کاربرد زغال زیستی در کاهش رواناب

رضا بیات*[۱]، علی محمدی‌ترکاشوند[۲] و مهدی افروغ[۳]

۱-* استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، (*bayat52@gmail.com*)

۲- دانشیار، دانشگاه آزاد، واحد علوم و تحقیقات (*m.torkashvand54@yahoo.com*)

۳- دانشه آموخته کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشگاه آزاد، واحد علوم و تحقیقات (*mehdi.afr.2@gmail.com*)

چکیده

بخش بزرگی از آب با ارزش بر اثر رواناب از دسترس خارج می شود که مقدار آن به ویژگی‌های خاک و شرایط محیط بستگی دارد. مطالعات زیادی نشان داده‌اند که اصلاح‌کننده‌هایی از قبیل زغال زیستی منبع مفیدی برای بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک است که سبب افزایش ماده آلی، افزایش تولیدات زراعی و بهبود نفوذپذیری می‌شود که در این خصوص و با توجه به ضرورت بهبود کارایی سامانه‌های استحصال آب باران، افزایش نفوذپذیری و کاهش رواناب مورد توجه است. این تحقیق با هدف تعیین اثر زغال زیستی حاصل از بقایای هرس درختان بر کاهش رواناب در قالب یک طرح کاملاً تصادفی انجام شد. برای تولید زغال زیستی، چوب‌های جمع‌آوری شده ابتدا به قطعات کمتر از دو سانتی‌متر تبدیل و درون کیسه‌هایی از جنس فویل آلومنیومی قرار گرفت. این بسته‌ها در دمای میانگین ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و به‌طور میانگین به مدت سه ساعت حرارت داده شدند. نمونه‌های تولید شده آسیاب و از الک دو میلی‌متر عبور داده شدند. زغال زیستی در چهار سطح صفر، ۰/۵، یک و دو گرم بر کیلوگرم روی نمونه‌های خاک اعمال شد، بعد از ۱۰۵ روز نگهداری در شرایط رطوبت حدود ظرفیت زراعی، نمونه‌ها در سینی‌های ۳۰*۳۰ *۸ سانتی متری ریخته و با غلتک به تراکم طبیعی رسانده و به‌وسیله شبیه‌ساز باران به مدت ۳۰ دقیقه بارش با شدت ۵۰ میلی‌متر در ساعت روی پلات‌ها اعمال و سپس حجم رواناب اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که اعمال تیمار زغال زیستی سبب کاهش حجم رواناب و ضریب آن شده و بین شاهد و تیمارها و همچنین بین تیمار ۲ گرم بر کیلوگرم با دو تیمار ۰,۵ و ۱ گرم بر کیلوگرم اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود داشت و از نظر کمی بین تیمار شاهد با تیمار ۲ گرم بر کیلوگرم، ۲۵ درصد اختلاف در میزان کاهش رواناب ایجاد شده است.

کلید واژه: زغال زیستی، خاک، اصلاح کننده، رواناب، شبیه‌ساز باران

مقدمه

بخش بزرگی از آب باران که به سطح می‌رسد، ممکن است بر اثر تبخیر و رواناب از دسترس خارج شود، که مقدار آن به ویژگی‌های خاک و شرایط اقلیمی محیط بستگی دارد. حتی هنگامی که سطح خاک دارای پوشش گیاهی است، تبخیر از سطح خاک، بسته به روش آبیاری، نوع گیاه و مرحله رشد آن حدود ۱۰ تا ۶۱ درصد از کل تبخیر و تعرق را تشکیل می‌دهد (Hillel، ۱۹۷۷). مواد آلی اکثر خاک‌های ایران کمتر از یک درصد است و در مقایسه با خاک‌های بعضی از کشورها که مواد آلی آن‌ها بسیار زیاد و حتی بالای ۱۰ درصد است، مسلماً از مقاومت کمتری در برابر فرسایش برخوردار است (علیزاده، ۱۳۹۳). عناصر غذایی معمولاً به ذرات ریز خاک چسبیده‌اند و خاک را حاصل‌خیز می‌کنند. بنابراین وقتی خاکی فرسایش پیدا می‌کند، نه‌تنها عمق خاک کم می‌شود، بلکه حاصل‌خیزی خاک هم با شسته شدن عناصر غذایی مانند ازت، فسفر و پتاسیم از بین می‌رود (خسارت‌های در جای یا در محل) هم چنین یک سری از اثرات فرسایش هم خارج از محل و در پایین‌دست حوزه خسارت وارد می‌کنند. به عنوان مثال رسوبات باعث گل‌آلود شدن آب می‌شود و حیات ماهی‌ها و سایر آبزی‌ها را به مخاطره می‌اندازد. از طرفی، این رسوبات می‌توانند در سدها نهشته شوند و اثرات سوء زیادی برای سلامتی انسان‌ها به بارآورند (عرب‌خدری، ۱۳۹۳) پس تولید محصول رابطه منفی با شدت فرسایش دارد (نجفی‌نژاد، ۱۳۷۴).

زغال زیستی[1] به عنوان یک ماده مناسب برای کاهش اثرات گرم شدن زمین است که در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود اختصاص داده است. علاوه بر این برای زغال زیستی کاربردهای دیگری مطرح شده است که در مدیریت محیط زیست بسیار حائز اهمیت است. زغال زیستی ماده‌ای غنی از کربن است که تحت شرایط کمبود یا نبود اکسیژن تولید می‌شود و در بخش‌های مختلفی نظیر اصلاح و بهبود وضعیت خاک مدیریت مواد زائد، کاهش اثرات تغییرات اقلیم و تولید انرژی کاربرد دارد، با توجه به اینکه مواد خام برای تولید زغال زیستی هم تنوع بالا و هم ارزش اقتصادی پایینی دارند، بنابراین استفاده از آن در بخش‌های مختلف مدیریت محیط زیست کارآمد و با صرفه‌ی اقتصادی است و به همین دلیل امروزه زغال زیستی به ماده‌ای پرکاربرد تبدیل شده است با توجه به رویکرد سیستمی در مدیریت محیط زیست، بخش‌های مختلف محیط زیست باید به طور توام مدیریت شود که استفاده از موادی مانند زغال زیستی در این موضوع اهمیت دارد (جزینی و همکاران، ۱۳۹۳).

زغال زیستی ماده جامد سیاه‌رنگ غنی از کربن پایدار است که در نتیجه سوزاندن مواد آلی در شرایط بدون اکسیژن و یا اکسیژن کم، در دمای کمتر از ۷۰۰ درجه سلسیوس تولید می‌شود که به این فرآیند، گرماکافت[2] گفته می‌شود. برای تولید زغال زیستی در مقادیر زیاد، معمولاً از دستگاه‌های بزرگی که برای این منظورساخته می‌شوند (دستگاه گرماکافت کننده) استفاده می‌شود. این دستگاه-ها دارای یک مخزن بزرگ هستند که زیست‌توده در داخل آن ریخته شده و حرارت داده می‌شود. زیست توده مواد آلی در طی فرآیند گرماکافت تبدیل به گاز زیستی، روغن زیستی و زغال زیستی (زغال زیستی) می‌شود. از گاز و روغن زیستی می‌توان برای تولید انرژی استفاده کرد، ولی زغال زیستی به علت ویژگی‌های منحصر به فردی که دارد، به عنوان اصلاح کننده خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد (Lehmann و Joseph ۲۰۰۹).

با افزایش دما، درصد زغال زیستی و درصد کربن آن کاهش یافته ولی درصد آروماتیک بودن کربن افزایش می‌یابد و باعث افزایش مقاومت و پایداری زیست زغال زیستی می‌شود. هم‌چنین با افزایش دمای گرماکافت درصد تولید گاز زیستی افزایش و درصد تولید روغن زیستی تا یک حدی از دما (حدود ۵۰۰ درجه سلسیوس) افزایش‌یافته و سپس با افزایش دما کاهش می‌یابد .کاهش درصد روغن تولید شده در دمای بالاتر به‌علت تبدیل آن به گاز زیستی در دمای بالا می‌باشد. بنابراین، زغال زیستی تولید شده در دمای گرماکافت کم نسبت به دمای بالا به علت دارا بودن درصد بیشتری از عناصر غذایی دارای ویژگی اصلاح‌کنندگی بهتری برای خاک می باشد و زغال زیستی تولید شده در دمای گرماکافت بالا به علت مقاومت زیاد کربن در برابر تجزیه، دارای ظرفیت زیادی برای ترسیب کربن می‌باشد (Verheijen و همکاران ۲۰۱۰). نوع زیست‌توده نیز تأثیر بسیار زیادی بر ویژگی‌های زغال زیستی تولید شده دارد .برای تولید زغال زیستی می‌توان از انواع ترکیبات و بقایای آلی مانند کاه و کلش گندم، شاخ و برگ درختان، انواع کودهای دامی، لجن فاضلاب و غیره استفاده کرد (Lehmann ۲۰۰۶، Lehmann و Joseph ۲۰۰۹).

1 Biochar
2 Pirolize

زغال زیستی به دلیل سطح ویژه بالا، زیستگاه مناسبی برای اکثر ریزجانداران درگیر در فرآیند نیترات سازی می‌باشد و هم‌چنین باعث افزایش معدنی شدن نیتروژن آلی می‌شود (جاودانی‌صعودی و همکاران، ۱۳۹۱). زغال زیستی از یک طرف با افزایش pH در خاک‌های اسیدی و از طرف دیگر با جذب فنول و ترکیبات آلی مهارکننده معدنی شدن ازت[3] شرایط را برای باکتری‌های معدنی کننده ازت مطلوب می‌سازد و سبب افزایش معدنی شدن نیتروژن می‌شود (فتحی گردلیدانی و همکاران، ۱۳۹۴).

زغال زیستی به‌واسطه داشتن ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) و pH بالا سبب افزایش زیست فراهمی و نگه‌داشت و در نتیجه کاهش آب‌شویی عناصر غذایی به‌ویژه در خاک‌های مناطق گرم‌سیری شده است. زغال زیستی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند موجودات خاک‌زی را تحت تأثیر قرار دهد (فتحی‌گردلیدانی و همکاران، ۱۳۹۴).

مطالعات زیادی نشان داده‌اند که زغال زیستی منبع مفیدی برای بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک است که سبب افزایش ماده آلی، افزایش تولیدات زراعی و بهبود خاک‌هایی می‌شود که مقدار زیادی از کودهای شیمیایی مختلف در آن‌ها مصرف می‌شود (Chan و همکاران ۲۰۰۷، Deenik و همکاران ۲۰۱۱، Van Zwieten و همکاران۲۰۱۰). با توجه به تحقیقاتی که توسط سایر محقیق انجام شد، مشخص گردیده است اثر مثبت زغال زیستی در مناطق گرمسیری بیشتر است (Rogovska و همکاران ۲۰۱۴).

تحقیقات نشان می‌دهد که زغال زیستی نقش مهمی در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک مانند افزایش ذخیره کربنی، تعادل بوم نظام‌های خاکی، افزایش pH,CEC، طرفیت بافری (Lehmann و همکاران ۲۰۰۳)، بهبود ساختمان خاک (Chen و همکاران ۲۰۰۷)، افزایش زیست‌توده میکروبی، فراهمی عناصر غذایی و بهبود حاصل‌خیزی خاک (Steinbeiss و همکاران ۲۰۰۹) دارد و این اثرهای زغال زیستی، به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن مربوط می‌باشد که از آن جمله می‌توان به تخلخل و سطح ویژه بالا، مقاومت زیاد در برابر تجزیه زیستی، غنی بودن، از عناصر و مواد قابل جذب، CEC و pH زیاد و داشتن ظرفیت نگه‌داری آب بالا اشاره کرد (Lehmann و Joseph ۲۰۰۹).

Herath و همکاران ۲۰۱۳، گزارش کردند، افزودن زغال زیستی ذرت موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری، افزایش پایداری خاک‌دانه و در نهایت افزایش نگه‌داشت آب خاک گردید. هم‌چنین Peake و همکاران (۲۰۱۴) بیان نمودند کاربرد زغال زیستی حاصل از کاج می‌تواند موجب بهبود پایداری خاکدانه‌ها، رطوبت ظرفیت مزرعه و جرم مخصوص ظاهری گردد. نتایج پژوهش Gao Lu و همکاران در سال ۲۰۰۳ نشان داد افزودن زغال زیستی خاکسترچوب به خاک رسی موجب بهبود ساختمان خاک، ظرفیت نگه‌داری آب، هدایت هیدرولیکی اشباع و تهویه خاک مورد نظر می‌شود.

به‌دلیل مقدار بالای رواناب و به تبع آن فرسایش گزارش‌شده و کم بودن ماده آلی در خاک‌های ایران، لزوم استفاده از اصلاح کننده‌های خاک و افزیش دهنده ماده آلی در خاک روز به روز بیشتر احساس می‌شود. با توجه به پیشینه‌ی پژوهش‌های مطالعه شده، می‌توان به این نتیجه رسید که زغال زیستی بیش‌تر در بخش کشاورزی و تولید محصول به کار برده شده و کم‌تر در بخش فرسایش و حفاظت خاک از آن استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

نمونه خاک مورد آزمایش به صورت دست خورده از منطقه مورد مطالعه در اراضی مرتعی شمال شرق شهر تهران بین ^{o}۳۵ ۴۶/ ۲۷// عرض شمالی و ^{o}۵۱ ۳۲/ ۳۷// طول شرقی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر تهیه و به محل انجام آزمایش منتقل شد.

برای تهیه زغال زیستی، ابتدا شاخه‌های خشک حاصل از هرس درختان کاج به قطعات ریز به ابعاد کمتر از دو سانتی‌متر تبدیل شد. با استفاده از فویل آلومنیومی، پاکت‌های مخصوص ساخته و با قرار دادن چوب خرد شده در داخل آن‌ها بسته‌های حدود ۲۰۰ گرمی تهیه و کاملاً مسدود شدند و صرفاً یک سوراخ به قطر حدود یک میلی‌متر در آن‌ها تعبیه شد. بسته‌ها در یک بوته آزمایشگاهی در دمای میانگین ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و به‌طور میانگین به مدت سه ساعت حرارت داده شدند. مصرف بیوچار با دانه‌های کوچک‌تر از دو میلی‌متر دارای مناسب‌ترین دانه‌بندی جهت مصارف کشاورزی است (Lehmann و Joseph ۲۰۰۹). بر این اساس نمونه‌های زغال زیستی به دست آمده آسیاب شده و از الک دو میلی‌متر عبور داده شدند.

3 Nitrifiacation

آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و در چهار سطح صفر، ۰/۵، یک و دو گرم بر کیلوگرم خاک انجام گردید. نمونه‌های خاک بعلاوه زغال زیستی در کرت‌های فلزی با ابعاد ۱۰۰ در ۳۰ سانتی‌متر ریخته شد و پس ایجاد تراکم در حد شرایط طبیعی روی یک لایه گونی کنفی مخلوط شد. کرت‌ها در روز اول آزمایش به‌وسیله آب از سطح به حالت اشباع کامل رسید. کرت‌ها طی دوره آزمایش ۱۰۵ روز Shih-Hao و Chien-Sheng (۲۰۰۳) به‌وسیله آب لوله کشی شهری، در محدوده رطوبتی ظرفیت زراعی شرایط بهینه برای فعالیت میکروب‌های هوازی و در شرایط محیط طبیعی زیر سوله‌ای نگه‌داری شد (Asghari و همکاران ۲۰۱۰).

بعد از گذشت ۱۰۵ روز از هر کرت بزرگ سه تکرار تهیه و به صورت لایه لایه بر اساس جرم مخصوص ظاهری در کرت‌های کوچک‌تر به ابعاد ۳۰ در ۳۰ در ارتفاع پنج سانتی‌متر جهت استفاده در زیر شبیه ساز باران آماده شد. پیرامون کرت‌ها با ورقه‌های فلزی و پلاستیکی مسدود و زه و رواناب حاصل از بارش به ظرف جمع‌آوری رواناب انتقال داده شد.

برای این تحقیق از شبیه‌ساز باران در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری با مشخصات مخزن ذخیره به ظرفیت ۳۰۰ لیتر و پمپ آب، سیستم لوله‌کشی‌های موردنیاز و آب‌رسانی تا نازل‌ها، شیلنگ‌های خروجی، سامانه‌ی شبیه‌ساز بارش دو نازله یک اینچی با مشخصه K18 ، شیربرقی و تجهیزات اندازه‌گیری فشار آب استفاده شد.

بعد از واسنجی باران‌ساز و آماده‌سازی نمونه‌ها، سه تکرار از هر آزمایش با شیب ثابت ۲۰ درصد و به مدت ۳۰ دقیقه با شدت بارش ۵۰ میلی‌متر در ساعت تحت بارش قرار گرفتند. پس از تعیین حجم رواناب و ضریب آن، برای پی بردن به اثر تیمارها از جدول تجزیه واریانس (ANOVA) و برای مقایسه میانگین‌ها از روش دانکن و توکی به کمک نرم‌افزار STATISTICA10 و هم‌چنین رسم نمودار با نرم افزار Excel صورت گرفت.

نتایج

بر اساس آنالیز نمونه خاک، کلاس بافت خاک منطقه رسی است و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول شماره ۱ ارایه شده است. جدول شماره ۲ تجزیه و تحلیل واریانس داده‌ها، مربوط به اثر زغال زیستی بر حجم رواناب را نشان می‌دهد. بر طبق جدول مذکور اثر مقادیر مختلف زغال زیستی بر حجم رواناب در سطح پنج درصد معنی‌دار بود.

شکل شماره ۱ نیز تغییرات ضریب رواناب حاصل از بکارگیری ذغال زیستی را نشان می‌دهد که از روندی نزولی برخوردار است و به تبع آن مقدار رواناب هم کاهش یافته است. مقایسه میانگین به روش دانکن (جدول شماره ۳) نشان داد که بین سطوح تیمار و شاهد در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی دار وجود دارد ولی اختلاف بین سطوح (تیمارها با هم) معنی دار نیست. تکرار مقایسه در روش توکی (جدول شماره ۴) علاو بر تایید روش دانکن در خصوص اختلاف معنی دار بین شاهد و تیمارها، نشان داد که در سطح احتمال ۵ درصد بین تیمارهای ۰/۵ و ۱ با تیمار ۲ اختلاف معنی دار وجود دارد ولی بین تیمار ۰/۵ و ۱ اختلاف معنی‌دار وجود ندارد.

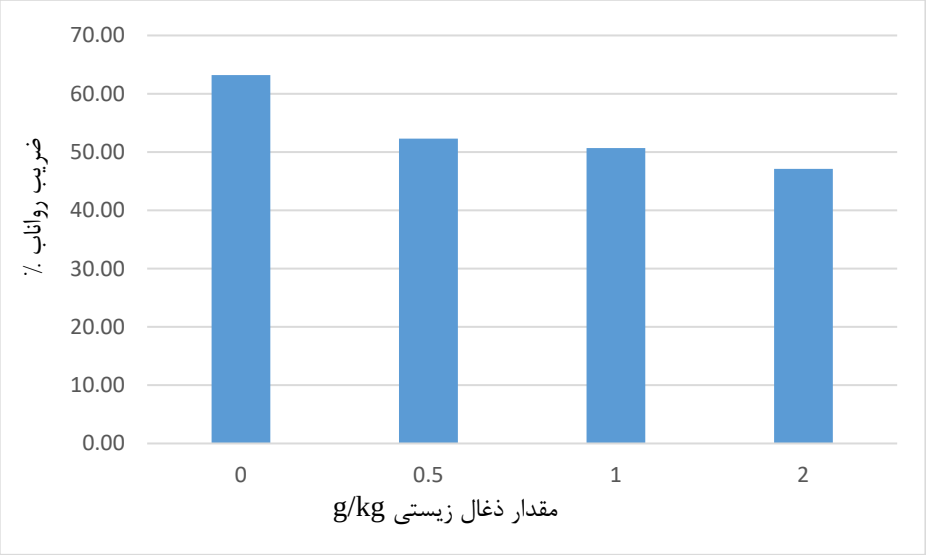
جدول ۱ برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

ویژگی	شن	رس	سیلت	pH	EC	کربن آلی	جرم مخصوص ظاهری
واحد	(%)	(%)	(%)	-	($ds.m^{-1}$)	(%)	($g.cm^{-3}$)
۱	۳۱	۴۵	۲۴	۷/۲	۱/۶	۰/۸	۱/۳

جدول ۲-تجزیه واریانس اثر زغال زیستی بر حجم رواناب

ردیف	عوامل تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات خطا	F	P -value
۱	تیمار	۳	۷۲۸۸۰	۵/۰۲۳*	۰/۰۳*
۲	خطا	۸	۱۴۵۱۰		
۳	کل	۱۱			

* : معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد



شکل۱ – تغییرات ضریب رواناب حاصل از بکارگیری ذغال زیستی

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین حجم رواناب به روش دانکن

ردیف	تیمار	میانگین حجم رواناب (میلی متر)
۱	شاهد	۱۴۲۱/۷ a
۲	زغال زیستی ۰/۰۵ درصد	۱۱۷۶/۷ b
۳	زغال زیستی ۰/۱درصد	۱۱۴۰/۰ b
۴	زغال زیستی ۰/۲درصد	۱۰۶۰/۰ b

در هر ستون اعدادی که دارای حروف لاتین یکسان هستند در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن معنادار نمی‌باشند.

جدول۴- نتایج مقایسه میانگین حجم رواناب به روش توکی

ردیف	تیمار	میانگین حجم رواناب (میلی متر)
۱	شاهد	۱۴۲۱/۷ a
۲	زغال زیستی ۰/۰۵ درصد	۱۱۷۶/۷ ab
۳	زغال زیستی ۰/۱درصد	۱۱۴۰/۰ ab
۴	زغال زیستی ۰/۲درصد	۱۰۶۰/۰ b

در هر ستون اعدادی که دارای حروف لاتین یکسان هستند در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون توکی معنادار نمی‌باشند.

ماده آلی یک عامل اساسی در بهبود حاصل‌خیزی خاک‌های کشاورزی است. در سال‌های اخیر مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و عدم مصرف کودهای آلی موجب شده که میزان مواد آلی و به‌دنبال آن عمل‌کرد محصول کاهش یابد. با توجه به این مسائل لزوم استفاده از منابع تأمین کننده مواد آلی در خاک روز به روز بیشتر مشخص می‌گردد.

به‌طور کلی و بر اساس منابع می‌توان نتیجه‌گیری کرد که افزودن زغال زیستی سبب تغییرات برخی ویژگی‌های خاک مانند pH خاک، قابلیت هدایت الکتریکی خاک، مقدار کربنات کلسیم معادل، مقدار کربن خاک، پتاسیم قابل جذب و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک می‌شود. هم‌چنین می‌توان نتیجه گرفت مقادیر بالای زغال زیستی سبب کاهش رواناب و رسوب می‌گردد و در نتیجه کاهش فرسایش را به دنبال دارد. به هرحال عواقب سوء ناشی از کاربرد این مواد بر برخی ویژگی‌های خاک مانند افزایش شوری و افزایش pH باید درنظر گرفته شود.

از آنجایی که در طراحی سامانه‌های استحصال آب باران و برای درختکاری و تقویت پوشش مراتع بهبود نفوذپذیری،کاهش رواناب و افزایش حجم آب ذخیره شده ناشی از بارش ضروری است، لذا کاربرد مواد اصلاح کننده مثل ذغال زیستی می تواند کمک موثری دراین خصوص نماید.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از نتایج پایان نامه ای با عنوان "بررسی استفاده از زغال زیستی در اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و کنترل فرسایش آبی" است که در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری اجرا شده و بدین ترتیب از همکاران بخش فنی آن مجموعه تشکر می‌شود.

منابع

- جاودانی صعودی س.، لکزیان ا. و خراسانی ر. ۱۳۹۱. تاثیر زغال زیستی بر غلظت فرم‌های معدنی نیتروژن در خاک اسیدی. همایش ملی خاک، کشاورزی پایدار. دانشگاه ملایر.
- جزینی ر.، سلیمانی م. و میرغفاری ن. ۱۳۹۳. کاربردهای زغال زیستی در مدیریت محیط زیست. دومین همایش ملی و تخصصی پژوهشهای محیط زیست ایران. همدان.
- رفاهی، ح. ق .۱۳۸۴. فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران .۵۵۲ صفحه.
- عرب‌خدری، م. ۱۳۹۳. مروری بر عوامل مؤثر بر فرسایش آبی خاک در ایران. نشریه مدیریت اراضی. ۱ (۲): ۲۶-۱۷.
- علیزاده ا. ۱۳۹۳. فرسایش و حفاظت خاک (ترجمه). انتشارات آستان قدس رضوی.
- فتحی گردلیدانی ا.، میر سید حسینی ح. و فرحبخش م. ۱۳۹۴. برخی آثار کمپوست قارچ مصرفی و زغال زیستی باگاس بر فعالیت فسفاتاز قلیایی و فراهمی فسفر در چند خاک آهکی. دوره ۴۶، شماره ۴،مجله تحقیقات خاک و آب ایران.
- Asghari, S., Abbasi, F. and M. R. Neyshabouri. 2011. Effects of soil conditioners on physical quality and bromide transport properties in a sandy loam soil. Biosystems Engineering, 109: 90-97.
- Chan, K., and Z. Xu. 2009. Biochar: Nutrient Properties and Their Enhancement. pp. 53-66. In Lehmann J. and S. Joseph (Eds). Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan: London, UK.
- Chan, K.Y., L. Van Zwieten., I. Meszaros, A. Downie, and S. Joseph. 2007. Agronomicvalues of greenwaste biochar as a soil amendment. Australian Journal of Soil Researchs. 45:629–634.
- Cheng, C.H., J. Lehmann., J.E. Thies., and S.D. Burton. 2008. Stability of black carbon in soils across a climatic gradient. Journal of Geophysical Research-Biogeosciences.113:10.
- Cheng, C.H., J. Lehmann., J.E. Thies., S.D. Burton and M.H. Engelhard. 2006. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. Organic Geochemistry. 37:1477-1488.
- Chen, J., D. Zhu and C. Sun. 2007. Effect of heavy metals on the sorption of hydrophobic organic compounds to wood charcoal. Environmental Science of Technology. 41:2536–3541
- Hillel, D. L. 1977. Environmental Soil Physics. Chapter 18: Evaporation from bear – surface soils and winds erosion. Academic Press Inc. pp: 508-522.
- Herath, H.M.S.K., Camps-Arbestian, M., and Hedley, M. 2013. Effect of biochar on soil properties in two contrasting soils: An Alfisol and an Andisol. Geoderma. 209-210: 188-197.
- Lehmann, J. and S. Joseph. 2009. Biochar for Environmental Management: Scienceand Technology. Earthscan, London & Sterling, VA. 416p.
- Lehmann, J., J. Gaunt., and M. Rondon. 2006. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems-A review. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 11(2):403–427.
- Lehmann, J., J.P da Silva., C. Jr., C. Steiner., T. Nehls., W. Zech., and B. Glaser. 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.
- Peake, L., Reid, B.J., and Tang, X. 2014. Quantifying the influence of biochar on the physical and hydrological properties of dissimilar soils. Geoderma. 235-236: 182-190
- Rogovska, N., Laird, D. A., Rathke, S. J. and D. L. Karlen. 2014. Biochar impact on Midwestern Mollisols and maize nutrient availability. Geoderma, 230: 340-347.

- Steinbeiss, S., G. Gleixner., and M. Antonietti. 2009. Effect of biochar amendment on soilcarbon balance and soil microbial activity. Soil Biology and Biochemistry. 41:1301–1310.
- Van Zwieten, L., Kimber, S., Downie, A., Morris, S., Petty, S., Rust, J., and Chan, K. Y. (2010). A glasshouse study on the interaction of low mineral ash biochar with nitrogen in a sandy soil. Soil Research, 48(7), 569-576.
- 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. JRC Scientific and Technical Report.