Archive of SID
DOI: 10.22059/ijswr.2019.267694.668032 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۶، آبان ۱۳۹۸ (ص ۱۳۹۴-۱۳۸۱)

The Effect of Biochar Produced from Plant Residues (Pruning Waste of Trees and Straw) on Some of the Microbiological Indices in Calcareous Soils

NEDA MORADI[1*], MIR HASSAN RASOULI-SADAGHIANI[2], EBRAHIM SEPEHR[3]

1. Ph.D. Graduate of Soil Science, Urmia University and Assistant Prof., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
3. Associate, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
(Received: Oct. 28, 2018- Revised: Jan. 15, 2019- Accepted: Jan. 21, 2019)

ABSTRACT

In order to investigate the effect of biochar on soil carbon mineralization and some of the microbiological indices, an incubation experiment was conducted as a factorial in a completely randomized design with 3 factors: 1. biochar type (apple pruning wastes (AB) and wheat straw (SB) for mineralization) and (apple pruning wastes (AB), grape pruning wastes (GB) and wheat straw (SB) for microbial indices), 2. biochar production temperature (350 and 500 °C) and 3. Soil type (with low organic matter (1) and high organic matter (2)) in three replications. To carry out the experiment, biochars were added to the soils at 2% by weight, and the mixtures were incubated for 90 days under standard laboratory conditions (25±2 °C). Unamended soils (without biochars) were also considered in the experiment as the controls. Respiration values were measured for carbon mineralization at different times in AB and SB and data were fitted to the first order equation and at the end of the incubation period (96 days) some microbiological indices were measured. The results showed that the highest and the lowest carbon mineralization potential (C0) was obtained in the treatment of AB-350 in soil 2 and in soil 1, respectively. The amount of carbon mineralization, bacterial respiration (BR), substrate-induced respiration (SIR), microbial biomass carbon (MBC) and microbial biomass phosphorus (MBP) in the biochar treatments produced at 350 °C were more than the ones produced at 500 °C. Also, the value of biological indicators measured in soil 2 (with high organic matter content) was more than the ones in soil 1 (with low organic matter content). The amount of BR in AB, GB and SB produced at 350 °C were 1.75, 1.24 and 2.27 times greater than the ones in control treatment, respectively. This study provide clear evidence that the application of low temperature biochars (especially SB) improve soil quality. Generally, pyrolysis temperature, biochar type and soil type were the key factors affecting biological indices.

Keywords: Biochar, Biological indices, Carbon mineralization, Pruning wastes

* Corresponding Author's Email: n.moradi@scu.ac.ir
www.SID.ir

Archive of SID

تاثیر بیوچارهای تولید شده از بقایای گیاهی (هرس درختان و کاه و کلش) بر برخی شاخص‌های میکروبیولوژیکی در خاک‌های آهکی

ندا مرادی[۱]*، میرحسن رسولی صدقیانی[۲] ، ابراهیم سپهر[۳]

۱. دانش آموخته دکتری دانشگاه ارومیه و استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهیدچمران اهواز، اهواز، ایران.

۲. استاد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۳. دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۶- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۰/۲۵- تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۱/۱)

چکیده

به منظور بررسی تاثیر بیوچار ضایعات هرس درختان سیب و کلش گندم بر معدنی شدن کربن خاک و برخی شاخص‌های میکروبیولوژیکی، آزمایش انکوباسیون به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی با ۳ فاکتور: ۱. نوع بیوچار (هرس شاخ و برگ سیب (AB) و کاه و کلش گندم (SB) برای آزمایش معدنی‌شدن کربن و (ضایعات هرس سیب (AB)، ضایعات هرس انگور (GB) و کاه و کلش گندم (SB) برای آزمایش اندازه‌گیری ویژگی‌های میکروبیولوژیکی، ۲. دمای تولید بیوچار (۳۵۰ و ۵۰۰ درجه سلسیوس) و ۳. نوع خاک (با ماده آلی پایین (۱) و ماده آلی بالا (۲)) با سه تکرار اجرا گردید. برای اجرای آزمایش ابتدا مقدار ۲ درصد (وزنی/وزنی) از بیوچارها به خاک‌ها افزوده، سپس برای بررسی معدنی شدن‌کربن در زمان‌های مختلف انکوباسیون، مقدار تنفس در بیوچارهای AB و SB اندازه‌گیری گردید و داده‌های حاصل به معادله سنتیکی مرتبه اول برازش داده شدند و در پایان دوره انکوباسیون (۹۶ روز) برخی شاخص‌های میکروبیولوژیکی نیز اندازه‌گیری گردیدند. نتایج نشان داد، بیشترین پتانسیل معدنی شدن کربن (C_0) در تیمار AB-350 در خاک ۲ و کمترین مقدار آن در خاک ۱ بود. مقدار معدنی‌شدن کربن، تنفس باکتریایی (BR)، تنفس برانگیخته با سوبسترا (SIR)، کربن زیست توده میکروبی (MBC) و فسفر زیست توده میکروبی (MBP) در تیمارهای بیوچار تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس بیشتر از بیوچارهای تولیدی در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس بود. همچنین مقدار شاخص‌های میکروبی اندازه‌گیری شده در خاک ۲ با مقدار ماده آلی بالا بیشتر از خاک ۱ بود. مقدار BR در بیوچار ضایعات هرس سیب، هرس انگور و کاه و کلش گندم تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه‌سانتی‌گراد در مقایسه با شاهد به ترتیب ۱/۷۵، ۱/۲۴ و ۲/۲۷ برابر بیشتر بود. مطالعه بطور واضح نشان می‌دهد که استفاده از بیوچارهای تولید شده در دمای پایین به خصوص بیوچار SB سبب بهبود کیفیت خاک می‌شود. به‌طور کلی، دمای پیرولیز، نوع بیوچار و نوع خاک فاکتورهای کلیدی تأثیرگذار بر شاخص‌های میکروبی بودند.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های بیولوژیک، معدنی شدن کربن، بقایای هرس، بیوچار

مقدمه

حفظ سطح آستانه موادآلی در خاک با توجه به تاثیرات نامناسب تغییر اقلیمی جهانی بر سلامت خاک و باروری محصول، برای حفظ خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و همچنین محصولات کشاورزی و عملکرد زیست محیطی ضروری است. خاک‌های مناطق مختلف جهان به دلایل متعدد برای انجام عملیات کشاورزی نامناسب شده است. از جمله عوامل نامطلوب می‌توان به کاهش موادآلی اشاره نمود (Qi *et al*., 2017). برای ارزیابی تغییرات عملکردهای خاک و تغییرات آن بهتر است پارامترها و نمایه‌های زیست شیمیایی که نشان دهنده تنوع، توزیع زیستی و چگونگی فعالیت ریزموجودات خاک هستند، مورد استفاده قرار گیرند(Gil-Sotres *et al*., 2005) . Herrick (2000) بیان نمود که شاخص‌های میکروبیولوژیک خاک از جنبه‌های مهم کیفیت خاک هستند و به همین دلیل کیفیت خاک با استفاده از خواص مختلف میکروبیولوژیک نیز اندازه‌گیری می‌شود. اصولاً خاکی که از تنوع و توزیع مناسب میکروبی برخوردار باشد و ریزموجودات آن به خوبی فعالیت کنند، از نظر کیفی در سطح بالایی است. فعالیت آنزیمی و زیست توده میکروبی (کربن و فسفر زیست توده میکروبی) از مهم‌ترین شاخص‌های میکروبی خاک محسوب می‌شوند. ورود موادآلی اصلاح کننده اغلب می‌تواند راهکاری مناسب در بازسازی و بهبود باروری خاک باشد. یکی از راه‌های صحیح و عملی برای بهبود ماده آلی خاک، مدیریت

* نویسنده مسئول: n.moradi@scu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده از ضایعات هرس درختان میوه است که متاسفانه قسمت اعظم آن سوزانده و یا در جایی رها گردیده و از اینرو آلودگی محیط زیست را سبب می‌شود (Cakmak *et al*., 2001; Khanmohammadi *et al*., 2016). حال با توجه به صدمات زیست‌محیطی که این ضایعات وارد می‌کنند، کشورهای توسعه یافته بدنبال روش‌هایی نوین برای کنترل این موضوع هستند. یکی از راه‌کارهای افزایش مواد آلی خاک که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است، پیرولیز بقایای گیاهی و زی‌توده‌ها و تولید بیوچار است (Elzobair *et al*., 2016).

بیوچار، کربن غنی تهیه شده از زیست توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است که طی فرآیند پیرولیز در شرایط کمبود اکسیژن تولید می‌شود (Zhao *et al*., 2015). بیوچار علاوه بر اصلاح خاک از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک (Purakayastha *et al*., 2016)، به عنوان یک جاذب برای حذف آلودگی‌های آلی و غیرآلی استفاده می‌شود (Zhou *et al*., 2016). این ماده به علت سرعت تجزیه بسیار کند نسبت به سایر مواد آلی، ظرفیت زیادی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای از قبیل دی‌اکسید کربن و متان که از ضایعات آزاد می‌شود، دارد و می‌تواند کربن را برای دوره‌های طولانی ذخیره کند. مواد اولیه برای تولید بیوچار می‌تواند شامل مواد چوبی (ضایعات درختان)، ضایعات کشاورزی مانند کاه و کلش و بقایای ذرت، کودهای حیوانی و دیگر مواد آلی باشد (Yang *et al*, 2017).

یکی از ویژگی‌های مهم بیوچار، پایداری آن پس از افزودن به خاک است که بستگی به دما و شرایط تولید بیوچار و نوع خاک دارد که این خصوصیت بیوچار برای ترسیب کربن در خاک بسیار مهم است (Lehmann and Joseph, 2015). Fang *et al* (2014) پایداری دو نوع بیوچار چوبی تولید شده در دماهای ۴۵۰ و ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مقدار ۲ درصد را در چهار خاک مختلف مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که پس از گذشت یک سال تنها ۰/۳-۳/۷۱ درصد کربن بیوچار معدنی می‌شود و با افزایش دمای گرماکافت، پایداری کربن بیوچار افزایش می‌یابد. پایداری بیشتر کربن بیوچار تولید شده در دماهای بالاتر به درصد نسبی کربن الکیل و آروماتیک، میزان تراکم کربن آروماتیک، نوع مواد اولیه مورد استفاده برای تولید بیوچار و کاهش بخش ناپایدار کربن نسبت داده می‌شود. شواهد نشان می‌دهد که کربن بیوچار بسیار مقاوم و پایدار بوده و زمان ماندگاری آنها در مورد بیوچار چوب در دامنه ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ سال قرار می‌گیرد که ۱۰ تا ۱۰۰۰ برابر زمان ماندگاری کربن آلی خاک است. بنابراین افزودن بیوچار به خاک می تواند مخزن بالقوه‌ای از کربن را در خاک فراهم آورد (Verheijen *et al*., 2010).

Khademi and Raiesi (2017) با مطالعه‌ای که بر روی بیوچارهای بقایای ذرت تولید شده در دماهای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ در دو سطح بیوچار ۰/۵ و ۱ درصد انجام دادند، بیان کردند که بیشترین پاسخ توسط شاخص‌های میکروبی در بیوچار ذرت تولید شده در دمای ۲۰۰ درجه و در سطح بیوچار ۱ درصد مشاهده گردید. کاربرد بیوچارهای مختلف احتمالاً به افزایش و یا حداقل به نگه‌داری سطح موادآلی خاک و بهبود حاصلخیزی و کیفیت خاک در اراضی خشک و نیمه خشک کمک می‌کند (Khadem and Raiesi, 2017). بیوچار با تغییری که در جمعیت میکروبی خاک ایجاد می‌کند، می‌تواند موجب تغییر در چرخه‌ی عناصر غذایی و تغذیه و رشد گیاه شود (Elzobair *et al*., 2016). بیوچار می‌تواند از راه‌های مختلفی بر زیست‌توده میکروبی تأثیر گذار باشد، به‌عنوان مثال بیوچار با فراهم نمودن زیستگاه‌های کوچک برای ریزجانداران خاک، این ریزجانداران را از گزند شکارچیان محافظت می‌کند. از طرفی می‌توان گفت که تغییر در فعالیت میکروبی و ساختار جمعیتی میکروارگانیسم‌ها یکی از اثرات غیرمستقیم بیوچار است که در اثر تغییر در pH خاک و فراهمی عناصر غذایی در خاک حاصل شده است (Lehmann and Joseph, 2015).

Marzooqi and Yousef (2017) در مطالعه‌ای تاثیر بیوچار سالیکورنیا (پیرولیز در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۶ ساعت) بر ویژگی‌های میکروبی یک خاک آهکی شنی (pH=۷/۴۶) را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد افزودن بیوچار (pH=۸/۶) سبب افزایش کربن آلی از ۱۰ به ۲۶ گرم بر کیلوگرم شد، اما تاثیر معنی‌داری در آب قابل استفاده برای گیاه نداشت. تنفس میکروبی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

Subedi *et al*. (2016) در مطالعه‌ای تاثیر بیوچار کود مرغی تهیه شده در دماهای ۴۰۰ به مقدار ۲ درصد (pH و CEC به‌ترتیب برابر ۹/۵ و ۳۰/۲ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم) و ۶۰۰ درجه سلسیوس (pH و CEC به‌ترتیب برابر ۱۰/۴ و ۲۷/۵ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم) بر کربن زی‌توده میکروبی یک خاک آهکی شنی (pH و CEC خاک مطالعه شده به‌ترتیب برابر ۸/۳ و ۵/۴ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم بود.) را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد بیوچارهای تهیه شده در هر دو دما سبب افزایش کربن زی‌توده میکروبی خاک شدند.

کربن زیست توده میکروبی به عنوان مخزن قابل توجه عناصرغذایی و تغییر و تبدیلات مواد آلی خاک است، سرعت تجزیه فسفر زیست توده میکروبی از سرعت تجزیه کربن زیست توده میکروبی سریعتر است. بنابراین، فسفر زیست توده میکروبی می‌تواند منبع مهمی در تأمین فسفر مورد نیاز گیاه باشد. به نظر

www.SID.ir

Archive of SID

می‌رسد که بیوچار قادر به تحریک و افزایش زیست توده و فعالیت میکروبی، همچنین فعالیت‌های آنزیمی در خاک است. افزایش زیست توده میکروبی در اثر بیوچار بخاطر حضور بخش لبایل کربن مشاهده شده است (Xu *et al*., 2016). مطالعات دیگری گزارش کردند که بیوچار تأثیری بر زیست توده میکروبی خاک ندارد (Elzobair *et al*., 2016) حتی تا حدودی تاثیر منفی دارند. Dempster *et al*. (2012)، گزارش کردند که بیوچار چوب جارا تهیه شده در دمای ۶۰۰ درجه در مقدار ۲۵ تن در هکتار به‌دلیل فراهم کردن زیستگاه‌های مناسب برای میکروب‌ها سبب کاهش زیست توده میکروبی خاک می‌گردد. همچنین مقدار کاربرد بیوچار و نوع خاک در پاسخ زیست توده میکروبی خاک موثر است (Lehmann and Joseph, 2015).

برگشت بقایای آلی گیاهان و ضایعات کشاورزی در اولویت اول و روش بازچرخ این بقایا به خاک در مرحله دوم از مهمترین دغدغه‌های امروزه کشاورزی است. متاسفانه در سال‌های اخیر گزارش‌های زیادی مبنی بر سوزاندن و اتلاف کربن آلی بقایای گیاهی در کشور گزارش شده است که علاوه بر هدررفت منابع عظیمی از کربن آلی، موجبات تخریب محیط زیست و افزایش دی اکسیدکربن اتمسفر را نیز فراهم آورده است. بنابراین با توجه به حجم بالای بقایای هرس درختان سیب و انگور و کاه و کلش در استان آذربایجان غربی، یکی از راه‌های مدیریت آنها کمپوستینگ است که به دلیل زمان‌بر بودن آن به‌خصوص در بقایای چوبی و لیگنینی، روش جایگزین دیگر، تبدیل بقایا به بیوچار است. اطلاعات کم و محدودی در مورد تاثیر افزودن بیوچار در فعالیت میکروبی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک با مقدار مواد آلی بسیار کم وجود دارد (Elzobair *et al*., 2016). همچنین تاکنون درک کاملی از اثر بیوچار بقایای هرس درختان سیب و انگور و کاه و کلش گندم و تاثیر آن‌ها بر شاخص‌های میکروبیولوژیکی در خاک‌های آهکی حاصل نشده است. لذا هدف از این تحقیق مطالعه تاثیر بیوچار حاصل از بقایای هرس درختان سیب، هرس انگور و کاه و کلش گندم بر برخی شاخص‌های میکروبیولوژیک خاک بود تا با فهم اثرات این بیوچارها بتوان مدیریت خوبی بر مقدار ضایعات فراوان هرس درختان سیب و انگور اتخاذ کرد.

مواد و روشها

خاک‌های مورد مطالعه

برای انجام مطالعه تعداد ۵ نمونه خاک از زمین‌های زراعی شهرستان ارومیه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری شدند و سپس بعد از انجام آزمایش‌های اولیه مانند اندازه‌گیری بافت خاک، کربن آلی و کربنات کلسیم معادل (CCE) به روش استاندارد در آزمایشگاه گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه، از بین نمونه‌های خاک ۲ نمونه براساس مقدار موادآلی انتخاب گردید. خاک‌های مورد مطالعه در این پژوهش از دو سری خاک در شهرستان ارومیه نمونه‌برداری شدند. رده‌بندی این خاک‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری گردیدند.

ساخت بیوچار

برای تهیه بیوچار، نظر به اهمیت موضوع مقادیر بالایی از شاخه-های هرس (ترجیحاً شاخه‌های یک یا دو ساله) از باغ‌های شهرستان ارومیه جمع‌آوری گردیدند. ضایعات هرس درختان سیب و انگور (اندازه ۳۰-۲۰ میلی متر) و کاه و کلش گندم (اندازه ۲۰-۱۰ میلی متر) خرد و با آب مقطر شسته شدند. سپس به مدت ۲ روز در دمای ۷۵ درجه سلسیوس داخل آون قرار داده شدند. سپس بقایا در داخل استوانه فلزی به قطر ۷ و ارتفاع ۳۱ سانتی‌متر در داخل کوره الکتریکی قرار گرفتند. بقایا به‌مدت ۲ ساعت (Cantrell *et al*., 2012)، در دمای ۳۵۰ و ۵۰۰ درجه سلسیوس در شرایط بدون حضور گاز اکسیژن (وارد کردن گاز N_2 از طریق محفظه ورودی راکتور) با سرعت افزایش دمای ۳ درجه سلسیوس بر دقیقه حرارت داده شدند. بعد از اتمام زمان پیرولیز، راکتورها از کوره خارج شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای معمولی اتاق قرار داده شدند تا در دمای محیط خنک شوند. سپس بیوچارها از الک نیم میلی‌متر عبور داده شدند.

اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار

درصد عملکرد بیوچارهای (Y_B) تهیه شده در دماهای مختلف از نسبت وزن بیوچار (W_B) بر حسب گرم به وزن آون خشک زیست-توده اولیه (W_{RB}) بر حسب گرم مطابق رابطه (۱) محاسبه شد (Singh *et al*., 2017):

$$Y_B(\%) = \frac{W_B}{W_{RB}} \times 100 \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

برای اندازه‌گیری درصد خاکستر بیوچارهای تولید شده، ۵ گرم از هر نمونه آون خشک شده، داخل بوته چینی قرار داده و به مدت ۶ ساعت در کوره الکتریکی در دمای ۷۵۰ درجه سلسیوس در شرایط اکسیژن کافی قرار داده شد. سپس درصد خاکستر از نسبت وزن خاکستر (W_A) بر حسب گرم به وزن آون خشک بیوچار (W_B) بر حسب گرم (رابطه ۲) برآورد شد (Singh *et al*., 2017):

$$Ash\ (\%) = \frac{W_A}{W_S} \times 100 \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

برخی از ویژگی‌های بیوچارها مانند pH (در نسبت ۱:۱۰ آب و بیوچار) و هدایت الکتریکی (در نسبت ۱:۲۰ آب و بیوچار)

www.SID.ir

Archive of SID

(Singh *et al*., 2017)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات آمونیوم یک مولار اصلاح شده (pH= 7) (Domingues *et al*., 2017)، کربن، نیتروژن و هیدروژن کل به‌روش سوزاندن خشک با دستگاه ECS 4010 CHNSO Analyzer اندازه‌گیری شدند (Domingues *et al*., 2017).

آزمایش انکوباسیون برای اندازه‌گیری ویژگی‌های میکروبیولوژیکی

برای اجرای آزمایش انکوباسیون و بررسی تأثیر نوع خاک، نوع بیوچار و دمای پیرولیز بیوچار بر ویژگی‌های میکروبیولوژیکی خاک، ابتدا به ۲۰۰ گرم از نمونه خاک هوا-خشک شده، از هر یک از بیوچارهای تولید شده (ضایعات هرس سیب (AB)، ضایعات هرس انگور (GB) و کاه و کلش گندم (SB)) در دمای پیرولیز ۳۵۰ و ۵۰۰ درجه سلسیوس مقدار ۲ درصد وزنی/وزنی اضافه گردیده و با هم مخلوط شدند. بعد رطوبت نمونه‌ها با افزودن آب مقطر به صورت اسپری در ۶۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی تنظیم شدند و سپس نمونه‌ها به‌مدت ۹۶ روز در دمای ۲±۲۵ درجه سلسیوس نگه‌داری گردیدند. اما برای بررسی تأثیر نوع خاک و بیوچار بر روی معدنی شدن کربن خاک دو نوع از بیوچارها (برای مقایسه بهتر یک نوع چوبی و یک نوع علفی) شامل AB و SB انتخاب گردید و سپس تنفس میکروبی طی ۹۶ روز (۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۰، ۳۶، ۴۲، ۴۸، ۵۵، ۶۶، ۷۳، ۸۰، ۸۹ و ۹۶ روز) در بیوچارهای هرس سیب (چوبی) و کاه و کلش گندم (علفی) به روش اندرسون اندازه‌گیری گردید (Anderson, 1982). سپس برای تعیین سرعت و پتانسیل معدنی‌شدن کربن از طریق CO_2 آزاد شده به توابع مختلف سینتیکی برازش داده شد. بهترین برازش توسط معادله سنتیکی مرتبه اول حاصل گردید (رابطه ۳):

$$C_{min} = C_0 (1 - e^{-kt}) \quad \text{(رابطه ۳)}$$

که در آن C_{min} کربن معدنی‌شده، C_0 پتانسیل معدنی شدن کربن، k ثابت سرعت معدنی‌شدن و t زمان می‌باشد (Zhou *et al*., 2012).

در پایان دوره انکوباسیون کربن زیست توده میکروبی به روش تدخین-استخراج، از اختلاف مقادیر محاسبه شده برای نمونه‌های تدخین شده و تدخین نشده، فسفر زیست توده میکروبی به روش تدخین-استخراج، تنفس باکتریایی به روش اندرسون (Anderson, 1982) و تنفس برانگیخته با سوبسترا (Alef and Nannipieri, 1995) در هر سه نوع بیوچار AB، GB و SB اندازه‌گیری شدند. برای برآورد کسر متابولیکی از تقسیم میزان تنفس پایه بر کربن زیست توده میکروبی استفاده گردید.

این آزمایش به صورت فاکتوریل در سه سطح در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ فاکتور ۱- تیمار نوع بیوچار (هرس سیب (AB) و کاه و کلش گندم (SB)) برای آزمایش معدنی‌شدن کربن و (ضایعات هرس سیب (AB)، ضایعات هرس انگور (GB) و کاه و کلش گندم (SB)) برای آزمایش اندازه‌گیری ویژگی‌های میکروبیولوژیکی ۲- دمای تولید بیوچار (۳۵۰ و ۵۰۰ درجه سلسیوس) ۳- نوع خاک (با ماده آلی بالا و ماده آلی پایین) با سه تکرار اجرا گردید. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم-افزارهای MSTATC و SPSS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. ترسیم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در این آزمایش در جدول (۱) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد خاک‌های مورد استفاده دارای بافت لوم سیلتی و لوم بوده که خاک ۱ با ۲۳/۵ درصد کربنات کلسیم معادل به عنوان خاک آهکی، غیر شور و با pH قلیایی بود. همچنین میزان کربن آلی کمتر (۰/۶۴درصد) این خاک بیانگر فقر ماده آلی بود. اما خاک ۲ داری کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی بیشتر و کربنات کلسیم معادل کمتری در مقایسه با خاک ۱ بود.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	نام سری	زیرگروه	رده	بافت خاک	pH	فسفر اولسن $mg\ kg^{-1}$	N %	OC	CCE	EC $dS\ m^{-1}$	CEC $cmol_c\ kg^{-1}$
۱	سارالان	Halaquepts Fluventic	Inceptisols	لوم سیلتی	۷/۸۵	۱۴	۰/۰۷	۰/۶۴	۲۳/۵	۰/۲۶	۱۹/۵
۲	سردرود	Halaquepts Typic	Inceptisols	لوم	۷/۷۳	۲۱	۱	۱/۴۴	۹	۰/۸۹	۲۳/۵

نتایج مربوط به ویژگی‌های بیوچارهای تولید شده نیز در جدول (۲) نشان داده شده است. بیوچارهای تولید شده از ضایعات هرس سیب، هرس انگور و کاه و کلش گندم بسته به دمای پیرولیز در محدوده بازی ضعیف تا قلیایی بودند. با افزایش دمای پیرولیز، مقدار pH و EC و درصد خاکستر در بیوچارهای تولید شده افزایش یافت بطوریکه بیشترین مقدار pH و EC در بیوچار کاه و کلش گندم تولید شده در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس و کمترین مقدار آن در بیوچار هرس درختان سیب تولید شده در دمای ۳۵۰

www.SID.ir

Archive of SID

درجه به دست آمد. این افزایش در مقادیر pH عمدتاً به‌دلیل جداسازی نمک‌های قلیایی از موادآلی با افزایش درجه حرارت پیرولیز است. Mandal *et al.* (2018) نیز افزایش pH و EC بیوچارهای تهیه شده از زیست‌توده‌های مختلف بقایای گیاهی در اثر افزایش دمای پیرولیز را گزارش کردند. CEC بیوچار با افزایش دمای پیرولیز کاهش یافت. بیشترین مقدار CEC در دمای ۳۵۰ درجه و کمترین مقدار آن در دمای ۵۰۰ درجه به‌دست آمد. نتایج مشابهی نیز توسط Domingues *et al.*, (2017) به‌دست آمده است. نتایج جدول (۲) نشان داد که با افزایش دمای پیرولیز محتوای کربن بیوچار افزایش یافت، اما مقدار H و عملکرد با افزایش دمای پیرولیز، کاهش یافت. افزایش غلظت کربن با افزایش دمای پیرولیز به علت افزایش درجه کربونیزه شدن رخ می‌دهد که منجر به ساختار کربن متراکم‌تر در بیوچار می‌شود (Zhao *et al.*, 2018). کاهش در عملکرد بیوچار با افزایش دمای پیرولیز نیز می‌تواند به‌دلیل اتلاف بیشتر مواد فرار در دمای بالاتر باشد (Singh *et al.*, 2015). Moradi *et al.* (2017) با بررسی تاثیر تغییرات ویژگی‌های بیوچار های مختلف تهیه شده در دماهای پیرولیز ۳۵۰ تا ۵۰۰ درجه سلسیوس گزارش کردند بر اثر افزایش دما، عملکرد و درصد کربن آلی بیوچارها کاهش یافت، اما pH، EC، درصد خاکستر و پایداری کربن افزایش یافت.

جدول ۲. برخی ویژگی‌های بیوچارهای تولید شده از بقایای مختلف گیاهی

نوع بیوچار	دمای پیرولیز ℃	pH	EC dS m^{-1}	CEC cmol$_c$ kg^{-1}	نیتروژن کل	کربن کل	هیدروژن کل	خاکستر	عملکرد بیوچار
					(٪)				
هرس درختان سیب (AB)	۳۵۰	۷/۱۱	۰/۰۵	۳۲/۵۳	۰/۲۲	۶۴/۰۲	۳/۸۹	۱۰/۲۰	۳۴/۹۴
	۵۰۰	۸/۶۷	۰/۰۹	۲۴/۹۴	۰/۷۵	۶۸/۸۸	۲/۷	۱۴/۶۸	۲۸/۱۴
هرس درختان انگور (GB)	۳۵۰	۷/۵۶	۰/۰۸	۳۶/۳۲	۰/۸۶	۷۱/۰۳	۴/۰۴	۵/۰۸	۳۶/۷۶
	۵۰۰	۹/۵۹	۰/۲	۳۴/۴۳	۰/۸۷	۷۱/۵۳	۲/۸۸	۱۱/۱۸	۳۰/۰۴
کاه و کلش گندم (SB)	۳۵۰	۸/۱۳	۰/۵۵	۱۰۸/۴۲	۰/۴۱	۵۹/۴۲	۴/۰۴	۱۷/۱۴	۴۲/۵۷
	۵۰۰	۹/۹۴	۰/۶۸	۵۹/۰۹	۰/۲۲	۶۴/۳۱	۳/۸۹	۲۲/۹۸	۳۲/۴

تأثیر بیوچارهای مختلف بر سرعت معدنی شدن کربن

معدنی‌شدن مواد آلی نقش کلیدی را در حاصلخیزی خاک از طریق رهاسازی مواد غذایی و متعاقباً تأثیر بر باروری اولیه خالص، بازی می‌کنند. اندازه‌گیری تصاعد CO_2 از خاک به طور گسترده برای تعیین تأثیر متغیرهای محیطی بر اکسیداسیون موادآلی خاک استفاده می‌شود. کربن معدنی‌شده تجمعی در خاک‌های تیمار شده و شاهد در طول ۹۶ روز انکوباسیون به‌طور جداگانه برای هر یک از خاک‌ها به منظور تسهیل مقایسه بهتر در شکل (۱-الف و ب) نشان داده شده است. مقدار CO_2 کربن معدنی‌شده تجمعی در طول دوره انکوباسیون در تیمارهای بیوچار تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه بیشتر از بیوچارهای تولیدی در دمای ۵۰۰ درجه بود. همچنین مقدار کربن معدنی‌شده تجمعی در تیمارهای SB-350 و AB-350 بیشتر از تیمار شاهد در هر دو خاک مورد مطالعه بود. اما در تیمارهای بیوچار تولید شده در دمای ۵۰۰ درجه اختلاف چندانی با تیمار شاهد در هر دو خاک وجود نداشت. تأثیرات بیوچار بر افزایش کربن معدنی‌شده تجمعی از خاک ممکن است به دلیل جزء کربن لبایل بیوچار باشد که می‌تواند به راحتی توسط میکروارگانیسم‌های خاک مورد استفاده قرار گیرد، در نتیجه فعالیت میکروبی افزایش یافته و متعاقباً تصاعد CO_2 افزایش می‌یابد (Demisie *et al.*, 2014). افزایش نسبتاً کمتر در کربن معدنی‌شده تجمعی از تیمارهای بیوچار تولید شده در دمای ۵۰۰ درجه در مقایسه با شاهد در هر دو خاک، نشان‌دهنده این مطلب است که تیمارهای بیوچار در برابر تجزیه بیولوژیکی مقاوم هستند (Awad *et al.*, 2013). گزارش شده است که میزان معدنی شدن بیوچارهای ساخته شده در دماهای بالا در مقایسه با بیوچارهای ساخته شده در دمای پایین کمتر آهسته و در نتیجه تصاعد CO_2 کمتر است (Khadem and Raiesi, 2017).

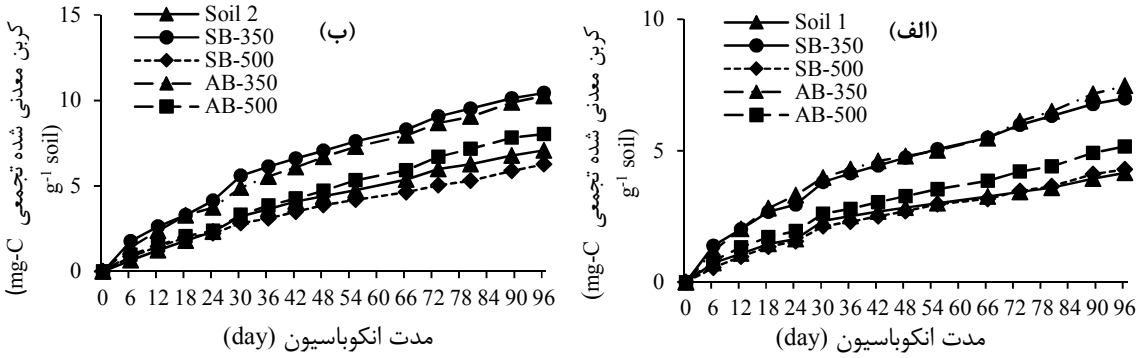
مقایسه میانگین داده‌ها نشان دادند، معدنی شدن کربن در تیمارهای SB-350 و AB-350 در مقایسه با SB-500 و AB-500به طور معنی‌داری ($P < ۰/۰۵$) در هر دو خاک مورد مطالعه بیشتر بود (شکل ۲). همچنین افزودن بیوچارهای مختلف مورد مطالعه سبب افزایش کربن تجمعی کل در مقایسه با تیمارهای شاهد شد (خاک ۱ و ۲). به غیر از تیمارهای SB-500-1 و SB-500-2 که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای شاهد نداشتند. این نتایج نشان می‌دهد که پایداری کربن بیوچار در خاک‌ها می‌تواند به محتوای کربن آروماتیک، ترکیبات آلی فرار (VOCs[۲]) و جزء-های زیست فراهم کربن آنها نسبت داده شود که مستقیماً با افزایش دمای پیرولیز ارتباط دارد (Demisie *et al.*, 2014).

[۲] Volatile organic compounds

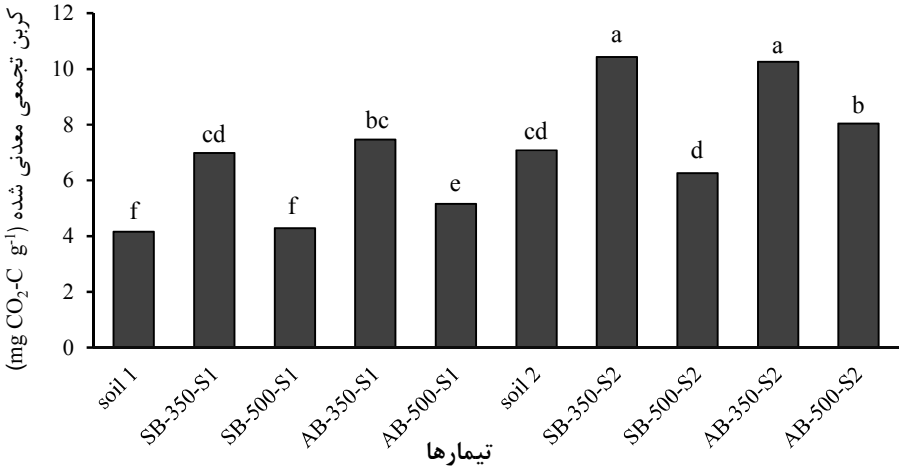
www.SID.ir

Archive of SID

مطالعات قبلی گزارش کردند، انتشار CO_2 در خاک‌های اصلاح شده با بیوچارهای تولید شده در دماهای بین ۳۵۰ تا ۸۵۰ درجه بسیار متغیر است (Fabbri *et al*., 2013; Khadem and Raiesi, 2017). هر چند سرعت کربن معدنی‌شده تجمعی به دلیل تجزیه کربن لبایل بیوچار در دمای پایین پیرولیز (۳۵۰ درجه) یا افزایش معدنی‌شدن کربن آلی خاک، افزایش یافته بود (Ippolito *et al*., 2016b). Luo *et al*. (2013) نشان دادند که تلفات کربن بیوچار بسیار پایین‌تر از پتانسیل ذخیره‌سازی کربن بیوچار است.



شکل ۱. تأثیر تیمارهای مختلف بیوچار بر تنفس تجمعی خاک (mg-C g^{-1} soil) در دو نوع خاک ۱ (الف) و ۲ (ب) در طول دوره انکوباسیون



شکل ۲. تأثیر تیمارهای مختلف بیوچار بر مقدار کربن تجمعی معدنی شده (mg CO_2-C g^{-1} soil) در طول دوره انکوباسیون
(SB-350-S1 و SB-500-S1 به ترتیب بیوچارهای کاه و کلش تولید شده در دمای ۳۵۰ و ۵۰۰ درجه و اضافه شده به خاک ۱ و SB-350-S2 و SB-500-S2 به ترتیب بیوچارهای کاه و کلش تولید شده در دمای ۳۵۰ و ۵۰۰ درجه و اضافه شده به خاک ۲ است)
*** ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند.**

داده‌های مربوط به پارامترهای سنتیکی معدنی‌شدن کربن در جدول (۳) ارائه شده است. در مطالعه حاضر برای توصیف معدنی شدن کربن از تیمارهای مختلف بیوچار و شاهد در خاک-های مختلف از معادله مرتبه اول استفاده شده است. درجه انطباق بین داده‌های تجربی (محاسبه شده) و مقادیر پیش‌بینی شده از معادله با ضریب تبیین (r^2) بیان شده است (۰/۹۹۷ تا ۰/۹۷۴). که در کلیه تیمارها ضریب تبیین مدل درجه اول بسیار بالاست که نشان دهنده برازش خوب داده‌ها به مدل است. بیشترین پتانسیل معدنی شدن کربن (C_0) در تیمار AB-350 در خاک ۲ (۱۳/۱۲ mg CO_2-C g^{-1} soil) و کمترین مقدار آن در خاک ۱ (۴/۵۴mg CO_2-C g^{-1} soil) بدست آمد. ثابت سرعت معدنی‌شدن (k) نیز در بیوچارهای تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه بیشتر از بیوچارهای تولید شده در دمای ۵۰۰ درجه بود. یکی از قابلیت-های برازش داده‌ها به این معادله استفاده از شاخص سرعت معدنی‌شدن می‌باشد که از حاصلضرب $C_0 \times k$ به‌دست می‌آید. نتایج نشان دادند که شاخص سرعت معدنی شدن نیز در بیوچارهای تولید شده در دمای ۳۵۰ بیشتر از دمای ۵۰۰ درجه است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. مقادیر کل کربن معدنی‌شده تجمعی و پارامترهای برآورد شده از معادله مدل درجه اول

تیمارها	محاسبه شده soil $^{-1}$g C-$_2$CO mg	مدل soil $^{-1}$g C-$_2$CO mg	.C soil $^{-1}$g C-$_2$CO mg	(۱۰$^{-2}$) k $^{-1}$Day	k×.C soil $^{-1}$g C-$_2$CO mg $^{-1}$day	^{2}R
خاک ۱	۴/۱۶	۳/۹۴	۴/۵۴	۰/۰۲۱	۰/۰۹۵	۰/۹۹۷
SB-350-1	۶/۹۹	۶/۷۲	۷/۷۶	۰/۰۲۱	۰/۱۶	۰/۹۸۴
SB-500-1	۴/۲۹	۴/۱۱	۵/۴۴	۰/۰۱۵	۰/۰۸۲	۰/۹۸۹
AB-350-1	۷/۴۶	۶/۹۹	۸/۱۹	۰/۰۲۰	۰/۱۶	۰/۹۷۴
AB-500-1	۵/۱۶	۴/۹۱	۶/۲۱	۰/۰۱۶	۰/۰۹۹	۰/۹۸۵
خاک ۲	۷/۰۸	۷/۰۴	۱۱	۰/۰۱۱	۰/۱۲	۰/۹۹۶
SB-350-2	۱۰/۴۳	۱۰/۲۹	۱۲/۷۱	۰/۰۱۷	۰/۲۲	۰/۹۸۹
SB-500-2	۶/۲۶	۶/۰۰	۸/۴۲	۰/۰۱۳	۰/۱۱	۰/۹۹۱
AB-350-2	۱۰/۲۶	۱۰/۰۳	۱۳/۱۲	۰/۰۱۵	۰/۲۰	۰/۹۹۶
AB-500-2	۸/۰۴	۸/۰۸	۱۰/۳۲	۰/۰۰۷۸	۰/۰۸۰	۰/۹۹۶

مطالعات نشان دادند که بیوچارهای تولید شده در دماهای پایین‌تر (۲۵۰ و ۴۰۰ درجه) منجر به تنفس بیشتر خاک شدند (Khadem and Raiesi, 2017; Demisie *et al*., 2014). همچنین مطالعات نشان دادند، افزایش تصاعد CO_2 به دلیل بخش‌های لبایل کربن بود. از این رو، رابطه مثبت بین محتوای جزءهای پیرولیز نشده (مانند سلولز و همی‌سلولز) و معدنی‌شدن کربن بیوچار وجود دارد (Gul *et al*., 2015). بنابراین بررسی پایداری کربن بیوچار و اثرات بعدی بر فعالیت میکروبی خاک نیازمند اندازه‌گیری جزءهای لبایل کربن بیوچار (ترکیبات آلیفاتیک و VOCs) و کنترل دمای تولید به عنوان یک پارامتر کلیدی است.

تأثیر بیوچار بر تنفس میکروبی خاک (BR) و تنفس میکروبی برانگیخته (SIR)

تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بیوچار و خاک بر برخی شاخص‌های میکروبی خاک را نشان داد (جدول آورده نشده است) اثر اصلی نوع خاک، نوع بیوچار و دمای پیرولیز بیوچار بر مقدار تنفس میکروبی خاک (BR)، تنفس میکروبی برانگیخته (SIR)، کربن زیست توده میکروبی (MBC)، فسفر زیست توده میکروبی (MBP) و ضریب متابولیکی (qCO_2) در سطح احتمال ۰/۱ درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل دو گانه نوع خاک × نوع بیوچار، نوع خاک× دمای پیرولیز و نوع بیوچار× دمای پیرولیز و اثر متقابل نوع خاک× نوع بیوچار× دمای پیرولیز نیز در سطح ۰/۱ درصد معنی‌دار بودند.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع خاک و نوع بیوچار بر BR نشان داد که خاک ۲ به دلیل داشتن ماده آلی بیشتر در مقایسه با خاک ۱، مقدار BR بالاتری دارد (جدول ۴). در خاک ۱ و ۲ با افزودن بیوچارهای مختلف مورد مطالعه میزان BR افزایش نشان داد. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان بیان کرد بیوچار در خاک عامل محدود کننده هست و سبب شده تا میکروارگانیسم‌ها برای تامین انرژی سبب افزایش تنفس شوند. بیشترین مقدار افزایش BR در خاک ۲ در تیمار SB بود که در مقایسه با AB و GB به ترتیب ۱۵/۹۶ و ۷/۵۱ درصد بیشتر بود. در حالت کلی در تیمارهای بیوچار نیز مقدار BR در خاک ۲ بیشتر از خاک ۱ بود. مقایسه میانگین نوع و دمای تولید بیوچار نشان داد (جدول ۴) با افزودن بیوچارهای مختلف تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه، مقدار BR به طور معنی‌داری افزایش یافت. اما در بیوچارهای تولید شده در دمای ۵۰۰ درجه این افزایش فقط در تیمار SB مشاهده شد و در تیمارهای AB و GB اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد (بدون بیوچار) وجود نداشت. بیشترین مقدار BR در تیمار SB تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه به دست آمد. مقدار BR در تیمارهای AB، GB و SB تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه در مقایسه با شاهد (بدون بیوچار) به ترتیب ۱/۸، ۱/۲ و ۲ برابر بیشتر بود. Nguyen and Lehmann (2009) دریافتند تلفات کربن درخاک تیمار شده با بیوچار درخت بلوط و بقایای ذرت تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه طی دوره انکوباسیون بین ۸/۰۸ و ۲۱/۲۱ درصد بود. تیمار SB تولید شده در دمای پیرولیز ۵۰۰ درجه در مقایسه با شاهد مقدار BR را ۲۴/۲۹ درصد افزایش داد.

تنفس برانگیخته با سوبسترا یکی از روش‌های پایه‌ای برای برآورد کمی زیست‌توده میکروبی خاک به عنوان بخش بسیار فعال و ناپایدار کربن آلی خاک بررسی شده است (Lewandowski and Zumwinkle, 1999). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که مقدار SIR نیز مانند مقدار BR در خاک ۲ بیشتر از خاک ۱ بود (جدول ۵) به‌طوریکه بیشترین مقدار SIR در خاک ۲ تیمار شده با SB و کمترین مقدار آن در خاک ۱ (شاهد) و خاک ۱ تیمار شده با GB بود که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار با همدیگر نداشتند. مقدار SIR در هر دو خاک تیمار شده با بیوچارهای مورد مطالعه بیشتر

www.SID.ir

Archive of SID

از تیمار شاهد (بدون بیوچار) بود. مقدار SIR در خاک ۲ تیمار شده با AB، GB و SB در مقایسه با تیمار شاهد (خاک ۲) به ترتیب ۱۷/۱۷، ۹/۹۴ و ۲۵/۶۰ درصد افزایش یافت. مقایسه میانگین تأثیر نوع و دما پیرولیز بیوچار بر مقدار SIR نشان داد (جدول ۴)، مقدار SIR در دمای پیرولیز ۳۵۰ درجه نسبت به دمای ۵۰۰ درجه دارای میانگین بالاتری بود. بین تیمار بیوچارهای مختلف بیشترین مقدار SIR در تیمار AB و SB در دمای پیرولیز ۳۵۰ درجه و کمترین مقدار نیز مربوط به تیمار شاهد بود. اثرات متقابل مشاهده شده بین کربن بیوچار و کربن قابل استفاده (کربن گلوکز) بر معدنی شدن کربن گزارش شده است. Khadem and Raiesi (2017) بیان کردند که مقادیر SIR در خاک‌های تیمار شده با بیوچار ۳ برابر بیشتر از خاک‌های تیمارنشده (شاهد) بودند. مشاهده ما نیز همسو با مطالعات قبلی است (Rutigliano *et al*., 2014). Rutigliano *et al*. (2014) افزایش تنفس ناشی از ۱۶ سوبسترای مختلف را با کاربرد بیوچار مشاهده کرد و پیشنهاد داد مواد فرار و ترکیبات جذب سطحی شده روی سطح بیوچار بعد از پیرولیز ممکن است به عنوان سوبسترای قابل دسترس عمل نموده و موجب افزایش رشد و فعالیت میکروبی در ماه‌های اول بعد از کاربرد بیوچار گردد.

Manshadi *et al* (2012) گزارش کردند که وقتی ماده آلی به طور جداگانه به خاک اضافه می‌شود، به علت C/N بالا آلی‌شدن اتفاق می‌افتد، این افزایش در معدنی شدن، زمان لازم برای ماده آلی موجود در کود آلی برای تجزیه شدن و فراهم شدن عناصر تغذیه‌ای را کاهش می‌دهد. بنابراین با افزایش فراهمی مواد آلی، افزایش رشد گیاهان و ریشه آن‌ها، میزان جمعیت میکروبی و فعالیت آن‌ها افزوده شده که به تبع آن میزان تنفس (میکروبی و برانگیخته باسوبسترا) افزایش می‌یابد (Manshadi *et al*., 2012).

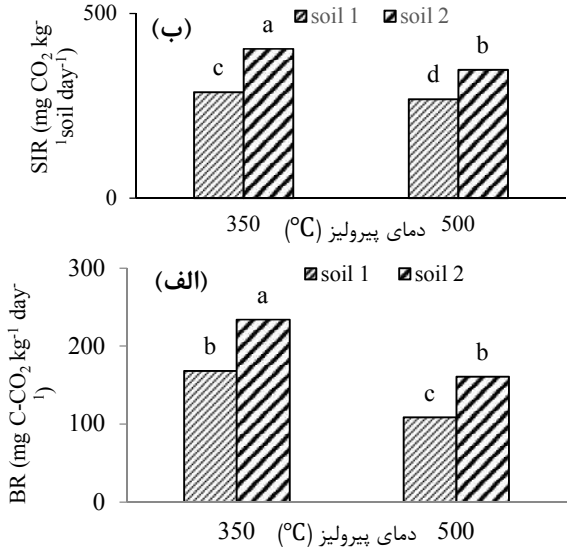
جدول ۴. نتایج مقایسه میانگین تأثیر نوع بیوچار، نوع خاک و دمای پیرولیز بر مقدار BR و SIR

SIR) mg C-CO ۲kg ۱-day(۱-				BR) mg C-CO ۲kg ۱-day(۱-					
SB	GB	AB	Control	SB	GB	AB	Control		
۳۰۶e	۲۵۹g	۲۹۴f	۲۵۰g	۱۸۸bc	۱۲۴e	۱۳۳e	۱۰۷f	۱	شماره خاک
۴۱۷a	۳۶۵c	۳۸۹b	۳۳۲d	۲۱۳a	۱۹۷b	۱۷۹c	۱۴۲d	۲	
۳۸۵a	۳۱۲c	۳۸۲a	۲۷۹d	۲۱۳a	۱۳۳c	۱۸۸b	۱۰۷d	۳۵۰	دمای پیرولیز (□)
۳۰۹cd	۳۰۲c	۳۲۹b	۲۷۹d	۱۳۳c	۱۱۵d	۱۰۰d	۱۰۷d	۵۰۰	

*** اعدادی که دارای حروف مشترک هستند از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند.**

شکل (۳- الف و ب) به ترتیب نشان داد مقدار BR و SIR در بیوچارهای تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه به طور معنی‌داری بیشتر از دمای ۵۰۰ درجه بود که مقدار آنها در هر دو دمای پیرولیز در خاک ۲ بیشتر از خاک ۱ بود. میانگین مقدار BR در خاک ۱ و ۲ تیمارشده با بیوچارهای تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه در مقایسه با بیوچارهای تولید شده در دمای ۵۰۰ درجه به ترتیب ۵۴/۹۳ و ۴۵/۶۵ درصد بیشتر بود. مقدار SIR در خاک ۱ و ۲ تیمارشده با بیوچارهای تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه در مقایسه با بیوچارهای تولید شده در دمای ۵۰۰ درجه به ترتیب ۷/۰۶ و ۱۶/۳۸ درصد بیشتر بود.

محققین دیگر گزارش کردند که بیوچار تولید شده در دماهای بالا در مقایسه با بیوچارهای تولید شده در دمای پایین یا متوسط، انتشار CO_2 خاک را به دلیل حضور ترکیبات سمی ازجمله بنزن و تولوئن کاهش داده است (Fabbri *et al*., 2013). Zhang *et al*. (2014) بیان کردند بیوچار تولید شده از چوب در دمای پیرولیز ۲۵۰ درجه، مقدار انتشار CO_2 خاک را افزایش داد، در حالیکه بیوچار تولید شده در دمای ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه تأثیر معنی‌دار در طی انکوباسیون نشان نداد.



شکل ۳. مقایسه میانگین تأثیر دمای پیرولیز بیوچار و دو خاک آهکی با میزان ماده آلی کم (خاک ۱) و بالا (خاک ۲) بر تنفس میکروبی پایه (BR) (الف) و تنفس میکروبی برانگیخته (SIR) (ب)

*** اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند.**

www.SID.ir

Archive of SID

تأثیر بیوچار بر کربن زیست توده میکروبی (MBC) و فسفر زیست توده میکروبی (MBP)

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که میزان MBC و MBP در تیمارهای مختلف بیوچار در هر دو دمای پیرولیز و در هر دو نوع خاک مورد مطالعه نسبت به تیمار شاهد دارای میانگین بالاتری بود (جدول ۵). با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع خاک و نوع بیوچار، بیشترین مقدار MBC در خاک ۱ و ۲ تیمار شده با SB و کمترین مقدار آن در خاک ۱ (شاهد) بود. همچنین مقدار MBC در خاک ۲ شاهد بیشتر از خاک ۱ شاهد بود. مقدار MBC در خاک ۱ و ۲ تیمار شده با SB در مقایسه با شاهد این خاک‌ها (بدون بیوچار) به ترتیب ۷۵/۸۱ و ۳۲/۲۴ درصد افزایش یافت. مقدار MBC در بیوچارهای تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه نسبت به دمای ۵۰۰ درجه بیشتر بود. بیشترین و کمترین مقدار MBC به ترتیب در تیمار SB در دمای پیرولیز ۳۵۰ درجه (۹۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و تیمار شاهد (۵۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. مقدار MBC در بیوچارهای تولید شده در دمای ۵۰۰ درجه از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشتند که بیان کننده این مطلب است که نوع بیوچار تأثیری بر MBC نداشته است. مقدار MBC در تیمارهای AB، GB و SB تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه در مقایسه با شاهد در این دما به ترتیب ۴۲/۳۷، ۴۶/۷۳ و ۸۷/۷۲ درصد بیشتر بود. تغییر در MBC نشان دهنده روند رشد یا مرگ میکروبی و تخریب موادآلی است. نتایج نشان داد که مقدار MBC با اضافه کردن بیوچار در مقایسه با شاهد افزایش یافت که نشان می‌دهد رشد میکروبی را می‌توان با افزودن بیوچار تسریع کرد.

Zhao *et al.* (2015) نیز بیان کردند که خاک تیمار شده با بیوچار محتوای MBC خاک را بهبود می‌دهد. محققان دیگری مشابه با نتایج به‌دست آمده از تحقیق ما، اثر مثبت بیوچار را بر مقدارMBC خاک مشاهده کردند (Khadem and Raiesi, 2017; Domene *et al.*, 2014). افزایش زیست توده میکروبی در اثر افزودن بیوچار به دلیل حضور بخش‌های لبایل کربن مشاهده شده است (Luo *et al.*, 2013). Bruun *et al.* (2012) همچنین دریافتند که بعد از ۶۴ روز انکوباسیون، MBC خاک با افزودن کاه و کلش گندم یا بیوچار کاه و کلش تولید شده در دمای ۵۲۵ درجه به صورت پیرولیز سریع افزایش یافت اما در اثر افزودن بیوچار کاه و کلش تولید شده در دمای ۵۲۵ درجه به صورت پیرولیز آهسته تغییری مشاهده نشد.

بیشترین مقدار MBP در خاک ۲ تیمار شده با SB (۱۸/۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد خاک ۱ (۵/۷۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود (جدول ۵). مقدار MBP در همه تیمارهای خاک ۲ بیشتر از خاک ۱ بود، به طوریکه مقدار آن در تیمارهای شاهد، AB، GB و SB خاک ۲ در مقایسه با خاک ۱ به ترتیب ۴۵/۵۳، ۳۳/۵۰، ۲۰/۵۸ و ۶۹/۷۶ درصد بالاتر بود. نتایج مقایسه میانگین نوع و دمای پیرولیز بیوچار (جدول ۵) حاکی از آن بود که میزان MBP در بیوچارهای مختلف و در هر دو دمای پیرولیز ۳۵۰ و ۵۰۰ درجه نسبت به تیمار شاهد به طور معنی‌داری بیشتر بود. بیشترین مقدار MBP در هر دو دمای پیرولیز در بیوچار کاه و کلش گندم مشاهده گردید. این افزایش در فسفر زیست توده میکروبی را می‌توان بطور مستقیم به کربن بالا و قابل دسترس بودن عناصر غذایی بیوچار یا بطور غیر مستقیم به افزایش فعالیت ریشه گیاه توسط بیوچار نسبت داد (Biederman and Harpole, 2012). همچنین بیوچار ممکن است فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک را از طریق استفاده کربن به‌خصوص ترکیبات کربن آلیفاتیک افزایش دهد (Lehmann and Joseph, 2015). افزایش در فعالیت میکروبی نیز ممکن است سبب افزایش فسفر زیست توده میکروبی و در نتیجه سبب افزایش فسفر قابل استفاده گیاه گردد.

جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین تأثیر نوع بیوچار، نوع خاک و دمای پیرولیز بر مقدار MBC و MBP

		MBC) mg kg(⁻¹				MBP) mg kg(⁻¹			
		Control	AB	GB	SB	Control	AB	GB	SB
شماره خاک	۱	۴۳۴d	۵۷۷c	۷۱۹b	۷۶۳a	۵/۷۱e	۹/۷۰c	۸/۵۵d	۱۰/۶۵c
	۲	۵۷۷c	۷۱۹b	۷۱۹b	۷۶۳a	۸/۳۱d	۱۲/۹۵b	۱۰/۳۱c	۱۸/۰۸a
دمای پیرولیز	۳۵۰	۵۰۵d	۷۱۹bc	۷۴۱b	۹۴۸a	۷/۰۱f	۱۱/۹c	۱۰/۷۵d	۱۵/۰۱a
(□)	۵۰۰	۵۰۵d	۵۷۷c	۵۷۷c	۷۱۹bc	۷/۰۱f	۱۱/۷c	۸/۱e	۱۳/۷۷b

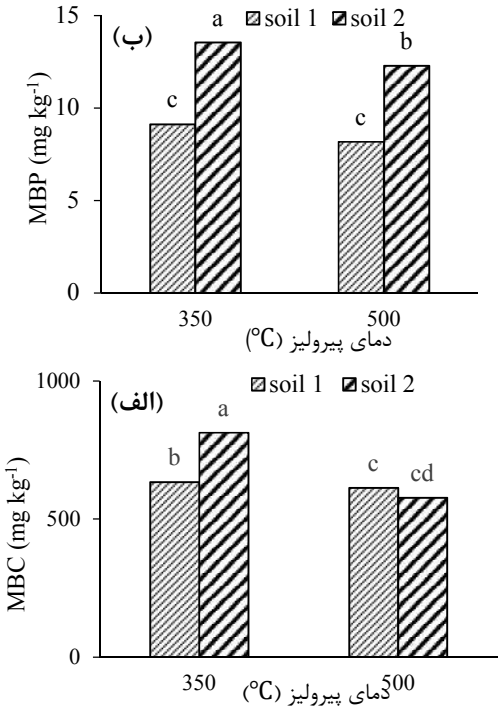
* اعدادی که دارای حروف مشترک هستند از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند.

مقایسه میانگین اثر متقابل نوع خاک و دمای پیرولیز بیوچار بر مقدار MBC نشان داد (شکل ۴) در هر دو خاک مورد مطالعه، مقدار MBC در بیوچارهای تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس به طور معنی‌دار بیشتر از ۵۰۰ درجه بود. مقدار MBC

www.SID.ir

Archive of SID

در دمای پیرولیز ۳۵۰ درجه در خاک ۲ به طور معنی‌دار بیشتر از خاک ۱ بود اما در دمای پیرولیز ۵۰۰ درجه بین دو نوع خاک از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. به طور کلی مقدار MBC در خاک ۱ و ۲ تیمار شده با بیوچارهای تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه در مقایسه با دمای ۵۰۰ درجه به ترتیب ۳/۵۱ و ۴۰/۹۱ درصد بیشتر بود. Van Zwieten *et al.* (2010) بیان کردند که مقدار MBC در بیوچار تولید شده از بستر مرغی در دمای ۴۵۰ درجه بیشتر از ۵۵۰ درجه بود. کربن زیست توده میکروبی خاک (MBC) و فعالیت میکروبی به طور معنی‌داری تحت تأثیر ماده آلی خاک قرار گرفته است. بیوچار به‌خاطر دارا بودن سطح منافذ زیاد، مکان مطلوبی برای فعالیت میکروبی در خاک می‌باشد. تجمع مواد آلی (بیوچار) در خاک یک بستر مناسب برای میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌کند که منجر به افزایش مقدار MBC می‌شود (Demisie *et al*, 2014). توجیه برای تغییر زیست توده میکروبی خاک در پاسخ به افزودن بیوچار شامل افزایش مواد غذایی قابل استفاده خاک (مواد آلی محلول، فسفر، کلسیم و پتاسیم)، جذب ترکیبات سمی و بهبود وضعیت آب خاک است. همه اینها می‌توانند بر فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک تأثیر بگذارند (Lehmann and Joseph, 2015).



شکل ۴. مقایسه میانگین تأثیر نوع و دمای پیرولیز بیوچار بر کربن زیست توده میکروبی (MBC) (الف) و فسفر زیست توده میکروبی (MBP) (ب) در دو خاک آهکی با میزان ماده آلی کم (خاک ۱) و بالا (خاک ۲)
*** اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند.**

شکل (۴) مقایسه میانگین اثر متقابل نوع خاک و دمای پیرولیز بیوچار را بر مقدار MBP نشان داده است. با توجه به شکل مقدار MBP در خاک ۲ تیمار شده با بیوچارهای تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه به طور معنی‌داری بیشتر از دمای ۵۰۰ درجه بود که مقدار MBP در هر دو دمای پیرولیز در خاک ۲ بیشتر از خاک ۱ بود اما اختلاف معنی‌دار در مقدار MBP خاک ۱ تیمار شده با بیوچارهای تولید شده در دمای ۳۵۰ و ۵۰۰ درجه وجود نداشت. مقدار MBP در خاک ۲ تیمارشده با بیوچارهای تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه در مقایسه با بیوچارهای تولید شده در دمای ۵۰۰ درجه ۱۰/۱۷ درصد بیشتر بود. سطح ویژه بالای بیوچار می‌تواند شرایط مطلوبی را برای رشد میکروب‌ها فراهم کند و متعاقباً افزایش جمعیت میکروبی و در نهایت MBP بالاتر را به دنبال داشته باشد.

Demisie *et al.* (2014) مشاهده کردند که تنفس پایه و زیست توده میکروبی (MBP, MBC) به‌صورت خطی و به طور قابل توجهی با افزایش غلظت بیوچار چوب افزایش یافته است که همسو با نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر است. بیوچارهای تولید شده در دماهای بالا عمدتاً از حلقه کربن آروماتیک تک و فشرده تشکیل شده‌اند که نسبت به تجزیه میکروبی نسبتاً مقاوم هستند. به عبارت دیگر، بیوچارهای تولید شده در دمای پایین احتمالاً حاوی مقدار بیشتری سلولز بدون آب، پلی‌ساکاریدها، الکل‌ها، ترکیبات آلیفاتیک و ساختارهای کربن حاوی هیدروکسیل هستند که به راحتی تجزیه‌پذیرند (Lehmann and Joseph, 2015).

تأثیر بیوچار برکسر متابولیکی (qCO_2)

مقایسه میانگین تأثیر اثر متقابل نوع خاک و نوع بیوچار بر مقدار qCO_2 نشان داد (جدول ۶)، مقدار qCO_2 در هر دو خاک مورد مطالعه در تیمار شاهد بیشتر از تیمارهای مختلف بیوچار بود. ضریب متابولیک میکروبی به عنوان یک شاخص کارایی کربن مورد استفاده توسط میکروارگانیسم‌های خاک استفاده شده است. همچنین مقایسه میانگین اثر متقابل نوع بیوچار و دمای پیرولیز نیز نشان داد که بیشترین مقدار qCO_2 در تیمار شاهد بود. این شاخص در شرایط ناپایدار و حضور تنش‌های محیطی مختلف افزایش می‌یابد (Bunemann *et al*., 2006). با افزایش qCO_2، قسمت اعظم سوبسترا معدنی و از طریق فعالیت و تنفس میکروارگانیسم‌ها خارج می‌شود. هرچه qCO_2 بزرگتر باشد بدین معناست که سهم اختصاص یافته منبع انرژی به آنابولیسم (ساخت) میکروارگانیسم‌ها از کاتابولیسم (سوخت) کمتر می‌باشد، به عبارتی هرچه qCO_2 بزرگتر باشد، احتمال تجزیه میکروفلور

www.SID.ir

Archive of SID

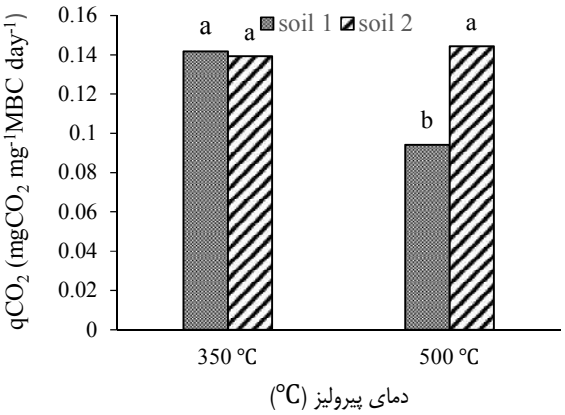
بزرگتر و به دنبال آن متوسط سن میکروفلور کوچکتر خواهد بود. میزان ضریب متابولیکی کمتر نشان دهنده سطح پایین‌تر استرس در جامعه میکروبی در خاک است. کاهش در مقدار qCO_2 با افزودن بیوچار نشان دهنده امکان افزایش کارایی استفاده کربن میکروبی و کاهش در برگشت کربن در پاسخ به افزودن بیوچار است (Masto *et al.*, 2013).

جدول ۶. نتایج مقایسه میانگین تأثیر نوع بیوچار، نوع خاک و دمای پیرولیز بر مقدار qCO_2

		qCO_2			
		Control	AB	GB	SB
شماره خاک	۱	۰/۱۴۳b	۰/۱۱۵d	۰/۰۸۰e	۰/۱۳۳bc
	۲	۰/۲۱a	۰/۱۲۳cd	۰/۱۱۸cd	۰/۱۱۵d
دمای پیرولیز (□)	۳۵۰	۰/۱۷a	۰/۱۵b	۰/۰۸۳d	۰/۱۵b
	۵۰۰	۰/۱۷a	۰/۰۹۲d	۰/۱۲c	۰/۰۸۸d

*** اعدادی که دارای حروف مشترک هستند از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند.**

شکل (۵) مقایسه میانگین اثر متقابل نوع خاک و دمای پیرولیز بیوچار را بر مقدار qCO_2 نشان داده است. با توجه به داده‌های به دست آمده مقدار qCO_2 در خاک ۱ تیمار شده با بیوچارهای تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه به طور معنی‌داری بیشتر از دمای ۵۰۰ درجه بود اما اختلاف معنی‌داری در مقدار qCO_2 خاک ۲ تیمار شده با بیوچارهای تولید شده در دمای ۳۵۰ و ۵۰۰ درجه وجود نداشت. مقدار qCO_2 در خاک ۱ تیمارشده با بیوچارهای تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه در مقایسه با بیوچارهای تولید شده در دمای ۵۰۰ درجه ۵۰/۴۷ درصد بیشتر بود. این نتیجه نشان دهنده این است که اضافه کردن بیوچارهای مورد مطالعه تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه در خاک ۱ آهکی با میزان موادآلی کم می‌تواند منجر به استرس در جمعیت میکروبی یا کاهش در کارایی مصرف کربن گردد (Khadem and Raiesi, 2017).



شکل ۵. مقایسه میانگین تأثیر نوع و دمای پیرولیز بیوچار بر ضریب متابولیک (qCO_2) در دو خاک آهکی با میزان ماده آلی کم (خاک ۱) و بالا (خاک ۲)

*** اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند.**

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد مصرف بیوچارهای حاصل از بقایای هرس سیب، انگور و کاه و کلش گندم اثرات مثبت معنی‌دار بر خصوصیات میکروبیولوژیکی خاک‌های مورد مطالعه دارند. معدنی شدن کربن در بیوچارهای تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه در هر دو خاک مورد مطالعه بالاتر از دمای ۵۰۰ درجه بود. با افزایش دمای پیرولیز، معدنی شدن کربن کاهش یافت که این امر نشان دهنده پایداری بیشتر کربن بیوچار با افزایش دمای پیرولیز در خاک‌ها است. بنابراین برای ترسیب کربن، بیوچارهای تولید شده در ۵۰۰ درجه سلسیوس به علت مقاومت زیاد کربن در برابر تجزیه توصیه می‌شود. کاربرد بیوچارهای تولید شده در دمای ۳۵۰ و ۵۰۰ درجه تأثیر متفاوتی بر خصوصیات بیولوژیکی مورد مطالعه در دو خاک داشت. مقدار BR، SIR، MBC و MBP در دمای ۳۵۰ درجه نسبت به دمای ۵۰۰ درجه بیشتر بود. همچنین مقدار BR، SIR، MBC و MBP در هر دو دمای پیرولیز در خاک با ماده آلی بالا بیشتر از خاک با ماده آلی کمتر بود. بیشترین مقدار BR و MBC در تیمار SB تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه به دست آمد. همچنین مقدار BR در تیمارهای AB، GB و SB تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه در مقایسه با شاهد (بدون بیوچار) به ترتیب ۱/۸، ۱/۲ و ۲ برابر بیشتر بود. مقدار SIR در خاک ۱ و ۲ تیمارشده با بیوچارهای تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه در مقایسه با بیوچارهای تولید شده در دمای ۵۰۰ درجه به ترتیب ۷/۰۶ و ۱۶/۳۸ درصد بیشتر بود. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در دماهای پایین پیرولیز مقادیر BR، SIR، MBC و MBP نسبت به بیوچارهای تولید شده در دمای پیرولیز بالا بیشتر افزایش می‌یابند. به‌طور کلی، دمای فرآیند پیرولیز، نوع خاک و نوع مواد اولیه مورد استفاده در تولید بیوچار، فاکتورهای مهم و تاثیرگذار بر شاخص‌های میکروبی هستند. بنابراین با توجه به

www.SID.ir

Archive of SID

اینکه بیوچارهای مورد مطالعه بخصوص بیوچار کاه و کلش گندم (البته بیوچارهای تهیه شده از بقایای هرس سیب و انگور نیز سبب افزایش مقادیر خصوصیات میکروبیولوژیکی نسبت به شاهد می‌شوند) سبب بهبود فعالیت میکروبی خاک شدند، توصیه می-گردد که از بیوچارهای تولید شده علاوه بر بهبود وضعیت موادآلی خاک، به عنوان کودآلی برای اصلاح و بهبود وضعیت میکروبیولوژیکی خاک و کیفیت آن استفاده گردد.

REFERENCES

Alef, K. and Nannipieri, P. (1995). Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, London.

Anderson, J. P. E. (1982). Soil Respiration. In A. L. Page, *et al*. (Eds.). Methods of Soil Analysis: 2nd ed. Part 2. *American Society of Agronomy*. (pp. 831-872). U.S.A.

Awad, Y. M., Blagodatskaya, E., Ok, Y.S. and Kuzyakov, Y. (2013). Effects of polyacrylamide, biopolymer and biochar on the decomposition of 14C-labelled maize residues and on their stabilization in soil aggregates. *European Journal of Soil Science,* 64, 488–499.

Moradi, N., Rasouli-Sadaghiani, M.H. and Sepehr, E. (2017). Effect of biochar types and rates on some soil properties and nutrients availability in a calcareous soil. *Journal of Water and Soil*, 31(4), 1232-1246. (In Farsi)

Biederman, L. A. and Harpole, W. S. (2012). Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB Bioenergy,* 5, 202–214.

Bruun, E. W., Ambus, P., Egsgaard, H. and Hauggaard-Nielsen, H. (2012). Effects of slow and fast pyrolysis biochar on soil C and N turnover dynamics. Soil Biology and Biochemistry, 46, 73-79.

Bunemann, E. K. Schwenke, G. D. and Van Zwieten, L. (2006). Impact of agricultural inputs on soil organisms. A paper rewiew. 44, 379-406.

Cakmak O., Oztur L., Karanlik S., Ozkan H., Kaya Z., and Cakmak I. (2001). Tolerance of 65 Durum wheat genotypes to zinc deficiency in calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, 24, 1381-1847.

Cantrell, K. B., Hunt, P. G., Uchimiya, M., Novak, J. M. and Ro, K. S. (2012). Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresource technology*, 107, 419-428

Demisie, W., Liu, Z., and Zhang, M. (2014). Effect of biochar on carbon fractions and enzyme activity of red soil. *Catena*, 121, 214-221.

Dempster, D. N., Gleeson, D. B., Solaiman, Z. M., Jones, D. L. and Murphy, D. V. (2012). Decreased soil microbial biomass and nitrogen mineralisation with Eucalyptus biochar addition to a coarse textured soil. *Plant Soil*, 354, 311-324.

Domene, X., Mattana, S., Hanley, K., Enders, A. and Lehmann, J. (2014). Medium-term effects of corn biochar addition on soil biota activities and functions in a temperate soil cropped to corn. *Soil Biology and Biochemistry,* 72, 152-162.

Domingues, R. R., Trugilho, P. F., Silva, C. A., de Melo, I. C. N., Melo, L. C., Magriotis, Z. M. and Sánchez-Monedero, M. A. (2017). Properties of biochar derived from wood and high-nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits. *PloS one*, 12(5), 0176884.

Elzobair, K.A., Stromberger, M.E., Ippolito, J.A. and Lentz, R.D., (2016). Contrasting effects of biochar versus manure on soil microbial communities and enzyme activities in an Aridisol. *Chemospher,* 142, 145–152.

Fabbri, D., Rombolà, A.G., Torri, C. and Spokas, K.A. (2013). Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in biochar and biochar amended soil. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis,* 103, 60-67.

Fang Y. Singh B. singh B.P. and Krull E. (2014). Biochar carbon stability in four contrasting soils. *European Journal of Soil Science*, 65, 60–71.

Gil-Sotres F., Trasar-Cepeda C., Leiros M.C., and Seoane S. (2005). Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biology and Biochemistry,* 37, 877–887.

Gul, S., Whalen, J.K., Thomas, B.W., Sachdeva, V. and Deng, H. (2015). Physicochemical properties and microbial responses in biochar amended soils: Mechanisms and future directions. *Agriculture, Ecosystems & Environment,* 206, 46-59.

Herrick J.E. 2000. Soil quality: an indicator of sustainable land management. *Applied Soil Ecology*, 15, 75-83.

Ippolito, J.A., Stromberger, M.E., Lentz, R.D. and Dungan, R.S. (2016b). Hardwood biochar and manure co-application to a calcareous soil. *Chemosphere*, 142, 84-91

Khademi, A. and Raiesi, F. (2017). Responses of microbial performance and community to corn biochar in calcareous sandy and clayey soils. *Applied Soil Ecology*, 114, 16–27.

Khanmohammadi, Z., Afyuni, M. and Mosaddeghi, M. (2016). Effect of Pyrolysis Temperature on Chemical Properties of Sugarcane Bagasse and Pistachio residues Biochar. *Applied Soil Research*. 3(1), 1-13. (In Farsi)

Lehmann, J. and Joseph, S. (2015). Biochar for environmental management: an introduction. In J. Lehmann and S. Joseph (Eds.), Biochar for environmental management: science, technology and implementation. (pp 1–13). Taylor and Francis, London.

Lewandowski, A. and Zumwinkle, M. (1999). Assessing the soil system a review of soil quality.

www.SID.ir

Archive of SID

literature, *Minnesota Department of Agriculture*, Energy and Sustainable Agriculture Program.

Luo, Y., Durenkamp, M., De Nobili, M., Lin, Q., Devonshire, B.J. and Brookes, P.C. (2013). Microbial biomass growth, following incorporation of biochars produced at 350°C or 700°C, in a silty-clay loam soil of high and low pH. *Soil Biology and Biochemistry*, 57, 513-523.

Mandal, S., Donner, E., Vasileiadis, S., Skinner, W., Smith, E. and Lombi, E. (2018). The effect of biochar feedstock, pyrolysis temperature, and application rate on the reduction of ammonia volatilisation from biochar-amended soil. *Science of the Total Environment*, 627, 942–950.

Manshadi, H., *et al*. (2012). Effect of applying sewage sludge and chemical fertilizer enriched sewage sludge on the amount of organic carbon, enzymatic respiration and activity of soil under basil plant culturing. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries),* 26 (3), 554-562.

Marzooqi, F. and Yousef, L. F. (2017). Biological response of a sandy soil treated with biochar derived from a halophyte (Salicornia bigelovii). *Applied Soil Ecology*, 114, 9-15.

Masto, R. E., Kumar, S., Rout, T. K., Sarkar, P., George, J., and Ram, L. C. (2013). Biochar from water hyacinth (Eichornia crassipes) and its impact on soil biological activity. *Catena*, 111, 64-71.

Nguyen, B. and Lehmann, J. (2009). Black carbon decomposition under varying water regimes. *Organic Geochemistry*, 40, 846–853.

Purakayastha, T. J., Das, K. C., Gaskin, J., Harris, K., Smith, J. L., Kumari, S. (2016). Effect of pyrolysis temperatures on stability and priming effects of C3 and C4 biochars applied to two different soils. *Soil and Tillage Research,* 155, 107–115. [CrossRef]

Qi, F., Dong, Z., Lamb, D., Naidu, R., Bolan, N. S., Ok, Y. S., Liu, C., Khan, N., Johir, M. A. H. and Semple, K.T. (2017). Effects of acidic and neutral biochars on properties and cadmium retention of soils. *Chemosphere*, 180, 564-573.

Rutigliano, F. A., Romano, M., Marzaioli, R., Baglivo, I., Baronti, S., Miglietta, F., and Castaldi, S. (2014). Effect of biochar addition on soil microbial community in a wheat crop. *European Journal of Soil Biology*, 60, 9-15.

Singh, B., Camps-Arbestain, M. and Lehmann, J. (2017). Biochar: a guide to analytical methods. CSIRO Publishing.

Singh, R., Babu, J. N., Kumar, R., Srivastava, P., Singh, P. and Raghubanshi, A. S. (2015). Multifaceted application of crop residue biochar as a tool for sustainable agriculture: an ecological perspective. *Ecological Engineering*, 77, 324–347.

Subedi, R., Taupe, N., Ikoyi, I., Bertora, C., Zavattaroa, L., Schmalenberger, A., Leahyb, J.J. and Grignani, C. (2016). Chemically and biologically-mediated fertilizing value of manure-derived biochar. *Science of the Total Environment*, 550, 924–933.

Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K. Y., Downie, A., Rust, G., Joseph, S. and Cowie, A. (2010). Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant Soil*, 327, 235-246.

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. Joint Research Centre Scientific and Technical Reports.

Xu, N. Tan, G., Wang, H. and Gai, X. (2016). Effect of biochar additions to soil on nitrogen leaching , microbial biomass and bacterial community structure. *European Journal of Soil Biology,* 74, 1-8.

Yang, X., Wang, H., Strong, P., Xu, S., Liu, S., Lu, K., Sheng, K., Guo, J., Che, L. and He, L. (2017). Thermal properties of biochars derived from waste biomass generated by agricultural and forestry sectors. *Energies*, 10(4), 469.

Zhang, X., He, L., Sarmah, A., Lin, K., Liu, Y., Li, J. and Wang, H. (2014). Retention and release of diethyl phthalate in biochar-amended vegetable garden soils. *Journal of Soils and Sediments,* 14, 1790–1799.

Zhao, B., O'Connor, D., Zhang, J., Peng, T., Shen, Z., Tsang, D. C. and Hou, D. (2018). Effect of pyrolysis temperature, heating rate, and residence time on rapeseed stem derived biochar. *Journal of Cleaner Production*, 174, 977-987.

Zhao, R., Coles, N. and Wu, J. (2015). Carbon mineralization following additions of fresh and aged biochar to an infertile soil. *Catena*, 125, 183–189.

Zhou, J., Chen, H., Huang, W., Arocena, J.M. and Ge, S. (2016). Sorption of Atrazine, 17α-Estradiol, and Phenanthrene on Wheat Straw and Peanut Shell Biochars. *Water Air and Soil Pollution,* 227, 7.

Zhou, J., Xue, K., Xie, J., Dend, Y., Wu, L., Cheng, X., Fei, S., Deng, S., He, Z., Van Nostrand, J. D. and Luo, Y. (2012). Microbial mediation of carbon-cycle feedbacks to climate warming. *Nature Climate Change,* 2: 106–110.

www.SID.ir