زغال زیستی[۱۳۳] ، یک ابزار ترسیب کربن در خاک

بهروز گلیج [۱]، حسین شریعتمداری [۲]، محسن سلیمانی [۳] ، مهران شیروانی [۴]
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم خاک دانشکده کشاورزی، ۲- استاد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی ،۴- دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، ۳- استادیار گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده
زغال زیستی (بیوچار) یکی از مواد حاصل از پیرولیز ضایعات آلی است که به عنوان اصلاح‌کننده برای ترسیب کربن در خاک توصیه شده است. این پژوهش با هدف بررسی تاثیر زغال زیستی حاصل از پوسته شلتوک برنج در مقایسه با یک نمونه ورمی‌کمپوست (حاصل از ضایعات کارخانه چای و کود حیوانی) به عنوان اصلاح‌کننده خاک بر درصد کربن آلی و تنفس میکروبی و همچنین شاخص هدر رفت کربن در اثر تنفس میکروبی(LOR) یک خاک آهکی صورت گرفت. تیمارهای زغال زیستی و ورمی‌کمپوست کربن آلی و تنفس میکروبی خاک را به طور معنی‌داری افزایش دادند. در این مقایسه تاثیر زغال زیستی بر افزایش کربن آلی خاک بیشتر از ورمی‌کمپوست بود، در حالیکه هدررفت کربن در اثر تنفس میکروبی نسبت به کربن اضافه شده به خاک (LOR) در تیمارهای زغال ریستی کمتر از ورمی کمپوست بود. به عبارت دیگر زغال زیستی باعث افزایش ترسیب کربن آلی در خاک شد.
واژه‌های کلیدی: زغال زیستی، پیرولیز، ترسیب کربن، تنفس میکروبی، شلتوک برنج

مقدمه
افزایش غلظت دی اکسید کربن جو و تغییر شرایط آب و هوایی جهان نیاز ما را به داده‌ها و اطلاعات در خصوص چرخه کربن به شدت افزایش داده است. جریان CO_2 خاک یا تنفس خاک یکی از مهمترین اجزای بودجه کربن در اکوسیستم می‌باشد که متشکل از تجزیه و معدنی شدن مواد آلی، تنفس میکروبی و تنفس ریشه و ریزوسفر است. سالانه حدود ۱۰ درصد از دی‌اکسیدکربن اتمسفر از خاک‌ها خارج می‌شود که این مقدار ۱۰ برابر دی‌اکسیدکربن تولید شده از سوخت‌های فسیلی می‌باشد. (Raich and Potter, ۱۹۹۵) بقایای گیاهی به طور دائم توسط گیاهان تولید و به خاک اضافه می‌گردد. قسمتی از این بقایا توسط موجودات خاک تجزیه شده و پس از تبدیل به دی‌اکسیدکربن به اتمسفر برمی‌گردد و به این صورت چرخه کربن که با فتوسنتز شروع شده بود، دوباره کامل می‌گردد. قسمت دیگر بقایای گیاهی به شکل هوموس باقی‌مانده و نسبت به تجزیه مقاوم می‌گردد. بنابراین مقدار کربن باقی‌مانده در خاک تفاوت بین مقدار کربن آلی اضافه شده به خاک توسط بقایای گیاهی و میزان دی‌اکسیدکربن حاصل از فعالیت میکروبی است. لذا جهت افزایش سطح کربن خاک به منظور بهبود کیفیت خاک‌ها و همچنین حفظ بهداشت محیط زیست افزودن ضایعات آلی از جمله پسماندهای گیاهی و کود حیوانی به عنوان عامل کلیدی محسوب می‌شود. در همین راستا و در جهت معرفی منابع حاوی کربن پایدارتر در خاک، کاربرد زغال زیستی و ورمی‌کمپوست در چند سال اخیر توجه زیادی را به خود جلب نموده است.

مواد و روش‌ها
این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل شاهد (b.)، سطوح یک، دو و سه درصد زغال زیستی که به ترتیب b_1، b_2 و b_3 و سطح دو درصد ورمی‌کمپوست (vt) در یک خاک آهکی بود. به منظور تولید اصلاح کننده ها، زغال زیستی از پوسته شلتوک برنج در شرایط پیرولیز (تجزیه حرارتی) در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد و به مدت یک ساعت و شرایط عدم حضور اکسیژن (خروج اکسیژن توسط گاز نیتروژن) در کوره الکتریکی تولید شد (Rajkovich et al ۲۰۱۱ ,.). ورمی‌کمپوست نیز از اختلاط ضایعات کارخانه چای و کود حیوانی با نسبت ۱:۱ و افزودن کرم خاکی (*Eisenia foetida*) به مدت ۴۵ روز تهیه گردید. نمونه خاک مورد آزمایش در این پژوهش به صورت مرکب از چهار نقطه و از عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متر مزرعه تحقیقاتی لورک دانشگاه صنعتی اصفهان برداشته شد. نمونه خاک هوا خشک شده و بعد از کوبیدن از الک ۲ میلیمتری جهت استفاده در آزمایشگاه و از الک ۴ میلیمتری جهت استفاده در گلدان عبور داده شد. ورمی‌کمپوست تولید شده نیز پس از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلیمتری در داخل ظروف مخصوص نگهداری شد، نمونه‌ی زغال زیستی نیز پس از عبور از الک ۲ میلیمتری مورد استفاده قرار گرفت. برای تعیین خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک، pH و EC (هدایت الکتریکی) خاک در عصاره ۵/۱:۲ با استفاده از الکترود و درصد آهک خاک از طریق تیتراسیون (Carter and Gregorich, ۲۰۱۴)، درصد کربن آلی با دستگاه آنالیز کربن مدل ۲۲CS، نیتروژن کل با دستگاه اتوکلتک مدل ۳۲۰۰ و بافت خاک به روش هیدرومتری (Day, ۱۹۶۵) اندازه‌گیری شد. برای اصلاح‌کننده‌ها نیز، pH و EC نمونه‌های زغال زیستی و ورمی‌کمپوست در عصاره ۱۰:۱ (Carter and Gregorich, ۲۰۱۴)، درصد کربن آلی با دستگاه آنالیز کربن مدل ۲۲CS، نیتروژن کل با دستگاه اتو کلتک مدل ۳۲۰۰ ، غلظت کل آهن، روی، منیزیم و منگنز به روش هضم با اسید نیتریک و قرائت با دستگاه جذب اتمی (Kimbrough and Wakakuwa ۱۹۸۹,) اندازه‌گیری شد. برای تیمار خاک، سطوح معین زغال زیستی و ورمی‌کمپوست به خاک اضافه و تیمار شاهد نیز بدون اضافه کردن زغال زیستی و ورمی‌کمپوست در نظر گرفته شد. خاک‌های تیمار شده داخل گلدان‌هایی با ظرفیت ۵ کیلوگرم جهت انکوباسیون ۴۵ روزه در گلخانه قرار گرفتند. در دوره ۴۵ روزه انکوباسیون، رطوبت خاک در ۵۰ درصد ظرفیت نگهداری رطوبت خاک حفظ شد و هر ۱۵ روز، یک نمونه‌ی ۵۰ گرمی خاک از تمام گلدان‌ها جهت اندازه‌گیری تنفس میکروبی خاک و همچنین در مرحله پایانی (۱۵ روز پایانی) دوره انکوباسیون، یک نمونه جهت

[۱۳۳] Biochar

اندازه‌گیری درصد کربن خاک از تمام گلدان‌ها برداشت شد. به منظور اندازه‌گیری تنفس میکروبی خاک از روش تیتراسیون استفاده شد (Haney et al., ۲۰۰۱). تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح ۵ و ۱ درصد انجام شد و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار EXCEL صورت گرفت.

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مورد مطالعه قبل از اعمال تیمار و مواد اصلاحی به کار رفته در تیمارهای مورد آزمایش به ترتیب در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مورد مطالعه

ویژگی (واحد)	pH عصاره ۲:۱/۵ –	EC عصاره ۲:۱/۵ dS m^{-1}	اهک (%)	کربن آلی (%)	نیتروژن (%)	بافت –
	۷/۷	۵۱۰/۰	۵/۴۰	۷/۱	۱/۰	لوم رسی

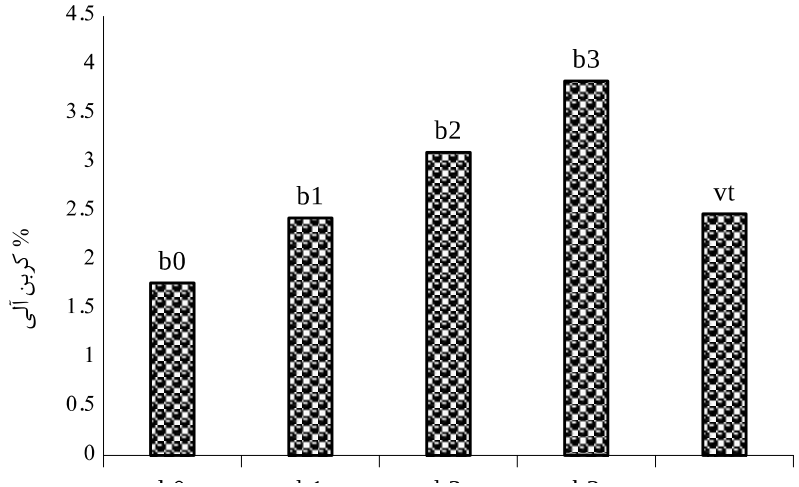
جدول۲. برخی ویژگی‌های شیمیایی مواد اصلاحی مورد استفاده

ویژگی (واحد)	pH عصاره ۱:۱۰ –	EC عصاره ۱:۱۰ dS m^{-1}	OC (%)	N (%)	Fe	Zn	Mg	Mn
					mg kg^{-1}			
زغال زیستی	۳/۷	۱۸۶/۰	۴۰	۵۵/۰	۳۲۰	۲۹	۹۱۸	۲۰۰
ورمی‌کمپوست	۳/۷	۷۵۱/۰	۱۵	۴۸/۲	۹۲۵۳	۱۲۰	۸۶۵۹	۱۲۰۵

.به ترتیب غلظت کل عناصر آهن، روی، منیزیم و منگنز می‌باشد Mn و Fe، Zn، Mg ،نیتروژن کل N ،کربن آلیOC :پارامترها شامل

زغال زیستی و ورمی‌کمپوست دارای pH مساوی و تا حدودی قلیایی بودند. هدایت الکتریکی ورمی‌کمپوست به دلیل املاح موجود در کود حیوانی زیادتر از زغال زیستی می‌باشد. مقدار تمام عناصر اندازه‌گیری شده به جز کربن آلی در ورمی‌کمپوست بالاتر از زغال زیستی بود. احتمالاً از نظر بهبود شرایط حاصلخیزی خاک ورمی‌کمپوست اصلاح‌کننده مناسب‌تری در مقایسه با زغال زیستی باشد. در مقابل مقدار زیاد کربن آلی موجود در زغال زیستی نکته قابل توجهی است که می‌تواند کاربرد آن را در افزایش ذخیره کربن آلی خاک توجیه نماید.

تاثیر مواد اصلاحی بر کربن آلی خاک: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر مواد اصلاحی بر کربن آلی خاک در سطح ۰۱/۰ معنی‌دار شد. تاثیر تیمارهای اصلاحی بر میانگین کربن آلی خاک در شکل (۱) نشان داده شده است.



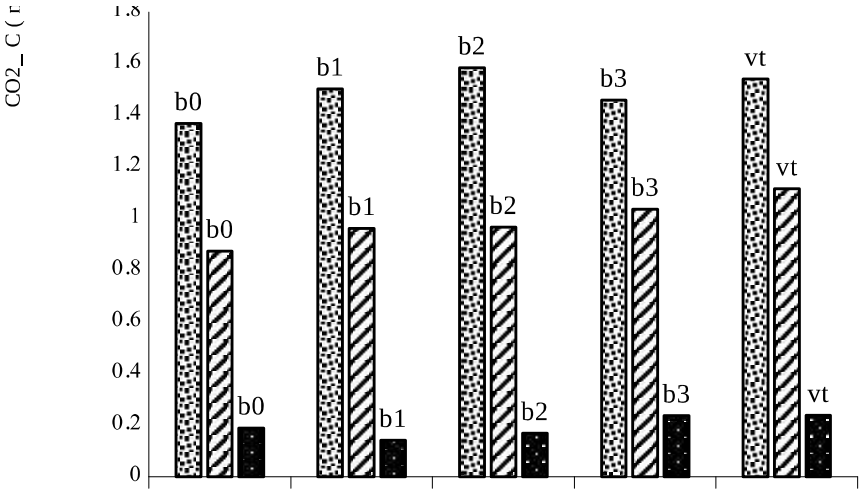
شکل ۱. تاثیر تیمارهای اصلاحی بر میانگین درصد کربن آلی خاک
(Vt) و سطح دو درصد ورمی‌کمپوست b۳ و b۲ ،b۱ سطوح یک، دو و سه درصد زغال زیستی که به ترتیب ،(b۰)شاهد

زغال زیستی و ورمی‌کمپوست باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی خاک در پایان دوره انکوباسیون شدند. افزایش مقدار کربن آلی خاک در اثر کاربرد زغال زیستی با سطح کاربرد آن متناسب بود. تیمار دو درصد ورمی‌کمپوست نیز باعث افزایش کربن آلی خاک در مقایسه با شاهد گردید. این تاثیر تقریباً معادل تیمار یک درصد زغال زیستی بود (شکل ۱). محققین تاثیر اضافه کردن زغال زیستی ضایعات کارخانه کاغذ را بر افزایش کربن یک خاک آهکی در استرالیا گزارش کردند (Van Zwieten et al., ۲۰۱۰). افزایش کربن آلی خاک در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست هم می‌تواند به دلیل دارا بودن کربن آلی فراوان ورمی‌کمپوست باشد.

تاثیر مواد اصلاحی بر تصعید کربن آلی خاک: به منظور بررسی مقدار کربن تصعید شده از خاک در اثر مواد اصلاحی در دوره انکوباسیون علاوه بر اندازه‌گیری شاخص تنفس میکروبی، با توجه به میزان کربن خالص اضافه شده توسط مواد اصلاحی به خاک، نسبت کربن تصعید شده به کربن آلی خاک در هر تیمار نیز به عنوان شاخص LOR[۱۳۴] محاسبه گردید. به دلیل کوچک بودن نسبت حاصله این شاخص بر حسب در هزار[۱۳۵] تعریف شد.

$$LOR = \frac{\text{مقدار کربن خالص تصعید شده در اثر تنفس میکروبی در دوره انکوباسیون}}{\text{مقدار کربن آلی خاک}} \times ۱۰۰۰$$

تاثیر مواد اصلاحی و زمان انکوباسیون بر تنفس میکروبی خاک و شاخص LOR: تجزیه واریانس نتایج نشان داد اثر تیمارها و زمان انکوباسیون بر تنفس میکروبی خاک و شاخص LOR در دوره ۴۵ روزه انکوباسیون معنی‌دار بود.
نمودار اثر متقابل تیمار در زمان بر میانگین تنفس میکروبی خاک در شکل ۲ و نمودار اثر متقابل تیمار در زمان بر میانگین شاخص LOR در دوره‌های ۱۵ روزه انکوباسیون در شکل ۳ نشان داده شده است.



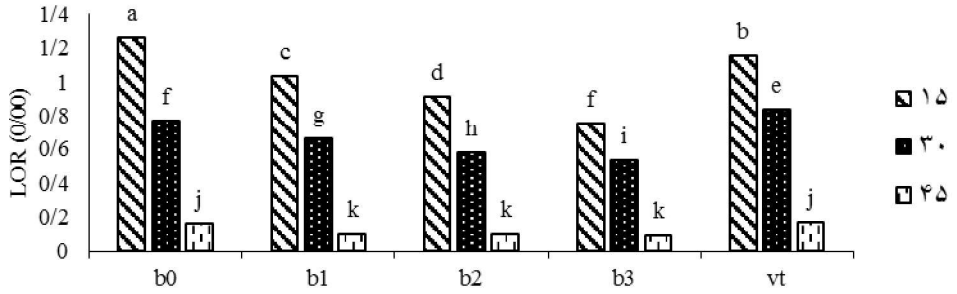
شکل ۲. اثر متقابل تیمار در زمان بر میانگین تنفس میکروبی خاک

شاهد (b۰)، سطوح یک، دو و سه درصد زغال زیستی که به ترتیب b۱، b۲ و b۳ و سطح دو درصد ورمی‌کمپوست (Vt) و زمان های مختلف انکوباسیون که شامل ۱۵، ۳۰ و ۴۵ روز بود در راهنمای نمودار مشخص شده است.

زغال زیستی و ورمی‌کمپوست باعث افزایش تنفس میکروبی خاک شدند. کاربرد مواد اصلاحی نسبت به شاهد میانگین تنفس میکروبی خاک را به صورت معنی‌دار افزایش داد. گذشت زمان تنفس میکروبی خاک را به دلیل کاهش منابع قابل دسترس و قابل تجزیه برای موجودات زنده به صورت معنی‌دار کاهش داد. افزایش تنفس میکروبی خاک با افزودن زغال زیستی و ورمی‌کمپوست می‌تواند به دلیل ورود مواد آلی در اثر افزودن مواد اصلاحی و در نتیجه فعالیت بیشتر میکروب‌ها برای تجزیه مواد آلی باشد. مقدار تاثیری که زغال زیستی می‌تواند بر تنفس میکروبی خاک یا تولید CO_2 بگذرد، تابعی از مقدار کربن آلی ناپایدار خاک و نوع زغال

[۱۳۴] Loss on respiration
[۱۳۵] Permill

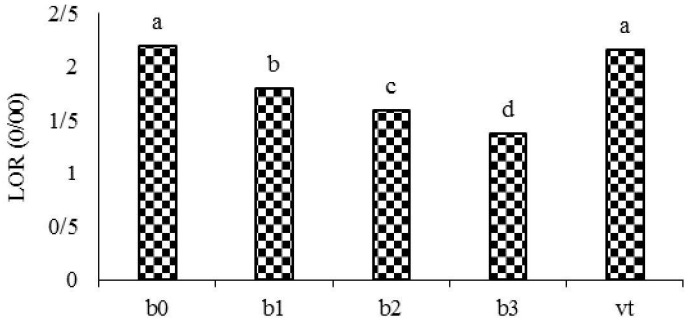
زیستی اضافه شده به خاک می‌باشد. محققین بیان داشتند کاربرد زغال زیستی در خاک‌های آهکی استرالیا نیز باعث افزایش کربن خاک و به تبع فعالیت بیشتر میکروب‌ها و سایر موجودات خاک می‌شود (Van Zwieten et al., ۲۰۱۰).



در دوره‌های ۱۵ روزه انکوباسیون LOR شکل ۳. اثر متقابل تیمار در زمان بر میانگین شاخص

محاسبه شاخص LOR در طول دوره‌های ۱۵ روزه انکوباسیون نشان داد از نظر نسبت هدررفت کربن بین تیمارها تفاوت معنی‌دار وجود دارد به طوریکه در هر سه دوره (زمان‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ روز) این شاخص در اثر کاربرد زغال زیستی نسبت به شاهد و همچنین نسبت به ورمی‌کمپوست کوچکتر بود. بیشترین نسبت هدررفت کربن در اثر تنفس میکروبی مربوط به مرحله اول نمونه‌برداری (زمان ۱۵ روز) بود که می‌تواند به دلیل فعالیت بیشتر موجودات خاک در این زمان و نیز رسیدن به حداکثر جمعیت در این دوره باشد. در اثر گذشت زمان و در مرحله آخر انکوباسیون نیز برای همه تیمارها هدررفت کربن از خاک به دلیل کاهش ترکیبات قابل تجزیه توسط موجودات خاک، کاهش یافت.

اثر مواد اصلاحی در کل دوره انکوباسیون (۴۵ روز) بر میانگین شاخص LOR در شکل ۴ نشان داده شده است.



در دوره ۴۵ روزه انکوباسیون LOR شکل ۴. اثر تیمارهای اصلاحی بر میانگین شاخص

در تیمارهای زغال زیستی شاخص LOR به صورت معنی‌داری نسبت به شاهد کمتر بود. این کاهش متناسب با سطح کاربرد زغال زیستی بود. در این رابطه ورمی‌کمپوست تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان نداد. زغال زیستی عمدتاً متشکل از کربن آلی پلیمری و در برابر تجزیه میکروبی مقاوم بوده و دارای ثبات بیشتری نسبت به ورمی‌کمپوست می‌باشد که باعث کاهش تنفس میکروبی نسبت به ورمی‌کمپوست شده است. از طرفی بر هم‌کنش متفاوت زغال زیستی و ورمی‌کمپوست با خاک نیز ممکن است تنفس میکروبی خاک را به شکل متفاوتی تغییر دهد. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان بیان کرد زغال زیستی علیرغم محتوی بالای کربن و افزایش بیشتر کربن آلی خاک نسبت به ورمی‌کمپوست، کربن کمتری را در اثر تنفس میکروبی از دست داده است و به نوعی علاوه بر افزایش کربن آلی خاک باعث کاهش هدر رفت کربن و یا افزایش ترسیب کربن در خاک شده است.

منابع

[۱] Carter M.R. and Gregorich E.G. ۲۰۱۴. Soil Survey Field and laboratory Methods Manual, Soil Survy Investigation Report.

[۲] Day R. ۱۹۶۵. Particle Fractionation and Particle Size Analysis. In: A. L. Page (ed). Method of Soil Analysis. Part ۱. P: ۵۴۵-۵۶۶.

[۳] Haney R.L., Hons F.M., Sanderson M.A. and Franzluebbers A.J. ۲۰۰۱. A rapid procedure for estimating nitrogen mineralization in manured soil. Biology and Fertility of Soils, ۳۳: ۱۰۰-۱۰۴.
[۴] Kimbrough D.E. and Wakakuwa J.R. ۱۹۸۹. Acid digestion for sediments, sludges, soils and wastes, a proposed alternative to EPA SW۸۴۶ Method ۳۰۵۰. Environmental Science, ۲۳: ۸۹۸.
[۵] Raich J.W. and Potter C.S. ۱۹۹۵. Global patterns of carbon dioxide emission from soils. Global Biogeochemical Cycles, ۹: ۲۳-۳۶.
[۶] Rajkovich S., Enders A., Hanley K., Hyland C., Zimmerman A.R. and Lehmann J. ۲۰۱۱. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. Biology and Fertility of Soils, ۴۸(۳): ۲۷۱-۲۸۴.
[۷] Van Zwieten L., Kimber S., Morris S., Chang K.Y. and Downie A. ۲۰۱۰. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. Plant Soil, ۳۲۷: ۲۳۵-۲۴۶.

Abstract

Bio-char is one of the pyrolysis products of organic wastes which can be recommended as an amendment for carbon sequestration in soil. This study was carried out to assess the effects of rice husk biochar as compared with a vermicompost (produced from a mixture of a tea processing factory waste and cow manure) as soil amendments on organic carbon content, microbial respiration rate and also an index of carbon loss on respiration (LOR) in a calcareous soil. Biochar and vermicompost treatments, significantly increased organic carbon and microbial respiration of soil. The increase on soil carbon content induced by biochar was much higher than vermicompost, while the ratio of carbon losses due to microbial respiration (LOR) in biochar was lower than vermicompst. In other word the boichar treatment, significantly increased carbon sequestration in soil.

Keywords: Biochar, Pyrolysis, Carbon sequestration, Microbial respiration, Rice husk