

تولید زغال زیستی از پوسته شلتوک برنج و تأثیر آن بر زیست توده عدس و گندم

*سپیده ابریشمکش^۱، منوچهر گرجی^۲، حسین اسدی^۲، احمدعلی پوربابائی^۲ و غلام باقری مرندی^۳

^۱دانش آموخته دکتری دانشگاه تهران و استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه گیلان، ^۲دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه

تهران، ^۳استادیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۴/۹/۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۱

چکیده

سابقه و هدف: کاربرد زغال زیستی به عنوان راه کاری برای توقف طولانی مدت کربن در خاک، مورد توجه جهانی قرار گرفته است. کاربرد زغال زیستی در خاک علاوه بر توقف طولانی مدت کربن و مبارزه با تغییر اقلیم می تواند منجر به بهبود ویژگی های خاک، افزایش رشد گیاه و مدیریت پایدار بقایا و پسماندهای زیست توده در مزارع، باغات و صنایع نیز شود. اغلب گزارش ها در مورد اثرات مثبت زغال زیستی در خاک های اسیدی انجام گرفته است و اطلاعات کمی در مورد اثرات زغال زیستی در خاک های غیراسیدی وجود دارد. بنابراین، پژوهش حاضر به منظور مطالعه تأثیر شرایط تولید دو نوع زغال زیستی پوسته شلتوک برنج بر ویژگی های آن ها و بررسی اثرات آن ها بر تولید زیست توده گیاه در یک دوره کشت دو گیاهی (عدس- گندم) در یک خاک قلیائی و در شرایط گلخانه ای انجام شد.

مواد و روش ها: زغال های زیستی نوع اول و دوم به ترتیب در دامنه دمایی ۲۵۰-۳۰۰ و ۴۵۰-۵۰۰ درجه سانتی گراد از پوسته برنج تولید و ویژگی های آن ها با یکدیگر مقایسه شد. زغال های زیستی نوع اول و دوم در سطوح ۰/۴، ۱/۶ و ۳/۳ درصد وزنی ($B_{0.4}$ ، $B_{1.6}$ و $B_{3.3}$) به خاک گلدان ها افزوده شدند. عدس در مرحله اول و گندم در مرحله دوم و پس از برداشت عدس، کشت شد. اثرات نوع و سطح کاربرد زغال زیستی در مقایسه با یکدیگر و تیمار شاهد (بدون زغال زیستی) بر تولید زیست توده مطالعه شد.

یافته ها: نسبت مولی هیدروژن به کربن و طیف زیرقرمز قرمز دو زغال زیستی، خصلت آروماتیکی بیشتری را در زغال زیستی تولید شده در دمای بالاتر نشان داد. افزایش دمای تولید منجر به کاهش اندازه ذرات، افزایش قابلیت هدایت الکتریکی، واکنش شیمیایی، غلظت نیتروژن، پتاسیم، کلسیم و فسفر در زغال زیستی گردید. دو نوع زغال زیستی از لحاظ تأثیر بر تولید زیست توده هوایی و زیرزمینی عدس و گندم تفاوت معنی دار نداشتند. اما وزن خشک زیست توده هوایی گندم و زیست توده زیرزمینی عدس و گندم در تیمارهای زغال زیستی نوع اول و دوم به طور معنی دار بیش تر از تیمار شاهد بود. اثر سطوح مختلف زغال زیستی بر وزن خشک زیست توده هوایی عدس، تفاوت معنی دار با یکدیگر و تیمار شاهد نشان ندادند. اما وزن خشک زیست توده زیرزمینی عدس در $B_{3.3}$ به طور معنی دار بیش تر از سایر سطوح کاربرد زغال زیستی ($B_{0.4}$ و $B_{1.6}$) و تیمار شاهد بود. وزن خشک زیست توده هوایی گندم در $B_{1.6}$ و $B_{3.3}$ به طور معنی دار بیش تر از $B_{0.4}$ و تیمار شاهد بود. وزن خشک زیست توده زیرزمینی گندم در $B_{1.6}$ به طور

* مسئول مکاتبه: sabrishamkesh@guilan.ac.ir

معنی دار بیش تر از B_{0.4} و تیمار شاهد بود اما تفاوت معنی دار با B_{3.3} نداشت. نسبت زیست توده ساقه به ریشه عدس در B_{1.6} و B_{3.3} به طور معنی دار کم تر از تیمار شاهد بود. نسبت زیست توده ساقه به ریشه گندم در تمامی سطوح کاربرد زغال زیستی به طور معنی دار کم تر از تیمار شاهد بود اما سطوح کاربرد زغال زیستی دارای تفاوت معنی دار با یکدیگر نبودند.

نتیجه گیری: خصلت آروماتیکی بیش تر زغال زیستی نوع دوم (تولیدی در دمای ۵۰۰-۴۵۰ درجه سانتی گراد) در مقایسه با زغال زیستی نوع اول (تولیدی در دمای ۳۰۰-۲۵۰ درجه سانتی گراد) به معنای توانایی بیش تر برای توقف طولانی مدت کربن در خاک است. کاربرد زغال زیستی، اثرات مثبتی بر تولید زیست توده به ویژه زیست توده زیرزمینی داشت. اثرات کاربرد زغال زیستی فقط محدود به دوره رشد اول (عدس) نبود و در دوره رشد دوم (گندم) نیز وجود داشت. به طور کلی می توان نتیجه گرفت که تولید زغال زیستی از پوسته شلتوک برنج، علاوه بر توقف کربن در خاک، می تواند موجب بهبود رشد گیاه حتی در خاک های قلیائی نیز گردد.

واژه های کلیدی: پوسته شلتوک برنج، توقف کربن، خاک قلیائی، زغال زیستی، زیست توده

مقدمه

افزایش انتشار گازهای گلخانه ای و پدیده گرم شدن کره زمین از مهم ترین نگرانی های امروزه بشر هستند. کاهش انتشار گازهای گلخانه ای از طریق معرفی جایگزین های جدید در بخش های انرژی، حمل و نقل، ساخت و ساز، صنعت و کشاورزی میسر می گردد. یکی از جدیدترین اقدامات در نیل به افزایش توقف کربن در خاک، افزودن زغال زیستی^۱ به آن است. زغال زیستی، محصول تجزیه حرارتی^۲ زیست توده در غیاب یا حضور مقادیر جزئی اکسیژن می باشد. فرایند تولید زغال زیستی، شرایط تولید زغال چوب را در ذهن تداعی می کند، اما می توان زغال زیستی را از زغال چوب و سایر مواد مشابه متمایز نمود زیرا با هدف بهبود ویژگی ها، باردهی خاک، ذخیره کربن و احتمالاً تصفیه آب نفوذیافته در خاک، کاهش آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی به کار می رود (۵). بیش تر کربن موجود در زغال زیستی به صورت آروماتیک است که وقتی به خاک اضافه

می گردد مقاوم به تجزیه است (۲). این ویژگی زغال زیستی، آن را ابزاری مناسب برای توقف بیش تر کربن و مقابله با تغییر اقلیم می سازد. زغال زیستی از طریق بهبود ویژگی های فیزیکی خاک (جرم مخصوص ظاهری، ظرفیت نگهداری آب، و نفوذپذیری)، بهینه سازی خصوصیات شیمیایی خاک (نگهداری و دسترسی عناصر غذایی) و تقویت فعالیت های زیستی خاک می تواند منجر به افزایش رشد گیاه و بهبود عملکرد محصول نیز شود (۱۷ و ۳۵). بهبود عملکرد محصول با توجه به رشد سریع جمعیت جهان و کاهش سطح زیرکشت، گزینه ای ارزشمند به شمار می آید. بلکوال و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند که در بیش تر از ۹۰ درصد مطالعات، زغال زیستی موجب افزایش آشکار عملکرد محصول شده است (۶). لهما و روندون (۲۰۰۵) نیز گزارش دادند که بسته به مقدار زغال زیستی مصرفی، بهبود معنی دار باردهی گیاه از ۲۰ تا ۲۲۰ درصد است (۲۳). البته عکس العمل گیاه در برابر افزودن زغال زیستی به ویژگی های زغال زیستی، شرایط خاک، نوع گیاه و آب و هوا نیز بستگی دارد (۳۲).

1- Biochar
2- Pyrolysis

زغال زیستی را می‌توان از پسماندهای متنوع دارای مواد سلولزی تولید کرد. مواد مختلفی مانند چوب، غلاف دانه، پوسته تنقلا، کود مرغی، کلش گندم، کاه و پوسته شلتوک برنج به عنوان مواد اولیه تولید زیست زغال معرفی شده‌اند (۳۳). پوسته شلتوک برنج به عنوان یکی از تولیدات فرعی کارخانه‌های شالی‌کوبی به مقدار فراوان یافت می‌شود که اگرچه کاربردهایی دارد، اما هنوز به عنوان ضایعات به‌شمار می‌آید که اغلب سوزانده یا در زمین‌های بایر انباشته می‌شود. سوزاندن زیست‌توده در آتش در مقایسه با زغال زیستی غنی از کربن، خاکستری را بر جای می‌گذارد که شامل معدنی‌هایی مانند کلسیم، منیزیم و ترکیبات کربنه غیرآلی است (۱۹). بر اساس آمار منتشرشده توسط سازمان خواروبار جهانی (فائو)، ۲۰۱۳، تولید برنج ایران در سال ۲۰۱۳ حدود ۲/۹ میلیون تن بوده است (۱۶)، که با در نظر گرفتن ۲۰ درصد وزن شلتوک برنج به عنوان پوسته، میزان تولید پوسته شلتوک برنج حدود ۵۸۰ هزار تن خواهد بود که می‌تواند منبع پایداری جهت تولید زغال زیستی باشد. اغلب گزارش‌ها، بیانگر بهبود عملکرد یا افزایش زیست‌توده گیاهی در نتیجه کاربرد زغال زیستی در مناطق حاره با خاک‌های اسیدی می‌باشد. در خاک‌های هوادیده مناطق حاره، کاهش اسیدیته خاک، دلیل اصلی تأثیر مثبت زغال زیستی بر گیاه است (۲۷). مطالعات اندکی در مورد اثرات زغال زیستی بر گیاه در مناطق غیرحاره مانند مناطق خشک و نیمه‌خشک با خاک غیراسیدی انجام شده است. به عنوان مثال وان‌زواتین و همکاران (۲۰۱۰)، افزایش تولید زیست‌توده سویا و کاهش تولید زیست‌توده گندم را در یک خاک آهکی در اثر کاربرد ۱۰ تن در هکتار زغال زیستی مشاهده کردند (۳۲). در حالی که ژانگ و

همکاران (۲۰۱۲)، گزارش دادند که کاربرد زغال زیستی در دو سطح ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار در یک خاک آهکی فقیر از ماده آلی موجب افزایش باردهی گیاه ذرت گردید (۳۶).

از آنجایی که ذرات زغال زیستی پس از مخلوط شدن با خاک، قابل جداسازی نیستند، بنابراین قبل از کاربرد و توصیه آن در مقیاس‌های بزرگ، مطالعه آزمایشگاهی اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت آن بر رشد و عملکرد گیاه ضروری به نظر می‌رسد. این پژوهش با دو هدف زیر انجام شد:

- ۱- بررسی اثرات شرایط تولید زغال زیستی از پوسته شلتوک برنج، بر ویژگی‌های آن
- ۲- ارزیابی تأثیر کاربرد زغال زیستی در یک خاک قلیائی بر رشد گیاه در یک دوره کشت عدس- گندم در شرایط گلخانه‌ای

مواد و روش‌ها

تعیین ویژگی‌های خاک مورد مطالعه: خاک مورد استفاده در این پژوهش از افق سطحی (۲۰-۰) سانتی‌متری مزرعه آموزشی- پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در شهر کرج نمونه‌برداری شد. توزیع اندازه ذرات اولیه خاک به روش هیدرومتری (۱۳)، کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (۲۴)، قابلیت هدایت الکتریکی و واکنش شیمیایی در سوسپانسیون ۱:۱ آب به خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم (۱۱) تعیین گردیدند. فسفر قابل استفاده، توسط عصاره‌گیر بی‌کربنات سدیم (۲۵)، پتاسیم قابل جذب با استفاده از عصاره‌گیری با استات آمونیوم (۱۸) و نیتروژن کل به روش کج‌لدال (۷) اندازه‌گیری شدند. ویژگی‌های نمونه خاک مورد استفاده در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های خاک مورد استفاده.

Table 1. Selected characteristics of the used soil.

بافت خاک	قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	واکنش خاک	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بار بر کیلوگرم)	کربن آلی (درصد)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر قابل استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم قابل استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
Soil texture	EC (dSm ⁻¹)	pH (1:1)	CEC (cmol.kg ⁻¹)	Organic carbon (%)	Total nitrogen (%)	Available phosphorus (mgkg ⁻¹)	Available potassium (mgkg ⁻¹)
لوم رسی Clay Loam	0.55	7.9	13.9	0.76	0.091	11.12	121

تولید زغال زیستی و تعیین ویژگی‌های آن: پوسته شلتوک برنج از کارخانه برنج‌کوبی تهیه و جهت تولید زغال زیستی در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک و توسط کوره الکتریکی القائی آتین تولید شدند. شرایط تولید زغال زیستی نوع اول و نوع دوم در جدول ۲ بیان شده است. بازده تولید زغال‌های زیستی بر اساس وزن زغال زیستی تولیدشده به‌ازای واحد وزنی ماده اولیه (پوسته شلتوک برنج) تعیین می‌گردد. میزان خاکستر موجود در زغال زیستی نیز با حرارت دادن پنج گرم زغال زیستی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت بیش‌تر از ۸ ساعت و توزین دوباره آن تعیین شد (۳). منحنی توزیع اندازه ذرات زغال‌های زیستی با الک کردن ۲۰ گرم زغال زیستی بر روی سری الک ۴/۷۵، ۲، ۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر تعیین گردید. واکنش شیمیایی و قابلیت هدایت الکتریکی بر اساس روش راجکویچ و همکاران (۲۰۱۲) و در مخلوط زغال زیستی و آب دیونیزه با نسبت وزنی ۲۰:۱ (زغال زیستی: آب) اندازه‌گیری شد (۲۷). تعیین مقدار کل کربن، هیدروژن و نیتروژن زغال‌های زیستی توسط احتراق خشک و با استفاده از دستگاه تجزیه عنصری Perkin Elmer 2400 صورت گرفت. پس از تهیه عصاره‌های زغال‌های زیستی با روش خاکستر کردن خشک اصلاح‌شده (۱۵)، غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فسفر کل در آن‌ها اندازه‌گیری شدند.

گروه‌های عاملی زغال‌های زیستی توسط طیف‌سنج زیرقرمز (FTIR) مدل Perkin Elmer/spectrum 100 مشخص و با استفاده از میکروسکوپ الکترونی KYKY EM3200، ساختار مورفولوژیکی زغال‌های زیستی آشکار گردید.

کشت گیاه: کشت گیاه در یکی از گلخانه‌های گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران در زمستان ۲۰۱۳ و بهار ۲۰۱۴ انجام گرفت. آزمایش با ۷ تیمار شامل خاک بدون زغال زیستی (شاهد)، خاک همراه با ۱/۴، ۱/۶، ۳/۳ درصد وزنی دو نوع زغال زیستی و هفت تکرار (مجموعاً ۴۹ عدد گلدان) به‌صورت کاملاً تصادفی انجام گرفت. (از این پس، تیمارهای حاوی زغال زیستی نوع اول و دوم با علائم B₁ و B₂، خاک شاهد و سطوح کاربرد زغال زیستی به‌ترتیب با control، B_{0.4}، B_{1.6} و B_{3.3} نشان داده می‌شوند). با در نظر گرفتن جرم مخصوص ظاهری خاک برابر با ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب و عمق کاربرد ۲۰ سانتی‌متر، این سطوح کاربرد زغال‌های زیستی تقریباً معادل با صفر، ۱۰، ۴۱ و ۸۵ تن در هکتار هستند. زغال‌های زیستی به‌طور یکنواخت با ۳۲۰۰ گرم خاک هواخشک (عبور داده شده از الک چهار میلی‌متری) مخلوط و در گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۲۰، قطر دهانه ۱۸ و قطر کف ۱۵ سانتی‌متر ریخته شدند.

کشت عدس: گلدان‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای به مدت ۱۴ روز به حال خود گذاشته شدند. قبل از کشت، مقادیر مورد نیاز کودهای فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم همراه با آب آبیاری به همه گلدان‌ها افزوده شد. تعداد ۸ عدد بذر عدس رقم سبز کوهین در عمق ۲ تا ۳ سانتی‌متری کاشته شد و دو هفته پس از کشت، تعداد بوته‌ها به ۴ عدد در هر گلدان کاهش یافت. قبل و بعد از کشت، رطوبت خاک گلدان‌ها در سطح ظرفیت مزرعه نگهداری شد. آبیاری گلدان‌ها به روش وزنی و پس از مصرف ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه

انجام شد. ۷۰ روز بعد از کشت و با ظهور گل در نیمی از گلدان‌ها، زیست‌توده هوایی در تمام گلدان‌ها (۴۹ گلدان) و زیست‌توده زیرزمینی در سه تکرار از ۷ تکرار (۲۱ گلدان) برداشت گردید. خاک ۲۸ گلدان دیگر، جهت کاشت گندم در مرحله دوم مطالعه، دست‌نخورده باقی ماند. وزن خشک زیست‌توده هوایی و زیرزمینی هر بوته با قرار دادن در آون در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت تعیین شد. نسبت ساقه به ریشه نیز با تقسیم وزن خشک زیست‌توده هوایی بر زیرزمینی محاسبه گردید.

جدول ۲- ویژگی‌های زغال‌های زیستی در شرایط تولید مختلف.

Table 2. The properties of biochars in different production conditions.

شرایط تولید Production condition	زغال زیستی نوع اول Biochar 1	زغال زیستی نوع دوم Biochar 2
نرخ افزایش دما (درجه سانتی‌گراد در دقیقه) Heating rate (C° min ⁻¹)	0.25-0.30	0.25-0.30
دمای اوج (درجه سانتی‌گراد) Peak temperature (C°)	250-300	450-500
ویژگی property	زغال زیستی نوع اول Biochar 1	زغال زیستی نوع دوم Biochar 2
خاکستر (درصد) Ash (%)	38	47
بازده (درصد) Yield (%)	39	32
EC (dSm ⁻¹)	0.36	0.48
pH(1:20)	7.4	8.4
کربن (گرم بر کیلوگرم) C (gkg ⁻¹)	451.1	442.4
نیتروژن (گرم بر کیلوگرم) N (gkg ⁻¹)	5.4	5.6
هیدروژن (گرم بر کیلوگرم) H (gkg ⁻¹)	29.8	19
کلسیم (گرم بر کیلوگرم) Ca (gkg ⁻¹)	4	9.5
منیزیم (گرم بر کیلوگرم) Mg (gkg ⁻¹)	1.4	1.1
پتاسیم (گرم بر کیلوگرم) K (gkg ⁻¹)	6.2	7.4
فسفر (گرم بر کیلوگرم) P (gkg ⁻¹)	0.01	0.03

نتایج و بحث

ویژگی‌های زغال‌های زیستی: بررسی منحنی دانه‌بندی زغال‌های زیستی (شکل ۱) نشان می‌دهد که زغال زیستی نوع اول در مقایسه با نوع دوم، درشت‌دانه‌تر بود که احتمالاً به علت خاکستر کم‌تر آن می‌باشد. زغال‌های زیستی درشت‌تر می‌توانند موجب بهبود تهویه خاک شوند و اندازه درشت زغال‌های زیستی از حرکت آن‌ها در پروفیل خاک جلوگیری می‌کند و این امر موجب افزایش ماندگاری آن‌ها در خاک می‌گردد (۴). در مقابل، زغال‌های زیستی ریزدانه‌تر به دلیل دارا بودن سطح ویژه بیش‌تر، برای کاهش قابلیت دستیابی زیستی آلاینده‌ها مناسب‌تر هستند (۱۲).

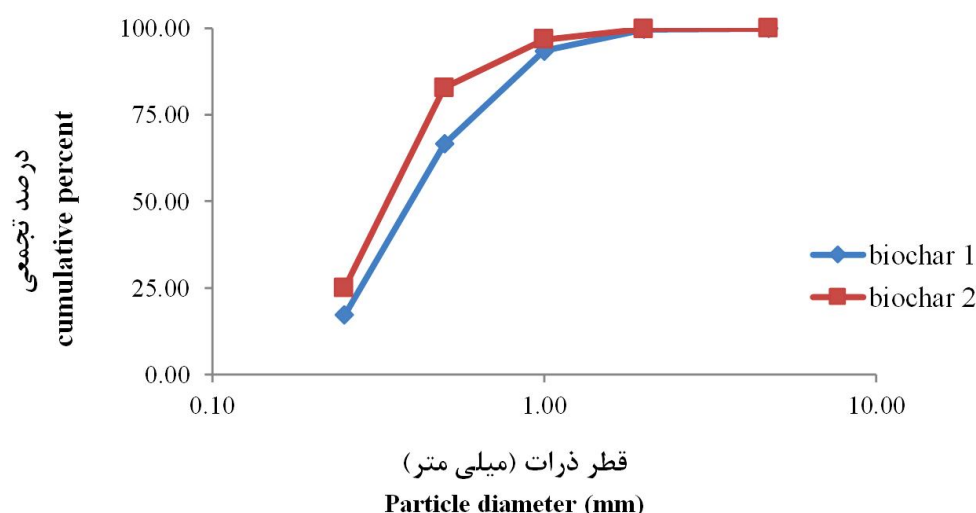
ویژگی‌های شیمیایی زغال‌های زیستی تولیدی در جدول ۲ آمده است. هر دو زغال زیستی دارای واکنش شیمیایی قلیائی (بیش‌تر از ۷) بودند. زغال زیستی نوع دوم در مقایسه با زغال زیستی نوع اول، دارای بازده تولید کم‌تر، واکنش شیمیایی، قابلیت هدایت الکتریکی و خاکستر بیش‌تری بود. افزایش واکنش شیمیایی زغال زیستی در نتیجه افزایش دما می‌تواند به دلیل آن باشد که مواد معدنی موجود در پوسته شلتوک برنج، شروع به جدا شدن از بخش آلی می‌کنند و جدایی کربن آلی و ترکیبات غیرآلی مانند نمک‌های فلزات قلیائی رخ می‌دهد (۱). افزایش دمای تولید زغال زیستی منجر به تخریب بیش‌تر و در نتیجه کاهش اندازه ذرات و تولید خاکستر بیش‌تر می‌گردد. زغال زیستی نوع دوم در مقایسه با نوع اول، دارای درصد نیتروژن، فسفر، کلسیم و پتاسیم بیش‌تری بود. افزایش غلظت نیتروژن، فسفر، کلسیم، پتاسیم، واکنش شیمیایی و هدایت الکتریکی در نتیجه افزایش حرارت تولید زغال زیستی توسط پژوهشگران دیگر مانند

کشت گندم: کشت گندم در ۴ تکرار در تیمارهای قبلی (در مجموع ۲۸ گلدان) صورت گرفت. قبل از کشت گندم، مقادیر مورد نیاز کود فسفات‌آمونیم و سولفات پتاسیم همراه با آب آبیاری به همه گلدان‌ها افزوده شدند. تعداد ۸ عدد بذرگندم رقم کرج ۱، در عمق ۲ تا ۳ سانتی‌متری کاشته شد و دو هفته پس از کشت، تعداد بوته‌ها به ۴ عدد در هر گلدان کاهش یافت. قبل و بعد از کشت، رطوبت خاک گلدان‌ها در سطح ظرفیت مزرعه نگهداری شد. آبیاری گلدان‌ها به روش وزنی و پس از مصرف ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه انجام گرفت. ۵۸ روز بعد از کشت و با ظهور گل در نیمی از گلدان‌ها، زیست‌توده هوایی در تمام گلدان‌ها (۴ تکرار) و زیست‌توده زیرزمینی در سه تکرار برداشت گردید. وزن خشک زیست‌توده هوایی و زیرزمینی هر بوته با قرار دادن در آن در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت تعیین شد. نسبت ساقه به ریشه نیز با تقسیم وزن خشک زیست‌توده هوایی بر زیست‌توده زیرزمینی محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل آماری: داده‌های مربوط به وزن خشک زیست‌توده هوایی عدس، زیست‌توده زیرزمینی و نسبت ساقه به ریشه عدس و گندم در سه تکرار و داده‌های وزن خشک زیست‌توده هوایی گندم در چهار تکرار و به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با بهره‌گیری از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. نرم‌افزار SAS (۲۰۰۱) جهت انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری مورد استفاده قرار گرفت (۲۹).

نسبت کاهش می‌یابد (۲۰). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت زغال زیستی نوع دوم (تولیدشده در دمای بالاتر) دارای کربن آروماتیک بیشتر و مقاوم‌تر به تجزیه است و در نتیجه ابزار مؤثرتری جهت توقف کربن در خاک خواهد بود. بیشتر بودن کربن آروماتیک در زغال زیستی نوع دوم، توسط نتایج طیف زیر قرمز نیز تأیید گردید.

ال- وابل و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش شده است (۱). نسبت مولی هیدروژن به کربن در زغال زیستی نوع اول و نوع دوم به ترتیب برابر با ۰/۷۹ و ۰/۵۲ بود. کمتر بودن نسبت مولی هیدروژن به کربن، نشان‌دهنده حضور کربن آروماتیک بیشتر و در نتیجه مقاومت بیشتر در برابر تجزیه است (۳۱). مواد اولیه زیست‌توده دارای نسبت مولی هیدروژن به کربن حدود ۱/۵ هستند اما با تجزیه حرارتی زیست‌توده این



شکل ۱- توزیع اندازه ذرات زغال‌های زیستی.

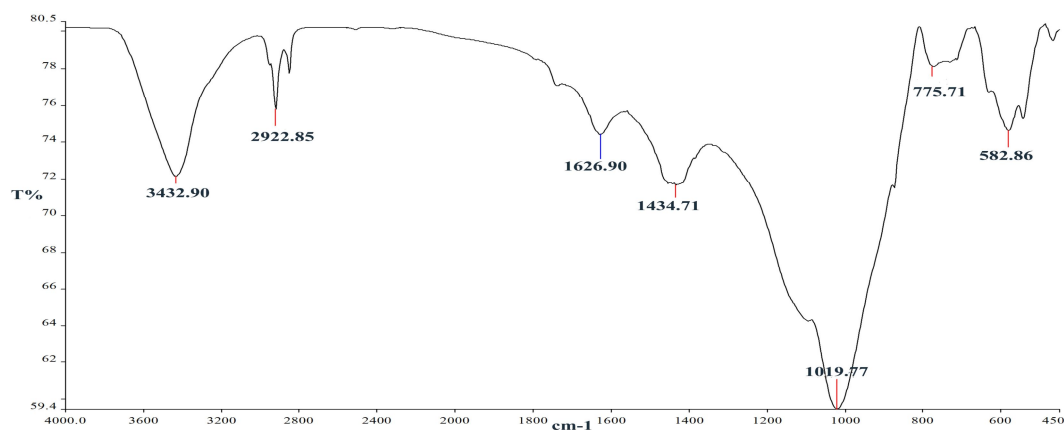
Figure 1. Particle size distribution of biochars.

است. همچنین در طیف نمونه‌های زغال زیستی، ارتعاشات خمشی نامتقارن و متقارن $C=C$ در حلقه‌های آروماتیک به ترتیب در اعداد موجی ۱۶۲۶/۹۰ و ۱۴۳۴/۷۱ برای زغال زیستی نوع اول و ۱۶۱۴/۸۹ و ۱۴۳۴/۸۶ برای زغال زیستی نوع دوم مشاهده می‌گردند. البته نقاط اوج ۱۶۲۶/۹۰ و ۱۶۱۴/۸۹ ممکن است که مربوط به ارتعاش کششی گروه‌های کربونیل تشکیل شده در اثر تجزیه حرارتی نیز باشند (۲۶). تصاویر میکروسوپ الکترونی (شکل

طیف زیر قرمز زغال‌های زیستی (شکل‌های ۲ و ۳)، نقاط اوج مربوط به ارتعاشات خمشی خارج از صفحه $C-H$ آروماتیک را نشان می‌دهد که در زغال‌های زیستی نوع اول و دوم به ترتیب در اعداد موجی ۷۷۵/۷۱ و ۷۹۹/۴۴ پدیدار گشته‌اند. این نقاط اوج در زغال زیستی نوع دوم از شدت بیشتری برخوردار هستند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تجزیه حرارتی پوسته شلتوک برنج منجر به آروماتیزه شدن گشته و این فرآیند با افزایش دما شدت یافته

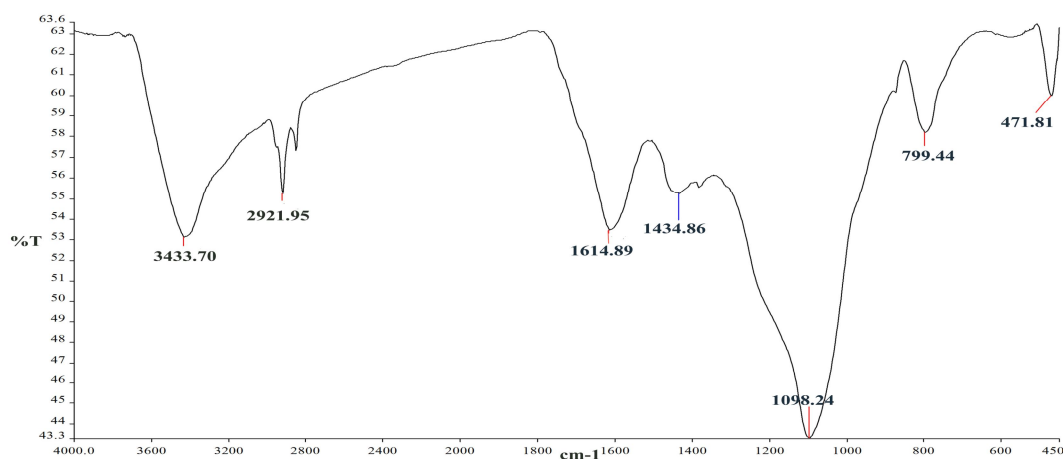
کارکردهای حیاتی خاک مانند تهویه و هیدرولوژی بسیار تأثیرگذار هستند. منافذ درشت برای حرکت ریشه‌ها در خاک و همچنین به‌عنوان زیستگاهی برای تنوع گسترده‌ای از میکروب‌های خاک مهم هستند (۱۴).

۴)، ساختار متخلخل زغال‌های زیستی و وجود حفرات با اندازه‌های مختلف را به خوبی نشان می‌دهد. منافذ درشت زغال زیستی با قطر بزرگ‌تر از ۱۰ میکرون به خوبی در هر دو زغال زیستی قابل تشخیص هستند. منافذ درشت زغال زیستی بر



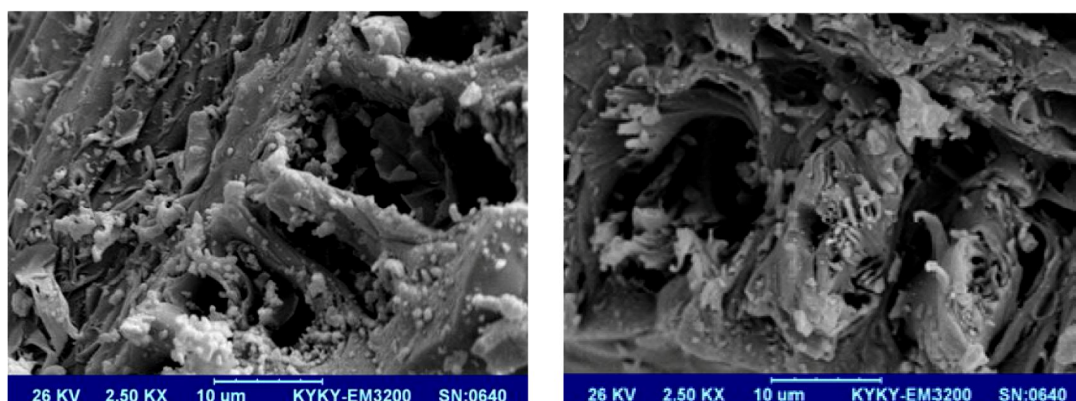
شکل ۲- طیف زیر قرمز زغال زیستی نوع اول.

Figure 2. Infrared spectroscopy of biochar 1.



شکل ۳- طیف زیر قرمز زغال زیستی نوع دوم.

Figure 3. Infrared spectroscopy of biochar 2.



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپ الکترونی زغال‌های زیستی با بزرگنمایی ۲۵۰۰ برابر، زغال زیستی نوع اول (سمت راست) و زغال زیستی نوع دوم (سمت چپ). 10um برابر است با ۱۰ میکرون.

Figure 4. Scanning electron micrographs of biochars in scale bar of 2500X, biochar 1 (right) and biochar 2 (left). 10 um is equal to 10 micrometer.

با تیمار شاهد، به ترتیب موجب افزایش معنی‌دار ۴۸ و ۴۲ درصد وزن خشک زیست‌توده هوایی گندم شد. وزن خشک زیست‌توده زیرزمینی عدس و گندم در دو نوع زغال زیستی تفاوت معنی‌دار نداشت اما وزن خشک زیست‌توده زیرزمینی عدس در تیمارهای زغال زیستی نوع اول و دوم و سطح ۳/۳ درصد زغال زیستی و وزن خشک زیست‌توده زیرزمینی گندم در تیمارهای زغال زیستی نوع اول و دوم و سطوح ۱/۶ و ۳/۳ درصد زغال زیستی به‌طور معنی‌دار، بیش‌تر از تیمار شاهد بود (جدول ۴ و شکل ۵). در گیاه عدس، سطح ۳/۳ درصد زغال زیستی در مقایسه با تیمار شاهد موجب افزایش معنی‌دار ۹۲ درصدی زیست‌توده زیرزمینی شد. در حالی‌که در گیاه گندم، سطح ۱/۶ و ۳/۳ درصد زغال زیستی در مقایسه با شاهد به ترتیب موجب افزایش ۱۸۰ و ۱۰۰ درصدی زیست‌توده زیرزمینی گردید (جدول ۴). در اغلب مطالعات، زغال زیستی به دلیل دارا بودن ویژگی‌های بسیار متفاوت در مقایسه با خاک پیرامون ریشه، موجب بهبود رشد ریشه شده است (۲۲). در واقع ریشه‌ها ممکن است به درون حفرات زغال زیستی

وزن خشک زیست‌توده هوایی و زیرزمینی: نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف دو نوع زغال زیستی بر وزن خشک زیست‌توده هوایی و زیرزمینی عدس و گندم در جدول ۳ و مقایسه میانگین آن‌ها در جدول ۴ و شکل ۵ ارائه شده است، هیچ‌یک از منابع تغییرات، تأثیر معنی‌دار بر وزن خشک زیست‌توده هوایی عدس نداشتند، اما تأثیر سطح کاربرد زغال زیستی بر وزن خشک زیست‌توده زیرزمینی عدس در سطح احتمال یک درصد و بر وزن خشک زیست‌توده هوایی و زیرزمینی گندم در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌دار بود (جدول ۳). وزن خشک زیست‌توده هوایی عدس در تیمارهای زغال زیستی نوع اول و دوم و در تمامی سطوح کاربرد زغال زیستی، بیش‌تر از تیمار شاهد بود، اما این تفاوت معنی‌دار نبود (جدول ۴ و شکل ۵). وزن خشک زیست‌توده هوایی گندم در دو نوع زغال زیستی تفاوت معنی‌دار نداشت اما مقدار آن در تیمارهای زغال زیستی نوع اول و دوم و سطوح ۱/۶ و ۳/۳ درصد زغال زیستی، به‌طور معنی‌دار، بیش‌تر از تیمار شاهد بود (جدول ۴ و شکل ۵). سطوح ۱/۶ و ۳/۳ درصد زغال زیستی در مقایسه

نفوذ کنند (۲۲). زغال زیستی با تغییر شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک مانند بهبود قابلیت دسترسی مواد غذایی، آب و تهویه می‌تواند موجب افزایش زیست‌توده زیرزمینی شود (۲۲). علاوه بر این، زغال‌های زیستی معمولاً جرم مخصوص ظاهری کمی دارند و کاربرد آن‌ها با کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌تواند موجب تسهیل نفوذ و رشد ریشه شود. افزایش سطح کاربرد زغال‌های زیستی از ۰/۴ درصد (۱۰ تن در هکتار) به ۳/۳ درصد (۸۵ تن در هکتار) در خاک قلیائی مورد مطالعه، اثرات مثبتی بر افزایش زیست‌توده زیرزمینی عدس و گندم داشت. افزایش تولید زیست‌توده در نتیجه افزایش سطح کاربرد زغال زیستی در مطالعات دیگر نیز به اثبات رسیده است. به‌عنوان مثال: چان و همکاران (۲۰۰۷) و (۲۰۰۸) افزایش رشد محصول در نتیجه افزایش سطح کاربرد زغال زیستی (از ۵۰ به ۱۰۰ یا از ۱۰ به ۵۰ تن در هکتار) را در یک خاک اسیدی گزارش دادند (۹ و ۱۰). روندون و همکاران (۲۰۰۷) نیز بهبود رشد لوبیا را در یک خاک هواپسده در پاسخ به افزایش سطح کاربرد زغال زیستی از ۶۶ به ۱۲۲ تن در هکتار و کاهش رشد را در نتیجه افزایش سطح کاربرد زغال زیستی به ۱۸۸ تن در هکتار گزارش دادند (۲۸). ژانگ و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای در یک خاک آهکی فقیر از ماده آلی (کم‌تر از یک درصد)، افزایش عملکرد ذرت را در نتیجه افزایش سطح کاربرد زغال زیستی از ۲۰ به ۴۰ تن در هکتار گزارش دادند (۳۶).

اثرات متقابل نوع \times سطح کاربرد زغال زیستی بر وزن خشک زیست‌توده هوایی و زیرزمینی عدس و

گندم معنی‌دار نبود (جدول ۳). این عدم معنی‌داری نشان‌دهنده آن است که با وجود خصوصیات متفاوت دو نوع زغال زیستی (مانند اندازه ذرات، واکنش شیمیایی، قابلیت هدایت الکتریکی، درصد عناصر غذایی و ...)، آن‌ها تأثیر مشابهی بر تولید زیست‌توده داشتند. در واقع، یکسان بودن نوع ماده اولیه (پوسته شلتوک برنج) دو نوع زغال زیستی، تأثیر بیشتری از متفاوت بودن دمای تولید (۳۰۰-۲۵۰ و ۵۰۰-۴۵۰ درجه سانتی‌گراد) داشت. راجکویچ و همکاران (۲۰۱۲) نیز در مطالعه‌ای در مورد تأثیر نوع ماده اولیه و دمای تولید زغال زیستی بر رشد ذرت، گزارش دادند که تأثیر نوع ماده اولیه به مراتب بیش‌تر از تأثیر دمای تولید زغال زیستی است (۲۷).

اثرات کاربرد زغال زیستی بر افزایش وزن زیست‌توده هوایی و زیرزمینی گندم (محصول دوم) بیش‌تر از عدس (محصول اول) بود. این نتیجه یا یافته‌های سایر پژوهشگران که اثرات بیش‌تری را در کشت اول در مقایسه با کشت‌های بعدی مشاهده کردند مطابقت ندارد. سارنیو و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای در مورد کاربرد زغال زیستی در چند دوره کشت یک گیاه چمنی، افزایش زیست‌توده هوایی را در دوره کشت اول و عدم تغییر آن را در دوره‌های کشت بعدی گزارش دادند (۳۰). کارتر و همکاران (۲۰۱۳) نیز در کشت کاهو-کلم-کاهو در گلخانه، بیش‌ترین اثرات مثبت کاربرد زغال زیستی بر تولید زیست‌توده را در کشت اول کاهو مشاهده کردند (۸). این عدم تطابق می‌تواند ناشی از تفاوت در ویژگی‌های زغال زیستی مورد استفاده، نوع خاک و محصول باشد.

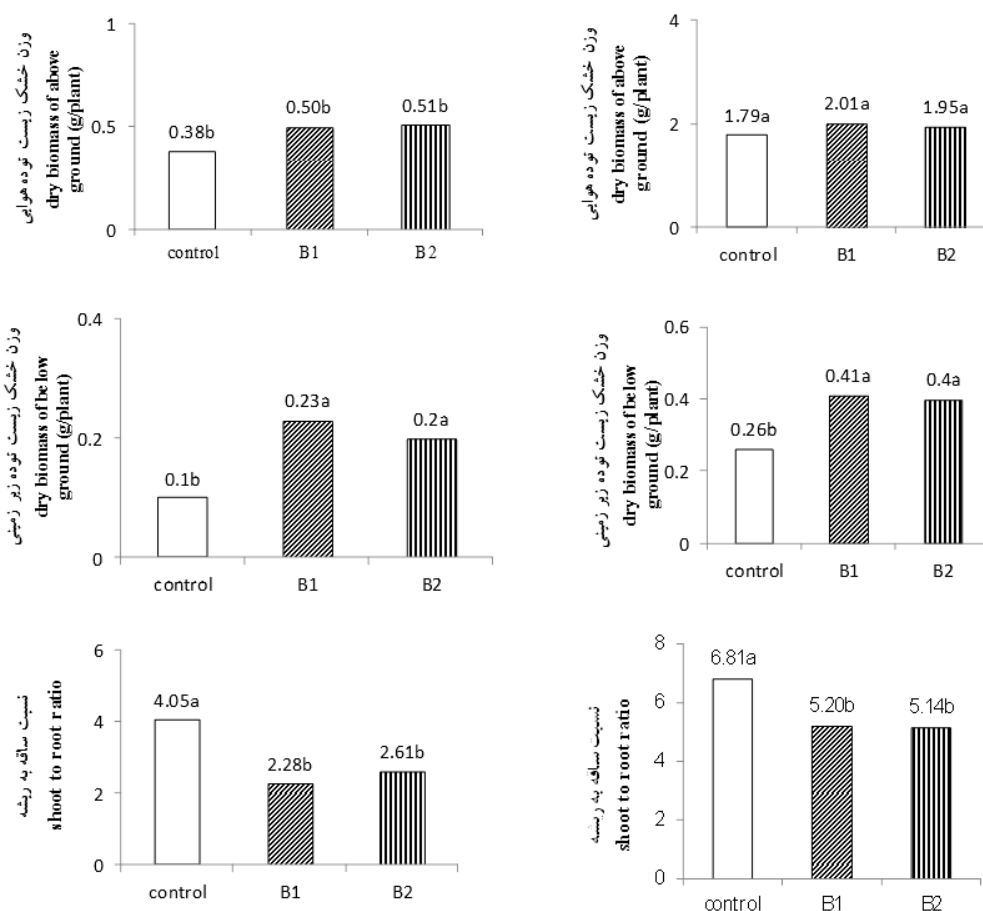
جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) وزن خشک زیست توده هوایی، زیرزمینی و نسبت ساقه به ریشه.

Table 3. Analysis of variance of dry biomass of above and below ground biomass and shoot to root ratio.

گندم		گندم				علاس		علاس		منبع تغییرات Source of Variance	
وزن خشک زیست توده هوایی Dry biomass of above ground	درجه آزادی Degree of freedom	نسبت ساقه به ریشه Shoot to root ratio	وزن خشک زیست توده زیرزمینی Dry biomass of below ground	نسبت ساقه به ریشه Shoot to root ratio	وزن خشک زیست توده زیرزمینی Dry biomass of below ground	وزن خشک زیست توده هوایی Dry biomass of above ground	درجه آزادی Degree of freedom				
0.0004 ^{ns}	1	0.4977 ^{ns}	0.0053 ^{ns}	0.0040 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.0182 ^{ns}	1	نوع زغال زیستی biochar type			
0.0479*	2	0.6662 ^{ns}	0.0225*	8.6987**	0.0447**	0.2774 ^{ns}	2	سطح کاربرد application level			
0.0058 ^{ns}	2	0.1273 ^{ns}	0.0014 ^{ns}	0.2166 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.0491 ^{ns}	2	نوع زغال زیستی × سطح کاربرد biochar type× application level			
0.0119	21	0.5928	0.0041	1.2632	0.0059	0.0785	14	خطا error			
22.48	-	28.75	32.05	20.73	20.32	14.36	-	ضریب تغییرات Coefficient of variation			

^{ns}, *, ** are not significant and significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

^{ns}, * و ** به ترتیب نشان دهنده غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ می باشد.



شکل ۵- مقایسه میانگین تأثیر دو نوع زغال زیستی با یکدیگر و تیمار شاهد بر وزن خشک زیست توده هوایی و زیرزمینی و نسبت ساقه به ریشه، عدس (سمت راست) و گندم (سمت چپ).

Figure 5. Mean comparison of two biochar type effects with each other and control treatment on dry biomass of above and below ground and shoot to root ratio, lentil (right) and wheat (left).

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر سطوح کاربرد زغال زیستی با یکدیگر و تیمار شاهد بر وزن خشک زیست توده هوایی و زیرزمینی و نسبت ساقه به ریشه.

Table 4. Mean comparison of biochar application rates effects with each other and control treatment on dry above and below ground biomass and shoot to root ratio.

گندم wheat	گندم wheat	گندم wheat	عدس lentil	عدس lentil	عدس lentil	سطح کاربرد Application level
نسبت ساقه به ریشه Shoot to root ratio	وزن خشک زیست توده زیرزمینی Dry biomass of below ground (g)	وزن خشک زیست توده هوایی Dry biomass of above ground (g)	نسبت ساقه به ریشه Shoot to root ratio	وزن خشک زیست توده زیرزمینی Dry biomass of below ground (g)	وزن خشک زیست توده هوایی Dry biomass of above ground (g)	
4.05 ^a	0.10 ^c	0.38 ^b	6.81 ^a	0.26 ^b	1.79 ^a	control
2.50 ^b	0.16 ^{bc}	0.41 ^b	6.49 ^{ab}	0.34 ^b	2.08 ^a	B _{0.4}
2.09 ^b	0.28 ^a	0.56 ^a	4.97 ^{bc}	0.37 ^b	1.80 ^a	B _{1.6}
2.76 ^b	0.20 ^{ab}	0.54 ^a	4.11 ^c	0.50 ^a	2.05 ^a	B _{3.3}

حروف مشترک در هر ستون، بیانگر عدم تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می باشد.

نسبت وزن خشک زیست توده هوایی (ساقه) به زیست توده زیرزمینی (ریشه): تجزیه واریانس تأثیر نوع و سطح کاربرد زغال زیستی بر نسبت ساقه به ریشه عدس و گندم در جدول ۳ و مقادیر میانگین این ویژگی در جدول ۴ و شکل ۵ ارائه شده است. تأثیر سطح کاربرد زغال زیستی بر نسبت ساقه به ریشه عدس در سطح احتمال یک درصد، معنی دار بود اما بر نسبت ساقه به ریشه گندم معنی دار نبود (جدول ۳). نسبت ساقه به ریشه عدس و گندم در دو نوع زغال زیستی تفاوت معنی دار نداشتند اما مقدار آن در تیمار زغال زیستی نوع اول و دوم به طور معنی دار کم تر از شاهد بود (شکل ۵). نسبت ساقه به ریشه عدس در سطح $1/6$ و $3/3$ درصد زغال زیستی در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی دار، کم تر بود (جدول ۴). نسبت ساقه به ریشه گندم در تمامی سطوح کاربرد زغال زیستی به طور معنی دار، کم تر از تیمار شاهد بود (جدول ۴ و شکل ۵). واردل و همکاران (۱۹۹۸) افزایش تولید زیست توده هوایی، زیرزمینی و نسبت ساقه به ریشه بیش تر را در اثر کاربرد زغال زیستی در جنگل های بورال گزارش دادند (۳۴). اگرچه نسبت کم تر ساقه به ریشه در مقادیر رشد کم تر می تواند بیانگر کم تر بودن ذخایر غذایی یا آبی باشد (۲۲)، اما کاهش نسبت ساقه به ریشه در اثر کاربرد زغال زیستی حتی در موارد افزایش زیست توده هوایی نیز گزارش شده است (۳۵). از آنجایی که زیست توده هوایی عدس و گندم در هیچ یک از سطوح کاربرد در مقایسه با تیمار شاهد کاهش نیافته است (جدول ۴)، می توان نتیجه گرفت که کاهش نسبت ساقه به ریشه احتمالاً ربطی به کاهش ذخایر غذایی و آب ندارد. حضور زغال زیستی می تواند موجب بی اثر شدن جرم مخصوص ظاهری و مقاومت مکانیکی زیاد و در نتیجه رشد بسیار زیاد ریشه ها گردد. ریشه ها در مقایسه با بخش های هوایی در تماس مستقیم با ذرات

زغال زیستی هستند. بنابراین به نظر می رسد که در کوتاه مدت مانند دوره رشد رویشی که در این مطالعه مدنظر قرار گرفت، اثرات مثبت زغال زیستی بر افزایش زیست توده زیرزمینی بیش تر از اثرات آن بر زیست توده هوایی باشد. بنابراین زغال زیستی به ویژه در سطوح کاربرد زیاد، به دلیل دارا بودن مقادیر زیادی خاکستر با جرم مخصوص ظاهری کم بر روی خود می تواند موجب تسهیل نفوذ و رشد ریشه ها و کاهش نسبت ساقه به ریشه شود.

نتیجه گیری

نوع ماده اولیه و شرایط تولید (مانند دمای اوج) تأثیر زیادی بر ویژگی های زغال زیستی دارند. زغال زیستی پوسته شلتوک برنج تولیدی در دمای $450-500$ درجه سانتی گراد در مقایسه با زغال زیستی تولیدی در دمای کم تر ($250-300$ درجه سانتی گراد) به دلیل دارا بودن ترکیبات آروماتیک بیش تر، پتانسیل بیش تری برای توقف کربن در خاک دارد، اما این دو نوع زغال زیستی از لحاظ بهبود تولید زیست توده گیاهی، تفاوت معنی دار نداشتند. کاربرد زغال زیستی پوسته شلتوک برنج در سطوح 10 تا 85 تن در هکتار، اثرات مثبتی بر تولید زیست توده گیاهی به ویژه زیست توده زیرزمینی داشت. افزایش رشد ریشه موجب تعدیل اثرات شرایط نامطلوب مانند خشکی و کمبود عناصر غذایی در خاک می شود و می تواند به تولید پایدار محصول کمک کند. به طور کلی می توان نتیجه گرفت که تبدیل پوسته شلتوک برنج به زغال زیستی، یکی از گزینه های مناسب برای مدیریت ضایعات برنجکوبی ها است که ضمن توقف کربن در خاک می تواند موجب افزایش تولید زیست توده گیاه شود. نتایج این مطالعه نشان داد که اگرچه، کاربرد زیاد زغال زیستی ($3/3$ درصد معادل با 85 تن در هکتار) ممکن است از لحاظ اقتصادی و عملی

امکان‌پذیر نباشد اما تأثیر منفی بر تولید زیست‌توده گیاهی در خاک قلیائی مورد مطالعه نداشت. بنابراین کاربرد زغال زیستی در خاک‌های غیراسیدی نیز می‌تواند مفید واقع شود. علاوه بر این، نتایج این مطالعه نشان داد که تأثیر زغال زیستی بستگی به نوع محصول و زمان کاربرد آن دارد و اثرات کاربرد یک‌بار زغال زیستی در خاک می‌تواند حداقل برای دو دوره کشت محصول یا بیش‌تر باقی بماند.

منابع

1. Al-Wabel, M.I., Al-Omran, A., El-Naggar, A.H., Nadeem, M., and Usman, A.R. 2013. Pyrolysis temprature induced changes in characteristics and chemical composition of biochar produced of conocarpus wastes. *Bioresource Technology*. 131: 374-379.
2. Amonette, J.E., and Joseph, S. 2009. Characteristics of biochar: Microchemical properties. P 33-52, In: J. Lehmann and S. Joseph (Eds.), *Biochar for environmental management: Science and Technology*. Eds Earthscan, London, Sterling, VA.
3. ASTM. 2007. ASTM book of Standards Volume 15.01: Refractories, Activated Carbon: Advanced Ceramics, American Society for Testing Materials, West Conshohocken, PA, 1090p.
4. Atkinson, C., Fitzgerald, J., and Hipps, N. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application in soils: a review. *Plant and Soil*. 337: 1-18.
5. Barrow, C.J. 2012. Biochar potential for countering land degradation and for improving agriculture. *Applied Geography*. 34: 21-28.
6. Blackwell, P., Riethmuller, G., and Collins, M. 2009. Biochar application for soil. P 207-222, In: J. Lehman and S. Joseph (Eds.), *Biochar for Environmental Management, Science and Technology*. Eds Earthscan, London, Sterling, VA.
7. Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen total. P 595-624, In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeny (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 2nd Ed. Madison, Soil Science Society of America.
8. Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T.B., and Haeefe, S. 2013. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy*. 3: 404-418.
9. Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., and Joseph, S. 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Austr. J. Soil Res.* 45: 629-634.
10. Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., and Joseph, S. 2008. Using poultry litter biochars as soil amendments. *Austr. J. Soil Res.* 46: 437-444.
11. Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. P 891-901, In: C.A. Black (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 2*. Madison, American Society of Agronomy.
12. Denyes, M.J., Rutter, A., and Zeeb, B.A. 2013. In situ application of activated carbon and biochar to PCB-contaminated soil and the effects of mixing regime. *Environmental Pollution*. 182: 201-208.
13. Dane, J.H., and Topp, G.C. 2002. *Methods of Soil Analysis. Physical Methods*. SSSA Press, Madison, WI, USA, 1663p.
14. Downie, A., Crosky, A., and Munroe, P. 2009. Physical properties of biochar. P 13-32, In: J. Lehmann and S. Joseph (Eds.), *Biochar for environmental management: Science and Technology*. Eds Earthscan, London, Sterling, VA.
15. Enders, A., and Lehmann, J. 2012. Comparison of wet-digestion and dry-ashing methods for total elemental analysis of biochar. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 43: 1042-1052.
16. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. available online on: <http://www.fao.org/statistics/en/>.
17. Glaser, B., Lehmann, J., and Zech, W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal a review. *Biology and Fertility of Soils*. 35: 219-230.

18. Knudsen, D., Peterson, G.A., and Pratt, P.F. 1982. Lithium, sodium, potassium. P 225-246, In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. 2nd Ed. Madison, Soil Science Society of America.
19. Kuhlbusch, T.A.J., and Crutzen, P.J. 1996. Black carbon, the global carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. P 160-169, In: J.S. Levine (Ed.), Biomass Burning and Global Change, MIT Press, Cambridge, UK.
20. Krull, E.S., Baldock, J.A., Skjemstad, J.O., and Smernik, R.J. 2009. Characteristics of biochar: organo-chemical properties. P 53-66, In: J. Lehmann and S. Joseph (Eds.), Biochar for Environmental Management. Eds Earthscan, London, Sterling, VA.
21. Lehmann, J., Da Silva Jr., J.P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., and Glaser, B. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. Plant and Soil. 249: 343-357.
22. Lehman, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C., and Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota: a review. Soil Biology & Biochemistry. 43: 1812-1836.
23. Lehmann, J., and Rondon, M.A. 2005. Bio-char soil management on highly weathered soil in the humid tropics. P 160-169, In: N. Uphoff (Ed.), Biological approaches to sustainable soil systems. CRC, Boca Raton.
24. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. P 539-577, In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. 2nd Ed. Madison, Soil Science Society of America.
25. Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. P 403-427, In: A.L. Page, L.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. 2nd Ed. Madison, Soil Science Society of America.
26. Pavia, D.L., Lampman, G.M., Kriz, G.S., and Vyvyan, J.A. 2009. Introduction to Spectroscopy, 4th Edition, Cengage Learning, USA, 752p.
27. Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A.R., and Lehmann, J. 2012. Corn growth and nitrogen nutrition after addition of biochars with varying properties to a temperate soil, Biology and Fertility of Soils. 48: 271-284.
28. Rondon, M., Lehmann, J., Ramirez, J., and Hurtado, M. 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. Biology and Fertility of Soils. 43: 699-708.
29. SAS Institute Inc. 2001. SAS/STAT User's Guide. SAS Institute, Cary, NC, USA.
30. Saarnio, S., Heimonen, K., and Kettunen, R. 2013. Biochar addition indirectly affects N₂O emissions via soil moisture and plant N uptake. Soil Biology and Biochemistry. 58: 99-106.
31. Schmidt, M.W.I., and Noack, A.G. 2000. Black carbon in soils and sediments: Analysis, distribution, implications and current challenges, Global Biogeochemical Cycles. 14: 777-793.
32. Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K.Y., Downie, A., Joseph, S., and Cowie, A. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. Plant and Soil. 327: 235-246.
33. Verheijen, F.G.A., Jeffery, S., Bastos, A.C., Van der Velde, M., and Diafas, I. 2009. 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, 149p.
34. Wardle, D.A., Zackrisson, O., and Nilsson, M.C. 1998. The charcoal effect in boreal forests: mechanisms and ecological consequences. Oecologia. 115: 419-426.
35. Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I.F., Anshori, S., and Ogawa, M. 2006. Effects of the application of charred bark in *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea, peanut and soil chemical properties in south Sumatra, Indonesia. Soil Science and Plant Nutrition. 52: 489-495.
36. Zhang, A., Liu, Y., Pan, G., Hussain, Q., Li, L., Zheng, J., and Zhang, X. 2012. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain. Plant and Soils. 351: 263-275.



Production of rice husk biochar and its effects on lentil and wheat biomass

***S. Abrishamkesh¹, M. Gorji², H. Asadi², A.A. Poorbabaei²
and Gh. Bagheri Marandi³**

¹Ph.D. Graduate, University of Tehran and Assistant Prof., Dept. of Soil Science and Engineering,
University of Guilan, ²Associate Prof., Dept. of Soil Science Engineering, University of Tehran,

³Assistant Prof., Dept. of Soil Science Engineering, University of Tehran

Received: 11/24/2015; Accepted: 11/21/2016

Abstract

Background and Objectives: Biochar application as a strategy for long term carbon sequestration has received worldwide attention. In addition to long term carbon sequestration and global warming mitigation, biochar application in soil can result in improvement of soil properties, enhancement of plant growth and sustainable management of agricultural, garden and industrial biomass wastes and residues. Most of reports about positive effects of biochar have been done in acidic soils and there is little information about biochar effects in non-acidic soils. Therefore this research was conducted to investigate the effects of production condition of two type of rice husk biochar on their properties and accessing these biochar effects on plant biomass production in a two plant (lentil-wheat) cycle in an alkaline soil in greenhouse condition.

Materials and Methods: Biochar 1 and 2 were produced of rice husk at temperature range of 250-300 °C and 450-500 °C, respectively and they were compared with each other. 0.4, 1.6 and 3.3 weight percent ($B_{0.4}$, $B_{1.6}$ and $B_{3.3}$) of biochar 1 and 2 were added to pots. At first, lentil was seeded and then wheat was seeded after lentil harvest. Effects of type and application rate of biochar on biomass production were compared with each other and control (without biochar) treatment.

Results: Molar hydrogen to carbon ratio and infrared spectrum of biochars showed more aromaticity in biochar produced at higher temperature. Increase of temperature led to smaller particle size, increase of electrical conductivity, pH, nitrogen, potassium, calcium and phosphorus content of biochar. Two biochar effects on dry above and below ground biomass of lentil and wheat were not significantly different. But dry above ground biomass of wheat and dry below ground biomass of lentil and wheat in biochar 1 and 2 treatments were significantly higher in compared to control treatment. Effect of biochar application rates on dry above ground biomass of lentil were not significantly different with each other and control treatment. But dry below ground biomass of lentil in $B_{3.3}$ was significantly more than other biochar application rates ($B_{0.4}$ and $B_{1.6}$) and control treatment. Dry above ground biomass of wheat in $B_{1.6}$ and $B_{3.3}$ was significantly more than $B_{0.4}$ and control treatments. Dry below ground biomass of wheat in $B_{1.6}$ was significantly more than $B_{0.4}$, however it was not significantly different in comparison with $B_{3.3}$. Shoot to root ratio of lentil in $B_{1.6}$ and $B_{3.3}$ was significantly less than control treatment. Shoot to root ratio of wheat was significantly less than control in all biochar application rates, however biochar application rates did not have significant difference with each other.

Conclusion: More aromaticity of biochar 2 (produced at temperature of 500-450 °C) in comparison with biochar 1 (produced at temperature of 500-450 °C) means more long term carbon sequestration potential. Biochar application had positive effects on biomass especially below ground biomass. Biochar effects were not only limited to first growth cycle (lentil) but also exist in second growth cycle (wheat). Generally it can be concluded that biochar production of rice husk can improve plant growth even in alkaline soils.

Keywords: Rice husk, Carbon sequestration, Alkaline soil, Biochar, Biomass

* Corresponding Author; Email: sabrishamkesh@guilan.ac.ir