

اثر کاربرد سوسپانسیون بیوچار بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی دو خاک حساس به فرسایش

سپیده ابریشم‌کش*: استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت

محمود فاضلی سنگانی: استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت

حسن رمضانپور: دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت

مهدی نوروزی: دانش‌آموخته دکتری علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز

عباس شعبانی: دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۵

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۱۲)

چکیده

درسالهای اخیراستفاده از بیوچار، به عنوان یک ماده اصلاحی با هدف کاهش فرسایش خاک مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش اثر تزریق بیوچار به صورت سوسپانسیون بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دو نوع خاک ماری حساس به فرسایش در جنوب گیلان مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، ابتدا دو نوع بیوچار از چوب سرشاخه‌های هرس‌شده درخت زبان گنجشک (WB) و پوسته شلتوک برنج (RB) تولید و مشخصه یابی شد و سپس در دو سطح ۰/۷ و ۱/۴ درصد به صورت سوسپانسیون آبی به دو نوع خاک مستعد فرسایش اضافه شد. اثر افزودن بیوچار بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دو خاک لوم و لوم شن مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه خصوصیات بیوچارها نشان داد که WB در مقایسه با RB دارای نسبت مولی هیدروژن به کربن و اکسیژن به کربن کمتری است که نشان‌دهنده حضور کربن آروماتیک بیش‌تر و مقاومت بیشتر این نوع بیوچار در برابر تجزیه است. نتایج نشان داد افزودن بیوچار به صورت سوسپانسیون آبی می‌تواند علاوه بر جلوگیری از دست‌خوردگی خاک حساس به فرسایش به هنگام اضافه نمودن بیوچار به خاک، موجب افزایش کربن آلی و بهبود ضریب آبگذری و افزایش خاکدانه-سازی خاک گردد. به طوری که کاربرد هر دو نوع بیوچار موجب افزایش کربن آلی خاک‌های مورد مطالعه شد. اگرچه بیوچار چوب به دلیل دارا بودن محتوای کربن بیشتر، تأثیر بیشتری را در این رابطه نشان داد. کاربرد هر دو نوع بیوچار در خاک دارای بافت درشت‌تر (لوم شن) و با ضریب آبگذری بیشتر موجب کاهش ضریب آبگذری خاک شد. در حالی که بیوچار حاصل از چوب، موجب افزایش ضریب آبگذری خاک لوم شد. علاوه براین تأثیر بیوچار بر افزایش پایداری خاکدانه در خاک لوم معنی‌دار بود. به طور کلی پیامد افزودن بیوچار بر ویژگی‌های خاک بسته به نوع بیوچار مورد استفاده، سطح افزودن بیوچار و همچنین نوع خاک متفاوت است.

واژگان کلیدی: پایداری خاکدانه؛ پوسته شلتوک برنج؛ تزریق سوسپانسیون بیوچار؛ سرشاخه هرس‌شده درخت زبان گنجشک؛ کربن آلی.

۱- مقدمه

فرسایش خاک یکی از مهم ترین مشکلات زیست محیطی جهان است، زیرا نه تنها موجب تخریب خاک و کاهش باروری زمین می شود بلکه اثرات جانبی آن از قبیل افزایش سیلاب ها، سیلنتی شدن و آلودگی آب را به دنبال دارد (Zhuang et al, 2015). مطالعات اخیر نشان داده است که فرسایش خاک از طریق هدررفت کربن آلی خاک حتی می تواند موجب تشدید تغییر اقلیم و گرم شدن جهانی نیز شود (Li et al, 2017). بنابراین به منظور بازیابی توان باردهی زمین و حفظ محیط زیست اکولوژیکی، حفاظت خاک در برابر فرسایش بسیار مهم است. افزودن بیوچار به خاک به عنوان یک رهیافت نوین و امیدوارکننده برای دستیابی به اهداف فوق الذکر می باشد. بیوچار حاوی کربن پیروژنیک است که توسط حرارت دادن ضایعات محصولات زراعی، چوب و یا زیست توده های متنوع در محدودیت یا عدم حضور اکسیژن تولید می شود (Tripathi et al, 2016). در ابتدا، کاربرد بیوچار در خاک به عنوان راه کاری برای توقف طولانی مدت کربن و مقابله با تغییر اقلیم مورد توجه قرار گرفت. زیرا ساختار آروماتیک پایدار و مقاومت بیوچار در خاک (Xia et al, 2016) موجب توقف طولانی مدت کربن در خاک می شود (Amini et al, 2016). بیوچار همچنین به دلیل اثرات مثبت چندگانه آن، در بهبود ویژگی های فیزیکی (Mangrich et al, 2015)، شیمیایی (Uzoma et al, 2011) و بیولوژیکی (Lehmann et al, 2011) به عنوان یک اصلاح کننده مهم خاک نیز شناخته می شود. بیوچار می تواند بر محتوای ماده آلی خاک و پایداری خاکدانه ها تأثیر بگذارد (Obia et al, 2016). کاهش فرسایش خاک از طریق حفظ ماده آلی خاک، افزایش پایداری خاکدانه ها (Doan et al, 2015) و بهبود ضریب آبگذری و افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک در نتیجه کاربرد بیوچار سبب شده تا این ماده اصلاحی به منظور کاهش فرسایش پذیری خاک و بهبود شرایط خاک های مستعد فرسایش مورد توجه قرار گیرد.

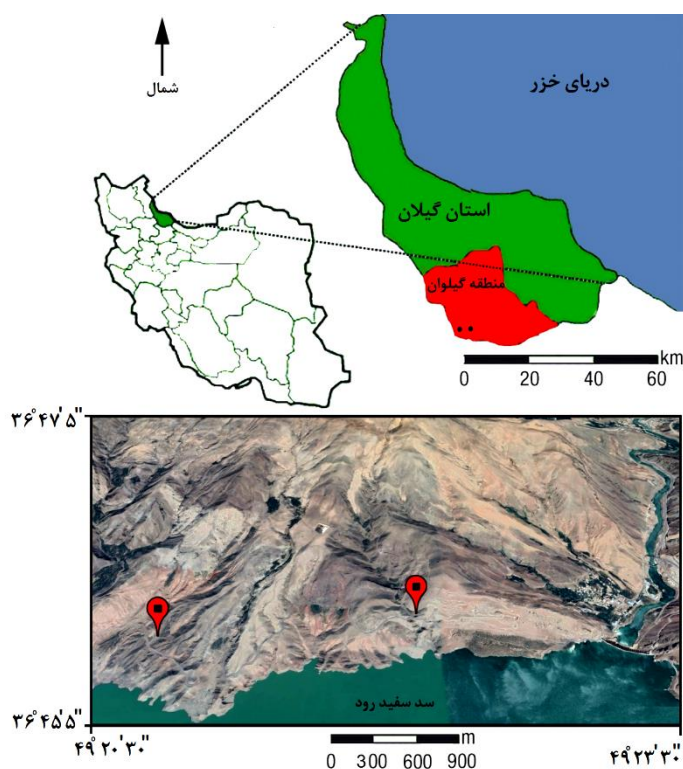
Xiue و همکاران (۲۰۱۹) اثر بیوچار تولید شده از کاه ذرت را در یک خاک پلانوسول مطالعه کردند. نتایج آن تحقیق نشان داد که کاربرد سطوح دو و سه درصد بیوچار موجب افزایش کربن آلی، پایداری خاکدانه ها و همچنین بهبود ظرفیت نگه داشت آب شد. آنها نتیجه گیری کردند که از بین رفتن اجزای ناپایدار و فرار در طی فرایند پیرولیز، باعث افزایش مقدار تخلخل در ماده اولیه مورد استفاده (کاه ذرت) برای تولید بیوچار و تشکیل منافذ ریز بر روی بیوچار می شود که این تغییر ساختار باعث افزایش سطح ویژه و ظرفیت جذب برای بیوچار می شود. Somerville و همکاران (۲۰۲۰) اثر بیوچار تولیدی از چوب درخت اکالیپتوس در دما پیرولیز ۵۵۰ درجه سانتی گراد را بر روی دو خاک با بافت های لوم رس شنی و شن لومی مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش آنان نشان داد که بیوچار استفاده شده در خاک می تواند به طور معنی داری باعث افزایش ضریب آبگذری و کاهش جرم مخصوص ظاهری بعد از گذشت ۲۷ ماه در هر دو خاک مورد آزمایش شود. هر چند افزودن بیوچار بر روی پایداری خاکدانه ها در هر دو خاک لوم رس شنی و شن لومی تأثیر معنی داری نداشت. در پژوهشی دیگر از Razeghi and Rezaei (۲۰۱۷) اثر سطوح ۲۵، ۵۰ و ۷۵ تن در هکتار بیوچار تولیدی از کاه گندم در دمای پیرولیز ۵۵۰ درجه سانتی گراد بر روی خواص فیزیکی چهار نوع خاک با بافت های لوم شنی، لومی، لوم رسی و رسی مورد بررسی قرار گرفت نتایج آن تحقیق نشان داد که سطوح مصرف ۲۵، ۵۰ و ۷۵ تن در هکتار بیوچار به ترتیب باعث افزایش ضریب آبگذری به میزان ۴۵، ۷۰ و ۹۵ درصد شدند. Ghorbani and Amir Ahmadi (۲۰۱۸) در پژوهش خود بر روی تأثیر سطوح دو و چهار درصد وزنی بیوچار تولیدی از پوسته شلتوک برنج در دمای پیرولیز ۵۰۰ درجه سانتی گراد بر برخی از خواص یک خاک با بافت لوم به این نتیجه رسیدند که پس از گذشت دوره سه ماهه انکوباسیون، تیمار چهار درصد بیوچار باعث افزایش مقدار منافذ درشت خاک شده است. همچنین ضریب آبگذری خاک نیز در تیمار دو و چهار درصد بیوچار به طور معنی داری بیشتر از تیمار شاهد بود.

علاوه بر اثرات مثبت بیوچار در موارد ذکر شده، توقف کربن و مبارزه با گرمایش جهانی، بهبود کیفیت خاک و رشد گیاه، تولید بیوچار از بقایای زراعی و باغی می تواند روش مناسبی برای مدیریت این پسماندها باشد. به عنوان نمونه: پوسته شلتوک برنج، تولیدات فرعی کارخانه های شالی کوبی محسوب می شود و همچنین سرشاخه های هرس شده درختان که به مقدار فراوان یافت می شوند گرچه اندک کاربردی دارند، اما در حال حاضر به عنوان ضایعات به شمار می آیند و اغلب سوزانده یا در زمین های بایر انباشته می شوند. سوزاندن زیست توده در آتش در مقایسه با بیوچار غنی از کربن، خاکستری فقیر از ماده آلی را بر جای می گذارد که شامل معدنی هایی از قبیل کلسیم، منیزیم و ترکیبات کربنه غیر آلی است (Kuhlbusch and Crutzen, 1996).

ویژگی‌های اولیه بیوچار به نوع ماده خام کاربردی و نیز شرایط شیمیایی-حرارتی تولید بیوچار بستگی دارد (Lehmann, 2007)، اما مانند هر تیمار افزودنی به خاک (اعم از تیمارهای آلی و معدنی) روش کاربرد بیوچار از قبیل سطح کاربرد و شیوه اضافه کردن به خاک از اهمیت شایانی برخوردار و احتمالاً موثر بر میزان کارایی بیوچار می‌باشد. تأثیر سطوح کاربرد و اندازه بیوچار در مطالعات مختلف مورد توجه قرار گرفته است. اما آنچه که حائز اهمیت است بررسی تأثیر شیوه‌های مختلف اضافه کردن بیوچار به خاک از جمله: مخلوط کردن به صورت یکنواخت با خاک، پاشیدن بر روی سطح خاک، مخلوط کردن با کود جامد یا مایع، کاربرد نواری و چاله‌ای و غیره می‌باشد. شیوه مخلوط کردن یکنواخت بیوچار با خاک سطحی که در اکثر مطالعات استفاده شده است می‌تواند موجب بهم خوردن ساختمان طبیعی و تخریب خاک شود بنابراین معرفی شیوه کاربردی که با حداقل دست‌خوردگی خاک همراه باشد به ویژه در خاک‌های حساس به فرسایش از اهمیت زیادی برخوردار است. تأثیر افزودن بیوچار به صورت سوسپانسیون آب و بیوچار تا به حال در مطالعه‌ای ذکر نشده است. این پژوهش با هدف، بررسی تأثیر افزودن سطوح مختلف بیوچار تولیدی از دو نوع ماده اولیه مختلف (پسماندهای باغی و زراعی) به صورت سوسپانسیون آبی بیوچار بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دو خاک مستعد فرسایش با بافت متفاوت در جنوب استان گیلان صورت گرفته است.

۲- منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق دو نقطه از منطقه گیلوان واقع در جنوب استان گیلان برای نمونه برداری خاک در نظر گرفته شد (شکل ۱). 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 خاک‌های فرسایش‌پذیر به شمار می‌آیند و اشکال مختلف فرسایشی از قبیل فرسایش ورقه‌ای، شیار، خندقی و بدلندها در این منطقه به وضوح قابل مشاهده‌اند. بر اساس آمار هواشناسی، حوزه آبخیز گیلوان دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد، میانگین بارش ۳۳۸/۳۰ میلی‌متر و دمای متوسط ۱۲/۹۶ درجه سانتی‌گراد است. رژیم رطوبتی این منطقه اریدیک و رژیم حرارتی آن مزیک می‌باشد. اراضی مارنی منطقه به دلیل شوری خاک با درجه قلیائی بالا، از پوشش گیاهی خیلی کمی برخوردار بوده و فقط گونه‌های خاصی با پراکندگی ناچیز در آن رشد می‌کنند.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۳- مواد و روش

۳-۱- تولید بیوچارها و تعیین ویژگی‌های آنها

دو نوع بیوچار از مواد اولیه متفاوت شامل چوب سرشاخه‌های هرس شده درخت زبان گنجشک (*Fraxinus excelsior*) و پوسته شلتوک برنج به روش پیرولیز آهسته و در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد در کوره الکتریکی القائی تولید شدند. سپس بازده تولید بیوچار بر اساس وزن بیوچار تولیدشده به ازای واحد وزنی ماده اولیه تعیین شد. میزان خاکستر موجود در بیوچار نیز با حرارت دادن پنج گرم بیوچار در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت بیشتر از ۸ ساعت و توزین دوباره آن تعیین شد (ASTM D1762-84). واکنش شیمیایی و قابلیت هدایت الکتریکی بر اساس روش Rajkovich و همکاران (۲۰۱۱) و در مخلوط بیوچار و آب دیونیزه با نسبت وزنی ۲۰:۱ (بیوچار : آب) اندازه‌گیری شد. تعیین مقدار کل کربن، هیدروژن و نیتروژن بیوچارها توسط احتراق خشک و با استفاده از دستگاه تجزیه عنصری Perkin Elmer 2400 صورت گرفت (ASTM D4373-02). با استفاده از میکروسکوپ الکترونی KYKY EM3200، ساختار مورفولوژیکی بیوچارها آشکار گردید.

۳-۲- نمونه برداری و تعیین ویژگی‌های خاک‌ها

به منظور حفظ ساختمان طبیعی خاک، نمونه‌ها از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متر به صورت دست‌نخورده تهیه شد. به این صورت که، استوانه‌های فلزی به قطر ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر به آرامی توسط پتک تا عمق ۱۰ سانتی‌متری وارد خاک شدند. سپس هر یک از استوانه‌ها از خاک پیرامون و زیر خود با استفاده از کاردک جدا شدند و برای جلوگیری از ریزش خاک و حفظ ساختار آن، بلافاصله یک زیر گلدانی در قسمت زیرین هر یک از استوانه‌ها قرار گرفت. در شکل ۲، نمایی از روش تهیه نمونه‌ها و استوانه‌های فلزی حاوی خاک دست‌نخورده مورد استفاده در این تحقیق نشان داده شده است. علاوه بر ستون‌های خاک، نمونه‌های دست‌خورده و نخورده دیگری نیز جهت تعیین ویژگی‌های اولیه فیزیکی و شیمیایی تهیه شد. قابلیت هدایت الکتریکی و واکنش شیمیایی در سوسپانسیون ۱:۱ آب به خاک، توزیع اندازه ذرات اولیه خاک (بافت) به روش هیدرومتری (Gee and Bauder, 1986) و کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (Nelson and Sommers, 1996)، اندازه‌گیری و تعیین شدند. در این مطالعه از دو نوع خاک با بافت متفاوت استفاده شد. خاک SL (با بافت لوم شن) و خاک L (با بافت لوم) که برخی از ویژگی‌های دو نوع خاک، در جدول ۱ ارائه شده است. بررسی‌های اولیه نشان می‌دهد که خاک L دارای واکنش شیمیایی، قابلیت هدایت الکتریکی بیشتر و کربن آلی کمتری در مقایسه با خاک SL است.



شکل ۲: نمایی از روش نمونه‌برداری و استوانه‌های فلزی حاوی خاک دست‌نخورده در آزمایشگاه

جدول ۱: برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

نمونه خاک	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک	قابلیت هدایت الکتریکی (dSm ⁻¹)	pH	کربن آلی (%)
SL	۵۵	۲۷	۱۸	لوم‌شنی	۱/۵	۷/۴۴	۰/۲۰
L	۴۲	۳۳	۲۶	لوم	۱/۸	۷/۵۰	۰/۱۶

۳-۳- اعمال تیمارها و انکوباسیون ستون‌های خاک

دو نوع بیوجار تولیدی، آسیاب و با اندازه ذرات ۶۳-۲۵۰ میکرون، در سطوح ۰/۷ و ۱/۴ درصد وزنی و سه تکرار به صورت سوسپانسیون‌های آبی به استوانه‌های حاوی خاک دست‌نخورده افزوده شدند. سه استوانه خاک بدون بیوجار نیز تحت عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. استوانه‌های خاک به مدت شش ماه (۱۸۰ روز) در گلخانه در دما ۲۵-۲۰ درجه سانتی-گراد و تحت چرخه‌های متعدد خشک و مرطوب شدن قرار گرفتند. در پایان دوره انکوباسیون شش ماهه، نمونه‌های خاک دست-خورده و نخورده از استوانه‌ها تهیه و واکنش شیمیایی، قابلیت هدایت الکتریکی، کربن آلی خاک به روش ذکر شده در تعیین ویژگی‌های اولیه خاک اندازه‌گیری شدند. جرم مخصوص ظاهری به روش سیلندر (Grossman and Reinsch, 2002)، ضریب آگذری اشباع خاک SL به روش بار ثابت و خاک L به روش بارافتان (Reynolds, 2002) اندازه‌گیری شد. به منظور انجام مطالعات میکرومورفولوژیکی، کلوخه‌هایی انتخاب و از آن‌ها مقاطع نازک تهیه و توسط میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند. برای ارزیابی توزیع اندازه خاکدانه‌های مرطوب، از روش الک تر استفاده شد (Nimmo and Perkins, 2002). بدین ترتیب که بعد از هواخشک کردن و عبور خاک از الک چهار میلیمتر، ۵۰ گرم خاک به مدت ۲۴ ساعت بوسیله‌ی آب پاش خیس شد و سپس خاک در یک ظرف محتوی آب شیر و روی یک سری الک با قطر منافذ ۱، ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ میکرون قرار گرفت و الک با ۳۵ دور در دقیقه (در امتداد ۳۸/۱ میلیمتر) به مدت ۱۰ دقیقه ادامه یافت. خاک باقیمانده بر روی هر الک به دقت خارج و در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد خشک شدند. نمایه‌های پایداری خاکدانه شامل میانگین وزنی (MWD) و هندسی قطر (GMD) با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه شدند:

$$MWD = \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad (1)$$

$$GMD = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n w_i \log x_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \right] \quad (2)$$

در این روابط w_i : جرم خشک خاکدانه‌ها در هر کلاس اندازه، بر حسب گرم به جرم کل خاک (۵۰ گرم)، x_i : میانگین قطر خاکدانه‌های روی هر الک بر حسب میلیمتر است.

بعد فرکتالی خاکدانه‌ها (D) نیز توسط رابطه ۳ و بر اساس مدل تعداد-اندازه (Mandelbrot 1982) محاسبه شد:

$$N > x = k x^{-D} \quad (3)$$

$N > x$: تعداد تجمعی خاکدانه‌های با اندازه بزرگتر از x و k : عدد ثابت می‌باشد.

برای تعیین تعداد خاکدانه‌های باقیمانده روی الک، وزن خاکدانه‌های روی الک به وزن هر خاکدانه تقسیم شد، برای محاسبه وزن خاکدانه مکعبی و کروی، به ترتیب از روابط ۴ و ۵ استفاده شد.

$$M = \rho x^3 \quad (4)$$

$$M = \frac{1}{6} \pi x^3 \rho \quad (5)$$

در این روابط ρ : چگالی، M : جرم و x : قطر خاکدانه می‌باشد.

بافرض ثابت بودن چگالی خاکدانه‌ها در تمام الک‌ها، برای محاسبه خاکدانه‌های مکعبی و کروی به ترتیب روابط ۶ و ۷ مورد استفاده قرار گرفت.

$$\frac{1}{\rho} \sum_{x=1}^x \frac{M(x)}{x^3} = Kx^{-D} \quad (6)$$

$$\frac{6}{\pi\rho} \sum_{x=1}^x \frac{M(x)}{x^3} = Kx^{-D} \quad (7)$$

علاوه بر این رابطه کلی زیر، که نخستین بار توسط Tyler and Wheatcraft (۱۹۸۹) ارائه شد، برای خاکدانه‌ها به کار گرفته شد:

$$\sum_{x=1}^x \frac{M(x)}{x^3} = Kx^{-D} \quad (8)$$

در این رابطه $\log\left(\frac{M(x)}{x^3}\right)$ در مقابل $\log x$ رسم گردد، شیب خط بدست آمده، مقدار بعد فرکتال خاکدانه‌ها را بدست می‌دهد.

۳-۴- تجزیه و تحلیل آماری

تأثیر دو فاکتور شامل نوع بیوچار (بیوچار پوسته شلتوک برنج و چوب) و سطح کاربرد بیوچار (۰/۷ و ۱/۴ درصد)، به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار توسط نرم افزار آماری SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

۴- یافته‌ها (نتایج)

۴-۱- ویژگی‌های بیوچارها

نتایج مطالعات نشان داد. هر چند عملکرد هر دو بیوچار با دارا بودن ۵۸/۶٪ برای چوب سرشاخه‌های درخت زبان گنجشک و ۵۱/۳٪ برای پوسته شلتوک برنج تقریباً به هم نزدیک است اما نتایج آنالیز عنصری حاکی از ترکیب شیمیایی متفاوت در این دو بیوچار است. ویژگی‌های بیوچارهای تولیدی در جدول ۲ آمده است. بیوچار حاصل از پوسته شلتوک برنج دارای خاکستر و قابلیت هدایت الکتریکی بیشتری در مقایسه با بیوچار چوب بود. خاکستر معدنی بیش‌تر در بیوچار، احتمالاً موجب قابلیت هدایت الکتریکی بیش‌تری نیز می‌شود. هر دو بیوچار دارای واکنش شیمیایی قلیائی (بیش‌تر از ۷) بودند. بیوچارهای استفاده شده در مطالعات سابق، معمولاً قلیائی بودند، اما بیوچار می‌تواند با هر واکنش شیمیایی در دامنه ۴ تا ۱۲ تولید شود (2007). (Lehmann,

نسبت مولی هیدروژن به کربن در بیوچار چوب و پوسته به ترتیب برابر با ۰/۴۳ و ۰/۶۴ بود. کمتر بودن نسبت مولی هیدروژن به کربن، نشان‌دهنده‌ی حضور کربن آروماتیک بیش‌تر و در نتیجه مقاومت بیش‌تر در برابر تجزیه است (Schmith and Novak, 2000). مواد اولیه زیست‌توده دارای نسبت مولی هیدروژن به کربن حدود ۱/۵ است اما با تجزیه حرارتی زیست-توده این نسبت کاهش می‌یابد. به همین دلیل بیوچار چوب دارای کربن آروماتیک بیش‌تر، مقاوم‌تر به تجزیه است و در نتیجه احتمالاً ابزار موثرتری جهت توقف کربن در خاک خواهد بود. نسبت مولی هیدروژن به کربن و اکسیژن به کربن، شاخص‌های مفیدی برای ارزیابی خصوصیات بیوچار هستند. Li و همکاران (۲۰۱۹)، بیان کردند که نسبت‌های مولی اکسیژن به کربن بیش-تر، نشان‌دهنده حضور بیش‌تر گروه‌های هیدروکسیل، کربوکسیل و کربونیل در بیوچار است. بیوچارها دارای H/C کمتر از ۰/۷ بودند که موجب تأیید تعریف از بیوچار می‌شود. نسبت مولی اکسیژن به کربن (O/C) و هیدروژن به کربن (H/C) بیوچارها برای تهیه دیاگرام ون کریولین مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۳). این نمودار به طور تیپیک بیانگر سن/رسیدگی و منشأ مواد هیدروکربنه از قبیل زغال و نفت است. دیاگرام ون کریولین نیز نشان داد که H/C و O/C در مقایسه با زیست‌توده در هر دو بیوچار چوب و پوسته شلتوک برنج کاهش یافته است و این نسبت‌ها در هر دو بیوچار در محدوده زغال^۱ بود (شکل ۳). Spokas (۲۰۱۰) بیان کرد که حداقل نیمه عمر بیوچارها با نسبت اکسیژن به کربن کمتر از ۰/۲، ۱۰۰۰ سال می‌باشد. بنابراین هر دو

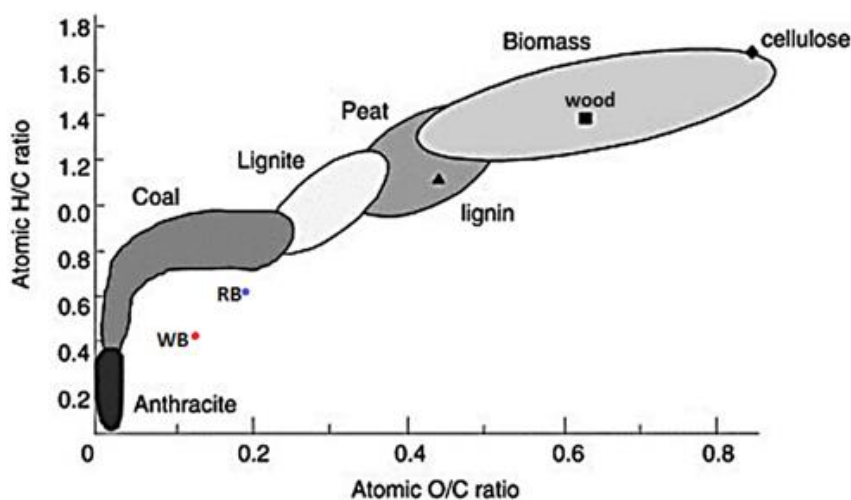
¹ coal

بیوچار چوب و پوسته شلتوک برنج با $O/C < 0.2$ احتمالاً دارای دوام طولانی در خاک بوده و بیوچار چوب به دلیل کمتر بودن O/C آن در مقایسه با بیوچار پوسته شلتوک برنج، قابلیت بیشتری جهت توقف کربن در خاک خواهد داشت. تصاویر میکروسکوپی (شکل ۴) هر دو نوع بیوچار، نشان می‌دهد که منافذ بسیاری بر سطح آنها تشکیل شده است. هر چند با توجه به شکل ۴، قطر و تعداد منافذ در بیوچار چوب سرشاخه‌های درخت زبان گنجشک نسبت به بیوچار پوسته شلتوک برنج بیشتر است و بنابراین این بیوچار دارای تخلخل بیشتری نسبت به بیوچار پوسته شلتوک برنج است. منافذ درشت بیوچار بر کارکردهای حیاتی خاک از قبیل تهویه و هیدرولوژی تأثیرگذار هستند (Toreh and Tompson, 2005). منافذ درشت برای حرکت ریشه‌ها در خاک و همچنین به عنوان زیستگاهی برای تنوع گسترده‌ای از میکروبه‌های خاک مهم هستند. سلول‌های میکروبی به طور معمول در اندازه ۵-۰/۵ میکرون هستند. بنابراین منافذ درشت بیوچار، ابعاد مناسبی برای حیات ریزجانداران فراهم می‌سازند. علاوه بر این، ساختار متخلخل و منظم زغال‌های زیستی موجب سطح ویژه و ظرفیت جذب زیاد می‌شود.

جدول ۲: ویژگی‌های شیمیایی دو نوع بیوچار مورد استفاده

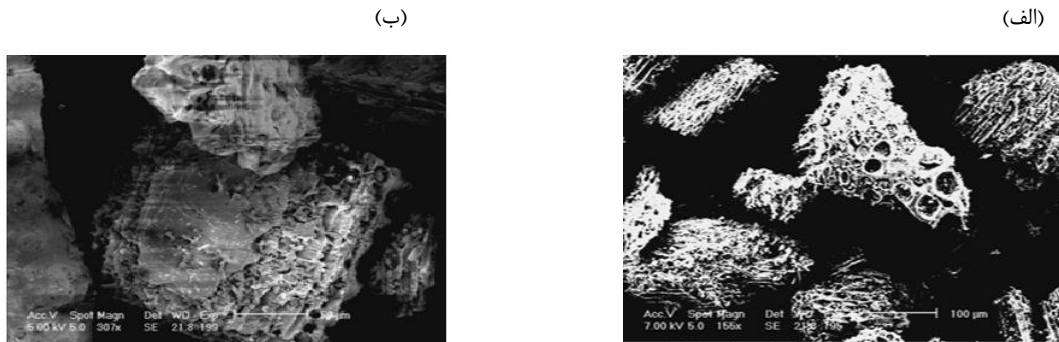
پارامتر	واحد	WB	RB
بازده تولید	درصد	۵۸/۶	۵۱/۳
خاکستر	درصد	۹/۲۲	۴۰/۱۳
واکنش شیمیایی	-	۹/۵	۹/۷
قابلیت هدایت الکتریکی	میکروموس بر سانتیمتر	۶۳	۵۱۲
کربن	درصد	۷۵/۲۰	۴۵/۴۰
هیدروژن	درصد	۲/۶۹	۲/۴۳
نیتروژن	درصد	۰/۹۴	۰/۴۷
اکسیژن	درصد	۱۱/۹۵	۱۱/۵۷
نسبت مولی هیدروژن به کربن	نسبت مولی	۰/۴۳	۰/۶۴
نسبت مولی اکسیژن به کربن	درصد	۰/۱۲	۰/۱۹

WB: بیوچار چوب سرشاخه‌های هرس شده درخت زبان گنجشک و RB: بیوچار پوسته شلتوک برنج



شکل ۳: جایگاه بیوچار چوب درخت زبان گنجشک (WB) و بیوچار پوسته شلتوک برنج (RB) بر روی

دیگرام ون کریولین



شکل ۴: تصاویر میکروسکوپ الکترونی: الف) بیوجار چوب سرشاخه درخت زبان گنجشک و ب) بیوجار پوسته شلتوک برنج

۴-۲- نتایج تجزیه واریانس اثر بیوجار بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌ها

نتایج تجزیه واریانس برای بررسی اثر نوع و سطح بیوجار بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک برای خاک SL و L نشان داد که تأثیر نوع بیوجار بر واکنش شیمیایی، ضریب آبگذری ($p < 0.01$) و کربن آلی ($p < 0.05$) در خاک SL معنی‌دار بود. سطح کاربرد بیوجار و اثر متقابل نوع و سطح کاربرد بیوجار نیز بر ضریب آبگذری خاک، تأثیر معنی‌دار داشتند ($p < 0.01$). این بدان معنی است که در سایر موارد، دو نوع بیوجار و یا سطوح ۰/۷ و ۱/۴ درصد بیوجار تفاوت معنی‌دار با یکدیگر نداشتند (جدول ۳). در خاک L، نتایج تجزیه واریانس نشانگر تأثیر نوع بیوجار بر واکنش شیمیایی، ضریب آبگذری ($p < 0.01$) و کربن آلی ($p < 0.05$) معنی‌دار بود. سطح کاربرد بیوجار بر کربن آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه ($p < 0.01$) و ضریب آبگذری ($p < 0.05$) تأثیر معنی‌دار داشت. اثر متقابل نوع و سطح کاربرد بیوجار بر واکنش شیمیایی، کربن آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه ($p < 0.01$)، قابلیت هدایت الکتریکی، ضریب آبگذری، میانگین هندسی قطر و بعد فرکتال خاکدانه ($p < 0.05$) معنی‌دار بود. (جدول ۴).

۴-۳- اثر بیوجار بر خصوصیات شیمیایی خاک‌ها

۴-۳-۱- اثر بیوجار بر واکنش شیمیایی و قابلیت هدایت الکتریکی

واکنش شیمیایی خاک SL، در تیمار بیوجار چوب به طور معنی‌دار بیشتر از تیمار بیوجار پوسته برنج بود اما هیچ کدام از این دو تیمار و همچنین سطوح کاربرد بیوجار دارای تفاوت معنی‌دار با تیمار شاهد نبودند (جدول ۵). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر هیچ یک از نوع، سطح کاربرد و اثرات متقابل نوع و سطح کاربرد بیوجار بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک SL، معنی‌دار نبود (جدول ۳). مقایسه میانگین نیز تفاوت معنی‌داری را در تیمارهای بیوجار در مقایسه با شاهد نشان نداد (جدول ۵). در خاک L، واکنش شیمیایی خاک در تمامی سطوح کاربرد بیوجارها به جز سطح ۱/۴ درصد بیوجار چوب به طور معنی‌دار کمتر از تیمار شاهد (بدون بیوجار) بود. در سطح ۱/۴ درصد بیوجار چوب، واکنش شیمیایی به طور معنی‌دار بیشتر از تیمار شاهد و سطح متناظر بیوجار پوسته شلتوک برنج بود (شکل ۵). مقایسه قابلیت هدایت الکتریکی در هیچ یک از سطوح کاربرد بیوجار چوب و پوسته شلتوک برنج، تفاوت معنی‌دار با تیمار شاهد نشان نداد اما سطح ۰/۷ درصد بیوجار چوب دارای قابلیت هدایت الکتریکی بیشتری در مقایسه با سطح ۱/۴ درصد آن و هر دو سطح کاربرد بیوجار پوسته شلتوک برنج بود. در خاک L، سطح ۱/۴ درصد بیوجار چوب سرشاخه‌های هرس شده درخت زبان گنجشک موجب افزایش معنی‌دار واکنش شیمیایی شد اما در سایر موارد، کاربرد بیوجار موجب کاهش معنی‌دار واکنش شیمیایی خاک شد (شکل ۵). نتایج مطالعات پیشین حاکی از افزایش واکنش شیمیایی خاک به دلیل کاربرد بیوجار است (Wang et al., 2017a) و بیشتر این مطالعات بر روی خاک‌های اسیدی با واکنش شیمیایی پایین انجام شده است (Dai et al, 2017 & Liu et al, 2017). بعضی از ساز و کارها می‌تواند موجب افزایش واکنش شیمیایی خاک در اثر کاربرد بیوجار گردد. در بسیاری موارد، این افزایش، ناشی از حضور برخی از مواد

قلیایی در بیوچار است (Cui et al., 2019). تکثیر میکروارگانیسم‌های تولیدکننده مواد اسیدی در خاک‌های اصلاح شده با بیوچار (Kim et al, 2016) و افزایش گروه‌های عاملی اسیدی بر اثر اکسیداسیون بیوچار (Serkalem, 2015) می‌تواند از دلایل کاهش واکنش شیمیایی خاک‌های تیمارشده با بیوچار باشد. یکی دیگر از دلایل کاهش واکنش شیمیایی خاک نیز ممکن است کمبود نسبی یونهای هیدروکسیل (OH) باشد. حتی اگر بیوچار حاوی کربنات‌ها و کاتیون‌های پایه محلول باشد (Yuan and Xu, 2011)، کربنات‌های با حلالیت کم ممکن است در برخی از خاک‌ها تشکیل و کاهش هیدرولیز کربنات‌ها می‌تواند از طریق کاهش محتوای هیدروکسیل خاک موجب کاهش واکنش شیمیایی خاک شود (Saifullah et al, 2018). در این پژوهش، بیوچار تأثیری بر افزایش میزان قابلیت هدایت الکتریکی هیچ یک از دو خاک SL و L نداشت (جدول ۵ و شکل ۵). غلظت بالای نمک بر فعالیت میکروبی و همچنین خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک تأثیر منفی می‌گذارد و بنابراین می‌تواند باعث کاهش بهره‌وری شود (Amini et al, 2016). کاهش رشد پوشش گیاهی به دلیل مسمومیت با نمک و پتانسیل اسمزی مضر آن باعث بازگشت کربن کمتر به خاک و بدتر شدن بیشتر خصوصیات خاک می‌شود (Wong et al, 2009).

۲-۳-۴- اثر بیوچار بر میزان کربن آلی

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کربن آلی خاک SL در تیمار بیوچار چوب به طور معنی‌دار بیشتر از بیوچار پوسته شلتوک برنج بود. در هر دو تیمار بیوچارها و در هر دو سطح کاربرد بیوچار به طور معنی‌دار، میزان کربن آلی بیشتر از خاک شاهد (بدون بیوچار) بود (جدول ۵). میزان کربن آلی خاک L در تمامی سطوح کاربرد بیوچار چوب و پوسته شلتوک برنج، به طور معنی‌دار بیشتر از تیمار شاهد بود و این افزایش در سطح ۱/۴ درصد بیوچار چوب بیشتر از سایر موارد بود (شکل ۵). بیوچار حاصل از چوب سرشاخه‌های درخت زبان گنجشک دارای کربن آلی بیشتری نسبت به بیوچار پوسته شلتوک برنج بود و در نتیجه تأثیر بیشتری نیز در افزایش کربن آلی هر دو خاک مورد مطالعه داشت. درصد افزایش کربن آلی خاک در اثر کاربرد بیوچار چوب سرشاخه‌های درخت زبان گنجشک و پوسته شلتوک برنج به ترتیب حدوداً ۸۱ و ۴۳ در خاک SL و ۱۴۱ و ۱۰۰ در خاک L بود. بنابراین هر دو بیوچار در خاک L موجب افزایش بیشتر کربن آلی خاک در مقایسه با خاک SL شدند. تغییر میزان کربن آلی خاک در اثر افزودن بیوچار در مطالعات متعددی دیده شده است (Abbas et al, 2019; & Munda et al, 2018). افزایش ماده آلی خاک می‌تواند اثرات سودمندی داشته باشد. افزایش کربن آلی خاک و کاربرد مواد اصلاح‌کننده آلی به ویژه در مناطق نیمه خشک می‌تواند موجب بهبود خاک‌های تخریب شده شود. علاوه بر این، ماده آلی نقش مهمی در ثبات خاکدانه‌ها ایفا می‌کند.

جدول ۳: تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر بیوجار بر ویژگی‌های خاک SL

منبع تغییرات	درجه آزادی	قابلیت هدایت الکتریکی	واکنش شیمیایی	کربن آلی	جرم مخصوص ظاهری	جرم مخصوص حقیقی	ضریب آبگذری	میانگین وزنی قطر خاکدانه	میانگین هندسی قطر خاکدانه	بعد فرکتال خاکدانه
نوع بیوجار	۱	۳۳۳۳/۳۳۳ ^{NS}	۰/۰۵۶ ^{**}	۰/۰۱۸ [*]	۰/۰۰۰ ^{NS}	۰/۰۰۸ ^{NS}	۱۰۲/۹۶۰ ^{**}	۰/۰۰۰ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}
سطح کاربرد بیوجار	۱	۶۷۲۱/۳۳۳ ^{NS}	۰/۰۲۳ ^{NS}	۰/۰۰۵ ^{NS}	۰/۰۰۰ ^{NS}	۰/۰۰۰ ^{NS}	۳۴/۹۸۷ [*]	۰/۰۰۰ ^{NS}	۰/۰۰۰ ^{NS}	۰/۰۰۲ ^{NS}
نوع * سطح کاربرد بیوجار	۱	۱۰۷۹۲۰/۳۳۳ ^{NS}	۰/۰۱۱ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰ ^{NS}	۰/۰۰۳ ^{NS}	۳۷/۷۷۲ [*]	۰/۰۰۷ ^{NS}	۰/۰۰۲ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}
خطا	۱۴	۴۷۱۷۸/۷۳۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳ ^{NS}	۰/۰۰۳ ^{NS}	۴/۱۵۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲

جدول ۴: تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر بیوجار بر ویژگی‌های خاک L

منبع تغییرات	درجه آزادی	قابلیت هدایت الکتریکی	واکنش شیمیایی	کربن آلی	جرم مخصوص ظاهری	جرم مخصوص حقیقی	ضریب آبگذری	میانگین وزنی قطر خاکدانه	میانگین هندسی قطر خاکدانه	بعد فرکتال خاکدانه
نوع بیوجار	۱	۲۲۴۱/۳۳۳ ^{NS}	۰/۰۴۷ ^{**}	۰/۰۱۲ [*]	۰/۰۰۰ ^{NS}	۰/۰۰۰ ^{NS}	۵/۲۲۷ ^{**}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰ ^{NS}	۰/۰۰۰ ^{NS}
سطح کاربرد بیوجار	۱	۱۲۱۶۰/۳۳۳ ^{NS}	۰/۰۰۰ ^{NS}	۰/۰۶۷ ^{**}	۰/۰۰۲ ^{NS}	۰/۰۰۹ ^{NS}	۰/۰۲۸ [*]	۰/۰۵۱ ^{**}	۰/۰۰۳ ^{NS}	۰/۰۰۵ ^{NS}
نوع * سطح کاربرد بیوجار	۱	۵۲۸۰۱/۳۳۳ [*]	۰/۰۲۳ ^{**}	۰/۰۲۷ ^{**}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۷ ^{NS}	۰/۲۵۸ [*]	۰/۰۷۰ ^{**}	۰/۰۰۶ [*]	۰/۰۰۹ [*]
خطا	۱۴	۷۱۵۲/۱۳۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۳ ^{NS}	۰/۰۹۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲

جدول ۵: تأثیر نوع و سطح کاربرد بیوچار بر برخی ویژگی های خاک SL

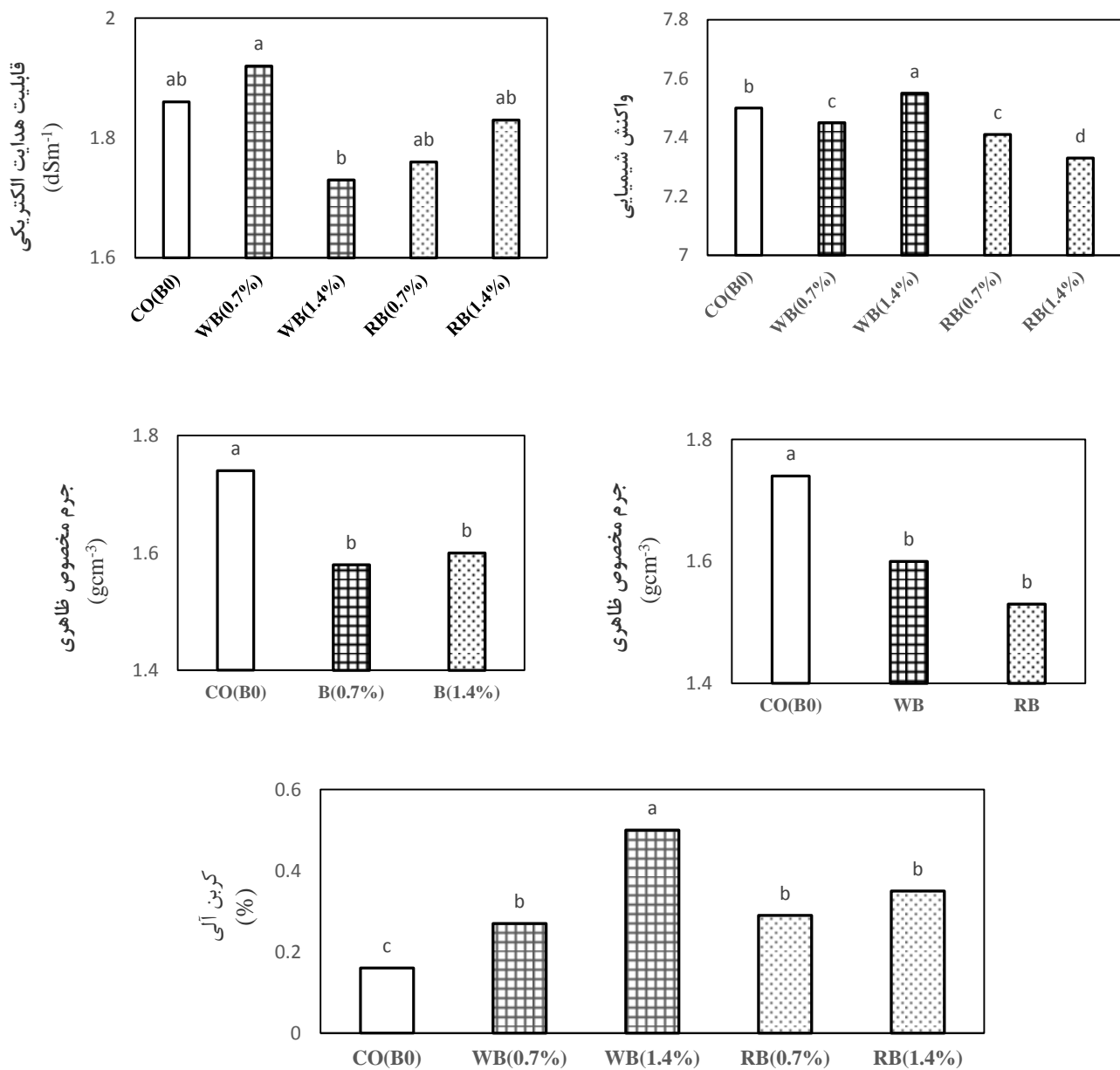
کربن آلی (%)	واکنش شیمیایی	قابلیت هدایت الکتریکی (dSm ⁻¹)	
۰/۲۱ ^c	۷/۴۵ ^{ab}	۱۴۶۳/۷ ^a	شاهد (بدون بیوچار)
۰/۳۸ ^a	۷/۵۳ ^a	۱۲۶۶/۸ ^a	بیوچار چوب
۰/۳۰ ^b	۷/۴۰ ^b	۱۲۳۳/۵ ^a	بیوچار پوسته شلتوک برنج
کربن آلی (%)	واکنش شیمیایی	قابلیت هدایت الکتریکی (dSm ⁻¹)	
۰/۲۱ ^b	۷/۴۵ ^a	۱۴۶۳/۷ ^a	شاهد (بدون بیوچار)
۰/۳۳ ^a	۷/۴۲ ^a	۱۲۷۳/۸ ^a	۰/۷
۰/۳۶ ^a	۷/۵۱ ^a	۱۲۲۶/۵ ^a	۱/۴

(حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی دار میانگین ها در سطح احتمال پنج درصد می باشد.)

۴-۴- اثر بیوچار بر خصوصیات فیزیکی خاک ها

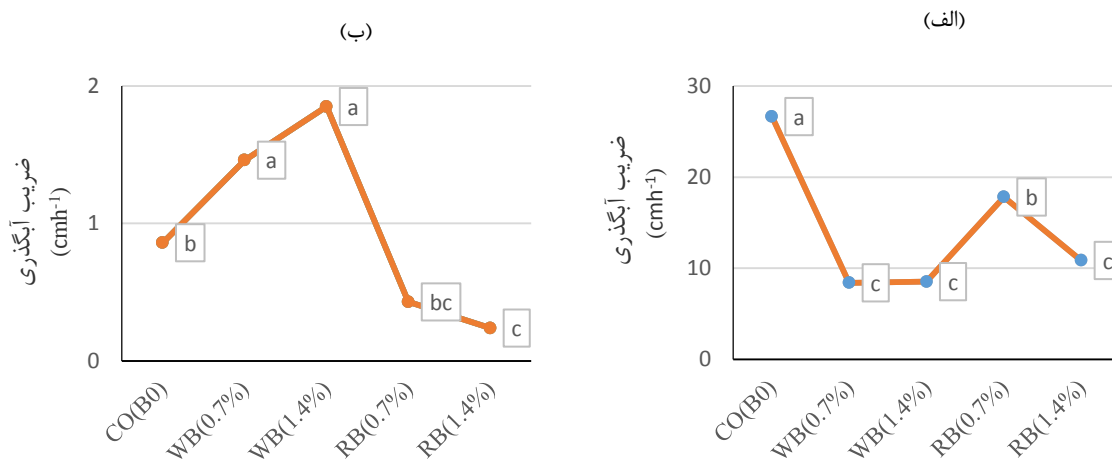
۴-۴-۱- اثر بیوچار بر ضریب آبگذری

براساس نتایج بدست آمده در این تحقیق، ضریب آبگذری در خاک SL، در هر دو سطح کاربرد بیوچار چوب و پوسته شلتوک برنج به طور معنی دار، کمتر از تیمار شاهد بود (شکل ۶). در خاک L، ضریب آبگذری در هر دو سطح کاربرد بیوچار چوب به طور معنی دار بیشتر از تیمار شاهد بود با این حال سطح ۱/۴ درصد بیوچار پوسته شلتوک برنج موجب کاهش معنی دار ضریب آبگذری خاک در مقایسه با تیمار شاهد شد (شکل ۶). کاربرد هر دو بیوچار موجب کاهش ضریب آبگذری خاک SL شد. سطوح ۰/۷ و ۱/۴ درصد بیوچار چوب سرشاخه های درخت زبان گنجشک موجب کاهش حدوداً ۶۸٪ ضریب آبگذری خاک شدند در حالی که این کاهش در مورد سطح ۰/۷ و ۱/۴ درصد بیوچار پوسته شلتوک برنج به ترتیب ۳۳ و ۵۹ درصد بود. اما در خاک L کاربرد سطوح ۰/۷ و ۱/۴ درصد بیوچار چوب سرشاخه های هرس شده درخت زبان گنجشک موجب افزایش معنی دار ۷۰ و ۱۱۵ درصدی ضریب آبگذری شدند. در حالی که سطوح ۰/۷ و ۱/۴ درصد بیوچار پوسته شلتوک برنج موجب کاهش ضریب آبگذری خاک L شد اگرچه تفاوت سطح ۰/۷ درصد بیوچار پوسته شلتوک برنج با تیمار شاهد معنی دار نبود. Barnes و همکاران (۲۰۱۴) گزارش دادند که استفاده از بیوچار تولید شده از چوب کهور در دو خاک شنی و رسی باعث شد که ضریب آبگذری خاک رسی، ۳۰۰ درصد افزایش پیدا کند اما در مقابل کاربرد بیوچار در خاک شنی باعث کاهش ۹۲ درصدی ضریب آبگذری خاک شد. براساس نتایج دیگر مطالعات، افزودن بیوچار ممکن است بطور قابل توجه باعث کاهش و یا بدون اثر گذاری بر ضریب آبگذری در خاک هایی با بافت درشت از قبیل لوم شنی یا شنی شود (Githinji, 2013 & Barnes et al, 2014). خاک SL دارای ضریب آبگذری بسیار زیادی بود که می تواند مانعی برای نگهداری رطوبت در خاک باشد و بنابراین کاهش آن در اثر کاربرد بیوچار می تواند دستیافتی مهم باشد. بالعکس ضریب آبگذری خاک L نسبتاً کم بود و افزایش آن در اثر کاربرد بیوچار چوب سرشاخه های درخت زبان گنجشک می تواند موجب کاهش قابل توجه تولید رواناب شود. نتایج مطالعه متاآنالیز در مورد اثرات بیوچار بر ویژگی های آبی خاک، نشان داد که کاربرد بیوچار در خاک های درشت بافت از طریق تبدیل منافذ درشت (منافذ عبور آب) به منافذ متوسط و ریز (منافذ ذخیره آب) موجب کاهش ضریب آبگذری و افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک می شود. در حالی که کاربرد بیوچار در خاک های ریز بافت می تواند با تبدیل منافذ بسیار ریز به منافذ ریز و درشت و افزایش تشکیل خاکدانه های درشت موجب باز شدن مسیر عبور آب و افزایش ضریب آبگذری و کاهش رواناب گردد (Edeh et al., 2020).



شکل ۵: اثر متقابل نوع و سطح کاربرد بیوچار بر خصوصیات خاک L

CO(B0): تیمار شاهد (بدون بیوچار)، RB و WB: تیمار بیوچار چوب سرشاخه های هرس شده درخت زبان گنجشک و بیوچار پوسته شلتوک برنج، B(0.7) و B(1.4): سطح ۰/۷ و ۱/۴ درصد بیوچار، WB(0.7) و WB(1.4): سطح ۰/۷ و ۱/۴ درصد بیوچار چوب سرشاخه های درخت زبان گنجشک، RB(0.7) و RB(1.4): سطح ۰/۷ و ۱/۴ درصد بیوچار پوسته شلتوک برنج (حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی دار میانگین ها در سطح احتمال پنج درصد می باشد).



شکل ۶: اثر متقابل نوع و سطح کاربرد بیوچار بر ضریب آبگذری الف) خاک SL و ب) خاک L

CO(B0): تیمار شاهد (بدون بیوچار)، WB(0.7) و WB(1.4): سطح ۰/۷ و ۱/۴ درصد بیوچار چوب سرشاخه‌های درخت زبان

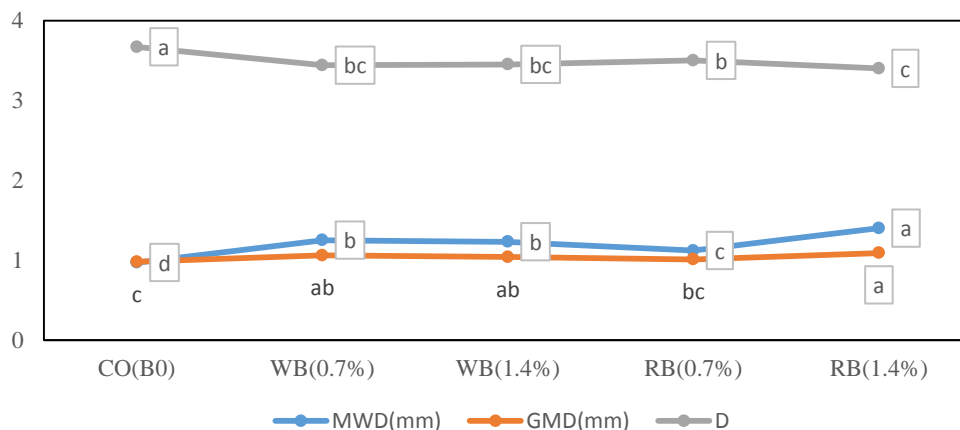
گنجشک، RB(0.7) و RB(1.4): سطح ۰/۷ و ۱/۴ درصد بیوچار پوسته شلتوک برنج

(حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد)

۲-۴-۴- اثر بیوچار بر نمایه‌های پایداری خاکدانه

براساس نتایج به‌دست آمده، هیچ‌یک از بیوچارها بر پایداری خاکدانه در خاک SL تأثیر نداشتند اما میانگین وزنی قطر خاکدانه در تمامی سطوح کاربرد بیوچار چوب و پوسته شلتوک برنج به طور معنی‌دار بیشتر از تیمار شاهد بود. میانگین هندسی قطر خاکدانه تمامی سطوح کاربرد بیوچار چوب و سطح ۱/۴ درصد بیوچار پوسته شلتوک برنج به طور معنی‌دار بیشتر از تیمار شاهد بود. با وجود بیشتر بودن میانگین هندسی قطر خاکدانه در تیمار ۰/۷ درصد بیوچار پوسته شلتوک در مقایسه با تیمار شاهد، این تفاوت معنی‌دار نبود. بعد فرکتال در تمامی سطوح کاربرد بیوچار چوب و پوسته شلتوک برنج به طور معنی‌دار کمتر از تیمار شاهد بود (شکل ۷). در خاک L، سطح ۰/۷ و ۱/۴ درصد بیوچار چوب سرشاخه‌های هرس شده درخت زبان گنجشک به ترتیب موجب افزایش ۲۹ و ۲۷ درصدی میانگین وزنی قطر خاکدانه شدند که در مورد بیوچار پوسته شلتوک برنج، این افزایش ۱۵ و ۴۴ درصد بود (شکل ۷). علاوه بر میانگین وزنی قطر خاکدانه، افزایش میانگین هندسی قطر و کاهش بعد فرکتال خاکدانه در تیمارهای بیوچار مشاهده شد (شکل ۷). بعد فرکتال خاکدانه‌ها، فاکتور مهمی در توزیع اندازه خاکدانه‌ها است. خاکدانه‌ها هر چه پایدارتر باشند، بعد فرکتال کوچکتر است. در مقابل، خاکدانه‌های ناپایدار بیشتر خرد می‌شوند و بعد فرکتال بزرگتری دارند که منعکس‌کننده نامطلوبی ساختمان خاک است (Caruso et al., 2011). پایداری خاکدانه یک پارامتر کلیدی کیفیت خاک است که حساسیت به سله‌بندی و فرسایش را تعیین می‌کند. پایداری زیاد خاکدانه، نشان‌دهنده مقاومت بالا نسبت به فرسایش و غلبه خاکدانه‌های درشت می‌باشد (Padian et al., 2016). کاربرد بیوچار به ویژه سطح ۱/۴ درصد بیوچار پوسته شلتوک برنج موجب افزایش پایداری خاکدانه‌ها در خاک L با بافت لوم شد اما اثر معنی‌داری بر خاک SL با بافت لوم شن نداشت. این امر می‌تواند به این دلیل ایجاد شود که ذرات با قطر کوچکتر از ۰/۰۵ میلی‌متر، کمتر در خاک لوم شن دیده می‌شوند. افزایش ماده آلی می‌تواند موجب افزایش پایداری خاکدانه و کاهش هدررفت خاک شود (Lado et al., 2004). زمانی که درصد رس در خاک زیاد باشد، نقش ماده آلی کامل می‌شود. ذرات رس سطح ویژه زیادی داشته و در نتیجه انرژی آزاد فراوانی برای پایداری دارند این انرژی باید به کمترین سطح خود برسد که فلوکوله شدن ذرات رس و تشکیل خاکدانه‌ها که سطح کمتری در واحد حجم دارند به کاهش این انرژی کمک می‌کند (Ghorbani et al., 2019). بیوچار به طور معنی‌داری شاخص‌های پایداری خاکدانه را در خاک L که از ذرات رس و سیلت بیشتری در مقایسه با خاک SL تشکیل شده بود افزایش داد و هیچ اثری بر خاک لوم شنی که دارای ذرات شن بیشتری بود نداشت. این تفاوت می‌تواند همچنین به دلیل نقش رس به عنوان یک خاکدانه‌ساز در اتصال مولکول‌های آلی از طریق کاتیون‌های دو و چند ظرفیتی (از قبیل کلسیم، آلومینیوم و آهن) باشد که منجر به تشکیل خاکدانه‌های درشت و تقویت خاکدانه‌سازی می‌گردد (Jien and Wang 2013). همچنین این امر می‌تواند به دلیل درصد بیشتر ذرات

کوچکتر از ۰/۰۵ میلی‌متر (سیلت و رس) در بافت لوم در مقایسه با شن لوم باشد. برخی محققین، غلظت زیاد کربن فعال بر روی سطح ذرات کوچکتر از ۰/۰۵ میلی‌متر را در خاک‌های تیمار شده با بیوچار گزارش دادند (Liu et al., 2017). این نشان می‌دهد که ذرات کوچکتر از ۰/۰۵ میلی‌متر، ذرات کربن سیاه (بیوچار) را به سایر ترکیبات آلی ترجیح می‌دهند (Li, Li et al., 2016) و همکاران (۲۰۱۷) اثر بیوچار کاه گندم را بر روی یک خاک لوم رس مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که سطح کاربرد ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ تن در هکتار بیوچار به طور معنی‌دار باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان ۱۲، ۱۷، ۲۷ و ۳۷ درصد شده است. در مطالعه‌ای دیگر، Wang و همکاران (۲۰۱۷b)، اثر دو نوع بیوچار پوسته گردو و خرده چوب بر پایداری خاکدانه‌های دو خاک لوم سیلت و لوم شن را بررسی کردند که نتایج آن پژوهش نشان داد که در خاک لوم سیلت، بیوچار حاصل از خرده چوب و پوسته گردو به ترتیب باعث افزایش ۲۱۷ و ۱۲۷ درصد پایداری خاکدانه‌ها شدند که بیوچار خرده چوب نسبت به بیوچار پوسته گردو موفق‌تر عمل کرده و دو نوع بیوچار اثر معنی‌داری بر روی پایداری خاکدانه‌های خاک لوم شنی نداشتند.



شکل ۷: اثر متقابل نوع و سطح کاربرد بیوچار بر میانگین وزنی، هندسی و بعد فرکتال خاکدانه‌ها در خاک L

CO(B0): تیمار شاهد (بدون بیوچار)، WB(0.7) و WB(1.4): سطح ۰/۷ و ۱/۴ درصد بیوچار چوب سرشاخه‌های درخت زبان

گنجشک، RB(0.7) و RB(1.4): سطح ۰/۷ و ۱/۴ درصد بیوچار پوسته شلتوک برنج

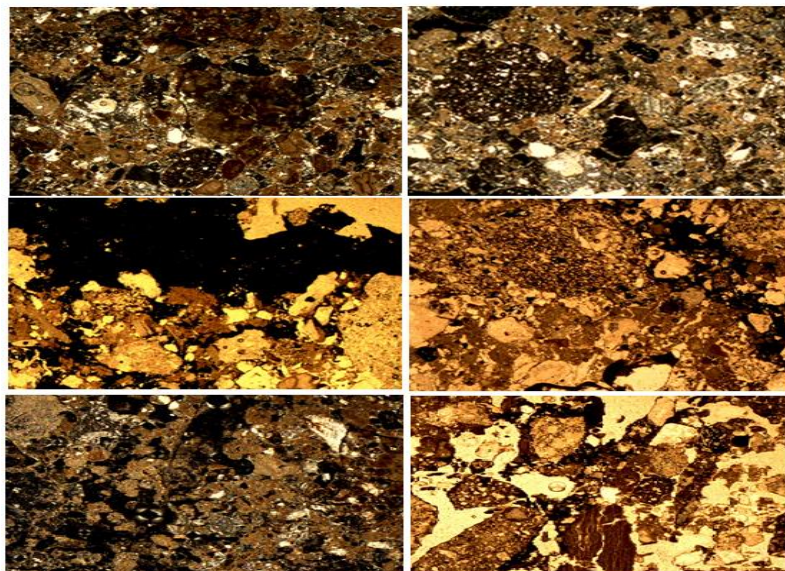
(حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد).

۴-۴-۳- اثر بیوچار بر جرم مخصوص ظاهری و حقیقی

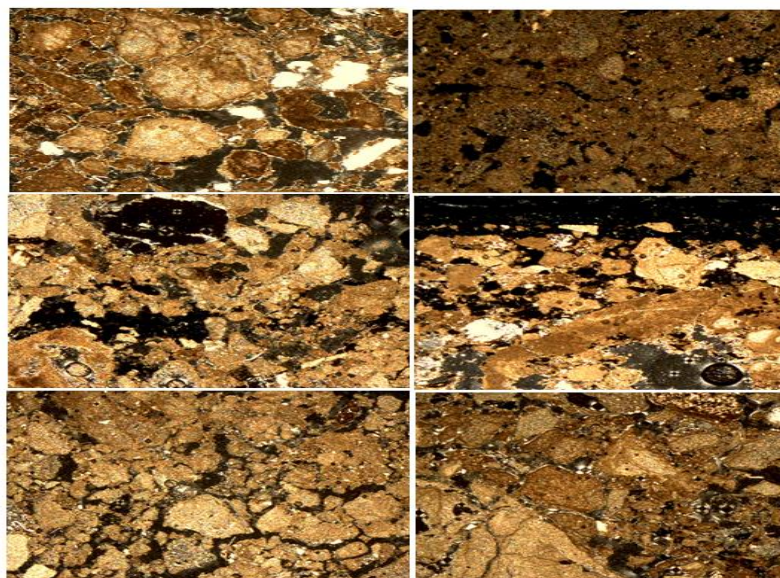
در هیچ یک از خاک‌ها، تأثیر منابع تغییرات شامل نوع، سطح و اثر متقابل نوع و سطح کاربرد بیوچار بر جرم مخصوص ظاهری و حقیقی معنی‌دار نبود (جدول ۳ و ۴). اما مقایسه میانگین نشان داد که جرم مخصوص ظاهری در خاک L در تیمار بیوچار چوب و تیمار پوسته شلتوک برنج به طور معنی‌دار کمتر از تیمار شاهد بود (شکل ۵). بیوچار در خاک L که اندازه ذرات کوچکتر و ماده آلی کمتری دارد در کاهش جرم مخصوص ظاهری بهتر عمل کرده است. جرم مخصوص ظاهری خاک در اثر کاربرد بیوچار چوب سرشاخه‌های هرس شده درخت زبان گنجشک و پوسته شلتوک برنج به ترتیب حدود ۹ و ۱۲ درصد کاهش یافت. کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در اثر کاربرد بیوچار در مطالعات مختلف گزارش شده است (Pereira et al, 2012). (Trifunovic et al, 2018) & نتایج دیگر مطالعات نشان داد که بیوچار حاصل از پوسته شلتوک برنج می‌تواند جرم مخصوص ظاهری خاک را بعد از انکوباسیون ۲ ساله به مقدار ۱۸ درصد کاهش دهد (Oladele, 2019). جرم مخصوص ظاهری شاخص مهمی از لحاظ ساختمان خاک، تراکم و کیفیت آن است. جرم مخصوص ظاهری بر تعامل گیاه و خاک از قبیل عمق ریشه‌دوانی، انتقال اکسیژن و سایر گازها، نفوذ و دسترسی آب و فعالیت موجودات خاکزی تأثیر می‌گذارد. جرم مخصوص بیوچار معمولاً کمتر از ۰/۱۶ گرم بر سانتی متر مکعب و کمتر از جرم مخصوص ظاهری خاک است، بنابراین مکانیسم اصلی کاهش جرم مخصوص ظاهری در خاک‌های اصلاح شده، اثر رقت می‌باشد (Blanco-Canqui 2017). علاوه بر این به دلیل تعامل بین ذرات خاک و بیوچار و همچنین اثر تهویه ای بر جوامع میکروبی خاک، می‌تواند باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک گردد که به بهبود پایداری خاکدانه‌ها کمک می‌کند. انتظار می‌رود که کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک L به دلیل رابطه معکوس آن با تخلخل خاک منجر به افزایش تخلخل خاک شود.

۴-۵- اثر بیوجار بر ویژگی‌های میکرومورفولوژیکی خاک‌ها

تصاویر حاصل از بررسی میکروسکوپی مقاطع نازک خاک‌های مورد مطالعه در شکل‌های ۸ و ۹ ارائه شده است. مقایسه ویژگی‌های مورفولوژیکی خاک شامل وجود خلل و فرج و ساختمان خاک و وضعیت توسعه آن نشان‌دهنده بهبود موارد فوق در اثر کاربرد هر دو بیوجار تولیدی از چوب سرشاخه‌های هرس‌شده درخت زبان گنجشک و پوسته شلتوک برنج است.



شکل ۷: ریزساختمان و حفرات در خاک SL: ساختمان تک‌دانه متراکم در تیمار شاهد، ساختمان تک‌دانه در تیمار شاهد، ساختمان در حال تشکیل در تیمار ۰/۷ درصد بیوجار چوب، ساختمان دانه‌ای در تیمار ۱/۴ درصد بیوجار چوب، ریزساختمان در تیمار ۰/۷ درصد بیوجار پوسته شلتوک برنج، ریزساختمان و حفرات آرایشی مرکب در تیمار ۱/۴ درصد بیوجار پوسته شلتوک برنج (به ترتیب از بالا به پایین و از راست به چپ)



شکل ۸: ریزساختمان و حفرات در خاک L: ساختمان واگی در تیمار شاهد، ساختمان تک‌دانه در تیمار شاهد، ساختمان در حال تشکیل در تیمار ۰/۷ درصد بیوجار چوب، ساختمان نسبتاً پایدار در تیمار ۱/۴ درصد بیوجار چوب، ریزساختمان در تیمار ۰/۷ درصد بیوجار پوسته شلتوک برنج، حفرات آرایشی مرکب در تیمار ۱/۴ درصد بیوجار پوسته شلتوک برنج، (به ترتیب از بالا به پایین و از راست به چپ)

۵- بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که بیوچار تولیدی از چوب سرشاخه‌های هرس‌شده درخت زبان گنجشک (WB) و پوسته شلتوک برنج (RB) احتمالاً دارای دوام طولانی‌مدت در خاک خواهند بود. از آنجائی که توقف کربن در خاک به عنوان راه‌کاری مؤثر جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به شمار می‌رود بنابراین تولید بیوچار از پسماندهای زراعی و باغی از قبیل پوسته شلتوک برنج و سرشاخه‌های هرس‌شده درختان می‌تواند اقدام مدیریتی مناسبی جهت مبارزه با پدیده گرم شدن کره زمین باشد. در مورد اثرات کاربرد بیوچار چوب سرشاخه‌های هرس‌شده درخت زبان گنجشک (WB) و پوسته شلتوک برنج (RB) به صورت سوسپانسیون آبی بر روی دو خاک مورد مطالعه (SL و L) نیز، یافته‌های این تحقیق نشان داد که: نمایه‌های پایداری خاکدانه و جرم مخصوص ظاهری در خاک SL تغییر نکرد اما در خاک L بهبود یافت. اگرچه بررسی میکروسکوپی مقاطع نازک هر دو خاک SL و L بیانگر بهبود نسبی ساختمان خاک بود، براساس وجود شواهدی مبنی بر توسعه ساختمان خاک در اثر کاربرد بیوچار در خاک SL، ممکن است زمان شش ماهه انکوباسیون در این مطالعه جهت بهبود معنی‌دار شاخص‌های پایداری خاکدانه در خاک SL کافی نبوده است. کاربرد هر دو بیوچار در هر دو خاک موجب بهبود میزان کربن آلی خاک شدند اما میزان افزایش کربن آلی در خاک SL < L بود. ضریب آب‌گذری در خاک SL و L به ترتیب کاهش و افزایش یافت و اثر بخشی بیوچارها در بهبود میزان کربن آلی و ضریب آب‌گذری خاک به صورت $RB < WB$ بود. بنابراین در مجموع می‌توان گفت که انواع مختلف بیوچار، تأثیر مشابهی را در یک خاک خاص اعمال نمی‌کنند و به همین ترتیب، یک نوع بیوچار هم نمی‌تواند بر روی انواع خاک‌ها تأثیر یکسانی داشته باشد و این به دلیل تأثیر چشمگیر نوع مواد اولیه و شرایط پیرولیز بر روی خصوصیات بیوچار و تفاوت بین ویژگی‌های اولیه خاک‌های مختلف است. اما، نتایج مطالعات نشان داد که با کاربرد بیوچار به صورت سوسپانسیون آبی می‌توان علاوه بر اجتناب از دست‌خوردگی و تخریب خاک به ویژه خاک‌های حساس به فرسایش، موجب توقف طولانی مدت کربن در خاک و بهبود ویژگی‌های مهم تأثیرگذار بر کیفیت خاک و همچنین استفاده پایدار از پسماندهای زراعی و باغی شد.

۶- سپاس‌گزاری

این پژوهش در قالب طرح تحقیقاتی مصوب به شماره ۱۳۲۴ و با حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه گیلان انجام شده است.

فهرست منابع

1. Abbas, M., Ijaz, S.S., Ansar, M., Hussain, Q., Hassan, A., Akmal, M., Tahir, M., Iqbal, M., Bashir, K. 2019. Impact of biochar with different organic materials on carbon fractions, aggregate size distribution, and associated polysaccharides and soil moisture retention in an arid soil. *Arabian Journal of Geosciences*. 12(20): p.626.
2. Amini, S., Ghadiri, H., Chen, C., Marschner, P. 2016. Salt-affected soils, reclamation, carbon dynamics, and biochar: a review. *Journal of Soils and Sediments*. 16: 939–953.
3. Barnes, R.T., Gallagher, M.E., Masiello, C.A., Liu, Z., Dugan, B. 2014. Biochar-Induced changes in soil hydraulic conductivity and dissolved nutrient fluxes constrained by laboratory experiments. *plos one journal*. 9 (9): e108340.
4. Blanco-Canqui, H. 2017. Biochar and soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal*. 81(4): 687-711.
5. Caruso, T., Barto, E.K., Siddiky M.R.K., Smigelski, J., Rillig, M.C. 2011. Are power laws that estimate fractal dimension a good descriptor of soil structure and its link to soil biological properties? *Soil Biology and Biochemistry*. 43(2): 359-366.
6. Cui, L., Noerpel, M.R., Scheckel, K.G., Ippolito, J.A. 2019. Wheat straw biochar reduces environmental cadmium bioavailability. *Environment International*. 126: 69–75.
7. Dai, Z., Zhang, X., Tang, C., Muhammad, N., Wu, J., Brookes, P.C., Xu, J. 2017. Potential role of biochars in decreasing soil acidification-a critical review. *Science of the Total Environment*. 581- 582, 601–611.

8. Doan, T.T., Henry-des-Tureaux, T., Rumpel, C., Janeau, J.L., Jouquet, P. 2015. Impact of compost, vermi compost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: a three year mesocosm experiment. *Science of the Total Environment*. 514: 147-154.
9. Edeh, I.G., Mašek, O., Buss, W. 2020. A meta-analysis on biochar's effects on soil water properties –New insights and future research challenges. *Science of the Total Environment* . <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136857>
10. Gee, G.W., Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. In: Klute, A. (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. Agron. Monogr. 9. 2nd edition. ASA and SSSA. Madison. WI. 404–408.
11. Githinji, L., 2013. Effect of biochar application rate on soil physical and hydraulic properties of a sandy loam. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 457–470.
12. Ghorbani, M., Asadi, H., Abrishamkesh, S. 2019. Effects of rice husk biochar on selected soil properties and nitrate leaching in loamy sand and clay soil. *International Soil and Water Conservation Research*. 7: 258-265.
13. Ghorbani, M., Amirahmadi, E. 2018. Effect of Rice Husk Biochar on Some Physical Characteristics of Soil and Corn Growth in a Loamy Soil. *Iranian Journal of soil research*. 32: 305-318. (in Persian).
14. Grossman, R.B., Reinsch, T.G. 2002. Bulk Density. In: Dane, J.H., Topp, G.C. *Methods of soil analysis. Physical methods*. Soil Science Society of America. Inc. Madison. Wisconsin. USA. 4: 210-207.
15. Jien, S. H., Wang, C. S. 2013. Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. *Catena*. 110: 225-233
16. Kim, H.S., Kim, K.R., Yang, J.E., Ok, Y.S., Owens, G., Nehls, T., Wessolek, G., Kim, K.H. 2016. Effect of biochar on reclaimed tidal land soil properties and maize (*Zea mays L.*) response. *Chemosphere*. 142: 153–159.
17. Kuhlbusch, T.A., Crutzen, P.J. 1996. Black carbon, the global carbon cycle, and atmospheric carbon dioxide. *Biomass Burning and Global Change*. 1: 160-169.
18. Lado, M. Ben-Hur, M. Shainberg, I. 2004. Soil wetting and texture effects on aggregate stability, seal formation, and erosion. *Soil Science Society of America Journal*. 68(6): 1992-1999.
19. Lehmann, J. 2007. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 5: 381-387.
20. Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C., Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota—a review. *Soil Biology and Biochemistry*. 43(9): 1812–1836.
21. Li, Y., Zhang, F., Yang, M., Zhang, J., 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.
22. Li, Z.W., Liu, C., Dong, Y.T., Chang, X.F., Nie, X.D., Liu, L., Xiao, H.B., Lu, Y.M., Zeng, G.M. 2017. Response of soil organic carbon and nitrogen stocks to soil erosion and land use types in the Loess hilly-gully region of China. *Soil and Tillage Research*. 166: 1-9.
23. Li, J. H., Lv, G. H., Bai, W. B., Liu, Q., Zhang, Y. C., Song, J. Q. 2016. Modification and use of biochar from wheat straw (*Triticum aestivum L.*) for nitrate and phosphate removal from water. *Desalination and Water Treatment*, 57(10): 4681-4693.
24. Liu, S., Meng, J., Jiang, L., Yang, X., Lan, Y., Cheng, X., Chen, W. 2017. Rice husk biochar impacts soil phosphorous availability, phosphatase activities and bacterial community characteristics in three different soil types. *Applied Soil Ecology*. 116: 12–22.
25. Mandelbrot, B. B. 1982. *The fractal geometry of nature*. W. H. Freeman, San Francisco, CA.

26. Mangrich, A.S., Cardoso, E.M.C., Doumer, M.E., Romao, L.P.C., Vidal, M., Rigol, A., Novotny, E.H. 2015. Improving the water holding capacity of soils of northeast brazil by biochar augmentation. ACS Symposium Series. 1206: 339-354.
27. Munda, S., Bhaduri, D., Mohanty, S., Chatterjee, D., Tripathi, R., Shahid, M., Kumar, U., Bhattacharyya, P., Kumar, A., Adak, T., Jangde, H.K. 2018. Dynamics of soil organic carbon mineralization and C fractions in paddy soil on application of rice husk biochar. Biomass and bioenergy. 115: 1-9.
28. Nelson, D.W., Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Methods of soil analysis: Part 3. Chemical Methods. 5: 961-1010.
29. Nimmo, J.R., Perkins, K.S. 2002. Wet Aggregate Stability. In: Dane, J.H., Topp, G.C. Methods of soil analysis. Physical methods. Soil Science Society of America. Inc. Madison. Wisconsin. USA. 4: 321-323.
30. Obia, A., Mulder, J., Martinsen, V., Cornelissen, G., Borresen, 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.
31. Oladele, S.O. 2019. Changes in physicochemical properties and quality index of an Alfisol after three years of rice husk biochar amendment in rainfed rice–Maize cropping sequence. Geoderma. 353: 359-371.
32. Pandian, K., Subramaniyan P., Gnasekaran P., Chitraputhirapillai, S. 2016. Effect of biochar amendment on soil physical, chemical and biological properties and groundnut yield in rainfed Alfisol of semi-arid tropics. Archives of Agronomy and Soil Science. 62(9): 1293-1310.
33. Pereira, R.G., Heinemann, A.B., Madari, B.E., de Melo Carvalho, M.T., Kliemann, H.J., dos Santos, A.P. 2012. Transpiration response of upland rice to water deficit changed by different levels of eucalyptus biochar. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 47 (5): 716–721.
34. Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A.R., Lehmann, J. 2011. 21 Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to 22 a temperate soil. Biology and Fertility of Soils. 48: 271-284.
35. Razzaghi, F., Rezaie, N. 2017. Effects of different levels of biochar on soil physical properties with different textures. Journal of water and soil resources conservation. 7: 75-88. (in Persian)
36. Reynolds, W.D. 2002. Hydraulic Conductivity. In: Dane, J.H., Topp, G.C. Methods of soil analysis. Physical methods. Soil Science Society of America. Inc. Madison. Wisconsin. USA. 4: 802-809.
37. Saifullah, D., Naeem, A., Rengel, Z., Naidu, R. 2018. Biochar application for the remediation of salt-affected soils: Challenges and opportunities. Science of The Total Environment. 625: 320-335.
38. Schmidt, M.W.I., Noack, A.G. 2000. Black carbon in soils and sediments: analysis, distribution, implication and current challenges. Global Biogeochemical Cycles. 14: 777-793.
39. Serkalem, W.M. 2015. Effect of Prosopis juliflora biochar amendment on some soil properties: the case of Salic Fluvisols from Melkawerer Research Station, Ethiopia. Research Thesis. Addis Ababa University, Ethiopia.
40. Somerville, P.D., Farrell, C., May, P.B., Livesley, S.J. 2020. Biochar and compost equally improve urban soil physical and biological properties and tree growth, with no added benefit in combination. Science of The Total Environment. 706: 135736.
41. Spokas, K.A. 2010. Review of the stability of biochar in soils: predictability of O:C molar ratios. Carbon Management. 1(2): 289-303.
42. Trifunovic, B., Gonzales, H.B., Ravi, S., Sharratt, B.S., Mohanty, S.K. 2018. Dynamic effects of biochar concentration and particle size on hydraulic properties of sand. Land Degradation & Development. 29 (4): 884–893.

43. Tripathi, M., Sahu, J.N., Ganesan, P. 2016. Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 55: 467-481.
44. Troeh, F. R., Thompson, L. M., 2005. *Soils and Soil Fertility*, Blackwell Publishing, Iowa.
45. Tyler, S.W., Wheatcraft, S.W. 1992. Fractal scaling of soil particle-size distributions: analysis and limitations. *Soil Science Society of America Journal*. 56: 362-369.
46. Uzoma, K.C., Inoue, M., Andry, H., Zahoor, A., Nishihara, E. 2011. Influence of biochar application on sandy soil hydraulic properties and nutrient retention. *Journal of the Science of Food, Agriculture and Environment*. 9: 1137-1143.
47. Wang, S., Shan, J., Xia, Y., Tang, Q., Xia, L., Lin, J., Yan, X. 2017a. Different effects of biochar and a nitrification inhibitor application on paddy soil denitrification: a field experiment over two consecutive rice-growing seasons. *Science of the Total Environment*. 593: 347-356.
48. Wang, D., Fonte, S.J., Parikh, S.J., Six, J., Scow, K.M. 2017b. Biochar additions can enhance soil structure and the physical stabilization of C in aggregates. *Geoderma*. 303:110-117.
49. Wong, V.N.L., Dalal, R.C., Greene, R.S.B. 2009 Carbon dynamics of sodic and saline soils following gypsum and organic material additions: a laboratory incubation. *Applied Soil Ecology*. 41: 29-40.
50. Xia, L.Z., Wang, Y.G., Meng, J., Chen, W.F., Zhang, Z.X. 2016. The influencing factors of biochar's characteristics and the development of carbonization equipments: a review. *Communications in Computer and Information Science*. 569: 760-769.
51. Xiu, L., Zhang, W., Sun, Y., Wu, D., Meng, J. Chen, W. 2019. Effects of biochar and straw returning on the key cultivation limitations of Albic soil and soybean growth over 2 years. *Catena*. 173:481-493.
52. Yuan, J.H., Xu, R.K. 2011. The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic Ultisol. *Soil Use and Management*. 27: 110-115.
53. Zhuang, Y.H., Du, C., Zhang, L., Du, Y., Li, S.S. 2015. Research trends and hotspots in soil erosion from 1932 to 2013: a literature review. *Scientometrics*. 105: 743-758.

Effect of biochar suspension application on physicochemical properties of two erosion-prone soils

Sepideh Abrishamkesh¹: Assistant professor, Soil Science department, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Rasht

Mahmood Fazeli Sangani: Assistant professor, Soil Science department, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Rasht

Hasan Ramezanzpour: Associate professor, Soil Science department, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht

Mahdi Noroozi: Ph.D graduate, Soil Science department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz

Abbas Shabany: MSc Student in Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Rasht

Article History (Received: 2020-06-01 Accepted: 2020-07-15)

Extended abstract

1- Introduction

Addition of biochar to soil has been recently considered as an amendment to reduce soil erosion. Biochar contains pyrogenic carbon, which is produced by heating residue of various crops, woods (or in other words various biomass) in restriction or absence of oxygen. Biochar can affect soil organic matter level and aggregate stability. Reduction of soil erosion through maintenance and the increase of organic matter, increase of aggregate stability and improvement of hydraulic conductivity, and enhancement of moisture retention as a result of biochar application should be considered as an important achievement. It is important to study the effect of the different methods of biochar addition to the soil. The method of uniformly mixing biochar with surface soil which has been used in most studies can disturb the natural structure and lead to soil degradation. Therefore, it is an important issue to introduce a practical method that is associated with minimal soil manipulation, especially in erosion-prone soils. The effect of the biochar addition as suspension in water has never been reported in previous studies. Therefore, the aim of this study was to investigate the effects of adding different levels of biochar produced from two types of feedstocks (horticulture and agriculture wastes) in form of aqueous suspension on the properties of two types of erosion-prone soils in southern Guilan.

2- Methodology

Two erosion-prone soils which were undisturbed, were sampled by metal cylinders (diameter and height of 25 and 15 cm, respectively) of marl lands located in southern Guilan. These soils were named as SL and L. Texture of SL and L were sandy loam and loam, respectively. Two types of biochar were produced from different feedstocks including pruned branches of ash tree (*Fraxinus excelsior*) and rice husk by slow pyrolysis at a temperature of 550 °C in a muffle furnace, titled as WB and RB respectively. The yield of biochar was determined based on weight of biochar produced per unit weight of raw material. The amount of ash in the biochar was determined by heating five grams of biochar at 500 °C for more than 8 hours and weighing it again. The pH and electrical conductivity were measured in a mixture of biochar and deionized water with a weight ratio of 1: 20 (biochar: water). The total amount of carbon, hydrogen, and nitrogen in biochars was determined by dry combustion. Two types of produced biochars were milled with a particle size of 63-250 microns, at levels of 0.7 and 1.4% by weight. Three repetitions in the form of aqueous suspensions were added to the cylinders containing undisturbed soil. Three cylinders of soil without biochar were also considered as control treatment. Soil cylinders were placed in a greenhouse for six months at a temperature range of 20-25°C and underwent several cycles of drying and wetting. At the end of incubation period, soil samples were obtained from cylinders. Soil properties including pH, electrical conductivity, organic carbon, hydraulic conductivity and aggregate stability were also measured. Thin sections were also taken out of soils and state of soil structure and voids were studied. The effect of two factors, including biochar type and biochar application level were analyzed as factorial in a completely randomized design by SAS statistical software. The comparison of the means was done by Duncan's test at the probability level of five percent.

¹ Corresponding Author: sabrishamkesh@guilan.ac.ir

3- Results

The WB compared to RB, had a higher yield, and less ash content, pH, electrical conductivity and H/C and O/C. More mineral ash in biochar is likely to provide more electrical conductivity in RB. Both biochar had an alkaline pH (more than 7). The biochar used in previous studies were usually alkaline, but biochar can be produced with any pH in the range of 4 to 12. The raw biomass has a H/C molar ratio of about 1.5, but with the pyrolysis, this ratio decreases. WB had less H/C compared to RB. Therefore, it can be concluded that WB had more aromatic carbon and it can probably be a more effective tool for carbon sequestration in soil. Presence of a lot of pores in biochar, especially WB which were visible in SEM photos, are very effective on vital soil functions such as aeration and hydrology. The organic carbon content of SL and L soils were significantly higher at biochar treatments compared to control. The hydraulic conductivity of SL soil at both application levels of WB and RB was significantly lower than the control. However, both application levels of WB and 1.4% of RB led to significant increase and decreases of hydraulic conductivity of L soil, respectively. The mean comparison showed no difference between bulk density of treatments and application levels of biochar to control treatment of SL soil. However, Bulk density of biochar treated L soils were less than control. Biochar treatment also result in significant increase of: mean weight and geometric mean diameter and decrease of fractal dimension of aggregates in L Soil.

4- Discussion & Conclusions

WB and RB biochars had no significant effects on indexes of soil aggregate stability and bulk density of SL soil, but they led to significant improvement of bulk density and aggregate stability of L Soil. Although, assessment of thin section showed partial improvement of soil structure of both SL and L soils. Therefore, more time than 6 months of incubation probably is needed to significant improve of aggregate stability of SL. Application of both biochars led to increase of organic carbon of both SL and L soils. Hydraulic conductivity was decreased in SL soil as result of both biochar application which can lead to the increase of water retention. Although the increase of hydraulic conductivity of L soils due to WB can be considered as a suitable approach for the decrease of the runoff, Generally, it can be concluded that due to the significant effect of feedstock type on biochar characteristics and different characteristics of soils, various types of biochar do not have a similar effect on a particular soil, therefore, a type of biochar cannot have the same effect on different types of soil.

Key Words: Aggregate Stability, Rice Husk, Pruned Branches of Ash Tree, Injection of biochar Suspension, Organic Carbon.