نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال ششم، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۵

ISSN 2251-7480

اثرات کوتاه مدت بایوچار حاصل از برگ خرما بر حفظ رطوبت در خاک لوم شنی

مهرداد نوروزی[۱]، سیدحسن طباطبائی[۲*]، محمدرضا نوری[۳] و حمیدرضا متقیان[٤]

۱) دانشجو دکتری آبیاری و زهکشی؛ گروه مهندسی آب؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه شهرکرد؛ ایران

۲*) دانشیار؛ گروه مهندسی آب؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه شهرکرد؛ شهرکرد؛ ایران

* نویسنده مسئول مکاتبات: Tabatabaei@agr.sku.ac.ir

۳) دانشیار؛ گروه مهندسی آب؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه شهرکرد؛ شهرکرد؛ ایران

٤) استادیار؛ گروه علوم خاک؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه شهرکرد؛ شهرکرد؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۰۵

چکیده

بایوچار، نام ترکیب آلی پایداری است که از تجزیه گرمایی هر نوع زیست‌توده تحت شرایط محدودیت اکسیژن که پیرولیز گفته می‌شود تهیه می‌گردد و در کشاورزی به منظور اصلاح شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده می‌شود. هدف اصلی در این پژوهش، بررسی اثرات بایوچار برگ خرما بر خصوصیات فیزیکی و رفتار رطوبتی خاکی با بافت لوم شنی بود. پنج نوع بایوچار تحت شرایط دمایی متفاوت (۳۰۰، ۳۵۰، ۴۰۰، ۴۵۰ و ۵۰۰ درجه سانتیگراد) و مدت حرارت ۳ ساعت با استفاده از یک بوته برقی تهیه شد. بایوچارها با نسبت وزنی ۳ درصد، بطور یکنواخت و بصورت پودری با خاک عبور داده شده از الک ۲ میلی‌متر مخلوط شده و به مدت ۲ ماه خوابانده شدند، سپس منحنی مشخصه رطوبتی مبتنی بر مدل ون‌گنوختن تعیین شد. رطوبت در وضعیت‌های ظرفیت مزرعه (FC)، نقطه پژمردگی دائم (PWP)، آب قابل دسترس گیاه (PAWC)، ظرفیت نگهداری رطوبت (WHC) و درصد اشباع (θ_s) تعیین شدند. بر اساس نتایج بدست آمده، با افزایش دمای پیرولیز در دامنه ۳۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد تغییرات معنی‌داری در خصوصیات فیزیکی و رفتار رطوبتی خاک ایجاد نشد ولی بطور کلی کاربرد بایوچار باعث کاهش معنی‌دار ($P<0.01$) وزن مخصوص ظاهری گردید که به چگالی پایین ذرات بایوچار و نقش آن در بازآرایی منافذ خاک و تشکیل منافذ ثانویه نسبت داده می‌شود. مقادیر میانگین WHC، PAWC، θ_s و FC به ترتیب به میزان ۲۴/۴، ۲۰/۱، ۲۳/۴ و ۲۴ درصد نسبت به تیمار شاهد (خاک بدون بایوچار) افزایش پیدا کردند ولی PWP تغییرات معنی‌داری نداشت. داده‌های منحنی‌های مشخصه رطوبتی نشان داد که بایوچار باعث افزایش معنی‌دار ($P<0.01$) منافذ بزرگتر از ۰/۲ µm که به لحاظ ذخیره رطوبت قابل دسترس گیاه حائز اهمیت است می‌گردد.

کلید واژه‌ها: آب قابل دسترس گیاه؛ بایوچار؛ ظرفیت نگهداری رطوبت

مقدمه

امروزه اهمیت مواد آلی در اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک مانند تخلخل، هدایت هیدرولیکی، ساختمان و نگهداری رطوبت به خوبی شناخته شده است. در مناطق گرمسیری عموم خاک‌ها به لحاظ ماده آلی فقیر بوده و کودهای آلی در اثر دمای بالا سریعاً تجزیه و نابود می‌شود، لذا لازم است هر سال این گونه مواد آلی به خاک اضافه شود (Glaser *et al*., 2002; Uzoma *et al*., 2011). در سال‌های اخیر برای بالا بردن میزان ماده آلی خاک از مواد پایداری مانند بایوچار استفاده می‌شود که در مقابل تجزیه

Archive of SID

www.SID.ir

میکروبی بسیار مقاوم است (Glaser *et al*., 2002). بایوچار نام یک ترکیب آلی غنی از کربن است که از طریق تجزیه گرمایی هر نوع زیست توده تحت شرایط بدون اکسیژن یا حضور جزئی آن، که در اصطلاح پیرولیز[1] گفته می‌شود، بدست می‌آید (Lehmann and Joseph., 2009).

فرایند پیرولیز و تبدیل ماده آلی به بایوچار منجر به تبدیل حدود ۵۰ درصد کربن فعال ذخیره شده در بافت‌های گیاهی به منبعی از کربن آلی می‌شود. در حالیکه تثبیت کربن در اثر سوختن معمولی حدود ۳ درصد و در اثر تجزیه بیولوژیکی کمتر از ۲۰ درصد گزارش شده است (Woolf *et al*., 2010). لذا اساساً تولید بایوچار با هدف جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق تثبیت بلند مدت کربن پیشنهاد شده است (Verheijen *et al*., 2010) و کاربرد آن در کشاورزی از اهداف جنبی تولید بایوچار است.

علی‌رغم اهمیت خصوصیات فیزیکی خاک در افزایش تولید، به بررسی اثرات بایوچار بر این خصوصیات در مقایسه با خصوصیات شیمیایی توجه کمتری شده است. اخیراً گزارش‌هایی در خصوص نقش بایوچار در بهبود پایداری خاکدانه‌ها (Ouyang *et al*., 2013)، افزایش تخلخل، کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک و افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت[2] (Mollinedo *et al*., 2015; Andrenelli *et al*., 2016; Obia *et al*., 2016) ارائه شده است. Basso و همکاران (۲۰۱۲) با مصرف سطوح مختلف بایوچار حاصل از درخت بلوط تحت فرایند پیرولیز با دمای حدود ۵۰۰ درجه سانتیگراد (۰، ۳ و ٦ درصد وزنی)، متوجه افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک به میزان ۲۳ درصد شدند. Lu و همکاران (۲۰۱٤) بایوچار حاصل از شلتوک برنج را در سطوح ۰، ۲ و ٦ درصد وزنی به یک خاک رسی افزودند و به مدت ۱۸۰ روز خواباندند. آنها متوجه شدند که در نمونه‌های حاوی بایوچار در مقایسه با تیمار شاهد (بدون بایوچار) ظرفیت نگهداری رطوبت به ترتیب ۱۲، ۲۰ و ۳۱ درصد افزایش پیدا می‌کند.

یکی از مهم‌ترین خصوصیات فیزیکی خاک در تولید کشاورزی، آب قابل دسترس گیاه[3] است (Obia *et al*., 2016). طبق بعضی گزارش‌ها، بایوچار باعث افزایش آب قابل دسترس گیاه می‌شود (Mukherjee and Lal, 2013). در همین راستا de Melo Carvalho و همکاران (۲۰۱٤) اثرات بایوچار حاصل از چوب اکالیپتوس تحت فرایند پیرولیز آهسته (دمای حدود ٤۵۰ درجه سانتیگراد) بر حفظ رطوبت در یک خاک لوم شنی را بررسی کردند. آنها مقادیر مختلف بایوچار (۰، ۸، ۱٦ و ۳۲ تن در هکتار) را تا عمق ۱۵ سانتیمتر با خاک مخلوط کرده و گزارش کردند که آب قابل دسترس گیاه در لایه سطحی خاک حدود ۰/۸ درصد به ازای هر تن مصرف بایوچار افزایش پیدا می‌کند.

Uzoma و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که بایوچار کود گاوی باعث افزایش آب قابل دسترس گیاه و کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع در یک خاک شنی می‌شود. Ouyang و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که خصوصیات رطوبتی خاک لوم شنی نسبت به خاک لوم رسی تغییرات بیشتری تحت تأثیر بایوچار دارد. لذا اثرات اصلاحی بایوچار بر خصوصیات فیزیکی خاک، علاوه بر شرایط پیرولیز، نوع ماده اولیه، نوع خاک و میزان مصرف بایوچار نیز بستگی دارد (Andrenelli *et al*., 2016).

غالب زمین‌های کشاورزی استان بوشهر در جنوب ایران از نظر میزان ماده آلی فقیر هستند که این امر بر حفظ رطوبت خاک و جذب عناصر غذایی ضروری گیاه اثرات نامطلوب دارد و کشاورزان ناچارند هر ساله مقادیر قابل توجهی کود حیوانی مصرف کنند. در همین حال، وجود حدود ٦ میلیون اصله نخل و هرس سالانه حدود ۵ تا ۷ برگ از هر درخت این فرض را قوت می‌بخشد که می‌توان از این ضایعات مقادیر قابل توجهی بایوچار تولید کرده و از آن در اراضی کشاورزی به منظور کاهش تنش رطوبتی

[1] Pyrolysis
[2] Water Holding Capacity (WHC)
[3] Plant Available Water Content (PAWC)

Archive of SID
www.SID.ir

استفاده نمود. لذا هدف پژوهش حاضر، بررسی اثرات مصرف بایوچار برگ خرما بر شرایط فیزیکی و ویژگی‌های رطوبت خاک بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در تابستان ۱۳۹٤ در محل مرکز تحقیقات کشاورزی استان بوشهر انجام شد. برای تهیه بایوچار برگ خرما، ابتدا برگ خشک شده خرما با استفاده از دستگاه خردکن به قطعات ریز به ابعاد کمتر از ۲ سانتیمتر تبدیل شد. با استفاده از فویل آلومنیومی، پاکت‌های مخصوص ساخته و با قرار دادن برگ خرد شده خرما در داخل آنها بسته‌های حدود ۲۰۰ گرمی تهیه و کاملاً مسدود شدند و صرفاً یک سوراخ به قطر حدود ۱ میلی‌متر در آن‌ها تعبیه شد. بسته‌ها در یک بوته آزمایشگاهی در دماهای ۳۰۰، ۳۵۰، ٤۰۰، ٤۵۰ و ۵۰۰ درجه سانتیگراد و بطور میانگین به مدت ۳ ساعت حرارت داده شدند. لازم به ذکر است که در غالب پژوهش‌ها برای پیرولیز آهسته مدت زمان حرارت‌دهی ۱ تا ٤ ساعت و درجه حرارت لازم بین ۳۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتیگراد (Wu *et al*., 2012) گزارش شده است. بدین ترتیب پنج نوع بایوچار با نامهای B300، B350، B400، B450 و B500 از یک نوع ماده اولیه (برگ خرما)، ولی در دماهای متفاوت تهیه شدند. مصرف بایوچار معمولاً بصورت پودری یا دانه‌ای است تا بطور یکنواخت با خاک مخلوط شود (Novak *et al*., 2009) و بایوچار با دانه‌های کوچکتر از ۲ میلی‌متر دارای مناسب‌ترین دانه‌بندی جهت مصارف کشاورزی است (Lehmann and Joseph, 2009). بر این اساس نمونه‌های بایوچار بدست آمده آسیاب شده و از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند. pH و EC نمونه‌ها با تهیه سوسپانسیون بایوچار و آب مقطر به نسبت ۵ به ۱ و تکان دادن آن به مدت ۱ ساعت، با استفاده از pH متر و EC متر اندازه‌گیری شدند. CEC نیز به روش جانشینی با استات سدیم اندازه‌گیری شد. بایوچارهای تهیه شده به نسبت وزنی ۳ درصد ($۳۰g.Kg^{-1}$) که معادل ٥٤/۹t/ha در خاک تا عمق ۰/۱۵m می‌باشد، بصورت دستی و بطور یکنواخت با خاک مخلوط شدند. خاک مورد استفاده از عمق (۳۰-۰) سانتیمتر زمین زراعی با بافت متوسط (لوم شنی) و وزن مخصوص ظاهری ۱/۳٤ گرم بر سانتیمتر مکعب تهیه شد که خصوصیات شیمیایی آن در جدول ۱ ارائه شده‌اند. خاک تهیه شده در هوای آزاد خشک و کوبیده شده و از الک ۲ میلیمتر عبور داده شد. نمونه‌های مخلوط خاک و بایوچار به مدت ۲ ماه در داخل کیسه‌های نایلونی، در دمای ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی گراد و با رطوبت ثابت خوابانده شدند.

بعد از دو ماه خواباندن وزن مخصوص ظاهری نمونه‌ها به روش سیلندر اندازه‌گیری شدند. وزن مخصوص ظاهری نمونه‌ها قبل از خواباندن بر اساس معادله ۱ محاسبه گردید:

$$\rho_b = 100/\left[\left(\frac{x}{\rho_1}\right)+\left(\frac{100-x}{\rho_2}\right)\right] \qquad (۱)$$

در این معادله ρ_b وزن مخصوص ظاهری مخلوط خاک و بایوچار ($g.cm^{-3}$)، ρ_1 وزن مخصوص ظاهری بایوچار، ρ_2 وزن مخصوص ظاهری خاک و x درصد وزنی بایوچار می‌باشد.

جدول ۱- برخی از خصوصیات شیمیایی خاک مورد بررسی

عمق cm	EC ds/m	CEC $cmol_{(+)}.kg^{-1}$	pH	T.N.V %	O.C %	$Ca^{++}+Mg^{++}$	Na^{+}	Cl^{-}	HCO_3^{-}	SO_4^{--}	SAR
						meq/l					
۰-۳۰	۷/۱	۸	۷/۹	٦۰	/٤	۵۸	۲۵	۲۰	٤	۵۹	٤/٦

Archive of SID

www.SID.ir

یکی از رایج‌ترین روش‌ها در توصیف خصوصیات رطوبتی خاک غیر اشباع، تعیین منحنی مشخصه رطوبتی است (Mollinedo *et al.*, 2015). این منحنی‌ها شدیداً تحت تأثیر ساختمان، بافت و میزان ماده آلی خاک قرار دارد. از مدل‌های معروف که منحنی رطوبتی بر اساس آن تعیین می‌شود مدل ون‌گنوختن است (Van Genuchten, 1980) که بصورت زیر توصیف می‌گردد (معادله ۲):

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1+|\alpha h|^n)^m} & for\ h < 0 \\ \theta_s & for\ h > 0 \end{cases} \quad (۲)$$

در این معادله α پارامتر عکس مکش نقطه ورود هوا (cm^{-1})، n پارامتر توزیع اندازه منافذ (بدون بعد)، θ_s و θ_r به ترتیب رطوبت اشباع و رطوبت باقیمانده ($cm.cm^{-3}$) می‌باشند. معمولاً به منظور کاستن از تعداد پارامترهای نیازمند برآورد ($m = 1 - \frac{1}{n}$) در نظر گرفته می‌شود. برای تعیین θ_s، نمونه‌ها به مدت ۲٤ ساعت اشباع شدند، سپس وزن شده و به مدت ۲٤ ساعت دیگر در آون ۱۰۵ درجه سانتیگراد نگهداری شدند. نمونه‌های خشک شده مجدداً وزن شده و θ_s محاسبه گردید.

به دلیل غیرخطی بودن مدل ون‌گنوختن، برآورد مؤثر پارامترهای آن مستلزم یک روش بهینه‌سازی غیر خطی و داشتن نقاط داده کافی (حداقل ۵ تا ۸ نقطه) است (Wraith and Or, 1998). لذا رطوبت نمونه‌ها در مکش‌های ۱۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰، ۵۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۱۰۰۰ سانتیمتر آب، با استفاده از دستگاه صفحات فشار و در مکش‌های ۳۰۰، ۲۵۰، ۲۰۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ سانتیمتر آب با استفاده از ستون آویزان آب اندازه‌گیری شد. با استفاده از این داده‌ها و بهره‌گیری از قابلیت بهینه‌سازی غیرخطی (Wraith and Or, 1998) در نرم‌افزار اکسل پارامترهای مدل برآورد شدند، به گونه‌ای که ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) بین مقادیر رطوبت برآورد شده و اندازه‌گیری شده به کمترین میزان ممکن کاهش و ضریب تعیین (R^2) به بیشترین میزان ممکن افزایش پیدا کند.

بر اساس گزارش روش Rowell (1994) منافذ خاک به سه گروه متفاوت به لحاظ اندازه و نقشی که در خاک ایفا می‌کنند تقسیم می‌شوند: ۱- منافذ انتقال ($d > 50\mu m$) که نقش آنها در تخلیه آب اشباع و ایجاد شرایط تهویه برای گیاهان اهمیت دارد. ۲- منافذ ذخیره ($50 = d > 0.2\mu m$) که نقش آنها در ذخیره آب قابل دسترس گیاه حائز اهمیت است. ۳- منافذ باقیمانده ($d < 0.2\mu m$) که آب ذخیره شده در آنها قابل جذب گیاه نیست. به منظور تعیین میزان رطوبت در این دامنه‌های منافذ خاک، با استفاده از فرم ساده شده معادله یانگ-لاپلاس است (معادله ۳) و بر اساس منحنی‌های مشخصه رطوبتی بدست آمده، توزیع اندازه منافذ خاک در تیمارهای مختلف تعیین شد (Andrenelli *et al.*, 2016).

$$d = \frac{30}{|h|} \quad (۳)$$

در این معادله d قطر معادل منافذ (μm) و h پتانسیل ماتریک (m) می‌باشد.

رطوبت در مکش‌های ۳۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتیمتر را به ترتیب رطوبت در ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم در نظر گرفته و با استفاده از معادله ٤ آب قابل دسترس گیاه (PAWC) در تیمارهای مختلف تعیین شد:

$$PAWC = \theta_{FC} - \theta_{PWP} \quad (٤)$$

که در آن θ_{FC} رطوبت در ظرفیت مزرعه و θ_{PWP} رطوبت در نقطه پژمردگی دائم می‌باشد.

برای تعیین ظرفیت نگهداری رطوبت در تیمارهای مختلف، ابتدا نمونه‌ها به مدت ۲٤ ساعت به حالت اشباع نگهداری شدند. سپس به مدت ۲٤ ساعت در کاغذ صافی قرار داده شدند تا پس از خروج آب ثقلی وزن تر آن‌ها (M_{wet})تعیین شود. نمونه‌های مرطوب به مدت ۲٤ ساعت دیگر در آون ۱۰۵ درجه سانتیگراد قرار داده شدند تا وزن خشک آنها (M_{dry}) تعیین شود و در نهایت ظرفیت نگهداری رطوبت (درصد وزنی) با استفاده از معادله ۵ تعیین گردید (Yu *et al.*, 2013):

Archive of SID
www.SID.ir

$$WHC(\%) = \frac{M_{wet} - M_{dry}}{M_{dry}} \times 100 \qquad (۵)$$

نتایج بدست آمده پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار اکسل مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت، به این صورت که معنی‌داری تفاوت بین تیمارهای مختلف از طریق تجزیه واریانس یکطرفه داده‌ها تعیین شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن صورت گرفت.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس یک طرفه نتایج بدست آمده، حاکی از تأثیر معنی‌دار کاربرد بایوچار بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و رفتار رطوبتی خاک، شامل بازدهی تولید بایوچار و برخی ویژگی‌های شیمیایی، وزن مخصوص ظاهری و ضرایب رطوبتی خاک و پارامترهای مربوط به منحنی مشخصه رطوبتی خاک می‌باشد که در ادامه مورد بحث و تحلیل آماری قرار خواهد گرفت.

اثر بایوچار بر وزن مخصوص ظاهری خاک

تجزیه واریانس یک طرفه نتایج مربوط به اثرات بایوچار بر وزن مخصوص ظاهری خاک قبل از خواباندن (که با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید) و اندازه‌گیری شده بعد از خواباندن به مدت ۲ ماه در جدول ۲ و مقایسه میانگین‌های مربوطه بر اساس آزمون دانکن در شکل۱ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود وزن مخصوص ظاهری در تیمارهای مختلف بایوچار با افزایش دمای پیرولیز از ۳۰۰ به ۵۰۰ درجه سانتیگراد تغییرات معنی‌داری نداشته است ولی نسبت به خاک بدون بایوچار (تیمار شاهد) هم قبل از خواباندن و هم بعد از خواباندن تغییرات معنی‌دار ($P<0.01$) داشته است.

وزن مخصوص ظاهری محاسبه شده بر اساس معادله ۱ به میزان ۹ درصد نسبت به خاک بدون بایوچار کاهش داشت که به دلیل چگالی کم ذرات بایوچار ($g.cm^{-3}$ ۰/۳۲) دور از انتظار نبود (Lim *et al*., 2015) و نتیجه مشابه در تحقیقات دیگر هم گزارش شده است (Mukherjee and Lal, 2013)، ولی وزن مخصوص ظاهری اندازه‌گیری شده بعد از دوره خواباندن ۲٤ درصد نسبت به خاک بدون بایوچار کاهش داشت. این نتیجه نشان می‌دهد که بایوچار علاوه بر نقش مستقیم آن در کاهش وزن مخصوص ظاهری، قادر است از طریق تغییر در تراکم دانه‌های خاک وزن مخصوص ظاهری آن را کاهش دهد (Lim *et al*., 2015).

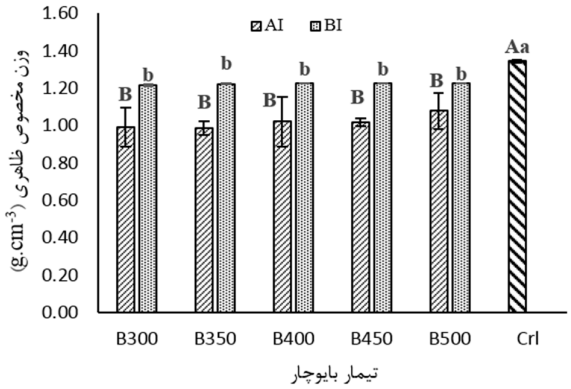
به نظر می‌رسد در این تغییر دو فرآیند نقش اساسی ایفا می‌کند: ۱- افزایش تخلخل از طریق تشکیل منافذ ثانویه بین ذرات بایوچار و خاکدانه‌های دربرگیرنده آنها که تحت تأثیر بافت خاک و اندازه ذرات بایوچار قرار دارد (Hardie *et al*., 2014). این فرآیند به دلیل ماهیت صرفاً مکانیکی آن می‌تواند در زمان کوتاهی اتفاق بیفتد (Novak *et al*., 2012). Major و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کرده‌اند که ۹۵درصد منافذ بایوچارها دارای قطر معادل کمتر از ۰/۰۰۲ میکرومتر می‌باشند.

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر بایوچار بر وزن مخصوص ظاهری خاک قبل و بعد از خواباندن

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات وزن مخصوص ظاهری خاک	
		قبل از خواباندن	بعد از خواباندن
بایوچار	۵	۰/۰۰۷٤۸۷ **	۰/۰۵٦٦٦۸ **
خطا	۱۲	۰/۰۰۰۰۱۲	۰/۰۰٦٤۹۱
کل	۱۷	۰/۰۰۲۲۱۱	۰/۰۲۱۲٤۹
ضریب تغییرات (٪)		۰/۲۷	۷/۵

**. بیانگر معنی‌داری اثر در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

Archive of SID
www.SID.ir



تیمارهای با حروف بزرگ یا کوچک مشترک در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند. نوارهای خطا (Error Bar) انحراف از معیار می‌باشند (n=3).

شکل ۱. مقایسه مقادیر وزن مخصوص ظاهری تیمارهای مختلف قبل از خواباندن (BI) و بعد از خواباندن (AI) با آزمون دانکن.

لذا بطور کلی می‌توان گفت کاهش معنی‌دار وزن مخصوص ظاهری بعد از دوره خواباندن، به جای اینکه تحت تأثیر چگالی کم بایوچار باشد، بیشتر تحت تأثیر تشکیل منافذ ثانویه است. ۲- برهمکنش بایوچار با ماتریکس خاک تحت تأثیر فرایندهای شیمیایی و بیولوژیکی فرآیند دیگری است که قادر است باعث تشکیل و پایداری خاکدانه‌های درشت‌تر، افزایش تخلخل و نهایتاً کاهش وزن مخصوص ظاهری شود (Verheijen *et al.*, 2010). برهمکنش شیمیایی و بیولوژیک بایوچار با ماتریکس خاک معمولاً به دوره خواباندن طولانی‌تری احتیاج دارد و در این تحقیق به دلیل کوتاه بودن مدت آزمایش و دوره خواباندن نمونه‌ها، احتمال وقوع این فرآیند کم است، با این حال در همین دوره کم هم نباید نقش تأثیرگذار این فرآیند را نادیده گرفت (Andrenelli *et al.*, 2016).

اثر دمای پیرولیز بر برخی خصوصیات بایوچارهای تولید شده

تجزیه واریانس یک طرفه نتایج مربوط به اثرات دمای پیرولیز بر خصوصیات شیمیایی بایوچار شامل بازدهی تولید بایوچار (BC)، pH، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، هدایت الکتریکی (EC) و وزن مخصوص ظاهری (BD) در جدول ۳ و مقایسه میانگین‌های مربوطه بر اساس آزمون دانکن در جدول ٤ ارائه شده است. با توجه به این جداول، همانطور که انتظار می‌رفت BC بطور معنی‌داری ($P<0.01$) با افزایش دما کاهش یافت. بر اساس گزارش Lehman و همکاران (۲۰۰٦) بازدهی تولید بایوچار تحت تأثیر دمای پیرولیز و ساختار مولکولی ماده آلی اولیه است. بطور کلی تجزیه گرمایی ماده آلی در دمای پایین اتفاق می‌افتد و با افزایش دما مواد فرار اولیه سریع‌تر از بایوچار شکسته شده و به گاز و مواد آلی با وزن مولکولی کم تبدیل می‌شود (Thangalazhy *et al.*, 2010).

جدول ۳. تجزیه واریانس نتایج مربوط به اثرات دمای پیرولیز بر برخی خصوصیات شیمیایی بایوچار تولیدی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		BC	BD	EC	pH	CEC
دمای پیرولیز	٤	۳۱۲/۵۸۱ **	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۱/۱۵۷٦ ^{ns}	۱/۷۰۸۳ *	۱۹٦/۱۸۳٦ **
خطا	۱۰	۲۰/۵۷۱۳	۰/۰۰۰۰۵	۰/٦۷۵۸	۰/٤۳۲۵	۲۳/۱۳۷۰
کل	۱٤	۱۰٤/۰۰۲۷	۰/۰۰۰۰۷	۰/۸۱۳٤	۰/۷۹۷۰	۷۲/۵۷۸۹
ضریب تغییرات (٪)		۹/۳	۲/۳	۱۱/۵	۸/۰	۹/۷

، * و **ns به ترتیب بیانگر سطح معنی‌داری ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشد.

BC، **BD**، **EC**، **pH** و **CEC**: به ترتیب بازدهی تولید بایوچار (٪)، وزن مخصوص ظاهری ($g.cm^{-3}$)، شوری ($dS.m^{-1}$)، اسیدیته و ظرفیت تبادل کاتیونی ($cmol_{(+)}.kg^{-1}$).

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ٤. مقایسه اثرات دمای پیرولیز بر برخی خصوصیات بایوچارهای تولید شده بر اساس آزمون دانکن

تیمار	تکرار	BC** (%)	BD^ns (g.cm^-3)	EC^ns (dS.m^-1)	pH*	CEC** (cmol(+).kg^-1)
B300	۳	٦۳/٦ A	۰/۳۱ A	۷/۲ A	۷/٤ B	٤۱/٦ B
B350	۳	٥٤/٦ AB	۰/۳۲ A	۷/۰ A	۷/٤ B	٤۳/۷ B
B400	۳	٤۷/۱ BC	۰/۳۲ A	٦/۱ A	۸/٤ AB	٤۸/٤ B
B450	۳	٤۱/۱ C	۰/۳۲ A	۷/٦ A	۸/٥ A	٥۳/۲ AB
B500	۳	۳۸/۰ C	۰/۳۲ A	۷/٦ A	۸/٥ A	٦۱/۸ A

تغییرات دمای پیرولیز در دامنه ۳۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد اثرات معنی‌داری بر BD و EC بایوچار نداشت ولی مقادیر pH و CEC با افزایش دما بطور معنی‌دار ($p<0.01$) افزایش پیدا کردند. pH بایوچارها عموماً با افزایش دمای پیرولیز افزایش پیدا می‌کند (Singh *et al*., 2010) که می‌تواند ناشی از حضور نسبتاً بالای نمک فلزات قلیایی (سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم) در آن باشد (Kookana *et al*., 2011). افزایش سطح ویژه و گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار در اثر افزایش دمای پیرولیز از عوامل مؤثر در افزایش CEC گزارش شده است (Cheng *et al*., 2006). نتایج مشابه این نتایج توسط سایر محققین (Guo and Rockstraw, 2007; Gaskin *et al*., 2008) نیز گزارش شده است.

نظر به pH بالا و فقر مواد آلی در خاک‌های مناطق خشک، بایوچار تولید شده در دمای پایین ممکن است به لحاظ تولید کشاورزی سودمند تر باشد. افزایش CEC باعث افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود و مشابه این نتایج در تحقیقات دیگر هم گزارش شده است (Glaser *et al*., 2002). اگرچه با افزایش دما تغییرات معنی‌داری در EC مشاهده نگردید، ولی روند کلی تغییرات افزایشی بوده است که بر اساس گزارش‌ها (Singh *et al*., 2010) ناشی از حضور نمک‌های محلول در آب در بایوچار تولید شده در دمای بالا می‌باشد.

اثر بایوچار بر ضرایب رطوبتی خاک

تجزیه واریانس نتایج مربوط به اثر تیمارهای مختلف بایوچار بر ضرایب رطوبتی خاک شامل ظرفیت نگهداری رطوبت (WHC)، رطوبت در وضعیت ظرفیت مزرعه (FC)، آب قابل دسترس گیاه (PAWC) و رطوبت در نقطه پژمردگی دائم (PWP) در جدول ۵ و مقایسه میانگین‌های مربوطه بر اساس آزمون دانکن در جدول ٦ ارائه شده است. بر اساس این جداول، بطور کلی کاربرد بایوچار سبب شده است تا ضرایب فوق به جز PWP، نسبت به تیمار شاهد بطور معنی‌دار ($P<0.01$) افزایش پیدا کنند ولی با افزایش دمای پیرولیز از ۳۰۰ به ۵۰۰ درجه سانتیگراد تغییرات معنی‌داری در این ضرایب ایجاد نشده است..

جدول ۵. تجزیه واریانس نتایج مربوط به اثرات بایوچار بر برخی ضرایب رطوبتی خاک

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		WHC	FC	PAWC	PWP
دمای پیرولیز	۵	۱۵/۲۷۷ **	۱۰/۷۵ ns	٦/۹۳۹ **	۰/۲۸۹۳ **
خطا	۱۲	۱/۰۸۵	۰/۵۰۹۸	۰/٦۹۱	۰/۱۸٤٦
کل	۱۷	۵/۲۵۹	۲/۵۲۳	۲/۵۲۸	۰/۲۱۵٤
ضریب تغییرات (٪)		۳/۸	٦/۷	٤/٤	۳/۸

WHC، **FC**، **PAWC** و **PWP**: به ترتیب ظرفیت نگهداری رطوبت، رطوبت ظرفیت مزرعه، آب قابل دسترس گیاه و رطوبت در نقطه پژمردگی دائم.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٦. مقایسه میانگین‌های ضرایب رطوبتی خاک با آزمون چند دامنه‌ای دانکن

تیمار	تکرار	WHC**	FC**	PAWC**	PWP ns
		(درصد وزنی)			
B300	۳	۲۸/۵ **A**	۲٦/۲ **A**	۱۹/٦ **A**	٦/٦ **A**
B350	۳	۲۸/۷ **A**	۲٦/٦ **A**	۱۹/٤ **A**	٦/٥ **A**
B400	۳	۲۸/٤ **A**	۲٥/٤ **A**	۱۹/۱ **A**	٦/۳ **A**
B450	۳	۲۸/۰ **A**	۲٦/٦ **A**	۲۰/۰ **A**	٦/٦ **A**
B500	۳	۲۸/۷ **A**	۲٥/۸ **A**	۱۹/۳ **A**	٦/٥ **A**
Ctrl (شاهد)	۳	۲۳/۰ **B**	۲۱/٦ **B**	۱٥/۸ **B**	٥/۸ **A**

** میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
ns . میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند اختلاف معنی‌دار ندارند.

علی‌رغم اینکه زمان آزمایش کوتاه بود و بررسی‌ها به فاصله کمی بعد از افزودن بایوچار به خاک (بعد از ۲ ماه خواباندن مخلوط خاک و بایوچار) صورت گرفت، ولی بایوچار حاصل از برگ خرما باعث بهبود معنی‌دار شرایط فیزیکی خاک گردید. میزان رطوبت در وضعیت‌های WHC، FC و PAWC به ترتیب به میزان ۲٤/٤، ۲٤، ۲۰/۱ درصد افزایش پیدا کرد ولی در وضعیت PWP تغییرات معنی‌داری نداشت معادله‌های منحنی‌های مشخصه رطوبتی در تیمارهای مختلف در جدول ۷ ارائه شده‌اند. مقادیر بسیار کم ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و مقادیر بالای ضریب تعیین (R^2) قابلیت اطمینان روش بهینه‌سازی و برازش کامل مدل بر داده‌های اندازه‌گیری شده را تضمین می‌کند.

تجزیه واریانس اثر بایوچار بر پارامترهای اندازه‌گیری شده (θ_s) و برآورد شده مدل ون‌گنوختن (θ_r، α، n و m) در جدول ۸ و مقایسه میانگین‌های مربوطه بر اساس آزمون دانکن در جدول ۹ ارائه شده است. این جداول نیز نشان می‌دهند که درصد اشباع (θ_s) و α با افزایش دمای پیرولیز از ۳۰۰ به ۵۰۰ درجه سانتیگراد تغییری نکرده ولی نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌دار ($P<0.01$) داشته‌اند. همچنین کاربرد بایوچار اثر معنی‌داری بر مقادیر رطوبت باقیمانده (θ_r)، n و m نداشته است.

جدول ۷. معادله‌های منحنی‌های مشخصه رطوبتی مبتنی بر مدل ون‌گنوختن (ون‌گنوختن، ۱۹۸۰)

تیمار	معادله منحنی مشخصه رطوبتی	R^2	RMSE
B300	$\theta(h) = 0.069 + 0.37[1 + (1 + 0.452\|h\|^{1.88})^{-0.466}]$	۰/۹۹۰٦	۰/۰۱۲٦
B350	$\theta(h) = 0.068 + 0.38[1 + (1 + 0.455\|h\|^{1.93})^{-0.482}]$	۰/۹۹۰۲	۰/۰۱۳۱
B400	$\theta(h) = 0.063 + 0.39[1 + (1 + 0.466\|h\|^{1.84})^{-0.456}]$	۰/۹۹۰۹	۰/۰۱۲٦
B450	$\theta(h) = 0.06 + 0.39[1 + (1 + 0.496\|h\|^{1.76})^{-0.430}]$	۰/۹۸۷۲	۰/۰۱٤۷
B500	$\theta(h) = 0.06 + 0.39[1 + (1 + 0.492\|h\|^{1.75})^{-0.427}]$	۰/۹۸۹۱	۰/۰۱۳٥
Crl	$\theta(h) = 0.07 + 0.32[1 + (1 + 0.402\|h\|^{2.02})^{-0.504}]$	۰/۹۹۲۰	۰/۰۱۰۸

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۸. تجزیه واریانس نتایج مربوط به اثرات بایوچار بر پارامترهای مدل ون‌گنوختن

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		θ_s	θ_r	α	n	m
بایوچار	۵	۰/۰۰۱۶ **	۰/۰۰۰۰۶ ns	۱/۰۰۳۴ **	۰/۰۳۴ ns	۰/۰۰۲۷ ns
خطا	۱۲	۰/۰۰۰۰۲۸	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۰۷
کل	۱۷	۰/۰۰۰۴۸	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۱۴	۰/۰۱۶	۰/۰۰۱۳
ضریب تغییرات (٪)		۱/۲	۱۱/۶	۵/۳	۵/۱	۵/۸

تجزیه واریانس نتایج مربوط به اثرات بایوچار بر مقادیر رطوبت وزنی در دامنه‌های اندازه منافذ خاک در جدول ۱۰ و مقایسه میانگین‌های مربوطه بر اساس آزمون دانکن در جدول ۱۱ ارائه شده است. این جداول نشان می‌دهند که رطوبت منافذ ذخیره و انتقال (بزرگ‌تر از ۰/۲μm) بطور معنی‌داری ($P<0.01$) نسبت به تیمار شاهد (خاک بدون بایوچار) افزایش داشته ولی در منافذ باقیمانده (کوچک‌تر از ۰/۲μm) تغییرات معنی‌دار نبوده است. بطوری که رطوبت در منافذ ذخیره و انتقال که ذخیره آب قابل دسترس گیاه و جریان آب و عناصر غذایی در این بخش از تخلخل خاک اتفاق می‌افتد بطور متوسط به میزان ۲۳ درصد نسبت به شاهد افزایش پیدا کرده است. این شرایط باعث شده تا منحنی‌های مشخصه رطوبتی به لحاظ شکل کلی تفاوتی با یکدیگر نداشته باشند ولی به لحاظ نگهداری رطوبت متفاوت باشند و از طرفی با کوچک‌تر شدن اندازه منافذ این منحنی‌ها به همدیگر نزدیک و نزدیک‌تر شوند (شکل ۲).

این موضوع به لحاظ کاهش تنش رطوبتی وارد شده به گیاه در فاصله آبیاری‌ها و بارندگی‌ها مخصوصاً در خاک‌های با ظرفیت کم در نگهداری رطوبت حائز اهمیت زیادی است (Mollinedo *et al*., 2015).

از آنجا که اساساً رفتار رطوبتی خاک در مکش‌های ماتریک بالا تحت کنترل بافت خاک و منافذ ریز آن قرار دارد ولی در مکش‌های پایین تحت کنترل ساختمان خاک و تخلخل درشت آن می‌باشد (Hillel, 1982). از طرفی بخش اعظم تخلخل بایوچار را منافذ ریز تشکیل می‌دهد (Major *et al*., 2009). لذا انتظار این بود که با افزودن بایوچار تخلخل ریز خاک افزایش پیدا کرده و به تبع آن رطوبت در وضعیت PWP نیز افزایش معنی‌دار پیدا کند ولی در عمل اینگونه نشد.

جدول ۹. مقایسه میانگین‌های ضرایب معادله‌های منحنی مشخصه رطوبتی در تیمارهای مختلف با آزمون دانکن

تیمار	تکرار	اندازه‌گیری شده	برآورد شده با روش بهینه‌سازی غیرخطی			
		θ_s ($cm^3.cm^{-3}$)	θ_r ($cm^3.cm^{-3}$)	α (m^{-1})	n	m
B300	۳	۰/۴۴A	۰/۰۶۹A	AB	A	A
B350	۳	۰/۴۷A	۰/۰۶۸A	AB	A	A
B400	۳	۰/۴۵A	۰/۰۶۳A	AB	A	A
B450	۳	۰/۴۵A	۰/۰۶A	۴۹۶A	A	A
B500	۳	۰/۴۵A	۰/۰۶A	۴۹۲A	A	A
Crl (شاهد)	۳	۰/۳۹B	۰/۰۷A	۴۰۲B	A	/۵۰۴A

** میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱۰. تجزیه واریانس نتایج اثر بایوچار بر رطوبت وزنی در دامنه‌های اندازه قطر منافذ خاک

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات رطوبت وزنی		
		>۵۰µm	۰/۲-۵۰µm	<۰/۲ µm
دمای پیرولیز	۵	۰/۲۹۷ **	۱۲/۸۸۱ **	۰/۲۳۰ ns
خطا	۱۲	۰/۰۴۶	۲/۵۲۱	۰/۱۰۱
کل	۱۷	۰/۱۲	۵/۵۶۸	۰/۱۳۹
ضریب تغییرات (٪)		۱۸/۱	۵/۸	۵/۲

لذا این نتایج تأییدی است بر گزارش Andrenelli و همکاران (۲۰۱۶) مبنی بر این که کاربرد بایوچار باعث اصلاح شرایط ساختمانی خاک و تخلخل درشت آن شده ولی در بافت و منافذ ریز آن تغییری ایجاد نمی‌کند. به همین دلیل رطوبت در وضعیت‌های WHC، FC، PAWC و θ_s افزایش پیدا کرده، ولی در وضعیت PWP که تحت کنترل منافذ ریز خاک قرار دارد تغییرات معنی‌داری نداشته است.Uzoma و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقات خود متوجه شدند که بایوچار اثر معنی‌داری بر θ_r ندارد. در پژوهش‌های مشابه دیگر هم گزارش شده است که با افزودن بایوچار رطوبت در وضعیت PWP افزایش پیدا نمی‌کند (Hardie *et al*., 2014).

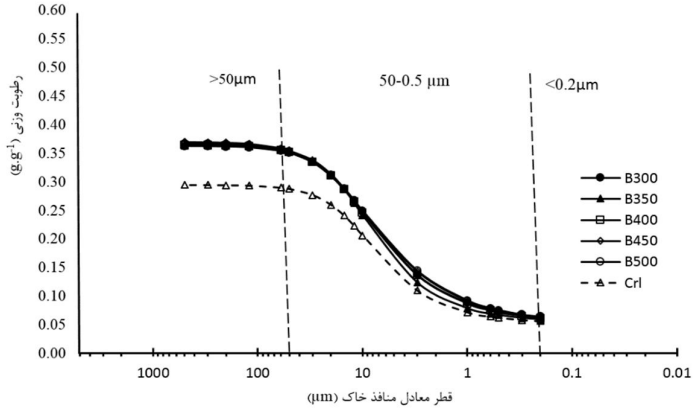
قسمت بالایی منحنی مشخصه رطوبتی شامل تخلخل درشت و منافذی از خاک است که آب ذخیره شده در آن تحت تأثیر نیروی ثقل به راحتی تخلیه شده و هوا جایگزین آن می‌شود و پارامتر α مربوط به همین قسمت منحنی است (Mollinedo *et al*., 2015). حدی از بار مکش ماتریک که خاک در اثر نیروی ثقل از وضعیت اشباع خارج شده و در آن تهویه صورت می‌گیرد را اصطلاحاً مکش ورود هوا می‌گویند و مقدار عددی آن عکس پارامتر α می‌باشد (Andrenelli *et al*., 2016). در این تحقیق، تحلیل پارامتر α و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن نشان می‌دهد که اگر چه افزایش دمای پیرولیز در دامنه ۳۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد اثر معنی‌داری بر α نداشته است ولی اثر کلی بایوچار بر این پارامتر معنی‌دار ($P<0.01$) بوده است. بطوریکه مقادیر α^{-1} در تیمارهای مختلف بطور متوسط ۱۶ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داشته است. این نتیجه بدان معنی است که کاربرد بایوچار باعث شده است تا ورود هوا در بار مکش ماتریک پایین‌تر (بطور متوسط ۲/۱ متر آب) نسبت به خاک بدون بایوچار (۲/۵ متر آب) اتفاق بیفتد که بیانگر وقوع زهکشی و تهویه سریع‌تر خاک در اثر تشکیل منافذ بزرگ‌تر می‌باشد.

جدول ۱۱. مقایسه میانگین مقادیر رطوبت وزنی در دامنه‌های اندازه قطر منافذ خاک بر اساس آزمون دانکن

تیمار	تعداد تکرار	>۵۰µm	۰/۲-۵۰µm	<۰/۲ µm
		(درصد وزنی)		
B300	۳	۱/۱۵ **AB** **	۲۷/۸۲ **A** **	۶/۳۹ **A** ns
B350	۳	۱/۰۳ **BC**	۲۸/۵۶ **A**	۶/۰۲ **A**
B400	۳	۱/۲۸ **AB**	۲۸/۲۲ **A**	۶/۰۵ **A**
B450	۳	۱/۵۱ **A**	۲۸/۳۹ **A**	۶/۱۵ **A**
B500	۳	۱/۴۹ **A**	۲۶/۸۲ **AB**	۶/۱۸ **A**
Crl (شاهد)	۳	۰/۶۷ **C**	۲۳/۱۲ **B**	۵/۵۶ **A**

** میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

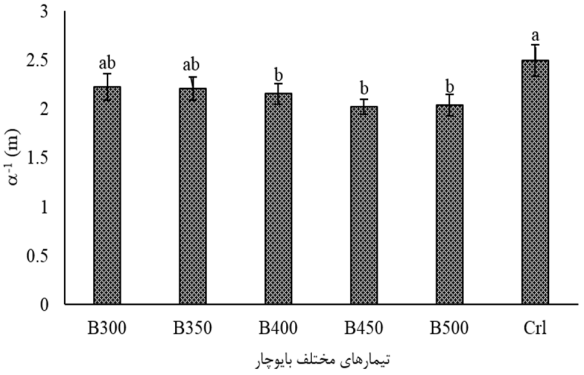
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۲. منحنی‌های مشخصه رطوبتی بر اساس مقادیر رطوبت وزنی در مقابل قطر معادل منافذ در تیمارهای مختلف

نتیجه‌گیری

این آزمایش ثابت کرد که کاربرد بایوچار حاصل از برگ خرما به نسبت وزنی ۳ درصد و به صورت پودری و آسیاب شده در یک خاک لوم شنی می‌تواند یک اصلاح کننده مؤثر برای بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت و آب قابل دسترس گیاه باشد. در عین حال کاربرد این بایوچار بر نگهداری رطوبت در نقطه پژمردگی دائم تأثیری ندارد. در واقع این بایوچار قادر است منافذ ذخیره و انتقال خاک (µm d >۰/۲) را با تشکیل منافذ ثانویه و نیز تغییر اندازه و تراکم خاکدانه‌های خاک افزایش دهد که به لحاظ ذخیره آب قابل دسترس گیاه و انتقال آب و عناصر غذایی حائز اهمیت است ولی بر منافذ باقیمانده (µm d<۰/۲) اثر معنی‌دار ندارد. با افزایش دمای پیرولیز در دامنه ۳۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد تغییرات معنی‌داری در خصوصیات فیزیکی و رفتار رطوبتی خاک ایجاد نشد، ولی بررسی خصوصیات شیمیایی و ویژگی‌هایی مانند خاصیت آبگریزی ناشی از ترکیبات چربی‌دار به آزمایش‌های دیگر موکول می‌گردد.



تیمارهایی که حروف مشترک دارند در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند. نوارهای خطا بیانگر انحراف از معیار می‌باشند (**n=3**).

شکل۳. مقایسه مقادیر میانگین مربوط به α^{-1} در تیمارهای مختلف بایوچار بر اساس آزمون دانکن.

فهرست منابع

Andrenelli, M.C., Maienzab, A., Genesiob, L., Migliettab, 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. Journal of Agricultural Water Management, 163: 190–196.

Basso, A. S. 2012. Effect of fast pyrolysis biochar on physical and chemical properties of a sandy soil. Master's Thesis, Iowa State University, Ames, 69 pp.

Archive of SID
www.SID.ir

Bird, M. I., Ascough, P. L.,Young, I. M., Wood, C. V. and Scott, A. C. 2008. X-ray microtomographic imaging of charcoal. Journal of Archaeological Science, 35: 2698-2706.

de Melo Carvalho, M.T., de Holanda Nunes Maia, A., Madari, B.E., Bastiaans, L., van Oort, P.A.J., Heinemann, A.B., Soler da Silva, M.A., Petter, F.A., Marimon Jr., B.H. and Meinke, H. 2014. Biochar increases plant-available water in a sandy loam soil under an aerobic rice crop system. Solid Earth, 5: 939–952.

Cheng, C. H., Lehmann, J., Thies, J. E., Burton, S. D. and Engelhard, M. H. 2006. Oxidation of Black carbon by biotic and abiotic processes. Organic Geochemistry, 37: 1477-1488.

Gaskin, J. W., Steiner, C., Harris, K., Das, K. C. and Bibens, B. 2008. Effect of low temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. Transactions of the ASABE, 51: 2061-2069.

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

Guo, Y. and Rockstraw, D. A. 2007. Activated carbons prepared from rice hull by one-step phosphoric acid activation. Microporous and Mesoporous Materials, 100: 12-19.

Hardie, M., Clothier, B., Bound, S., Oliver G. and Close, D. 2014. Does biochar influence soil physical properties and soil water availability? Plant and Soil, 376: 347–361.

Hillel, D. 1982. Introduction to Soil Physics. Academic Press, New York, 364 pp.

Kookana R. S., Sarmah, A. K., van Zwieten, L., Krull, E. and Singh B. 2011. Biochar application to soil: Agronomic and environmental benefits and unintended consequences. Advances in Agronomy, 112: 103-143.

Lehmann, J. and Joseph, S. 2009. Biochar for environmental management: An introduction. P. 67-84. In J. Lehmann and S. Joseph (ed.) Biochar for environmental management. Science and Technology. James & James. Earthscan. London. UK.

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 coalfly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol). Catena 114: 37–44.

Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J. and Lehmann, J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. Plant and Soil, 333: 117–128.

Mollinedo, J., Schumacher, E.T. 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.

Mukherjee, A. and Lal, R. 2013. Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. Agronomy, 3:313–39.

Novak, J.M., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J. W., Steiner, C., Das, K. C., Ahmedna, M., Rehrah, D., Watts, D.W., Busscher, W.J. and Schomberg, H. 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., Muldera, J., Martinsena, 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.

Ouyang, L., Wang, F., Tang, J., Yu, L. and Zhang, R. 2013. Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 13 (4): 991-1002.

Rowell, D. L. 1994. Soil Science: Methods and Applications. Longman Scientific & Technical, UK, 350 pp.

Singh, B., Singh, B. P. and Cowie, A. L. 2010. Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. Australian Journal of Soil Research, 48: 516-525.

Thangalazhy, G. S., Adhikari, S., Ravindran, H., Gupta, R. B., Fasina, O., Tu, M. and Fernando, S. D. 2010. Physiochemical properties of bio-oil produced at various temperatures from pine wood using an auger reactor. Bioresource Technology, 101(21): 8389-8395.

Uzoma, K. C., Inoue, M., Andry, H., Zahoor, A. and Nishihara E. 2011. Influence of biochar application on sandy soil hydraulic properties and nutrient retention. Journal of Food, Agriculture and Environment, 9:1137–1143.

van Genuchten, M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of American Journal, 44: 892-898.

Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A. C., van der Velde, M. and Diafas, I. 2010. 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, 149 pp.

Wraith, M. and Or, D. 1998. Nonlinear Parameter Estimation Using Spreadsheet Software. Journal of Natural Resources and Life Sciences Education, 27: 13-19.

Archive of SID
www.SID.ir

Woolf, D., Amonette, J., E., Street-Perrott, F., A., Lehmann, J. and Joseph, S. 2010. Sustainable biochar to mitigate global climate change. Nature Communicaions, 1: 1-9.

Wu, W. Yang, M., Feng, Q., McGrouther, K., Wang, H., Lu H. and Chen, Y. 2012. Chemical characterization of rice straw-derived biochar for soil amendment. Biomass Bioenergy, 47: 268–276.

Yu, O. Y., Raichle, B. Sink, S. 2013. Impact of biochar on the water holding capacity of loamy sand soil. International Journal of Energy and Environmental Engineering, 4(1):1-9.

Archive of SID

www.SID.ir

ISSN 2251-7480

Short-term effects of biochar produced from date palm's leaves on moisture retention in sandy loam soil

Mehrdad Nowroozi[1], Seyed hassan Tabatabaei[2*], Mohamad reza Nouri[3] and Hamidreza Motaghian[4]

1) Ph.D Student, Department of Water Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
2*) Associate Professor, Department of Water Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
*Corresponding author email: Tabatabaei@agr.sku.ac.ir
3) Associate Professor, Department of Water Engineering, Shahrekord University, Iran
4) Assistant Professor, Department of Soil Science, Shahrekord University, Iran

Received: 22-05-2016 Accepted: 26-07-2016

Abstract

Biochar is a durable organic compound obtained by thermal decomposition of biomass under oxygen-limited conditions (called pyrolysis). It is used for improving chemical and physical properties of soil in agriculture. The main objective of this paper was to evaluate the effects of biochar, produced from date palm's leaves, on the physical properties and hydrological behavior of a sandy loam soil by carrying out a pot experiment. Pyrolyzed at different temperatures (300, 350, 400, 450 and 500 degree of centigrade) in an electric furnace five biochars were obtained. Biochars were in powdered form and evenly added to soil (air-dried and passed through a 2 mm sieve) at the rate of 3% (w/w) and incubated for 2 months. Water retention curves (WRCs) based on Van Genuchten model determined. By measuring gravimetric water content at field capacity (FC) and permanent wilting point (PWP), plant available water content (PAWC) calculated. Also, water holding capacity (WHC) and saturation percentage (θ_s) determined. The results showed that by increasing pyrolysis temperature from 300 to 500 degree of centigrade, physical properties and hydrological behavior of the soil had not significant changes. Generally, soil bulk density (BD) significantly ($P<0.01$) decreased compared to control, which could be attributed to low density of biochar particles and its contribution on rearrangement of soil pores and creation of new accommodation pores. WHC, PAWC, θ_s and FC increased 24.4%, 20.1%, 23.4% and 24% respectively compared to control, but PWP had not significant changes. Data of WRCs indicated a significant ($P<0.01$) increase in pores greater than 0.2 µm, which are important in storing plant available water.

Keywords: biochar; plant available water; soil structure; water holding capacity

Archive of SID
www.SID.ir