نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره چهارم، ۱۳۹۵
http://jwsc.gau.ac.ir

تأثیر بیوچار و کمپوست باگاس نیشکر بر برخی ویژگی‌های مکانیکی خاک

هدیه بهنام[۱]، *احمد فرخیان‌فیروزی[۲] و عبدالامیر معزی[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز، [۲]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز، [۳]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹٤/٦/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۱۹

چکیده

سابقه و هدف: کمبود مواد آلی در بیش‌تر خاک‌های ایران موجب پدید آوردن مشکلاتی از قبیل ناپایداری ساختمان خاک، تراکم و در نتیجه تخریب اراضی شده است. یکی از روش‌های بهبود کیفیت خاک کاربرد کمپوست و بیوچار ارزان‌قیمت است. بیوچار ماده‌ای غنی از کربن است که از حرارت دادن بیومس در شرایط اکسیژن محدود تهیه می‌شود. هر چند این ماده به‌عنوان اصلاح‌کننده ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شناخته شده است اما تاکنون اطلاعات اندکی در مورد تأثیر آن بر بهبود خصوصیات مکانیکی خاک‌های سنگین بافت وجود دارد. هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر کاربرد بیوچار و کمپوست تهیه شده از باگاس نیشکر به‌عنوان اصلاح‌کننده بر برخی ویژگی‌های مکانیکی خاک مانند مقاومت برشی، ضریب انبساط و انقباض‌پذیری و حدود پایایی خاک شامل رطوبت حد روانی، حد خمیری و شاخص خمیرایی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: بدین منظور آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی وبا سه تکرار اجرا شد. سطوح صفر، ۲، ٤ و ٦ درصد وزنی بیوچار باگاس نیشکر و سطوح صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست باگاس نیشکر در ستون‌هایی از جنس PVC به طول ٤۵ و قطر ۱۰ سانتی‌متر به خاک اضافه شد. بیوچار به روش پیرولیز آهسته در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد و در مقیاس آزمایشگاهی فراهم شد. پس از تهیه ستون‌های خاک، تیمارها در گلخانه در رطوبت ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه به‌مدت ٦ ماه گرماگذاری شدند.

یافته‌ها: تمامی تیمارهای بیوچار و کمپوست به‌طور معنی‌داری موجب کاهش مقاومت برشی خاک شدند ($P<۰/۰۱$). همبستگی منفی معنی‌داری بین مقاوت برشی تیمارهای بیوچار ($r= -۰/۸۹$) و کمپوست ($r= -۰/۷۹$) با کربن آلی خاک مشاهده شد ($P<۰/۰۱$). بیوچار و کمپوست به‌کار برده شده ضریب انبساط و انقباض‌پذیری خاک را در سطح معنی‌داری کاهش دادند ($P<۰/۰۱$). همبستگی منفی معنی‌داری بین ضریب انبساط و انقباض‌پذیری و تیمارهای بیوچار ($r= -۰/۹$) و کمپوست ($r= -۰/۷۸$) به‌دست آمد ($P<۰/۰۱$). افزودن بیوچار ($P<۰/۰۱$) و کمپوست باگاس نیشکر- ($P<۰/۰۵$) موجب افزایش معنی‌دار رطوبت حد روانی و رطوبت حد خمیری شدند. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مقدار مواد آلی خاک و حد روانی در تیمارهای بیوچار ($P<۰/۰۱$، $r=۰/۸$) و کمپوست ($P<۰/۰۵$، $r=۰/٦$) مشاهده شد. بین مقدار مواد آلی خاک با حد خمیری در تیمارهای بیوچار و کمپوست نیز به‌ترتیب همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r=۰/۷۹$) و ($r=۰/۸$) وجود داشت ($P<۰/۰۱$). افزودن کمپوست تأثیر معنی‌داری بر شاخص خمیرایی

* مسئول مکاتبه: a.farrokhian@scu.ac.ir

نداشت ولی افزودن ٦ درصد بیوچار به خاک موجب افزایش معنی‌دار این شاخص گردید. همچنین شاخص خمیرایی با کربن آلی خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری (r=۰/۷۱) نشان داد (P<۰/۰۱).

نتیجه‌گیری: این پژوهش نشان داد کاربرد بیوچار و کمپوست باگاس نیشکر به‌عنوان اصلاح‌کننده‌هایی مناسب برای ارتقاء کیفیت مکانیکی خاک قابل استفاده می‌باشد. این پژوهش در مقیاس کوچک و در مدت زمان کوتاهی انجام شد بنابراین پیشنهاد می‌شود مطالعه‌های تکمیلی در مقیاس مزرعه و برای مدت زمان طولانی‌تر انجام شود.

واژه‌های کلیدی: اصلاح‌کننده خاک، مقاومت برشی، حدود پایایی، ضریب انبساط و انقباض‌پذیری

مقدمه

به‌منظور برآورده کردن خواسته‌های رو به رشد انسان در تأمین مواد غذایی، اصلاح اراضی کشاورزی تخریب‌شده و همچنین بهبود کیفیت آنان دارای اهمیت فراوان است (٤٣). بیش‌تر خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران کم‌تر از یک درصد ماده آلی دارند (۱). کمبود مواد آلی موجب کاهش پایداری ساختمان خاک، پوسته‌پوسته شدن آن و در نهایت ایجاد خاکی سخت و متراکم می‌شود (۱۳). یکی از راه‌های افزایش مقدار ماده آلی در خاک‌های زراعی، استفاده از کودهای آلی مانند کود حیوانی می‌باشد، اما کاربرد این ماده نمی‌تواند جوابگوی نیازهای خاک‌های زراعی باشد (۱۹). بنابراین برای افزایش مقدار ماده آلی خاک، استفاده از منابع آلی مانند ضایعات کشاورزی، کمپوست، مواد زائد شهری و لجن فاضلاب‌ها ضروری است، تا ضمن افزایش تولیدات زراعی، توسعه پایدار در کشاورزی میسر شود (۲۵، ٤۲).

در دهه اخیر استفاده از ماده‌ای به نام بیوچار به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته است. نوع زیست‌توده اولیه بر مقدار کربن آلی موجود در بیوچار بسیار مؤثر است و با توجه به نوع آن مقدار کربن آلی به ۹۰ درصد نیز می‌رسد (٤۱). بیوچار در درجه اول از حلقه آروماتیک کربنی تک و فشرده تشکیل شده است که با توجه به سطح ویژه و چگالی بار زیاد آن در مقایسه با مواد آلی، ظرفیت بالاتری در جذب کاتیون‌ها دارد (۳٤). این ماده که ریزدانه، متخلخل و غنی از کربن است، به روش تجزیه گرمایی از زیست‌توده‌ها در شرایط اکسیژن محدود و در دمای کم‌تر از ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد تهیه می‌شود (۱۹).

افزودن بیوچار و کمپوست می‌تواند اثری مطلوب بر ویژگی‌های فیزیکی خاک داشته باشد (۸، ۱٤، ۲۲، ۲۹). هراد و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند، افزودن بیوچار ذرت موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری، افزایش پایداری خاکدانه و در نهایت افزایش نگهداشت آب در دو نوع خاک رده آلفی‌سول و اندی‌سول گردید (۱٤). همچنین پیک و همکاران (۲۰۱٤) بیان نمودند کاربرد بیوچار حاصل از کاج می‌تواند موجب بهبود پایداری خاکدانه‌ها، رطوبت ظرفیت مزرعه و جرم مخصوص ظاهری گردد (۲۹). نتایج پژوهش گائولو و همکاران (۲۰۱٤) نشان داد افزودن بیوچار خاکستر چوب به خاک رسی موجب بهبود ساختمان خاک، ظرفیت نگهداری آب، هدایت هیدرولیکی اشباع و تهویه خاک مورد نظر می‌شود (۸).

در پژوهش محمدیان و ملکوتی (۱۹۹۷) مشخص شد که کاربرد کمپوست باگاس نیشکر موجب افزایش کربن آلی و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌گردد (۲۲).

بسیاری از پژوهش‌گران معتقدند ارتباط مستقیمی بین میزان کربن آلی و مقاومت مکانیکی خاک وجود دارد، اما تأثیر آن با توجه به نوع ماده استفاده شده (بقایای گیاهی، روش‌های مختلف کاربرد کود) و

حالت‌های تجزیه ماده آلی (بقایای گیاهی تازه، مواد آلی هوموسی شده) متفاوت است (۳۷). تأثیر ماده آلی بر مقاومت مکانیکی خاک به بافت خاک و مقدار رطوبت خاک نیز وابسته است. برای مثال کاهش میزان ماده آلی موجب افزایش تنش پیش تراکمی در خاک لوم شنی می‌شود (۱٦). اهو و همکاران (۲۰۰۹) گزارش دادند در سطوح مختلف تراکم خاک و ماده آلی در ابتدا با افزایش مقدار رطوبت خاک مقاومت برشی افزایش و سپس با افزایش رطوبت مقاومت کاهش می‌یابد (۲٦). ژاو و همکاران (۲۰۰۹) گزارش دادند که مقاومت برشی خاک در رطوبت زیر حد پلاستیک با افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک افرایش می‌یابد و با زیاد شدن رطوبت کم می‌شود. افزایش جرم مخصوص ظاهری منجر به زیاد شدن نیروی کشش و انرژی مورد نیاز ادوات کشاورزی می‌شود (٤٤). با زیاد شدن نیروی لازم جهت نفوذ ریشه به داخل خاک، مورفولوژی ریشه تغییر کرده و رشد آن کاهش می‌یابد و تغییرات مهمی در ساختار اندام هوایی گیاه به‌وجود می‌آید. مقاومتی در حدود ۲ مگاپاسکال (۱۲۰۰ میلی‌بار) برای جلوگیری از رشد و نمو گیاه کافی به‌نظر می‌رسد (۱۸). ویندورف و همکاران (۲۰۰٦) گزارش دادند، کاربرد کمپوست به‌دست آمده از بقایای گیاهی در سه عمق ۲/۵، ۵ و ۷/۵ سانتی‌متر از سطح زمین موجب کاهش ضریب انبساط و انقباض‌پذیری خاک می‌شود (٤۰). کاربرد بیوچار و خاکستر زغال موجب کاهش شاخص انبساط و انقباض‌پذیری خاک می‌شود که علت آن می‌تواند ناشی از تغییر در خصوصیات انقباض و انبساط‌پذیری کانی‌های رسی باشد که این خود موجب جلوگیری از ترک خوردگی در خاک می‌گردد (۸). افزودن ماده آلی به خاک، با افزایش پلی‌ساکاریدها و جذب آن‌ها روی ذرات رس سبب بهبود بخشیدن خاکدانه‌سازی و پایداری ساختمانی ذرات خاک می‌شود. همچنین پلی‌ساکاریدها به‌دلیل آبدوست بودن، ظرفیت نگهداری آب در خاک را بهبود می‌بخشند (۱۷). اسمیت و همکاران (۱۹۸۵) بیان کردند که ماده آلی سبب افزایش سطح ویژه خاک می‌شود، که نتیجه آن افزایش نگهداری آب خاک و افزایش حد خمیری خاک می‌باشد. حدود خمیری با افزایش کربن آلی افزایش می‌یابد (۳۳).

فقر مواد آلی در مزارع نیشکر خوزستان از یک طرف و سوزاندن بقایای گیاهی به‌عنوان یک شیوه مرسوم از طرفی دیگر سبب تخریب ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک این کشت و صنعت‌ها شده است.

نتایج پژوهش‌های قبلی نشان می‌دهد زراعت مکانیزه نیشکر به‌طور معنی‌داری سبب کاهش سرعت نفوذ آب به خاک، رطوبت قابل دسترس گیاه و پایداری ساختمان خاک شده و از طرفی عاملی برای افزایش جرم مخصوص ظاهری و مقاومت فروروی گشته است. بنابراین استفاده از کودهای آلی جهت بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک اجتناب‌ناپذیر است (۳٦). بنابراین بررسی تأثیر دو نوع اصلاح‌کننده بیوچار و کمپوست باگاس نیشکر بر روی برخی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک‌های مزارع نیشکر می‌تواند دارای اهمیت باشد. از طرفی تاکنون مطالعات اندکی درباره اثر بیوچار و کمپوست باگاس نیشکر بر ویژگی‌های مکانیکی خاک انجام شده است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تأثیر بیوچار و کمپوست باگاس نیشکر بر برخی ویژگی‌های مکانیکی خاک شامل، مقاومت برشی[1] خاک، ضریب انبساط و انقباض‌پذیری[2] و حدود آتربرگ[3] (رطوبت حد روانی[4]، رطوبت حد خمیری[5] و شاخص خمیرایی[6]) می‌باشد.

1- Shear strength
2- Coefficient of linear Extensibility
3- Atterberg limits
4- Liquid limit
5- Plastic limit
6- Plasticity index

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی خاک، بیوچار و کمپوست: این پژوهش در گلخانه پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. نمونه‌برداری خاک از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری مزرعه آرک ٦-۲ شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی واحد امیرکبیر (Calcic Haploustepts)، با طول جغرافیایی ۳۱ درجه و ١٤ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ٤٨ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی انجام شد (۲۲). نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متری رد شدند. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش باور (٤)، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر و تیتر کردن با سولفات آهن به روش والکلی و بلک (۳۸)، بافت خاک به روش هیدرومتری (۹)، نیتروژن کل با دستگاه کجلدال اندازه‌گیری شد (٤، ۹، ۳۸). کانی‌های موجود در این خاک توسط بارانی و همکاران (۲۰۰۵) به روش XRD تعیین شده بودند (۲). بیوچار حاصل از باگاس نیشکر به روش پیرولیز آهسته و در دمای ۵۵۰ درجه به روش اسپارویک و همکاران (۲۰۱۲) تولید شد (۳۵). کمپوست باگاس نیشکر از شرکت سارا وکیل واقع در شهر اهواز تهیه گردید. میزان کربن، هیدروژن، اکسیژن و گوگرد بیوچار و کمپوست حاصل از باگاس نیشکر با دستگاه CHNS Analyzer مدل (LEO 1455 VP) اندازه‌گیری شد. میکرومورفولوژی بیوچار با دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل (LEO 1455 VP) مشخص گشت. سطح ویژه بیوچار توسط دستگاه تعیین سطح ویژه مدل Nano Sord به‌دست آمد. ویژگی‌های خاک مورد مطالعه در جدول ۱ و بیوچار و کمپوست در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

Table 1. Soil physical and chemical properties.

کانی‌های خاک Soil minerals (-)	رس Clay (٪)	سیلت Silt (٪)	شن Sand (٪)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC ($Cmol^{+}.kg^{-1}$)	نیتروژن کل Total nitrogen (٪)	کربن آلی Organic carbon (٪)	هدایت الکتریکی* EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH (-)
مونت‌موریلونیت، کلرایت، ایلایت	30	20	50	13.27	0.072	0.99	2.22	8.13

* اسیدیته و قابلیت هدایت الکتریکی در حالت اشباع اندازه‌گیری شد.

* pH and EC were determined in saturated paste.

جدول ۲- نتایج تجزیه بیوچار و کمپوست مورد استفاده در آزمایش.

Table 2. Results of the biochar and compost analysis.

ماده اصلاح‌کننده Amendment	اسیدیته pH (-)	هدایت الکتریکی* EC ($dS.m^{-1}$)	سطح ویژه Specific surface area ($m^2\ g^{-1}$)	کربن آلی Organic carbon (٪)	نیتروژن کل Total nitrogen (٪)	هیدروژن H (٪)	گوگرد S (٪)
بیوچار Biochar	2.28	3.18	171	66.69	0.42	3.37	0.52
کمپوست Compost	8.09	11.10	-	20.77	1.33	3.38	1.34

* اسیدیته و قابلیت هدایت االکتریکی بیوچار در حالت اشباع و کمپوست با نسبت ۱:۵ اندازه‌گیری شد.

* pH and EC of biochar were determined in saturated paste and compost in ratio of 1:5.

آماده‌سازی و اعمال تیمارها: تیمارها شامل بیوچار در چهار سطح صفر، ۲، ٤ و ٦ درصد وزنی و کمپوست‌ها با سطوح صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار به‌طور کاملاً یکنواخت با خاک مخلوط شدند. سپس خاک‌های تیمار شده به ستون‌هایی از جنس PVC به طول ٤٥ و قطر ۱۰ سانتی‌متر اضافه شدند. خاک‌ها به‌مدت ٦ ماه با رطوبت ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه در محیط گلخانه گرماگذاری شدند و پس آن آزمایش‌های مورد نظر آغاز شد (١٤).

اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی: برای تعیین مقاومت برشی لایه رویی خاک از پره برشی (Eijkelkamp 14.10 POCKET VANE TESTER) در شرایط اشباع استفاده شد (۱۱، ۱۰، ۷). بدین منظور ستون‌های خاک طی ٢٤ ساعت از انتها اشباع شدند، دستگاه در داخل خاک تا جایی که پره‌ها کاملاً در خاک قرار بگیرند وارد شد. سپس پره‌ها در جهت عقربه‌های ساعت به‌صورت دورانی چرخانده شد. این چرخش تا زمان متوقف شدن حرکت عقربه ادامه پیدا کرد. در دستگاه تنش برشی میزان تنش وارد شده بر روی صفحه مندرج بالای پره قابل مشاهده است که با توجه به نوع پره استفاده شده، می‌توان میزان مقاومت اندازه‌گیری شده را بر حسب کیلوپاسکال محاسبه کرد.

برای به‌دست آوردن ضریب انبساط و انقباض‌پذیری از آزمایش تهیه لوله یا میله‌های گلی استفاده شد. بدین‌صورت که، ابتدا نمونه خاک‌ها از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد، سپس خمیری از خاک با رطوبتی کم‌تر از حالت اشباع (به‌صورت کیفی) تهیه گشته و به آرامی در سرنگ پلاستیکی با طول ۲۵ سانتی‌متر و قطر ۱ سانتی‌متر قرار گرفت، آنگاه به آرامی (بدون تشکیل حباب) لوله تهیه‌شده بر روی صفحه کاملاً صاف مثل شیشه گذاشته شد. بلافاصله طول لوله یا میله گلی با خط‌کش مدرج اندازه‌گیری گردید. بعد از خشک شدن آن (گذشت ۷۲ ساعت)، مجدداً طول میله‌های گلی اندازه‌گیری شد (۳۲). سپس میزان ضریب انقباض و انبساط طبق رابطه ۱ تعیین گشت.

$$COLE = \frac{Lm - Ld}{Ld} \qquad (1)$$

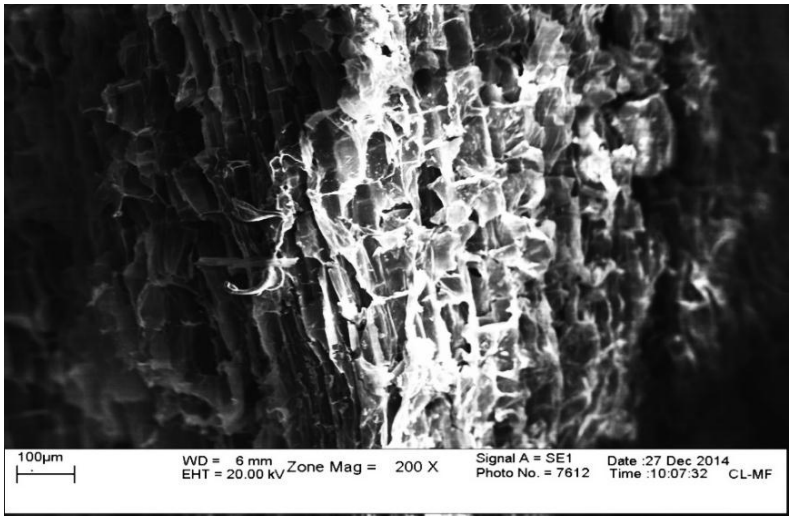
که در آن، COLE ضریب انبساط و انقباض خطی، Lm، طول لوله یا میله گلی بر حسب سانتی‌متر در حالت مرطوب و Ld طول لوله یا میله گلی بر حسب سانتی‌متر در حالت خشک می‌باشد.

رطوبت حد روانی (LL) با دستگاه کاساگرانده و رطوبت حد خمیری (PL) با روش تهیه فیتیله اندازه‌گیری گردید. اختلاف بین LL و PL به‌عنوان شاخص خمیرایی (PI) در نظر گرفته شد (۲۰).

تجزیه و تحلیل نتایج: این پژوهش آزمایشی با طرح کاملاً تصادفی با ۲۱ ستون و در سه تکرار اجرا شد. نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS (9/1) تجزیه و تحلیل شد. مقایسه میانگین تیمارها با آزمون دانکن در سطح پنج درصد صورت گرفت. معادلات رگرسیونی و ضرایب همبستگی با کمک نرم‌افزار SPSS(16) محاسبه شد.

نتایج و بحث

در شکل ۱ تصویر میکروسکوبی روبشی (SEM) بیوچار تهیه شده از باگاس نیشکر آمده است. با توجه به شکل می‌توان متخلخل بودن سطح داخلی بیوچار را مشاهده کرد. در واقع خلل و فرج‌های بیوچار فضای مناسبی جهت نگهداشت رطوبت در خاک ایجاد می‌کنند. بیضی مانند بودن حفره‌ها این واقعیت را نشان می‌دهد که ساختار متخلخل باگاس اولیه در حین فرآیند پیرولیز از شکل طبیعی خارج شده و کج و معوج شده است (١٤).

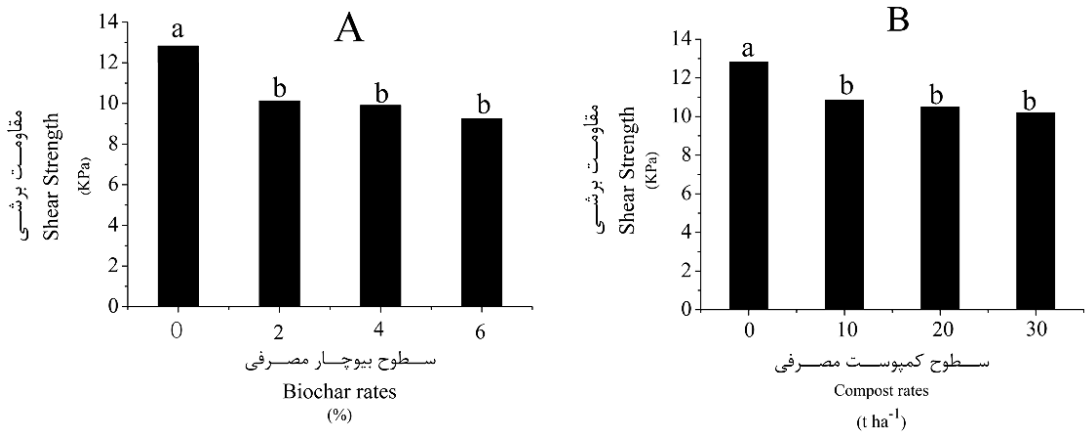


شکل ۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از بیوچار.

Figure 1. Scanning electron microscopic of biochar.

مقاومت برشی خاک: نتایج تجزیه واریانس تاثیر بیوچار و کمپوست بر مقاومت برشی خاک در جدول ۳ آورده شده است. کاربرد این دو ماده در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری بر مقاومت برشی خاک داشته است. نتایج آزمون مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف بیوچار و کمپوست بر مقاومت برشی در شکل ۲ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بین سطوح مختلف بیوچار و تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری وجود داشته و با افزایش بیوچار مقدار مقاومت برشی کاهش پیدا می‌کند. این کاهش نسبت به شاهد در سطوح ۲، ٤ و ٦ درصد به‌ترتیب، ۲۱/۰۲، ۲۲/۷۲ و ۲۷/۸٤ درصد می‌باشد. هر چند با افزایش مقدار بیوچار مقاومت برشی خاک روند کاهشی داشته است، اما بین سطوح مختلف آن تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. در تیمارهای کمپوست نیز بین سطوح مورد استفاده با تیمار شاهد تفاوت معناداری مشاهده شد. در سطوح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار، مقاومت برشی خاک به‌ترتیب ۱۵/۳٤، ۱۸/۱۸ و ۲۰/٤۵ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت، اما بین سطوح مختلف کمپوست در کاهش مقاومت برشی خاک تفاوتی معنی‌دار مشاهده نشد. همچنین نتایج نشان داد همبستگی منفی و معنی‌داری بین مقاومت برشی خاک و کربن آلی تیمارهای حاوی بیوچار ($r= -۰/۸۹^{**}$) وجود دارد. این نوع همبستگی در تیمارهای حاوی کمپوست ($r= -۰/۷۹^{**}$) نیز مشاهده شد (جدول ٤). این نتیجه با پژوهش‌های انجام شده مطابقت دارد به‌طوری‌که اوهو و همکاران (۱۹۹٤) گزارش کردند، کاربرد ماده آلی در خاک می‌تواند با کاهش جرم مخصوص ظاهری موجب کم شدن مقاومت برشی خاک شود و از این طریق انرژی لازم برای سست کردن خاک در حین عملیات کشاورزی کاهش یافته و موجب سهولت مدیریت خاک می‌شود (۲۷). از طرفی گوبتا و همکاران (۱۹۸۷) گزارش دادند کاربرد ماده آلی موجب کاهش مقاومت خاک می‌شود (۱۲). مطالعه اکوو (۱۹۹۰) نشان داد، افزودن ۱۱ و ۱۷ درصد وزنی پیت به خاک لوم شنی در شرایط گلخانه‌ای موجب کاهش معنی‌دار مقاومت برشی خاک می‌شود. وی علت این کاهش را به کم شدن جرم مخصوص ظاهری در اثر افزودن پیت نسبت داد (۵). پس از افزودن بیوچار به خاک، بخش زیادی از سطوح کانی توسط ذرات کربن پوشیده می‌شود و موجب جلوگیری از تماس سطوح کانی به یکدیگر شده که

در نهایت سبب کاهش چسبندگی و مقاومت برشی خاک می‌شود (۸، ٤٥). از طرفی با افزودن بیوچار به خاک مقدار زیادی از ذرات کربن تشکیل کمپلکس کربن- رس می‌دهند و برخی به‌صورت ذرات کربن جداگانه باقی می‌مانند. بنابراین بخشی از سطوح مواد کانی با کربن با انرژی کم، پوشیده می‌شوند. این پوشش کربنی می‌تواند موجب کاهش چسبندگی بین فاز جامد و مایع شده و در این حالت مقاومت برشی خاک کاهش می‌یابد (۸، ٤٥).



شکل ۲- تاثیر بیوچار (A) و کمپوست (B) بر مقاومت برشی خاک.

حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

Figure 2. Effect of biochar (A) and compost (B) on soil shear strength. Dissimilar letters indicate significant differences at the level of 1%.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری شده.

Table 3. Analysis of variance parameters.

	درجه آزادی df	مقاومت برشی (KPa) Shear strength	انبساط و انقباض‌پذیری (-) COLE	حد روانی ($g\ g^{-1}$) Liquid limit	حد خمیری ($g\ g^{-1}$) Plastic limit	شاخص خمیرایی ($g\ g^{-1}$) Plasticity index
بیوچار Biochar	3	7.438**	0.002**	0.015**	0.005**	0.002**
ضریب تغییرات Coefficient of variation		5.810	3.470	2.889	3.203	13.118
کمپوست Compost	3	4.209**	0.0004**	0.0003*	0.0001*	0.00002ns
ضریب تغییرات Coefficient of variation		4.294	2.580	2.950	2.288	8.415

**، *، ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌دار.

**, *, ns are significant at level of 1%, 5% and non significant, respectively.

جدول ٤- روابط و همبستگی بین مقادیر میانگین کربن آلی با ضریب انبساط و انقباض‌پذیری (COLE)، مقاومت برشی (SS)، رطوبت حد روانی (LL)، رطوبت حد خمیرایی (PL)، شاخص خمیرایی (PI).

Table 4. The relationships and correlation between the mean values of organic carbon with, COLE, shear strength (SS), liquid limit (LL), plastic limit (PL), plasticity index (PI).

	معادلات رگرسیونی Regression equation	ضرایب همبستگی correlation coefficients
بیوچار (Biochar)	$COLE = 0.16 - 0.051OC$	-0.904**
	$SS = 14.879 - 3.081OC$	-0.890**
	$LL = 0.18 + 0.12OC$	0.803**
	$PL = 0.123 + 0.074OC$	0.791**
	$PI = 0.057 + 0.046OC$	0.718**
کمپوست (Compost)	$COLE = 0.150 - 0.056OC$	-0.786**
	$SS = 16.904 - 6.132OC$	- 0.796**
	$LL = 0.257 + 0.051OC$	0.604*
	$PI = 0.16 + 0.044OC$	0.803**

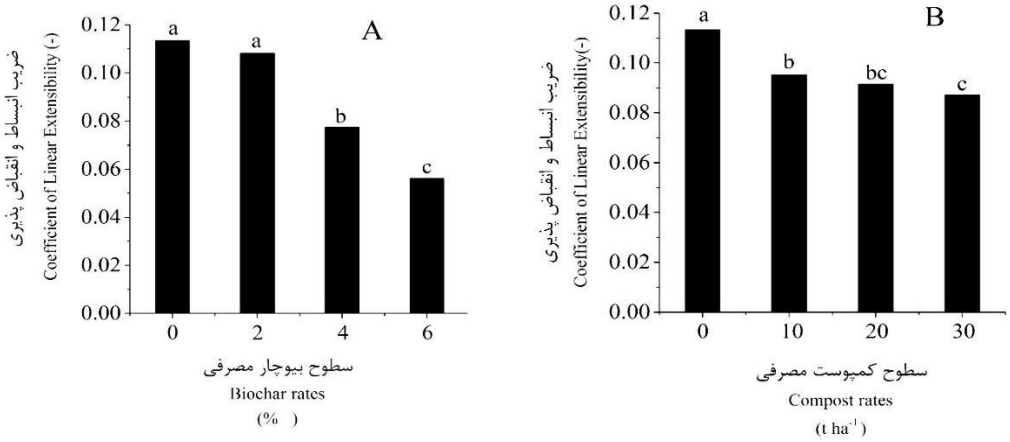
** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

** and * are significant at level of 1%, 5%.

انبساط و انقباض‌پذیری خاک: نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس ضریب انبساط و انقباض‌پذیری خاک‌های تیمار شده با بیوچار و کمپوست در جدول ۳ آمده است. مشاهده می‌شود که تأثیر بیوچار و کمپوست بر این ضریب در سطح یک درصد معنی‌دار است. با توجه به شکل (A)۳ نتیجه گرفته می‌شود که در سطوح ٤ و ٦ درصد بیوچار به‌ترتیب ۳۱/۷ و ۵۰/٤٤ درصد نسبت به شاهد کاهش ضریب انبساط و انقباض‌پذیری (COLE) وجود دارد و بین سطح ۲ درصد و تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. ضریب انبساط و انقباض‌پذیری در هر سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست به‌ترتیب ۱٦/۱۱، ۱۹/۲۳ و ۲۳/۲۲ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش معنی‌داری داشتند (شکل (B)۳). همچنین همبستگی منفی و معنی‌داری بین ضریب انبساط و انقباض‌پذیری و کربن آلی تیمارهای حاوی بیوچار (r= -۰/۹۰**) و تیمارهای کمپوست (r= -۰/۷۸**) مشاهده شد (جدول ٤). وجود کانی انبساط‌پذیر مونت‌موریلونایت در خاک مورد مطالعه می‌تواند سبب ایجاد درز و ترک شود و میزان این ضریب را افزایش دهد. کاربرد این دو اصلاح‌کننده سبب کاهش ضریب انبساط و انقباض‌پذیری و در نهایت کاهش درز و ترک در خاک می‌شود.

این نتیجه با نتایج زانگ و همکاران (۲۰۱٤) هم‌خوانی دارد که گزارش دادند یکی از دلایل تغییر پتانسیل انبساط و انقباض‌پذیری خاک تیمار شده با بیوچار می‌تواند این باشد که ذرات بیوچار سطوح کانی‌های رسی را بپوشانند و فضای منافذ خاک را پر کنند که در نهایت کاهش COLE می‌تواند موجب جلوگیری از ترک‌خوردگی خاک شود (٤۵). همچنین

کاهش در میزان COLE می‌تواند ناشی از تغییر در انبساط و انقباض‌پذیری کانی‌های رسی به‌علت تأثیر ذرات کربن باشد. در واقع تماس بین رس و ذرات کربن موجب افزایش مقاومت در برابر انبساط‌پذیری خاک می‌شود (۱٤، ۱۵). کاهش انبساط و انقباض‌پذیری می‌تواند به‌دلیل قرارگیری ذرات بیوچار در فضاهای رس‌های انبساط‌پذیر با بیوچار غیرانبساط‌پذیر باشد (۸).



شکل ۳- تاثیر بیوچار (A) و کمپوست (B) بر انبساط و انقباض‌پذیری.

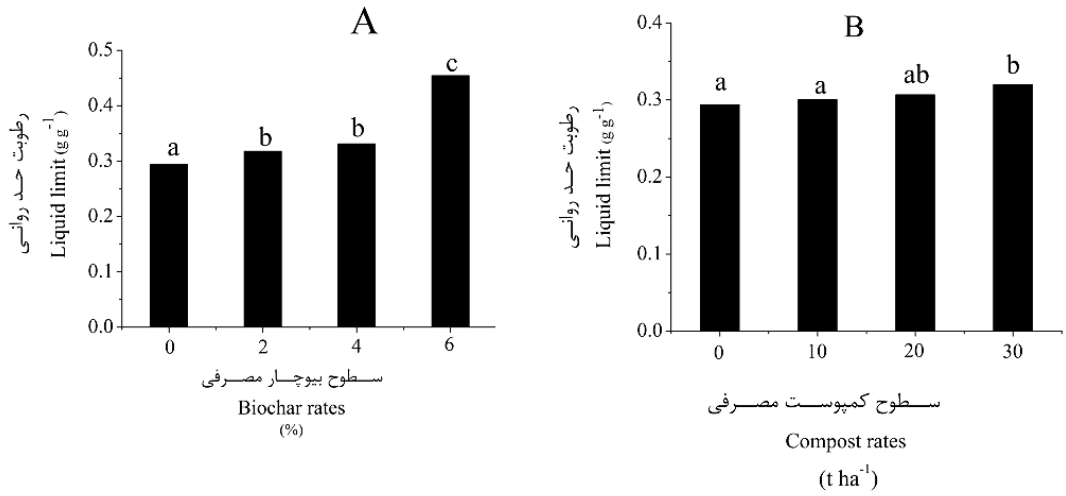
حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

Figure 3. Effect of biochar (A) and compost (B) on COLE.
Dissimilar letters indicate significant differences in the level of 1%.

حدود آتربرگ

رطوبت حد روانی (LL): حدود پایایی خاک به عواملی مانند میزان رس و ماده آلی بستگی دارد. نتایج تجزیه واریانس تأثیر مواد اصلاح‌کننده بیوچار و کمپوست باگاس نیشکر بر حد روانی در جدول ۳ آورده شده است. قابل ملاحظه است که بیوچار در سطح یک درصد و کمپوست در سطح پنج درصد تأثیری معنی‌دار بر حد روانی داشته است. شکل ٤ تاثیر سطوح مختلف بیوچار و کمپوست بر حد روانی را نشان می‌دهد. مشخص است که در تمام تیمارها میزان حد روانی نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌دار داشته و این افزایش نسبت به شاهد در تیمارهای ۲، ٤ و ٦ درصد بیوچار به‌ترتیب ۱٦/ ۸، ٦۸/ ۱۲ و ۵۸/ ٥٤ درصد بوده است. بین تیمارهای ۲ و ٤ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ولی بین تیمارهای ۲ و ٤ درصد بیوچار نسبت به تیمار ٦ درصد تفاوت معنی‌دار دیده شد. در تیمارهای کمپوست حد روانی در سطح ۳۰ تن در هکتار نسبت به شاهد به‌میزان ۸/۸۳ درصد افزایش داشت و این افزایش در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین تفاوت معناداری بین حد روانی در سطح ۱۰ و ۳۰ تن در هکتار مشاهده شد. افزایش ماده آلی در خاک با افزایش جذب آب توسط هوموس، موجب زیاد شدن حد روانی و حد خمیرایی خاک می‌گردد (۳۰). همان‌طور که در تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (شکل ۱) مشاهده می‌شود، بیوچار دارای حفراتی است که احتمالاً می‌توانند موجب جذب و نگهداری آب و در نتیجه افزایش حد روانی خاک گردد. با توجه به بزرگنمایی تصویر مشخص است که این ماده دارای منافذ بسیار ریز و در حد ۲۵ تا ۳۰ میکرون است که معادل مکشی برابر با

۱۰۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر می‌باشد. بدیهی است این منافذ می‌توانند با کمک در بهبود حفظ و نگهداشت رطوبت در درون خود، رطوبت حد روانی خاک را افزایش دهند. از طرفی همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان کربن آلی و حد روانی خاک در تیمارهای بیوچار ((r=۰/۸۰**) و کمپوست (r=۰/٦۰*) مشاهده می‌شود (جدول ٤). طی پژوهشی اصغری (۲۰۱۱) دریافت کاربرد ۷۵ و ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب در یک خاک لوم در شرایط گلخانه‌ای موجب افزایش معنی‌دار LL و PL می‌گردد (۱). مشاهده شده است که کاربرد بیوچار سبوس برنج به‌میزان ٤ و ٦ درصد وزنی در یک خاک رسی در سطح گلخانه‌ای موجب افزایش معنی‌دار رطوبت حد روانی می‌شود (۹).



شکل ٤- تاثیر بیوچار (A) و کمپوست (B) بر رطوبت حد روانی خاک.

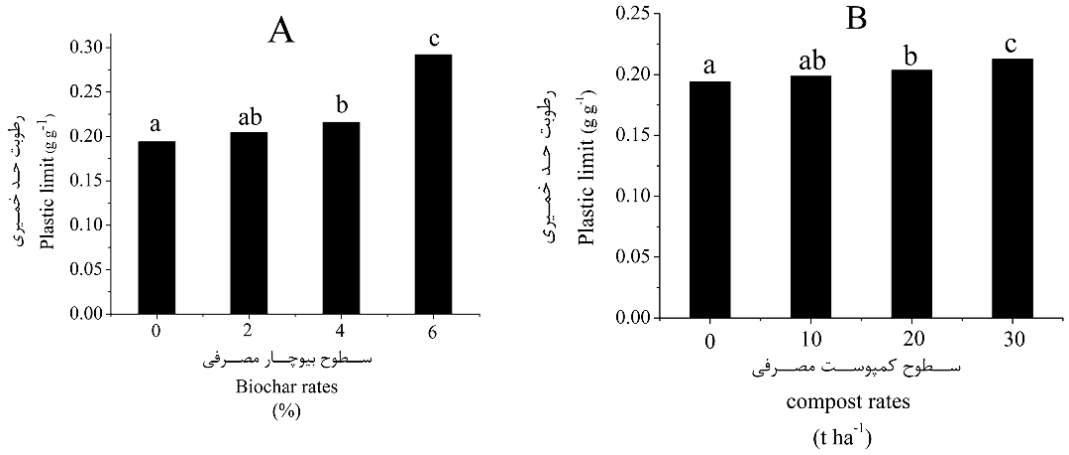
حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد (برای تیمارهای بیوچار) و پنج درصد (برای تیمارهای کمپوست) است.

Figure 4. Effect of biochar (A) and compost (B) on liquid limit.

Dissimilar letters indicate significant differences at level of 1% (for biochar treatments) and 5% (for compost treatments).

رطوبت حد خمیری (PL): رطوبت حد خمیری شاخص مناسبی برای بیان کیفیت فیزیکی خاک می‌باشد (۳۲). رطوبت حد خمیری به‌عنوان یکی از حساس‌ترین پارامترها برای تخمین بیش‌ترین میزان رطوبت مورد نیاز برای شخم بهینه محسوب می‌شود (۲۰). نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای بیوچار و کمپوست بر رطوبت حد خمیری در جدول ۳ آورده شده است. مشاهده می‌شود که افزودن سطوح بیوچار و کمپوست در سطح احتمال یک و پنج درصد موجب افزایش معنی‌دار حد خمیری خاک شدند. شکل ۵ آزمون مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف بیوچار و کمپوست کاربردی بر رطوبت حد خمیری خاک را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در تیمارهای ٤ و ٦ درصد بیوچار میزان این پارامتر به‌ترتیب ۱۱/۲۹ و ۵۰/۵۲ نسبت به شاهد افزایش پیدا کرده که این افزایش در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. در تیمارهای ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست نیز ٤/۸۵ و ۹/۵٦ درصد افزایش نسبت به شاهد دیده شد. با توجه به بالا بودن میزان سطح ویژه بیوچار (جدول ۲) افزودن این ماده موجب افزایش سطح ویژه کل و جذب رطوبت در خاک می‌شود که به این ترتیب رطوبت حد خمیری را افزایش می‌دهد. در جدول ٤

مشاهده می‌شود که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان کربن آلی خاک در تیمارهای بیوچار ($r=۰/۷۹^{**}$) و تیمارهای کمپوست ($r=۰/۸۰^{**}$) با رطوبت حد خمیری وجود دارد. نتایج پژوهش زانگ و چن (۲۰۱٤) نیز مشخص کرده است که کاربرد بیوچار به‌دست آمده از تراشه‌های چوب به‌میزان ۲، ٤ و ٦ درصد موجب افزایش معنی‌دار رطوبت حد خمیری نسبت به تیمار شاهد در یک خاک رسی شده است (٤٥). از سوی دیگر کو و همکاران (۲۰۱٤) گزارش دادند، استفاده از خاکستر سبوس برنج به‌میزان ۲۰ و ۳۰ درصد (حجمی/ حجمی) تحت شرایط گلخانه موجب افزایش معنی‌دار رطوبت حد خمیری در خاک‌های با بافت لوم سیلتی و لوم رسی سیلتی شده است. آن‌ها این افزایش را ناشی از افزایش سطح ویژه خاک در اثر کاربرد این ماده عنوان کردند (۳۰).



شکل ۵- تاثیر بیوچار (A) و کمپوست (B) بر رطوبت حد خمیری خاک.

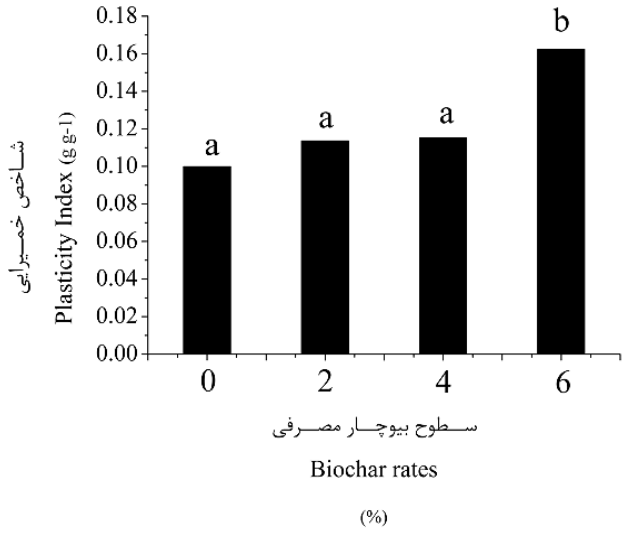
حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد (برای تیمارهای بیوچار) و پنج درصد (برای تیمارهای کمپوست) است.

Figure 5. Effect of biochar (A) and compost (B) on plastic limit.

Dissimilar letters indicate significant differences at level of 1% (for biochar treatments) and 5% (for compost treatments).

شاخص خمیرایی: نتایج تجزیه واریانس تأثیر بیوچار و کمپوست بر شاخص خمیرایی خاک در جدول ۳ آورده شده است. ملاحظه می‌شود که بیوچار در سطح یک درصد تأثیری معنادار بر شاخص خمیرایی خاک داشته است در حالی‌که کمپوست اثر معنی‌داری نشان نداده است. همان‌گونه که در شکل ٦ مشاهده می‌شود، کاربرد ٦ درصد بیوچار موجب افزایش ٦۲/٤۸ درصدی شاخص خمیرایی نسبت به شاهد شد. در باقی تیمارهای بیوچار و کمپوست شاخص خمیرایی افزایش یافت اما معنی‌دار نبود. ملاحظه می‌شود که بین میزان کربن آلی بیوچار و این شاخص (جدول ٤)، نوعی همبستگی مثبت و معنادار وجود دارد ($r=۰/۷۱^{**}$) که این نتیجه با یافته‌های اودل و همکاران (۱۹٦۰)، بلانکو و همکاران (۲۰۰٦) مطابقت دارد (۳، ۲٦). نتایج پژوهش کو و همکاران (۲۰۱٤) نشان داد با افزودن خاکستر سبوس برنج به خاک‌های لوم رسی سیلتی و لوم سیلتی، میزان شاخص خمیرایی در تمام سطوح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی افزایش معنی‌دار داشت (۳۰). علت تفاوت در تأثیرگذاری بیوچار و کمپوست بر شاخص خمیرایی می‌تواند ناشی از

تفاوت در نوع و ویژگی‌های این دو نوع ماده به‌کار رفته باشد. در خاک‌هایی که شاخص خمیرایی بالایی دارند، نفوذ کاهش می‌یابد و بنابراین هدررفت خاک در آن‌ها بیش‌تر اتفاق می‌افتد (۳۱). بنابراین با توجه به معنی‌دار نبودن تأثیر کمپوست بر شاخص مورد نظر می‌توان کاربرد آن را مثبت تلقی کرد. استفاده از بیوچار در سطح ۲ و ٤ درصد نیز تأثیری مشابه کمپوست بر خاک گذاشت، اما سطح ٦ درصد بیوچار این پارامتر را افزایش داد. بنابراین کاربرد این سطح توصیه نمی‌شود.



شکل ٦- تأثیر بیوچار بر شاخص خمیرایی خاک.
حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

Figure 6. Effect of biochar on plasticity index.
Dissimilar letters indicate significant differences at level of 1%.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر بیوچار (۲، ٤ و ٦ درصد وزنی) و کمپوست (۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار) تهیه شده از باگاس نیشکر بر برخی شاخص‌های مکانیکی خاک بعد از ٦ ماه انکوباسیون مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد مصرف بیوچار و کمپوست موجب کاهش مقاومت برشی خاک می‌شود و از این جهت نیروی لازم جهت نفوذ ریشه به خاک کاهش پیدا می‌کند. بررسی‌ها نشان داد افزودن بیوچار و کمپوست به خاک ضریب انبساط و انقباض‌پذیری را کاهش می‌دهد و از این راه مانع از ترک‌خوردگی خاک حاوی کانی‌های انبساط‌پذیر می‌شود. استفاده از بیوچار و کمپوست سبب افزایش حد روانی و خمیری می‌شود. در نهایت کاربرد بیوچار و کمپوست حاصل از باگاس نیشکر این پتانسیل را دارد که عاملی برای بهبود شاخص‌های مکانیکی خاک باشد، اما توصیه می‌شود چنین پژوهشی در مقیاس مزرعه‌ای مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

1.Asghari, Sh. 2011. Effects of Tabriz petrochemical sewage sludge on organic carbon, aggregate stability indices and consistency limits of a semiarid soil. J. Water Soil. 25: 530-539. (In Persian)

2.Barani, M.M., and Savabeghi, F.M. 2005. Review of Potassium depletion of soils under sugarcane cultivation in Khuzestan. J. Agric. Sci. Iran. 36: 5. 1185-1196. (In Persian)

3.Blanco-Canqui, H., Lal, R., Post, W.M., Izaurralde, R.C., and Shipitalo, M.J. 2006. Organic carbon influences on soil particle density and rheological properties. Soil Sci. Soc. Amer. J. 70: 1407-1414.

4.Bower, C.A., Reitmeir, R.F., and Fireman, M. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. Soil Sci. 73: 251-261.

5.Ekwue, E.I. 1990. Organic matter effects on soil strength properties. Soil and Tillage Research. 16: 289-297.

6.Hardie, M., Oliver, G., Bound, S., Clothier, B., and Close, D. 2014. Effect of biochar application on soil water availability and hydraulic conductivity. http://soilscienceaustralia.com.au/soil2014/proceedings/Hardie.pdf.

7.Franti, T.G., Laflen, J.M., and Watson, D.A. 1999. Predicting soil detachment from high-discharge concentrated flow. Transactions of the ASAE. 42: 329-335.

8.Gao Lu, S., Fang, S.F., and Tong, Z.Y. 2014. Effect of rice husk biochar and charcoal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol). Catena. 114: 37-44.

9.Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. P 383-411, In: A. Klute (ed.), Methods of soil analysis, 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA. Madision, WI.

10.Ghebreiyessus, Y.T., Gantzer, C.J., Alberts, E.E., and Lentz, R.W. 1994. Soil erosion by concentrated flow: shear stress and bulk density. Transactions of the ASAE. 37: 1791-1797.

11.Gime´nez, R., and Govers, G. 2002. Flow detachment by concentrated flow on smooth and irregular beds. Soil Sci. Soc. Amer. J. 66: 1475-1483.

12.Gupta, S.C., Schneider, E.C., Larson, W.E., and Hadas, A. 1987. Influence of corn residue on compression and compaction behaviour of soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 51: 207-212.

13.Hemmat, A., Aghilinategh, N., and Sadeghi, M. 2010. Shear strength of repacked remoulded samples of a calcareous soil as affected by long-term incorporation of three organic manures in central Iran. Biosystems Engineering. 107: 257-261.

14.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.

15.Lal, R., and Shukla, M.R. 2004. Principles of Soil Physics. Marcel Dekker, New York, NY, USA.

16.Lebert, M., and Horn, H. 1991. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. Soil Tillage Research. 19: 275-286.

17.Lima, D.L.D., Santos, S.M., Scherer, H.W., Schneider, R.J., Duarte, A.C., Santos, E.B.H., and Esteves, V.I. 2009. Effects of organic and inorganic amendments on soil organic matter properties. Geoderma. 150: 38-45.

18.Mahdavi, E., and Sameni, A. 2006. Effect of organic matter on aggregate stability and soil shear strength. Conferences soil, environment and sustainable development, Karaj, Tehran University College of Agriculture and Natural Resources. (In Persian)

19.Mesa, A.C., and Spokas, K.A. 2011. Impacts of biochar (black carbon) additions on the sorption and efficacy of herbicides. Herbicides Environ. Pp: 315-340.

20.Mirkhani, R., Saadat, S., Shabanpour, S.M., Aria, P.V., and Yegane, M. 2007. Estination of soil consistency limits by using readily available characteristics. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 21: 205-207. (In Persian)

21.Mohammadi, G.E. 1997. Preparation of organic fertilizer from sugarcane bagasse. J. Shekarshekan. 13: 16-19. (In Persian)

22.Mohammadian, M., and Malakouti, M.J. 1997. Effect of two types of composts on soil physical and chemical properties and corn yield. J. Soil Water. 2: 143-150. (In Persian)

23.Moradi, F., Khalilimoghadam, B., Jafari, S., and Ghorbani, D.S. 2014. Evaluation of some models of soil penetration resistance in some agro-industries, sugarcane in Khuzestan. J. Soil Manage. Sust. Prod. 4: 71-90. (In Persian)
24.Muller, L., Schindler, U., Fausey, N.R., and Lal, R. 2003. Comparison of methods for estimating maximum soil water content for optimum workability. Soil and Tillage Research. 72: 9-20.
25.Nazmi, L., Shabanpour, M., and Hashemi, K. 2012. Effect of type and amount of organic wastes on properties of two types of soil. J. Soil Water. 25: 93-102. (In Persian)
26.Odell, R.T., Thornburn, T.H., and Mckenzie, L.J. 1960. Relationships of Atterberg limits to some other properties of Illinois soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 24: 297-300.
27.Ohu, J.O., Ekwue, E.I., and Folorunso, O.A. 1994. The effect of addition of organic matter on the compaction of a vertisol from Northern Nigeria. Soil Technology. 7: 155-162.
28.Ohu, J.O., Mamman, E., and Mustapha, A.A. 2009. Impact of organic material incorporation with soil in relation to their shear strength and water properties. International Agrophysics. 23: 155-162.
29.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.
30.Qu, J., Li, B., Wei, T., Li, C., and Liu, B. 2014. Effects of rice-husk ash on soil consistency and compactibility. Catena. 122: 54-60.
31.Rienks, S.M., Botha, G.A., and Hughes, J.C. 2000. Some physical and chemical properties of sediments exposed in a gully (donga) in northern KwaZulu-Natal, South Africa and their relationship to the erodibility of the colluvial layers. Catena. 39: 11-31.
32.Schafer, W.M., and Singer, M.J. 1976. A new method of measuring shrink - swell potential using soil paste. Soil Sci. Soc. Amer. J. 40: 805-806.
33.Smith, C.W., Hadas, A., Dan, J., and Koyumdjisky, H. 1985. Shrinkage and Atterberg limits in relation to other properties of principal soil types in Israel. Geoderma. 35: 47-65.
34.Sombroek, W., Ruivo, M.L., Fearnside, P.M., Glaser, B., and Lehmann, J. 2003. Amazonian dark earths as carbon stores and sinks. P 125-139, In: J. Lehmann, D.C. Kern, B. Glaser and W.I. Woods (Eds.), Amazonian dark earths: origins, properties, management. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
35.Sparrevik, M., Adam, C., Martines, V., Jubaedah., and Cornelissn, G. 2014. Emissions of gases and particles from charcoal/biochar production in rural areas using medium-sized traditional and improved “retort” kilns. Biomass and Bioenergy. 72: 65-73.
36.Veisie Tabar, A., Hemmat, A., and Mosaddeghi, M. 2015. Evaluation of soil compaction sugarcane cultivation under different conditions by using bulk density, bulk density and relative soil cone index. J. Sci. Technol. Agric. 72: 93-105.
37.Vidal-Beaudet, L., Charpentier, S., and Rossignol, J.P. 2009. Physical and mechanical properties of washed sediment mixed with organic matter. Soil Use Manage. 25: 141-151.
38.Walkly, A., and Black, I.A. 1934. An examination of digestion method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration. Soil Science. 37: 29-38.
39.Watt, C.W., and Dexter, A.R. 1998. Soil fertility: Theory, measurement and the effects of management and organic carbon content. Europ. J. Soil Sci. 49: 73-84.
40.Weindorf, D.C., Zartman, R.E., and Allen, B.L. 2006. Effect of Compost on Soil Properties in Dallas, Texas. Compost Science & Utilization. 14: 1. 59-67.
41.Yin Chan, K., and Xu, Z. 2009. Biochar: nutrient properties and their enhancement. P 68-74, In: J. Lehmann and S. Joseph (Eds.), Biochar for Environmental Management. Earthscan, U.S.A.
42.Zamani babgohari, J., Afyouni, M., Khoshgoftarmanesh, A.H., and Eshghizadeh, H. 2011. Effect of sewage sludge of polyacryl factory, municipal solid waste compost and cow manure on soil properties and yield of corn. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 54: 153-165. (In Persian)

43.Zhang, B., Zhang, T.L., and Zhao, Q.G. 1996. Soil erosion in various farming systems in subtropical China. Pedosphere. 6: 225-234.
44.Zhao, X., Zhou, G., and Tian, Q. 2009. Study on the shear strength of deep reconstituted soils. Mining Science and Technology. 19: 405-408.
45.Zong, Y., and Chen, D. 2014. Impact of biochars on swell-shrinkage behavior, mechanical strength, and surface cracking of clayey soil. J. Plant Nutr. Soil Sci. 177: 6. 1-7.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(4), 2016
http://jwsc.gau.ac.ir

Effect of sugarcane bagasse biochar and compost on some soil mechanical properties

H. Behnam[1], *A. Farrokhian Firouzi[2] and A.A. Moezzi[3]
[1]M.Sc. Student., Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz,
[2]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz,
[3]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz
Received: 09/20/2015; Accepted: 05/08/2016

Abstract
Background and Objectives: Lack of organic matter in numerous soils in Iran caused unstable soil structure, compaction and land degradation. One of the methods for improving soil quality is the application of cheap organic conditioner such as biochar and compost. Biochar is the carbon-rich product obtained by heating biomass in a closed system under limited supply of oxygen. Biochar represents a soil conditioner that can change soil physical and chemical properties, but little information is available about the biochar-induced changes on physical properties of fine textured soils. This research was conducted to study the effects of biochar and compost sugarcane bagasse on some soil dynamic properties (shear strength, coefficient of linear extensibility (COLE), liquid limit (LL), plastic limit (PL) moistures and plasticity index).
Materials and Methods: The experiment was conducted with randomized completely design with three replicates. The treatments were including biochar at 4 rates (0, 2%, 4% and 6%) and compost at 3 rates (0, 10, 20 and 30 tons/ha) added into columns of PVC with diameter of 10 cm and length of 45 cm after 6 month in a soil. A lab-scale slow pyrolyzer was used for biochar production under oxygen-limiting conditions at 550 °C. The produced biochars were sealed in an airtight container at 550 °C and stored at room temperature until use. After preparation the soil columns treatments were incubated for 6 in a greenhouse with field capacity moisture content of 70%.
Results: The results showed that biochar and compost values significantly decreased shear strength and COLE in comparison with the control ($P<0.01$). The results showed significant negative correlation between OC and shear strength in biochar ($r= -0.89$) and compost ($r= -0.79$) ($P<0.01$). Moistures of LL and PL significantly increased for biochar treatments ($P<0.01$) and compost treatments ($P<0.05$). Significant and positive correlation was found between OC with LL for biochar ($r=0.8$, $P<0.01$) and compost treatments ($r=0.6$, $P<0.05$), also there was positive correlation between PL and OC in biochar treatments ($r=0.79$, $P<0.01$) and compost treatments ($r=0.8$, $P<0.01$). The effect of compost on PI was not significant. Significant and positive correlation was found between OC and PI in biochar treatment in level of 6% ($r=0.71$, $P<0.01$).
Conclusion: This research indicated that biochar and compost sugarcane bagasse as an organic conditioner improved mechanical quality of the soil. The result from this short-term localized study will need to be supported by additional long-term studies or in field condition to determine the long term effect of biochar amendment on soil. Therefore, additional field studies using biochar as a soil amendment over a longer period of time is recommended.

Keywords: Soil amendment, Shear strength, Consistency limit, Coefficient of linear extensibility

* Corresponding Author; Email: a.farrokhian@scu.ac.ir