

## تأثیر بیوچارهای با منشأ و دمای مختلف پیرولیز بر محتوی کربن آلی، کربوهیدرات و تنفس میکروبی خاک

ندا صفاری انارکی<sup>۱\*</sup>، محمدعلی حاج عباسی<sup>۲</sup>، حسین شیرانی<sup>۲</sup>، محمدرضا مصدقی<sup>۲</sup><sup>۱</sup> دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان<sup>۲</sup> استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان<sup>۳</sup> استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

## چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر بیوچارهای مختلف بر مقدار کربن آلی خاک، تنفس میکروبی و غلظت کربوهیدرات‌های محلول در آب داغ اجرا گردید. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار در گلخانه انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل کود مرغی، بقایای ذرت و بیوچار آنها با سه سطح کاربرد (۱، ۲ و ۴ درصد وزنی) در دو دمای پیرولیز ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس بودند. نتایج نشان داد که افزایش دمای پیرولیز صرف نظر از منشأ بیوچار باعث کاهش کربن آلی و تنفس میکروبی خاک شد؛ به طوری که بیشترین مقدار کربن آلی خاک (۳ درصد) در تیمار بیوچار بقایای ذرت در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس و سطح ۴ درصد و کمترین مقدار آن (۰/۳ درصد) در تیمار شاهد مشاهده گردید. غلظت کربوهیدرات نیز به عنوان بخش مهم و در دسترس کربن آلی خاک تحت تأثیر افزودن تیمارها قرار گرفت؛ به طوری که غلظت کربوهیدرات بیوچارهای بقایای ذرت نسبت به کود مرغی بیشتر بود. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که با توجه به اثرات اثبات شده بیوچار در ترسیب کربن و افزایش غلظت کربن آلی خاک، بیوچارهای تولیدشده در دمای کم پیرولیز (۳۵۰ درجه سلسیوس) از مواد خام مورد مطالعه، می‌تواند به عنوان اصلاح‌کننده به خاک افزوده شود.

**کلمات کلیدی:** کربوهیدرات محلول در آب داغ، تنفس میکروبی، کود مرغی، بقایای ذرت

## مقدمه

انتخاب شیوه‌های مدیریت مناسب به منظور اصلاح خاک‌های کم حاصلخیز مناطق خشک و نیمه‌خشک از اهمیت بسزایی برخوردار است. یکی از روش‌های مؤثر، افزودن تیمارهای آلی به این خاک‌ها است. بیوچار که از این گروه تیماری محسوب می‌شود، ماده‌ای متخلخل، جامد و غنی از کربن است که طی فرایند پیرولیز در شرایط کم‌اکسیژن یا بدون اکسیژن حاصل می‌شود (Verheijen و همکاران، ۲۰۱۰) و اثرش بر ویژگی‌های خاک تقریباً مشابه مواد آلی است (Chan و همکاران، ۲۰۰۷). علاوه بر مقدار ماده آلی، نوع و ترکیب آن نیز دارای اهمیت است. افزودن بیوچار به خاک همراه با ترسیب کربن، می‌تواند ویژگی‌های مختلف خاک را نیز تحت تأثیر قرار دهد. اکثر پژوهش‌ها نشان می‌دهد که بیوچار به‌عنوان اصلاح‌کننده، موجب بهبود ساختمان خاک، نگهداشت آب و عناصر غذایی (Mollinedo و همکاران، ۲۰۱۵)، افزایش رشد میکروبی (O'Neill و همکاران، ۲۰۰۹)، بهبود فراهمی عناصر غذایی و افزایش مقاومت گیاهان به بیماری‌ها و آفات (Kolton و همکاران، ۲۰۱۱) می‌شود. با این وجود به دلیل عوامل زیادی که بر روابط خاک و بیوچار اثر دارند، پیش‌بینی تأثیر بیوچار بر ویژگی‌های خاک دشوار است. ویژگی‌های اساسی شیمیایی و فیزیکی بیوچار تحت تأثیر متغیرهای تولید آن، به‌ویژه نوع ماده اولیه، دما و مدت زمان فرایند پیرولیز قرار می‌گیرد (Wang و همکاران، ۲۰۱۱). بیوچارهای تولیدی در دمای ۳۵۰ تا ۷۰۰ درجه سلسیوس به طور گسترده برای پیش‌برد اهداف کشاورزی و زیست‌محیطی همراه با ترسیب کربن، مورد توجه قرار گرفته است (Tag و همکاران، ۲۰۱۶). بافت و ساختمان خاک، مقدار ماده آلی و جامعه میکروبی خاک (Wang و همکاران، ۲۰۱۷) نیز از عوامل خاکی است که بر این روابط تأثیرگذار است. در همین راستا Sarker و همکاران (۲۰۱۸) عنوان کردند که اثر تیمارهای آلی بر خاک بستگی به ترکیب اصلی این مواد دارد. بقایای ذرت به دلیل داشتن سلولز و همی‌سلولز دارای اثرات کوتاه و میان‌مدت و کمپوست کود دارای اثر کم‌تر ولی مداوم و تدریجی است. وجود ترکیبات با تجزیه‌پذیری کندتر در کود باعث می‌شود که مواد مغذی به طور تدریجی و طولانی‌مدت

\* ایمیل نویسنده مسئول: neda.saffary@yahoo.com

آزاد شده و به طور پیوسته کربن آلی و فعالیت میکروبی خاک افزایش یابد. بنابراین پژوهش موجود با هدف بررسی تأثیر افزودن تیمارهای ماده خام و بیوچار کود مرغی و بقایای ذرت در دو دمای پیرولیز ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس و با ۳ سطح کاربردی ۱،۲ و ۴ درصد بر برخی ویژگی‌های خاک انجام شد.

### مواد و روش‌ها

۵ کیلوگرم خاک لوم شنی عبوری از الک ۴ میلی‌متری و هوا-خشک به طور کامل با دو گروه مواد، شامل گروه بقایای عبوری از الک ۰/۵ میلی-متری (بقایای ذرت و بیوچارهای تولیدی در دماهای ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس) و گروه کودی (کود مرغی و بیوچار با دمای مشابه) با سه سطح کاربرد (۱، ۲ و ۴ درصد وزنی) به طور کامل و یکنواخت مخلوط شده و پس از انتقال به گلدان‌های تهیه‌شده، در گلخانه نگهداری شد. به منظور واکنش بهتر خاک و تیمارها به مدت یک ماه رطوبت گلدان‌ها در حدود ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه (FC) حفظ شد و سپس بذر ذرت در هر گلدان کاشته شد. پس از اتمام دوره ۲ ماهه کشت، گیاه ذرت از هر گلدان برداشت شد و خاک اطراف ریشه‌های گیاه (ریزوسفر) به دقت و به آرامی جمع‌آوری شد. ویژگی‌های خاک نیز با روش‌های معمول آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد. کربن آلی خاک (SOC) به روش همز تر (Walkley and Black, 1934)، کربوهیدرات‌های محلول در آب داغ (HWSC) به روش فنول-اسید سولفوریک (Dubois و همکاران، ۱۹۵۶) و تنفس پایه میکروبی (BSR) نیز از روش تیتراسیون برگشتی با HCL (Chen و همکاران، ۲۰۰۰) اندازه‌گیری شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و ۱۹ تیمار در گلخانه پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان اجرا شد (شکل ۱). رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel و تجزیه آماری با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LDS در سطح احتمال آماری ۵ درصد انجام شد.



شکل ۱. نمایی از کشت گیاه در گلخانه

### نتایج و بحث

نتایج مربوط به برخی ویژگی‌های خاک در جدول (۱) ارائه شده است. خاک مورد بررسی لوم شنی، دارای آهک نسبتاً زیاد با ماده آلی کم (کمتر از ۱ درصد) بود.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی

EC <sub>e</sub>	pH <sub>e</sub>	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی خاک	رس	سیلت	شن	بافت خاک
dS m <sup>-1</sup>		g kg <sup>-1</sup>					
۰/۹۴	۷/۹	۴۲۵	۲/۲۵	۱۹۲	۲۷۳	۵۳۵	لوم شنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تغییرات کربن آلی خاک (SOC)، کربوهیدرات‌های محلول در آب داغ (HSWC) و تنفس میکروبی پایه خاک (BSR) تحت تاثیر تیمارهای مختلف معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) است.

با افزودن تیمارهای مورد بررسی، کربن آلی خاک در مقایسه با شاهد افزایش یافت. با افزایش درصد کاربرد تیمارها، کربن آلی خاک نیز بیشتر شد. به طوری که در بیوچار بقایای ذرت در دمای ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس این افزایش از ۱ به ۴ درصد به ترتیب حدود ۱۷۰ و ۵۶ درصد و در بیوچار کود مرغی با دما و درصدهای مشابه به ترتیب حدود ۲۰۵ و ۹۷ درصد بود. بیش‌ترین مقدار کربن آلی در بیوچار بقایای ذرت دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس دیده شد (جدول ۲) که احتمالاً با کربن آلی زیاد موجود در مواد اولیه ارتباط دارد. به نظر می‌رسد تغییر نوع کربن آلی، ساختار و شیمی سطح بیوچارهای تولیدی، دلیل کاهش کربن آلی در خاک‌های تیمار شده با بیوچارهای دمای پیرولیز بالا ( $650^{\circ}\text{C}$ ) باشد. سهم زیادی از کربن آلی این بیوچار-ها از نوع پایدار و آروماتیک است. Ouyang و همکاران (۲۰۱۴) نیز گزارش کردند که بیوچارهای تولید شده در دمای پایین (۳۰۰ درجه سلسیوس) به طور قابل توجهی کربن آلی خاک را در مقایسه با بیوچارهای دمای بالا (۵۰۰ درجه سلسیوس به بالا) افزایش می‌دهد.

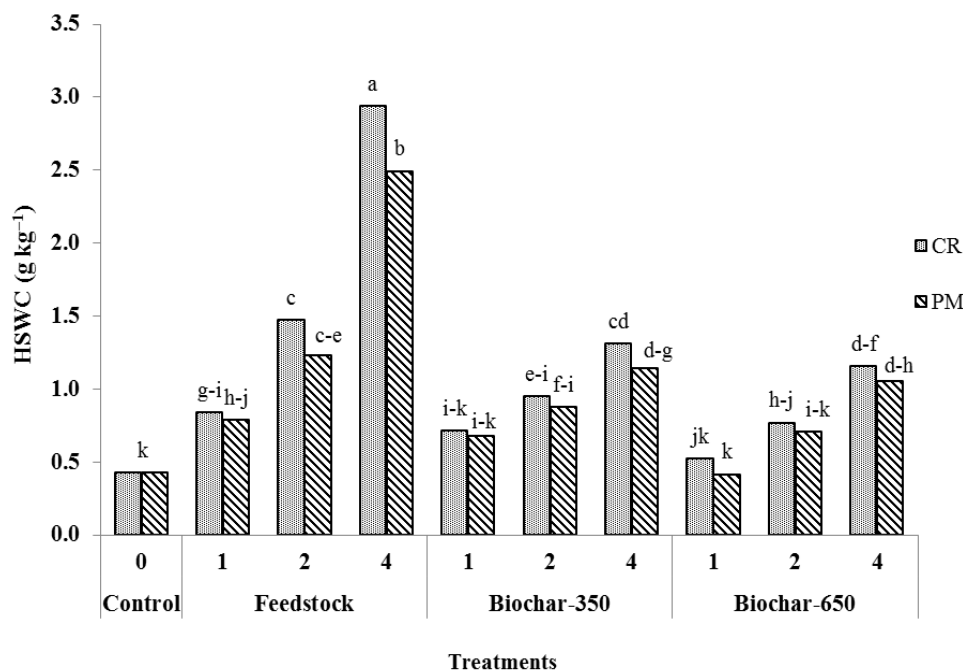
جدول ۲. تاثیر مواد اولیه و بیوچارها بر کربن آلی خاک (SOC) و تنفس میکروبی پایه خاک (BSR)

BC-650	BC-350	CR	BM-650	BM-350	PM	درصد کاربرد	ویژگی
۴/۸ <sup>kl</sup>	۱۱/۳ <sup>e</sup>	۵/۵ <sup>jk</sup>	۳/۸ <sup>lm</sup>	۹/۶ <sup>f</sup>	۴/۷ <sup>kl</sup>	۱	SOC ( $\text{g kg}^{-1}$ )
۵/۴ <sup>jk</sup>	۱۷/۲ <sup>c</sup>	۸/۴ <sup>g</sup>	۶/۳ <sup>zj</sup>	۱۸/۲ <sup>c</sup>	۶/۸ <sup>hi</sup>	۲	
۷/۵ <sup>gh</sup>	۳۰/۵ <sup>a</sup>	۱۳/۲ <sup>d</sup>	۷/۵ <sup>gh</sup>	۲۹/۳ <sup>b</sup>	۱۲/۰ <sup>e</sup>	۴	
۳۳ <sup>jk</sup>	۹۰ <sup>e-g</sup>	۱۶۸ <sup>c</sup>	۵۳ <sup>h-k</sup>	۶۲ <sup>g-j</sup>	۱۲۸ <sup>d</sup>	۱	BSR ( $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ )
۴۸ <sup>jk</sup>	۹۶ <sup>d-g</sup>	۲۴۰ <sup>b</sup>	۷۲ <sup>g-i</sup>	۸۰ <sup>f-i</sup>	۲۰۸ <sup>c</sup>	۲	
۸۰ <sup>f-i</sup>	۱۱۶ <sup>de</sup>	۴۶۰ <sup>a</sup>	۸۴ <sup>e-h</sup>	۱۰۸ <sup>d-f</sup>	۴۴۹ <sup>a</sup>	۴	

در هر متغیر، حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون LSD است. مخفف تیمارها: CR بقایای ذرت، PM کود مرغی، BC 350-650 بیوچار بقایای ذرت در دو دمای پیرولیز ۳۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس و BM 350-650 بیوچارهای کود مرغی در همان دو دمای مذکور است.

کربن آلی علاوه بر آثار مستقیم بر ویژگی‌های خاک، می‌تواند جمعیت میکروبی خاک را نیز تحریک کند. تنفس میکروبی خاک به عنوان شاخص فعالیت میکروبی خاک تحت تاثیر تیمارهای مورد مطالعه قرار گرفت. تنفس میکروبی در تمام تیمارها بیش از خاک شاهد بود، اگر چه بین شاهد با تیمارهای بیوچار بقایای ذرت دمای ۶۵۰ درجه سلسیوس و ۱ و ۲ درصد و همچنین بیوچار کود مرغی دمای ۶۵۰ درجه سلسیوس با نرخ کاربرد ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. افزایش دمای پیرولیز با کاهش تنفس میکروبی همراه بود (جدول ۲). به نظر می‌رسد کاهش کربن آلی خاک، حضور ترکیبات سمی مثل هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی (PAH) (Zimmerman و همکاران، ۲۰۱۱) و افزایش جذب جزء کربن آلی ناپایدار به دلیل سطح ویژه زیاد و بار سطحی منفی (Gul و همکاران، ۲۰۱۵) بیوچارهای دمای بالا از دلایل کاهش تنفس میکروبی باشد. همبستگی قوی و مثبت کربوهیدرات‌های محلول در آب داغ (HSWC) و تنفس میکروبی و ( $r=0.91$   $P < 0.001$ ) نشان می‌دهد که علاوه بر مقدار کربن آلی، نوع و ترکیب آن نیز بسیار با اهمیت است. کربوهیدرات یک جز مهم ناپایدار و قابل دسترس کربن آلی است که عمدتاً از پلی‌ساکاریدهای ترش‌شی از ریشه گیاهان یا فعالیت میکروبی تشکیل شده است و حدود ۵ تا ۲۵ درصد ماده آلی کل خاک را به خود اختصاص می‌دهد (Ratnayake و همکاران، ۲۰۱۳).

با وجود طبیعت پایدار و سرسخت بیوچار در خاک و مقاومت در برابر تجزیه میکروبی، بیوچارهای دمای پایین به دلیل مقدار کربن آلی بیشتر و سهم بالاتری از کربن آلی ناپایدار، می‌توانند منبع مناسبی برای تغذیه میکروبی باشند. از طرفی سطح ویژه زیاد آنها نیز می‌تواند پناهگاهی امن برای جامعه میکروبی ایجاد کند (Khadem and Raiesi, 2017). با این وجود به دلیل ماهیت تجزیه‌پذیری زیاد مواد اولیه، برتری تنفس میکروبی در مقایسه ماده خام اولیه و بیوچارها با مواد اولیه است. غلظت حدود ۲/۵ و ۳ گرم بر کیلوگرم HWSC به ترتیب در تیمارهای بقایای ذرت و کود مرغی با نرخ کاربرد ۴ درصد در مقایسه با غلظت ۱/۳ و ۱/۴ گرم بر کیلوگرم در بیوچار ۳۵۰ °C بقایای ذرت و کود مرغی با درصد کاربرد مشابه نیز تأییدی بر این نتایج است (شکل ۲) و دسترسی آسان ریزجانداران را به کربن مواد اولیه نشان می‌دهد؛ افزایش تنفس میکروبی نیز در این شرایط انتظار می‌رود (جدول ۲).



شکل ۲. تاثیر تیمارهای مختلف بر غلظت کربوهیدرات‌های محلول در آب داغ (HSWC) در خاک

### نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد بیوچارهای دمای پایین (۳۵۰ درجه سلسیوس) می‌تواند مقدار کربن آلی خاک و کربوهیدرات‌های محلول در آب داغ را به طور چشمگیری افزایش دهد ولی بیوچارهای دمای بالا (۶۵۰ درجه سلسیوس) با وجود اثر افزایشی نسبت به شاهد ولی در مقایسه با مواد خام و بیوچارهای دمای کم، خوب عمل نکرده است. روند صعودی این ویژگی‌ها با افزایش درصد کاربرد همه اصلاح‌کننده‌های مورد مطالعه مشاهده شد. همبستگی قوی و معنی‌دار (۰/۹۱) بین کربن آلی با کربوهیدرات‌های خاک نشان‌دهنده اهمیت نوع و ساختار ماده آلی است. تنفس میکروبی بر عکس ماده آلی خاک در مواد خام کاربردی بیش از بیوچارهای آنها بود، به نظر می‌رسد پایداری و مقاومت زیاد کربن موجود در بیوچار فرصت جمعیت میکروبی خاک را برای فراهمی و دسترسی به مواد مغذی خاک محدود می‌کند، این محدودیت با افزایش دمای پیرولیز نیز بیشتر می‌شود. بنابراین پیشنهاد می‌گردد که برای اهداف حاصلخیزی خاک از بیوچارهای کود مرغی و بقایای ذرت تولیدی در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس استفاده شود.



منابع

- Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A. and Joseph, S. 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Soil Research*. 45(8), 629–634.
- Chen, C.R., Condon, L.M., Davis, M.R. and Sherlock, R.R., 2000. Effects of afforestation on phosphorus and biological properties in a New Zealand grassland soil. *Plant Soil* 220, 151–163.
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P. and Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*. 28(3), 350–356.
- 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 and Environment*. 206, 46–59.
- Khadem, 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.
- Kolton, M., Harel, Y.M., Pasternak, Z., Graber, E.R., Elad, Y., Cytryn, E., 2011. Impact of biochar application to soil on the root-associated bacterial community structure of fully developed greenhouse pepper plants. *Applied and Environmental Microbiology*. 77, 4924–4930.
- Mollinedo, J., Schumacher, T.E. and Chintala, R. 2015. Influence of feedstocks and pyrolysis on biochar's capacity to modify soil water retention characteristics. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 114, 100–108.
- O'Neill, B., Grossman, J., Tsai, M.T., Gomes, J.E., Lehmann, J., Peterson, J., Neves, E. and Thies, J.E. 2009. Bacterial community composition in Brazilian anthrosols and adjacent soils characterized using culturing and molecular identification. *Microbial Ecology*. 58, 23–35.
- Ouyang, L., Yu, L.Q. and Zhang, R.D. 2014. Effects of amendment of different biochars on soil carbon mineralization and sequestration. *Soil Research*. 52, 46–54.
- Ratnayake, R.R., Seneviratne, G. and Kulasoorya, S.A. 2013. Effect of Soil Carbohydrates on Nutrient Availability in Natural Forests and Cultivated Lands in Sri Lanka. *Eurasian Soil Science*. 46(5), 579–586.
- Sarker, T.C., Incerti, G., Spaccini, R., Piccolo, A., Mazzoleni, S. and Bonanomi, G. 2018. Linking organic matter chemistry with soil aggregate stability: Insight from <sup>13</sup>C NMR spectroscopy. *Soil Biology Biochemistry*. 117, 175–184.
- Tag, A.T., Duman, G., Ucar, S., Yanik, J., 2016. Effects of feedstock type and pyrolysis temperature on potential applications of biochar. *Journal of Analytical Applied Pyrolysis*. 120, 200–206.
- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A.C., van der Velde, M. and Diafas, I. 2010. Biochar application to soils - a critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. EUR 24099 EN. Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Walkley, A. and Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37, 29–38.
- Wang, D., Fonte, S.J., Parikh, S.J., Six, J. and Scow, K.M. 2017. Biochar additions can enhance soil structure and the physical stabilization of C in aggregates. *Geoderma*. 303, 110–117.
- Wang, J., Zhang, M., Xiong, Z., Liu, P., and Pan, G. 2011. Effects of biochar addition on N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> emissions from two paddy soils. *Biology and Fertility of Soils*. 47, 887–896.
- Zimmerman, A.R., Gao, B. and Ahn, M.Y. 2011. Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar amended soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 43, 1169–1179.



# 16<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress

University of Zanjan, Iran, August 27-29, 2019



**Topic for submission: Soil Quality and Sustainable Soil Management**

## **Effect of biochars derived from different feedstocks and pyrolysis temperature on soil organic carbon content, carbohydrate and microbial respiration**

**Saffari Anaraki<sup>\*1</sup>, N., Hajabbasi<sup>2</sup>, M.A., Shirani<sup>3</sup>, H. Mosaddeghi<sup>2</sup>, M.R.**

<sup>1</sup>PhD Student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran

<sup>2</sup>Prof., Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran

<sup>3</sup>Prof., Department of Soil Science, College of Agriculture, Shahrekord University, Iran

### **Abstract**

The purpose of this study was to investigate the effect of various biochars on the soil organic carbon content, microbial respiration and the hot-water soluble carbohydrates. The experiment was conducted in a completely randomized design with three replications in the greenhouse. Experimental treatments consisted of poultry manure, corn residue and their biochars with three levels of application (1, 2 and 4 %) at two pyrolysis temperatures of 350 and 650 °C. The results showed that increasing pyrolysis temperature, irrespective of the source of biochar, reduced the soil organic carbon content and microbial respiration. The highest amount of soil organic carbon (3%) was observed in the biochar of maize residues produced at 350 °C and 4% and lowest (0.3%) in the control. Carbohydrates as an important part of the soil organic carbon were also affected by the treatments applications. The concentration of soil carbohydrates was higher in the maize biochars compared to the poultry manure. In general, the results of this study showed that, due to the proven positive effects on carbon sequestration and the increase of soil organic carbon content, the biochars produced at low temperature of pyrolysis (350 °C) is more suitable than the raw materials for amending soil.

**Keywords:** Hot-water soluble carbohydrates, Basal soil respiration, Poultry manure, Corn residue