بیش‌تر

اثر بهسازها بر جرم ویژه ظاهری معنی‌دار ($p < 0.01$) (جدول ۴) و اثر بهسازها بر میانگین ویژگی‌های مذکور در جدول ۵ نشان داده شده است. این جدول نشان می‌دهد افزودن زغال زیستی به خاک موجب کاهش جرم ویژه ظاهری خاک نسبت به تیمار شاهد شد. بین سطوح

ذرات بزرگ را بهبود بخشیده و تراکم خاک را در خاک-هایی با بافت درشت نسبت به خاک‌های با بافت ریز افزایش دهد. بر اساس پژوهش بلانکو و همکاران (Blanco *et al.*, 2017) کاربرد زغال زیستی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را چهار تا ۵۸ درصد افزایش داد و نسبت خاکدانه‌های پایدار به میزان سه تا ۲۲۶ درصد افزایش یافت. پایداری خاکدانه‌ها در ۲۶ خاک به طور کلی با افزایش مقدار زغال زیستی افزایش یافت.

منحنی رطوبتی تیمار شاهد و سایر تیمارها در شکل‌های (۱) و (۲) مشخص شده است. منحنی رطوبتی در مکش‌های کم‌تر از ۱۰۰ هکتوپاسکال متأثر از حجم منافذ خاک و ساختمان خاک می‌باشد. با توجه به شکل‌های (۱) و (۲) مشاهده می‌شود که تا مکش ۱۰۰ هکتوپاسکال تیمارهای حاوی زغال زیستی سبب افزایش میزان نگهداشت آب خاک شدند.

در شکل (۱) مشاهده می‌شود که تیمارهای Bw1, Bw2 و Mw2 و در شکل (۲) تیمارهای Bs1, Bs2 و Ms2 نسبت به تیمار شاهد مقدار رطوبت بیشتری را در خود حفظ کرده‌اند؛ زیرا افزودن زغال زیستی می‌تواند موجب بهبود ساختمان و منافذ خاک شود. همچنین خاصیت دیگر زغال زیستی داشتن ساختار حفره‌ای است که می‌تواند در افزایش نگهداشت آب در خاک اثرگذار باشد (Guo *et al.*, 2002).

نتایج نشان داد که کاربرد دو درصد وزنی/وزنی زغال‌های زیستی حاصل از چوب درخت و پوست سبز میوه گردو در یک خاک شنی می‌تواند بهسازی مؤثر برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک و افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت و آب قابل دسترس گیاه باشد و وضعیت رطوبت را در نقطه‌های FC و PWP نسبت به تیمار شاهد بهبود بخشد.

برانتلی و همکاران (Brantley *et al.*, 2015) در پژوهش خود تأثیر زغال‌های زیستی حاصل از فضولات مرغی و تراشه‌ی چوب را بر منحنی رطوبتی و میزان نگهداشت آب در یک خاک لومی مورد بررسی قرار دادند.

ذرات خاک چسبیده و از طریق تغییر در تراکم دانه‌های خاک موجب کاهش جرم ویژه ظاهری آن می‌گردد (Lim *et al.*, 2015). نتایج این پژوهش کاهش جرم ویژه ظاهری خاک را نشان داد که با نتایج ابل و همکاران (Abel *et al.*, 2013)، مبنی بر کاهش جرم ویژه ظاهری در اثر افزودن زغال زیستی به خاک شنی تطابق دارد.

نتایج نشان داد که اثر کاربرد زغال زیستی بر جرم ویژه حقیقی معنی‌دار ($p < 0/01$) بود. نتایج مقایسه میانگین اثرات تیمارها بر جرم ویژه حقیقی خاک (جدول ۵) مشخص کرد که کاربرد دو درصد بهسازها جرم ویژه حقیقی را نسبت به یک درصد بیش‌تر کاهش داد. نتایج اثر کاربرد زغال زیستی بر تخلخل کل خاک در (جدول ۴) نشان داد که اثر بهسازها بر تخلخل کل معنی‌دار ($p < 0/05$) بود. اثر کاربرد زغال زیستی بر میانگین تخلخل کل خاک (جدول ۵) نشان داد که تیمار در دو درصد زغال زیستی چوب گردو و پوست سبز میوه گردو بیش‌ترین افزایش (۱۳ درصد) را نسبت به شاهد داشت. افزایش تخلخل به دلیل تشکیل منافذ ثانویه بین ذرات زغال زیستی و خاکدانه‌های در برگیرنده آنهاست که تحت تأثیر بافت خاک و اندازه ذرات زغال زیستی قرار دارد (Hardie *et al.*, 2014). بنابراین اصلاح خاک توسط زغال زیستی باعث کاهش جرم ویژه ظاهری خاک، افزایش تخلخل خاک‌های درشت دانه و پایداری خاکدانه‌ها می‌شود (Herath *et al.*, 2013).

نتایج (جدول ۴) نشان داد که استفاده از بهسازها بر پایداری خاکدانه‌ها به روش تر (MWD_{wet}) معنی‌دار ($p < 0/01$) بود. نتایج مقایسه میانگین (جدول ۵) اثر زغال زیستی بر MWD_{wet} نشان داد که کاربرد دو درصد زغال زیستی و ماده‌خام چوب گردو باعث افزایش MWD_{wet} شد. همچنین MWD_{wet} در اثر کاربرد دو درصد زغال زیستی نسبت به کاربرد یک درصدی افزایش بیش‌تری یافت. بیش‌ترین افزایش MWD_{wet} در اثر کاربرد دو درصد زغال زیستی چوب گردو (۵۶ درصد) و کم‌ترین افزایش مربوط به یک درصد وزنی زغال زیستی پوست سبز میوه گردو (دو درصد) بود. بر اساس نتایج پژوهش بوورل و همکاران (Burrell *et al.*, 2016) مشخص شد که زغال زیستی می‌تواند پایداری خاکدانه‌ها را در خاک شنی بیش‌تر از خاک رس سیلتی یا رسی افزایش دهد. ذرات آلی ممکن است پیوند بین

جدول ۵- اثر بهسازها بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک مورد مطالعه

Table 5. The effect of amendments on some physical properties in the y soil

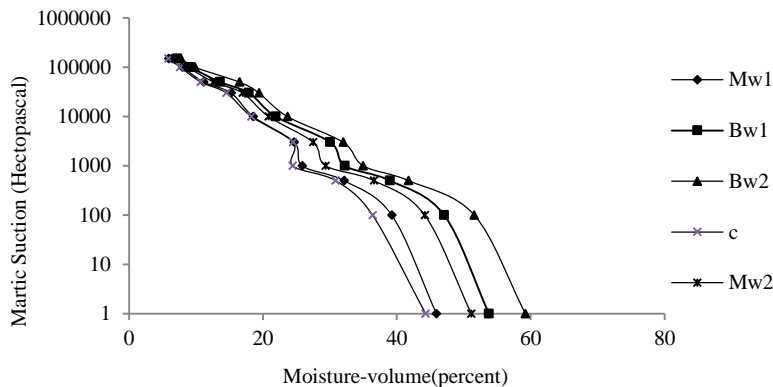
Treatments	Mean weight diameter	Total porosity	Particle density	Bulk density
	(Wet sieving)	Percent	g cm ⁻³	
c	0.197 ^h	50.41 ^g	2.62 ^a	1.3 ^a
Mw1	0.244 ^c	51.09 ^{fg}	2.58 ^b	1.26 ^b
Ms1	0.209 ^f	52.05 ^{ef}	2.59 ^b	1.24 ^b
Bw1	0.208 ^f	54.97 ^{bc}	2.52 ^d	1.13 ^d
Bs1	0.201 ^g	54.26 ^{cd}	2.53 ^d	1.15 ^d
Mw2	0.307 ^a	52.69 ^e	2.53 ^d	1.2 ^c
Mw2	0.211 ^e	53.12 ^{de}	2.55 ^c	1.19 ^c
Bw2	0.254 ^b	56.72 ^a	2.48 ^e	1.08 ^e
Bs2	0.211 ^d	56.12 ^a	2.48 ^e	1.07 ^e

Different lowercase letter(s) represent significance differences between treatments by fisher-LSD's test at $p < 0.05$.

c: Control, Mw1: 1% walnut wood, Ms1: 1% walnut green shell, Bw1: 1% walnut wood biochar, Bs1: 1% walnut green shell biochar, Mw2: 2% walnut wood, Ms2: 2% walnut green shell, Bw2: 2% walnut wood biochar, Bs2: 2% walnut green shell biochar.

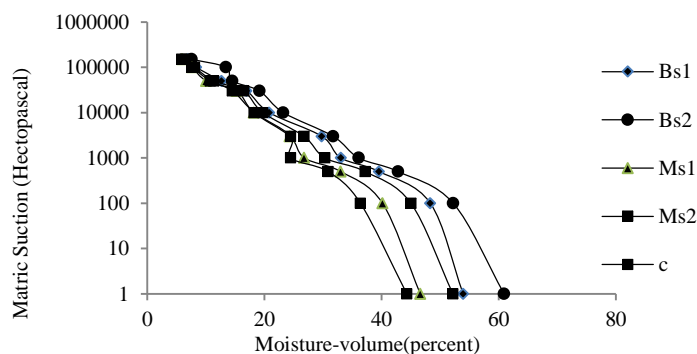
وزنی زغال زیستی تهیه شده از چوب انبه در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس بر عملکرد هیدرولیکی دو خاک با بافت های شنی و لوم شنی پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان دهنده تأثیر مثبت و معنی دار افزودن زغال زیستی بر میزان نگهداشت آب در خاک شنی اصلاح شده در مقایسه با خاک اصلاح نشده دارد.

این پژوهشگران دریافتند رابطه‌ی بین میزان مکش و مقدار رطوبت باقی مانده با مقدار زغال زیستی به کار برده شده با هم متفاوت است ($p < 0.05$). بررسی نتایج آنها نشان داد که زغال زیستی فضولات مرغی بیشترین ظرفیت نگهداری آب را در خاک ایجاد می‌نماید. در همین راستا ویلاگر و همکاران (Villagra et al., 2018)، در تحقیق خود به بررسی تأثیر افزودن ۲/۵ و پنج درصد



شکل ۱. منحنی مشخصه رطوبتی خاک در تیمارهای چوب گردو و زغال زیستی آن و شاهد

Figure 1. soil water retention curve in the Walnut wood and its biochar and control treatments



شکل ۲. منحنی مشخصه رطوبتی خاک در تیمارهای پوست سبز میوه گردو و زغال زیستی آن و شاهد

Figure 2. soil water retention curve in the Walnut green shell and its biochar and control treatments (جدول ۶) نشان داد کاربرد زغال زیستی بر میزان آب باقی‌مانده (θ_r) معنی‌دار نیست ($p > 0.05$). همراستا با این نتایج، اوزوما و همکاران (Uzoma *et al.*, 2011) نیز گزارش کردند که بیوچار اثر معنی‌داری بر θ_r ندارد ($p > 0.05$).

نتایج تجزیه واریانس اثربه‌سازها (چوب و پوست سبز میوه گردو) بر پارامترهای معادله‌ی ون گنوختن از جمله میزان آب باقی‌مانده (θ_r)، میزان آب اشباع (θ_s)، عکس مکش در نقطه ورود هوا (α) و شاخص توزیع اندازه منافذ (n) در جدول (۶) نشان داده شده است. نتایج

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس اثر به‌سازها بر پارامترهای معادله ون گنوختن

Table 6. The results of ANOVA for the effect of the amendments on the parameters of van Genuchten equation

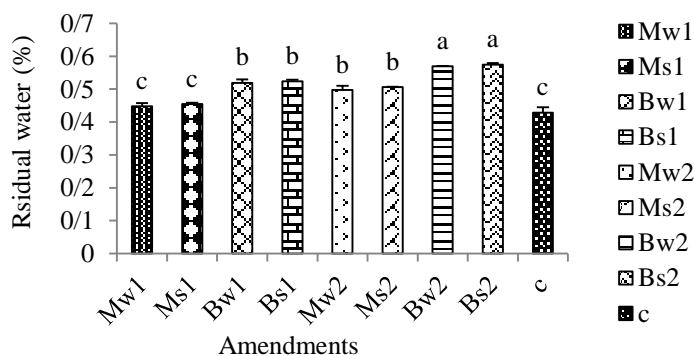
Sources of variation	Df	Mean squares			
		n	α	θ_s	θ_r
Treatment	8	0.00051**	0.00047**	0.0079**	0.00 ^{ns}
Error	18	0.0009	0.000046	0.00023	0.00

(Not significance):ns , (1% Significance level) : **

 θ_r : The amount of water remaining, θ_s : Residual water, α : Air Entry Value, n: on pore size distribution Index

به میزان پنج درصد به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را بر میزان θ_s داشتند. علت آن، ناشی از تأثیر مثبت زغال زیستی در تشکیل خاکدانه‌ها، بهبود ساختمان خاک و در نتیجه افزایش تخلخل و منافذ درشت خاک است. زغال زیستی با اثر مثبت بر تخلخل خاک و افزایش این ویژگی خاک موجب افزایش رطوبت اشباع در خاک‌های حاوی زغال زیستی شد و این در نهایت موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک گردید.

نتایج تجزیه واریانس اثر استفاده از زغال زیستی بر میزان آب اشباع (θ_s) (جدول ۶) نشان داد که کاربرد زغال زیستی بر θ_s معنی‌دار ($p < 0.01$) بود. نتایج مقایسه میانگین اثر زغال زیستی بر θ_s در شکل (۳) نشان داده شده است. نتایج این شکل نشان می‌دهد که کاربرد دو درصد زغال زیستی چوب و پوست سبز میوه گردو باعث افزایش θ_s نسبت به سایر تیمارها شد. کاربرد دو درصد زغال زیستی چوب و پوست سبز میوه گردو به میزان ۳۶ درصد و کاربرد یک درصد چوب گردو

شکل ۳- اثر به‌سازها بر آب باقی‌مانده (θ_s)Figure 3. Effect of the amendments on residual water (θ_s)

C: تیمار شاهد، Mw1: چوب گردو در سطح دو درصد، Bw1: زغال زیستی چوب گردو در سطح یک درصد، Bs1: زغال زیستی پوست سبز گردو در سطح یک درصد، Mw2: چوب گردو در سطح دو درصد، Bw2: زغال زیستی چوب گردو در سطح دو درصد، Bs2: زغال زیستی پوست سبز گردو در سطح دو درصد

c: Control , Mw1: 1% walnut wood, Ms1: 1% walnut green shell, Bw1: 1% walnut biochar, Bs1: 1% walnut green shell biochar, Mw2: 2% walnut wood, Ms2: 2% walnut green shell, Bw2: 2% walnut wood biochar, Bs2: 2% walnut green shell biochar.

میانگین‌های با حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد ندارند.

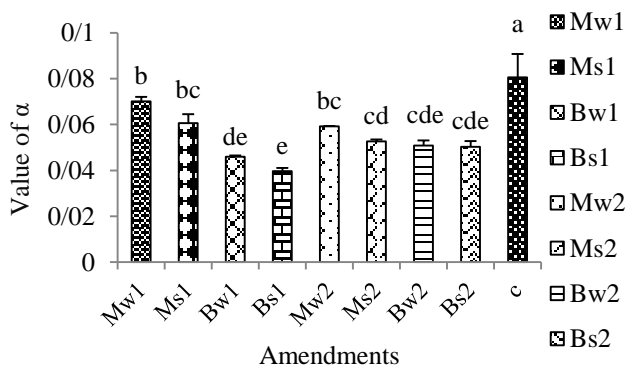
Different lowercase letter represents significance differences between treatments by fisher-LSD's test at $p < 0.05$.

نوارهای خطا انحراف از معیار می‌باشند.

Error bars are standard deviations.

زیستی بر α (شکل ۴) نشان داد کاربرد بهسازها در خاک باعث کاهش معنی‌دار مقدار α نسبت به تیمار شاهد شد؛ به طوری که با کاربرد دو درصد وزنی/وزنی زغال زیستی چوب و پوست سبز میوه گردو پارامتر α بیش‌ترین کاهش را نسبت به سایر بهسازها داشت. نتایج نشان داد که بین سطوح زغال زیستی به‌کاربرده شده، بیش‌ترین تأثیر مربوط به کاربرد زغال زیستی پوست سبز میوه گردو در سطح دو درصد (۵۱ درصد) و کم‌ترین تأثیر مربوط به کاربرد یک درصد ماده خام چوب گردو (۱۵ درصد) بود و میزان α از ۰/۰۸۰۶ در تیمار شاهد به ۰/۰۴۵۹ و ۰/۰۳۹ درصد به ترتیب با کاربرد یک درصد وزنی زغال زیستی چوب گردو و پوست سبز میوه گردو کاهش یافت. این نتیجه نشان داد که کاربرد زغال زیستی موجب شده ورود هوا در بار مکش ماتریک پایین‌تر نسبت به خاک بدون بیوجار اتفاق بیافتد و این نشان‌دهنده بهبود شرایط فیزیکی خاک است.

بایامونته و همکاران (Baiaimonte *et al.*, 2019)، در پژوهشی اثر زغال زیستی زیست‌توده جنگلی تولیدشده در دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس بر ویژگی‌های فیزیکی خاک شنی بیابانی را بررسی کردند. در این پژوهش سطوح صفر (فقط خاک)، ۱/۴، ۹/۱، ۲۳، ۳۳ و ۱۰۰ (فقط زغال زیستی) درصد وزنی زغال زیستی استفاده شد. نتایج نشان داد که افزودن زغال زیستی در سطح ۹/۱ درصد به خاک باعث شد که θ_s از ۰/۴۰۹ سانتی‌مترمکعب بر سانتی‌مترمکعب که یک مقدار معمولی برای خاک شنی است به ۰/۸۱۸ سانتی‌مترمکعب بر سانتی‌مترمکعب افزایش یابد. کاربرد ۹/۱ و ۳۳ درصد زغال زیستی در خاک به ترتیب موجب افزایش ۳۷ و ۷۷ درصد θ_s ، ۱۱۳ و ۲۵۴ درصد θ_{FC} و ۳۳ و ۱۰۰ درصد θ_{pp} نسبت به تیمار شاهد شد. نتایج تجزیه واریانس تأثیر کاربرد زغال زیستی بر میزان ورود هوا (α) در جدول (۶) آمده است. این جدول نشان می‌دهد کاربرد زغال زیستی بر α اثر معنی‌داری ($p < 0.01$) داشت. نتایج مقایسه میانگین اثر کاربرد زغال



شکل ۴. اثر بهسازها بر مکش ورود هوا (α)

Figure 4. Effect of the amendments on air entry value (α)

C: تیمار شاهد، Mw1: چوب گردو در سطح یک درصد، Bw1: زغال زیستی چوب گردو در سطح یک درصد، Bs1: زغال زیستی پوست سبز گردو در سطح یک درصد، Mw2: چوب گردو در سطح دو درصد، Bw2: زغال زیستی چوب گردو در سطح دو درصد، Bs2: زغال زیستی پوست سبز گردو در سطح دو درصد
c: Control, Mw1: 1% walnut wood, Ms1: 1% walnut green shell, Bw1: 1% walnut wood biochar, Bs1: 1% walnut green shell biochar, Mw2: 2% walnut wood, Ms2: 2% walnut green shell, Bw2: 2% walnut wood biochar, Bs2: 2% walnut green shell biochar.

میانگین‌های با حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد ندارند.

Different lowercase letter(s) represent significance differences between treatments by fisher-LSD's test at $p < 0.05$.

نوارهای خط انحراف از معیار می‌باشند.

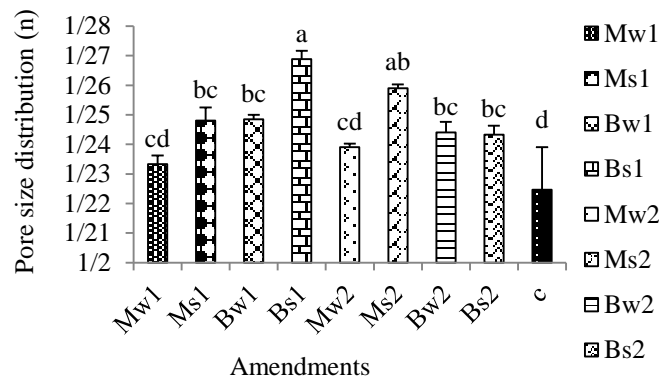
Error bars are standard deviations.

ببسازها در خاک باعث افزایش معنی‌دار مقدار n نسبت به تیمار شاهد شد. بیش‌ترین افزایش مربوط به کاربرد یک درصد وزنی/وزنی زغال زیستی چوب و پوست سبز میوه گردو بود. به طوری که میزان n از ۱/۲۲۴ در تیمار

جدول (۶) نشان می‌دهد اثر کاربرد زغال زیستی بر میزان توزیع اندازه منافذ (n) معنی‌دار ($p < 0.01$) بود. نتایج مقایسه میانگین اثرات و روند تغییرات تیمارهای مورد آزمایش بر n (شکل ۵) نشان داد که اثرات کاربرد

تحقیق خود با کاربرد زغال زیستی تولیدشده از زیست توده جنگلی در دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس در یک خاک شنی بیابانی نشان دادند که افزودن ۹/۱ درصد وزنی/وزنی زغال زیستی به خاک باعث افزایش پارامتر n نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین افزودن زغال زیستی باعث افزایش قابل توجهی آب قابل استفاده شد.

شاهد به ۱/۲۶۸ در اثر کاربرد یک درصد وزنی زغال زیستی پوست سبز میوه گردو افزایش یافت. بیشترین افزایش مربوط به کاربرد یک درصد زغال زیستی پوست سبز گردو (چهار درصد) و کمترین افزایش مربوط به کاربرد یک و دو درصد ماده خام چوب گردو (به ترتیب به میزان یک و ۰/۷ درصد) نسبت به تیمار شاهد بود. بایامونته و همکاران (Baiamonte et al., 2019)، در



شکل ۵. اثر بهسازیها بر شاخص توزیع اندازه منافذ (n)

Figure 5. Effect of the amendments on pore size distribution index

تیمار شاهد، Mw1: چوب گردو در سطح یک درصد، Bw1: زغال زیستی چوب گردو در سطح یک درصد، Bs1: زغال زیستی پوست سبز گردو در سطح یک درصد، Mw2: چوب گردو در سطح دو درصد، Bw2: زغال زیستی چوب گردو در سطح دو درصد، Bs2: زغال زیستی پوست سبز گردو در سطح دو درصد
c c: Control, Mw1: 1% walnut wood, Ms1: 1% walnut green shell, Bw1: 1% walnut wood biochar, Bs1: 1% walnut green shell biochar, Mw2: 2% walnut wood, Ms2: 2% walnut green shell, Bw2: 2% walnut wood biochar, Bs2: 2% walnut green shell biochar.

میانگین‌های با حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد ندارند.

Different lowercase letter(s) represent significance differences between treatments by fisher-LSD's test at $p < 0.05$.

نوارهای خط انحراف از معیار می‌باشند.

Error bars are standard deviations.

قطر خاکدانه‌ها به روش الک تر گردید. کاربرد زغال زیستی بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک تأثیر معنی‌دار داشته و موجب افزایش میزان رطوبت ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم نسبت به تیمار شاهد شد. به‌طور کلی کاربرد دو درصد وزنی/وزنی زغال زیستی چوب گردو و پوست سبز میوه گردو در خاک مورد آزمایش، شرایط رطوبتی خاک را نسبت به تیمار شاهد به‌طور یکسان بهبود بخشیدند. نتایج نشان داد که افزودن بهسازیها به خاک موجب افزایش رطوبت اشباع، مکش در نقطه ورود هوا و ضریب توزیع اندازه منافذ شد. همچنین در بین سطوح زغال زیستی کاربرد دو درصد وزنی/وزنی از هر دو زغال زیستی (چوب و پوست سبز میوه گردو) تأثیر یکسانی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله تخلخل، جرم ویژه ظاهری و حقیقی و میزان رطوبت در نقطه FC

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که اثر کاربرد زغال زیستی موجب کاهش جرم ویژه ظاهری شد. کاربرد دو درصد وزنی زغال زیستی بیشترین کاهش نسبت به تیمار را دارا بود. همچنین استفاده از زغال زیستی موجب افزایش تخلخل نسبت به تیمار شاهد شده است. کاربرد دو درصدی زغال زیستی تأثیر بیشتری بر تخلخل کل داشت و کاربرد دو درصد وزنی/وزنی زغال زیستی چوب گردو و پوست سبز میوه گردو موجب افزایش ۱۳ درصدی تخلخل کل خاک نسبت به تیمار شاهد شد. کاربرد زغال زیستی موجب افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به روش الک تر شد و کاربرد دو درصد وزنی/وزنی زغال زیستی چوب درخت گردو موجب افزایش ۵۶ درصدی میانگین وزنی

افزایش و با کاربرد دو درصد وزنی/وزنی از هر دو نوع زغال زیستی بیشترین کاهش را در پارامتر میزان مکش ورود هوا مشاهده شد. بنابراین، استفاده از زغال زیستی به عنوان یک بهساز در خاک‌های شنی می‌تواند ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی این خاک‌ها را بهبود بخشد.

و PWP داشت و کاربرد دو درصد وزنی/وزنی زغال زیستی چوب گردو بیشترین تأثیر را بر پایداری تر خاکدانه‌ها داشت. پارامترهای معادله ون‌گنوختن از جمله میزان آب اشباع و توزیع اندازه منافذ با کاربرد دو درصد وزنی/وزنی از هر دو نوع زغال زیستی بیشترین

Reference

- Abel S., Peters A., Trinks S., Schonsky H., Facklam M., and Wessolek, G. 2013. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. *Geoderma*, 202: 183-191.
- Ahmed M., Idris A. and Omar S.S. 2007. Physicochemical characterization of compost of the industrial tannery sludge. *Journal of Engineering Science and Technology*, 2(1): 81-94.
- Baiamonte G., Crescimanno G., Parrino F. and De Pasquale C. 2019. Effect of biochar on the physical and structural properties of a desert sandy soil. *Catena*, 175: 294-303.
- Blake G. R. and Hartge K. H. 1986. Bulk density 1. *Methods of Soil Analysis: part 1-physical and mineralogical methods*, *Methods of Soil Analysis*. pp: 363-375.
- Blanco-Canqui H. 2017. Biochar and soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal*, 81(4): 687-711.
- Brantley K.E., Brye K.R., Savin M.C. and Longer D.E. 2015. Biochar source and application rate effects on soil water retention determined using wetting curves. *Open Journal of Soil Science*, 5: 1-10.
- 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.
- Cao X. and Harris W. 2010. Properties of dairy-manure-derived biochar pertinent to its potential use in remediation. *Bioresource Technology*, 101(14): 5222-5228.
- Chan Y.K., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A. and Joseph S. 2008. Using poultry litter biochars as soil amendments. *Australian Journal of Soil Research*. 46: 437-444.
- Crocker J., Poss R., Hartman C. and Bhuthorndharaj S. 2004. Effects of recycled bentonite addition on soil properties, plant growth, and nutrient uptake in a tropical sandy soil. *Plant and Soil*. 267: 155-163.
- Dexter A.R., Czyż E A., Richard G. and Reszkowska A. 2008. A user-friendly water retention function that takes account of the textural and structural pore spaces in soil. *Geoderma*, 143: 243-253.
- Downie, A., Crosky, A. and Munroe, P. 2009. Physical Properties of Biochar. In: Lehmann, J. and Joseph, S. (Eds.) *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*, Earthscan, London. pp: 13-32.
- Demirbas A. 2004. Effects of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residues. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 72: 243-248.
- Gee G.W. and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. In: Klute A. (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and mineralogy methods*. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin. pp. 383-412.
- Ghotbizadeh M. and Sepaskhah A.R. 2015. Effect of irrigation interval and water salinity on growth of vetiver (*Vetiveria zizanioides*). *International Journal of Plant Production*, 9: 17-38.
- Guo Y., Yang S., Yu K., Zhao J., Wang Z. and Xu H. 2002. The preparation and mechanism studies of rice husk based porous carbon. *Materials chemistry and physics*, 74(3): 320-323.
- Hardie M., Oliver G., Bound S., Clothier B. and Close, D. 2014. Effect of biochar application on soil water availability and hydraulic conductivity. Tasmanian Institute of Agriculture, University of Tasmania.
- Herath H.M.S.K., Camps-Arbestain M. and Hedley M. 2013. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: An Alfisol and an Andisol. *Geoderma*, 209: 188-197.
- Kemper W.D. and Rosenau R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Sparks D.L. (Ed.) *Methods of soil analysis*. American Society of Agronomy, Madison. Pp: 425-442.

- Lehmann J. and Joseph, S. 2009. Biochar for environmental management- an introduction. In: Lehmann J. and Joseph S. (Eds). Biochar for environmental management: Science and Technology. Earthscan, London. pp. 1–11.
- Lim, T.J., Spokas, K.A., Feyereisen, G. and Novak, J. M. 2015. predicting the impact of biochar additions on soil hydraulic properties, *Chemosphere*, 142: 136-44.
- Lu, S. G., Sun, F. F. and Zong, Y. T. 2014. Effect of rice husk biochar and coal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol). *Catena*, 114: 37-44.
- Mohawesh O. 2016. Field evaluation of deficit irrigation effects on tomato growth performance, water-use efficiency, and control of parasitic nematode infection. *South African Journal of Plant and Soil*, 33(2): 125-132.
- Mollinedo, J., Schumacher, T. E. and Chintala, R. 2015. Influence of feedstocks and pyrolysis on biochar's capacity to modify soil water retention characteristics. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 114: 100-108.
- Nelson D.W. and Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Sparks D.L. (Eds), *Methods of Soil Analysis*. Soil Science Society of America. Madison. pp. 961-1010.
- Nimmo J.R. 2004. Porosity and pore size distribution. *Encyclopedia of Soils in the Environment*, 3(1): 295-303.
- Noble A.D., Gillman G.P., Nath S. and Srivastava R.J. 2001. Changes in the surface charge characteristics of degraded soils in the tropics through the addition of beneficiated bentonite. *Australian Journal of Soil Research*. 39: 991-1001.
- Novak J., Sigua G., Watts D., Cantrell K., Shumaker P., Szogi A. and Spokas K. 2016. Biochars impact on water infiltration and water quality through a compacted subsoil layer. *Chemosphere*, 142: 160-167.
- Omuto C.T. and Gumbe L.O. 2009. Estimating water infiltration and retention characteristics using a computer program in R. *Computers and Geosciences*, 35(3): 579-585.
- Samavat S., Tehrani M.M., Bazargan K. and Basirat M. 2015. Instructions on how to study organic matter. Technical bulletin of *Soil and Water Research Institute*. Tehran, Iran (In Persian)
- Shaaban A., Se S.M., Dimin M.F., Juoi J.M., Husin M.H.M. and Mitan N.M.M. 2014. Influence of heating temperature and holding time on biochars derived from rubber wood sawdust via slow pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 107: 31-39.
- Sohi S.P., Krull E., Lopez-Capel E. and Bol R. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy*, 115: 47-82.
- Spalding R.F., Watts D.G., Schepers J.S., Burbachd M.E., Exnere M.E., Poredaf R.J., Martind G.E. 2001. Controlling nitrate leaching in irrigated agriculture. *Journal of Environmental Quality*. 30: 1184-1194.
- Thomas G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. In: Sparks D.L. (Ed). *Methods of Soil Analysis*. *Soil Science Society of America*. Madison. pp: 475-490.
- 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(2): 205-212.
- Van Genuchten M. T. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44(5): 892-898.
- Van Genuchten M.Th., Leij F.J., and Yates S.R. 1991. "The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils". Research Representative.
- Villagra-Mendoza K. and Horn, R. 2018. Effect of biochar addition on hydraulic functions of two textural soils. *Geoderma*, 326: 88-95.
- Wraith J. M., and or D. 1998. Nonlinear parameter estimation using spreadsheet software. *Journal of Natural Resources and Life Sciences Education*, 27(1): 13-19.

Effect of Walnut Wood and Walnut Green Shell Biochar on Water Retention Status in a Sandy Soil

Mahdis Tozhi¹, Shoja Ghorbani-Dashtaki^{2*}, Hamidreza Motaghian³, Ahmadreza Ghasemi⁴

(Received: December 2019 Accepted: February 2020)

Abstract

Drought and the resulting stress are one of the most important and common environmental stresses which limit agricultural production. Researchers have used organic amendments such as biochar to improve soil properties and reduce the effects of the undesirable stresses. The purpose of this study was to investigate the effect of using the provided biochar of walnut wood and walnut green shell on retention curve and hydraulic parameters of a sandy soil in completely randomized design. For this purpose, the biochar were produced at 400 °C for 2 h. The amendments (walnut wood and walnut green shell and their biochar) at 1 and 2 w/w% ratios (36 and 72 t ha⁻¹, respectively) were mixed with soil sample in three replications and were incubated for 120 days in greenhouse conditions. The retention curve of the incubated soils was measured using sandbox and pressure plates apparatus. Statistical analysis showed that the applied biochar had significant effects on bulk density, porosity, stability of aggregates in wet sieving, and van Genuchten's parameters (except residual moisture parameter). Application of 2% walnut green shell biochar led to 17% reduction in bulk density (17%) compared to the control and increased the total soil porosity. Application of 2% biochar had the highest effect on the soil water retention curve. Also, the addition of biochar significantly increased soil water retention at low tension and decreased the difference in soil moisture content between treatments. Since water retention curve in lower tension is affected by coarse soil pores and soil structure it could be concluded that addition of biochar improved soil structure and increased coarse soil porosity. Application of appropriate biochar as an amendment in agricultural soil can partially improve the physical and hydraulic properties of sandy soils in semiarid region.

keywords: Biochar, Physical properties, Walnut green shell, Walnut wood, Water retention curve

Tozhi M., Ghorbani-Dashtaki S., Motaghian H. and Ghasemi A. 2021. The effect of walnut wood and walnut green shell biochar on water retention status in a sandy soil. *Applied Soil Research*, 8(4): 44-56.

1. MSc Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

2. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

3. Assistant Professor., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

4. Assistant Professor., Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

* Corresponding Author Email: ghorbani-sh@sku.ac.ir