

Research Article

Agricultural Engineering., 44(3) (2021) 295-312  
DOI: 10.22055/AGEN.2021.34860.1581

ISSN (E): 2588-526X

ISSN (P): 2588-5944

## Effectiveness of different biochars and compost on physical and mechanical properties of saline-sodic soils

F. Hassani<sup>1</sup>, A. Khademalrasoul<sup>2\*</sup> and H. Shekofteh<sup>3</sup>

1. MSc. of soil science Department, Faculty of Agriculture, Rafsanjan University
2. Assistant Professor of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
3. Assistant Professor of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Jiroft University, Iran

Received: 1 September 2020

Accepted: 20May 2021

### Abstract

**Introduction:** Soil is the upper layer of earth in which plants grow and is consequently very important for organisms and human nutrition. The protection of the soil against degrading processes, such as soil salinization and alkalization, is one of the main challenges in sustainable land management. Soil salinization and alkalization are two major environmental concerns leading to soil degradation especially in arid and semi-arid regions across the world. The balance of organic carbon in the soil is important for soil sustainability. Intensive cultivation enhance soil organic carbon (SOC) depletion. In order to alleviate the detrimental effects of SOC depletion, carbon-rich organic amendments such as biochar or compost are often applied to the soil. Therefore application of organic amendments to soil is an effective strategy to improve soil properties and to mitigate the negative impacts of inappropriate management strategies. Biochar is a carbon-rich compound produced by the pyrolysis of biomass in oxygen-limited conditions. Its use as an organic amendment to soil with specific inherent characteristics has been recognized. In this regard recent studies have shown that application of biochar to soil as an organic amendment can improve soil physical properties and help to keep the carbon balance in the soil. Moreover, compost as an organic amendment is capable to improve soil properties and increase the soil productivity.

**Methods and Materials:** The soil sampling was carried out near Kabutar Khan in Rafsanjan, Iran (56°22'N, 30°18'E), on a saline-sodic soil with Silty Clay soil texture (42% silt, 50% clay and 8% sand). The biochar was obtained from three different feedstocks consist of *Conocarpus erectus*, bagasse of Sugarcane and hard shell of *Pistacia Vera*. The obtained feedstocks were pyrolyzed at 400°C for 2 h with increasing rate of 7 °C/min in a sealed reactor to prevent O<sub>2</sub> input (Muffle Furnace, SEF-101 Model). Afterwards the produced biochar was cooled slowly to the room temperature, then the EC, pH, specific surface area and CHNS of biochars were measured using the standard methods. The required amounts of soils and biochars were weighed by a total 5000 g dry weight of sample and mixed in the dry state. The soil samples were received three doses of biochar (0, 2, 4 % biochar, w/w). The mixtures of soil and biochar were packed into pots and controlled a bulk density of about 1.5 g cm<sup>-3</sup> by artificial compaction. Treatments were replicated three times. The soil without any biochar was used as the control. The mixtures were wetted at three soil moisture contents (25, 50 and 75% field capacity) during incubation time



(120 days). The treatments were kept at a temperature-controlled glasshouse. After 120 days of incubation, the untreated soils and biochar-amended soils were taken for physical and chemical analyses.

Particle size distribution was measured by hydrometer method and soil organic carbon by oxidation method with potassium dichromate. The consistency limits (liquid limit and plastic limit) of soils were determined according to the ASTM D4318 procedure. The field capacity was measured using the pressure plates with the standard rings in the lab. Mechanical strength is a sensitive indicator of the soil physical condition and has been commonly used to evaluate soil water erosion, structural stability, tillage performance, and root penetration. Higher strength found in saline-sodic soil often impedes seedling emergence and root penetration. Remolded soil cores were saturated by capillarity for 24 h, equilibrated on a pressure plate apparatus for 12 h, and dried at 105 °C for 2 h. The dried soil cores were placed horizontally between two parallel plates of a digital unconfined compression apparatus, and the pressure was gradually increased through the plates by a motor at a constant speed of 2 mm min<sup>-1</sup> approaching the soil core. The maximum reading was recorded before the core was fractured by the load plate.

**Results and discussion:** Our results revealed that application of organic matter in the form of biochars and compost was effective on soil aggregation. The formation and stability of the soil aggregates play an important role in the crop production and soil degradation prevention. Moreover, the biochar application showed two main effects including direct and indirect effects. Our results confirm the addition of biochar to soil can cause a substantial and significant change in the soil physical characteristics of the strongly acidic Ultisol, namely a significant increase in LL and PI, higher water-holding capacity, and reduction in mechanical strength. These changes are undoubtedly associated with the particular properties of biochar and in particular with its high porosity and low bulk density. The beneficial effect of biochars on soil physical properties is mainly due to the dilution effect of biochar with higher porosity and lower density. When the biomass is heated, volatile matters may release out of the biomass to create micropores on the surface, and meanwhile those trapped inside the biomass are evaporated to expand the microstructure. Thus, the resulting biochar has much higher surface area and porosity. These properties are particularly useful for soil application of biochar especially for enhancing soil water-holding capacity, reducing mechanical strength, and increasing soil aggregation. The dilution effect can be attributed to the increased volume of pores as well as the decreased particle density in soil amended with biochar. The effectiveness of different biochars in improving the soil physical properties can be explained by their porosity and bulk density.

**Conclusion:** Our results depicted that application of biochars and compost as an organic amendments improved mechanical quality of the saline and sodic studied soil. Indeed all organic treatments decreased bulk density and enhanced soil aggregate stability while the biochar of *Conocarpus* illustrated the greatest effectiveness on soil physical and mechanical properties. Therefore it is a possibility to apply this biochar to the soil in the field scale but regarding the accessibility of biochar of Pistachio skin in the study area therefor we have another alternative to utilize in the soil. This research was conducted in the small scale and in a short time. Therefore, it is suggested that supplementary studies are carry out on farm scale for a longer periods.

**Keywords:** *Saline-Sodic soil, soil amendment, sustainable management, aggregate stability, soil moisture, biochar*

## ارزیابی تاثیرات زغال زیستی و کمپوست بر روی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک‌های شور و سدیمی

فاطمه حسنی<sup>۱</sup>، عطااله خادم‌الرسول<sup>۲\*</sup> و حسین شکفته<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی دانشگاه رفسنجان، ایران

۲- استادیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۳- استادیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه جیرفت، ایران

### تاریخچه مقاله

### چکیده

شور و سدیمی شدن خاک‌ها، از جمله پدیده‌های تخریب خاک محسوب می‌شود که ضمن کاهش کیفیت خاک به‌طور فزاینده‌ای موجب افت عملکرد محصولات به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌گردد. یکی از روش‌های اصلاح و بهبود کیفیت خاک‌های شور و سدیمی، کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی همچون زغال‌های زیستی و کمپوست است. در این پژوهش زغال زیستی حاصل از باگاس نیشکر، کنوکارپوس و پوست سخت پسته (در سطوح ۰، ۲ و ۴ درصد وزنی) و همچنین کمپوست شاخ و برگ درختان (در سطوح ۰، ۲ و ۴ درصد وزنی) و در سطوح رطوبتی (۲۵، ۵۰ و ۷۰ درصد رطوبت مزرعه) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در ۳ تکرار و در مجموع ۱۰۸ نمونه به خاک برداشت شده از منطقه‌ی کبوترخان در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشگاه رفسنجان اعمال شد. نتایج نشان داد که تیمار ۴ درصد زغال زیستی بقایای کنوکارپوس و در سطح رطوبتی ۲۵ درصد منجر به بیشترین کاهش چگالی ظاهری و مقاومت فروری خاک گردید. در اثر افزودن ۴ درصد زغال زیستی کنوکارپوس در سطح رطوبتی ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه بیشترین میزان میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به‌عنوان شاخص پایداری خاکدانه‌ها و رطوبت حدروانی به‌دست آمد. همچنین افزودن تیمار ۴ درصدی بقایای کنوکارپوس در سطح رطوبتی ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه به خاک سبب افزایش رطوبت حد خمیری شد. این پژوهش نشان داد که کاربرد زغال‌های زیستی و کمپوست به‌عنوان اصلاح‌کننده‌هایی مناسب جهت بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک‌های شور و سدیمی محسوب می‌شوند. بر اساس نتایج این پژوهش زغال زیستی بقایای کنوکارپوس، بیشترین تأثیر را بر روی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک‌های شور و سدیمی منطقه‌ی مطالعاتی نشان

دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۱

پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۲/۳۰

### کلمات کلیدی:

خاک‌های شور و سدیمی،  
اصلاح‌کننده‌ی خاک،  
مدیریت پایداری، پایداری  
خاکدانه،  
رطوبت خاک،  
زغال زیستی

\* عهده دار مکاتبات

Email: a.khademalrasoul@scu.ac.ir

داد. بدین ترتیب می‌توان از این اصلاح‌کننده‌ی آلی به‌عنوان یک تیمار اثربخش در راستای تحقق اهداف مدیریت بقایای آلی یعنی بهبود ویژگی‌های فیزیکی و ساختمانی خاک از طریق افزودن مواد آلی مناسب به خاک، بهره‌مند شد.

#### مقدمه

تخریب خاک پدیده‌ای است که با از بین بردن ویژگی‌های ساختمانی خاک منجر به کاهش معنی‌دار پتانسیل تولیدی خاک‌ها و در نتیجه کاهش محصول و افت عملکردی در اراضی کشاورزی می‌گردد. یکی از شکل‌های تخریب خاک، شور و سدیمی شدن خاک‌هاست که بخش وسیعی از مناطق خشک و نیمه‌خشک را تحت تأثیر قرار داده است. حدود نیمی از اراضی زیر کشت آبی در سطح جهان در معرض تهدید شور و سدیمی شدن قرار گرفته‌اند که جزء نامطلوب‌ترین تنش‌های غیرزیستی محسوب می‌شود (۲) و خاک‌های شور و سدیمی به دلیل دارا بودن سدیم بالا و وقوع پدیده‌ی پراکندگی ذرات<sup>۱</sup> دارای ویژگی‌های ساختمانی نامطلوبی هستند، همچنین این خاک‌ها همانند خاک‌های خشک عمل می‌کنند و در مجموع از پتانسیل فرسایش‌پذیری بالایی برخوردارند (۵ و ۲۷). با توجه به شرایط حاکم بر خاک‌های شور و سدیمی و نیز محدودیت‌های موجود از لحاظ سطوح زیرکشت ضرورت دارد عملیات اصلاح این خاک‌ها با استفاده از مواد اصلاح‌کننده صورت پذیرد. از جمله مواد با پایه‌ی آلی<sup>۲</sup> که دارای تاثیرات مثبت فراوانی است زغال‌زیستی<sup>۳</sup> می‌باشد که ماده‌ای تیره رنگ، متخلخل و غنی از کربن است (۱۹) که طی فرایند گرماکافت از زیتوده‌های مختلف و در شرایط نزدیک به بی‌هوازی تولید می‌گردد (۶ و ۱۰). این ماده از سطح ویژه‌ی و ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی برخوردار است و قادر به افزایش پایداری خاکدانه‌ها است (۶ و ۲۶). لازم به ذکر است که متأثر از شرایط تولید، زغال‌زیستی ویژگی‌ها و در نتیجه رفتارهای آن متفاوت می‌باشد (۲۴ و

۲۹)، عالیپور بابادی و همکاران<sup>۴</sup> طی پژوهشی تاثیرات نوع زیتوده و دمای فرایند گرماکافت را بر روی ویژگی‌های زغال‌زیستی بررسی نمودند که نتایج حاکی از اختلاف معنی‌دار زغال‌های زیستی حاصله در شرایط مختلف بود (۳). با افزایش درجه حرارت گرماکافت، ترکیبات فرار موجود در زغال‌زیستی کاهش یافته ولیکن در مقابل سطح ویژه‌ی آن افزایش می‌یابد که افزایش در سطح ویژه می‌تواند بسیاری از رفتارهای زغال‌زیستی را در فعل و انفعالات شیمیایی و حتی فیزیکی تحت تاثیر قرار دهد. با توجه به پایداری زغال‌زیستی در خاک و مدت‌دار بودن تاثیرات اصلاحی آن، امروزه استفاده از زغال‌زیستی برای اهداف مختلفی همچون کنترل آلودگی خاک، اصلاح حاصلخیزی خاک، افزایش عملکرد محصول، آزاد نمودن کربن در خاک و بهبود کیفیت اراضی شور و سدیمی صورت می‌پذیرد (۲۴ و ۲۷). نکته حائز اهمیت آن است که بسته به شرایط موضعی هر خاک و شدت شوری و سدیمی بودن آن، کارایی استفاده از هریک از مواد اصلاح‌کننده متفاوت است.

پژوهش‌ها نشان داده است که افزودن زغال‌زیستی حاصل از علوفه‌ی گندم به خاک منجر به کاهش چگالی ظاهری خاک گردیده است که دلیل آن تخلخل بالای زغال‌زیستی در نتیجه چگالی ظاهری پایین این ماده و به دنبال آن برقراری پیوند<sup>۵</sup> با بخش معدنی خاک به دلیل سطح ویژه‌ی بالا است که ماحصل آن کاهش چگالی ظاهری خاک و کمک به فرایند خاکدانه‌سازی است (۱۲، ۲۱ و ۳۰). نتایج حاصل از افزودن زغال‌زیستی تولید شده از پوسته‌ی برنج بر روی وضعیت خاکدانه‌سازی نشان داد افزودن این تیمار آلی

- 1- Dispersion
- 2- Organic-based
- 3- Biochar

4- Alipour Babadi *et al.*  
5- Binding

است. ارتفاع متوسط منطقه‌ی مطالعاتی از سطح دریا ۱۶۵۰ متر است. بر اساس آمارهای هواشناسی (۹۸-۱۳۸۸) متوسط بارندگی سالانه‌ی منطقه ۶۸ میلی‌متر و دمای متوسط آن ۱۹/۸ درجه سانتیگراد است. سرعت متوسط باد در منطقه ۲/۵ متر بر ثانیه است که البته در مواردی تندبادهایی نیز در منطقه می‌وزد که تأثیرات مخربی برجای می‌گذارد. همچنین پوشش گیاهی غالب در منطقه گیاهان بومی به صورت تنک و کاربری اراضی از نوع باغ‌های پسته می‌باشد که به دلیل شوری خاک رها شده‌اند. بر اساس سیستم طبقه‌بندی خاک آمریکا خاک‌های منطقه در رده‌ی اریدی سول<sup>۲</sup> قرار دارند. همچنین این خاک‌ها به دلیل عدم برخورداری از ویژگی‌های ساختمانی مناسب در نتیجه در معرض تخریب و فرسایش می‌باشند.

### خاک منطقه‌ی مطالعاتی

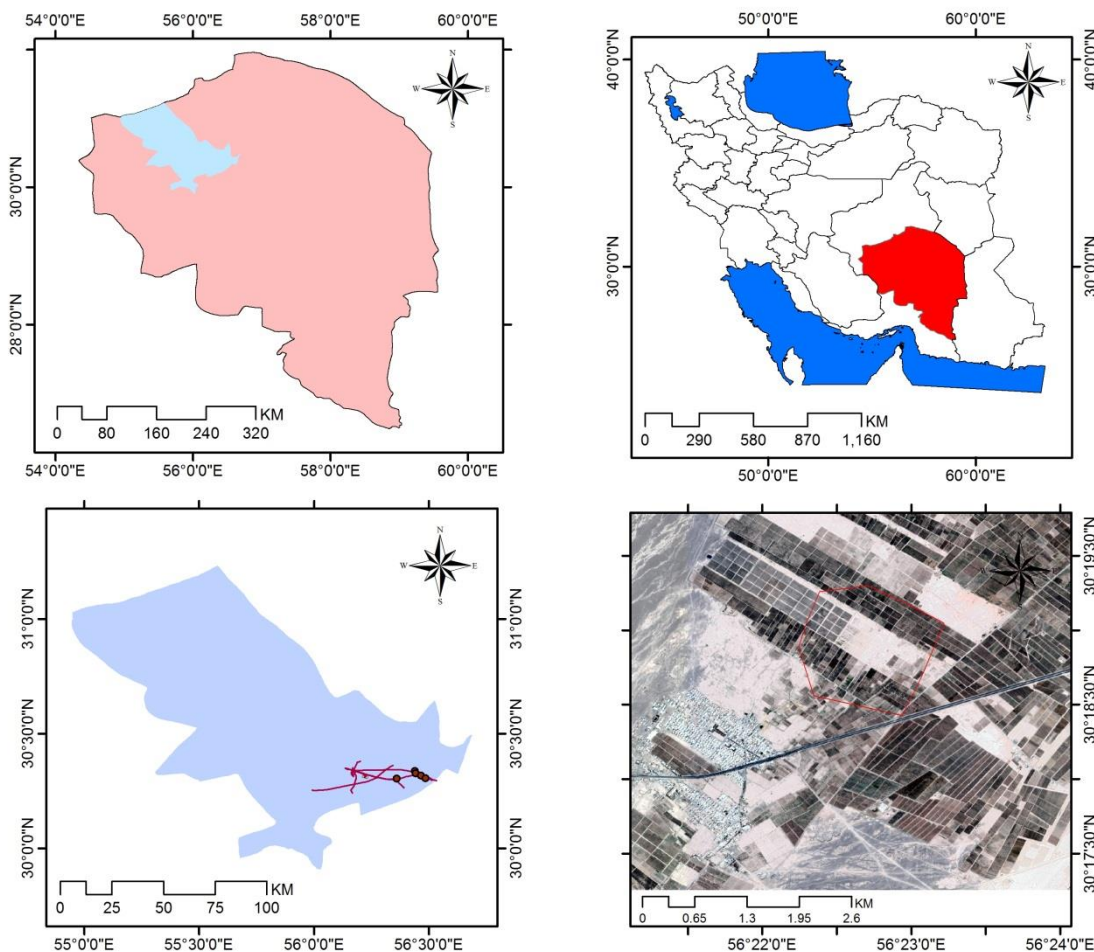
به منظور ارزیابی تأثیرات تیمارها بر ویژگی‌های خاک، عملیات نمونه‌برداری از خاک منطقه به روش سیستماتیک تصادفی درون بلوک از نقاط مختلف منطقه‌ی مطالعاتی انجام شد و نمونه‌برداری از خاک به گونه‌ای انجام شد که خاک بر داشت شده نماینده‌ای از خاک منطقه‌ی مطالعاتی باشد. نمونه‌برداری از عمق ۰ تا ۲۰ سانتیمتری خاک انجام شد. خاک منطقه دارای بافت غالب سیلتی رسی (Silty Clay) می‌باشد (۴۲ درصد سیلت، ۵۰ درصد رس و ۸ درصد شن). همچنین خاک منطقه دارای چگالی ظاهری ۱/۵۵ گرم بر سانتیمترمکعب و درصد رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) برابر ۳۰ درصد است. همچنین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک ۱۴/۴۸ سانتی‌مول بر کیلوگرم می‌باشد. برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک منطقه که جزء خاک-های شور و سدیمی محسوب می‌شود در جدول ۱ ارائه شده است.

قادر به افزایش تشکیل خاکدانه‌های پایدار در خاک می‌باشد که می‌توان این امر را شاخصی از کاهش حساسیت خاک به فرسایش دانست. در واقع کربن موجود در زغال-زیستی حاصل از پوسته‌ی برنج مانند سیمان عمل کرده و خاکدانه‌های کوچک را به هم متصل کرده و خاکدانه‌های بزرگ را شکل می‌دهد (۲۳ و ۲۵). زغال‌زیستی حاصل از بقایای کنوکارپوس تحت دمای ۶۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد نشان داد که محتوای هیدروژن و نیتروژن کاهش یافته که این کاهش در میزان عناصر بر روی پایداری خاکدانه‌ها اثر گذاشته به طوری که باعث شکسته شدن پیوند ضعیف در ساختار زغال‌زیستی شده است (۳ و ۷). خادم الرسول و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۴) طی پژوهشی بیان کردند که افزودن زغال‌زیستی حاصل از چوب درختان منجر به بهبود فرایند خاکدانه‌سازی و در نتیجه افزایش پایداری خاکدانه‌ها و کاهش پخشیدگی رس شده و در نتیجه خطرات تخریب خاک را کاهش می‌دهد (۱۱ و ۱۷ و ۱۸). کمپوست نیز ماده‌ای آلی است که در کشاورزی آلی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و از بقایای آلی همچون شاخ و برگ گیاهان تهیه می‌شود. افزودن کمپوست به خاک منجر به بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌گردد. با توجه به گستردگی خاک‌های شور و سدیمی و مشکلات حاکم بر این خاک‌ها و ضرورت اصلاح این خاک‌ها هدف این پژوهش ارزیابی تأثیرات زغال‌های زیستی تولید شده از باگاس نیشکر، پوست سخت پسته و بقایای گیاه کنوکارپوس، همچنین کمپوست شاخ و برگ درختچه‌ی برگ‌بو بر روی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک‌های شور و سدیمی می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

#### موقعیت منطقه‌ی مطالعاتی

منطقه‌ی مورد مطالعه در این پژوهش منطقه‌ی الهیه‌ی کبوترخان در استان کرمان می‌باشد که در موقعیت جغرافیایی ۳۰°۱۸' شمالی و ۵۶°۲۲' شرقی واقع شده



شکل (۱) موقعیت مکانی منطقه‌ی مطالعاتی در استان کرمان  
 Figure (1) Geographical location of the study area in Kerman province

بعد از پوشاندن کامل مواد درون جعبه توسط ورقه‌ی آلومینیومی، درب جعبه محکم بسته شده و درون کوره الکتریکی Muffle Furnace مدل SEF-101 ساخت شرکت FINE TECH قرار داده شد. فرایند گرماکافت نمونه‌ها درون کوره الکتریکی در دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد و با نرخ افزایش دمای ۷ درجه سانتیگراد در دقیقه و به مدت ۳ ساعت صورت پذیرفت. ویژگی‌های زغال‌های زیستی مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۲ ارائه شده است. کمپوست تهیه شده از شاخ و برگ (شاخسار) درختچه‌ی برگ‌بو با کیفیت بالا از دانشگاه صنعتی اصفهان خریداری شد و به‌عنوان تیمار

### تهیه تیمارها و اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک

جهت تهیه‌ی زغال‌زیستی به‌عنوان تیمار آلی از سه نوع زیتوده‌ی حاصل از بقایای آلی شامل باگاس نیشکر، شاخ و برگ گیاه کنوکارپوس و پوست سخت پسته استفاده گردید. پس از هوا خشک کردن زیتوده‌ها، به منظور تهیه‌ی زغال‌زیستی، نمونه‌ها درون جعبه‌ای فلزی از جنس آهن گالوانیزه با آستر ورقه نازک آلومینیومی قابل تعویض و با ابعاد متناسب با محفظه‌ی کوره (۳۰×۳۰×۵۰ سانتیمتر) قرار داده شد. نمونه‌ها توسط وزنه ۱۰ کیلوگرمی جهت تخلیه‌ی هوا، کاملاً فشرده شدند و

پس از تهیهی زغال‌های زیستی و کمپوست، با بهره‌گیری از روش‌های استاندارد برخی از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی تیمارها شامل هدایت الکتریکی، pH، C/N و سطح ویژه (۲۳) اندازه‌گیری شد (۱۰) که در جدول ۲ ارائه گردیده است. از نسبت ۱:۱۰ (آب/زغال‌زیستی) برای EC و pH استفاده شد. در این پژوهش اندازه‌گیری کربن، نیتروژن، هیدروژن و فسفر به کمک دستگاه آنالیز عنصری (CHNSO analyzer) و ماده‌ی آلی به روش والکلی-بلاک صورت پذیرفت.

آلی به خاک افزوده شده که ویژگی‌های آن ارائه شده است (جدول ۲). همچنین برای تولید کمپوست پس از جمع‌آوری شاخ و برگ‌های درختچه‌ی برگ‌بو، هوا خشک شدن و آسیاب کردن از الک ۴ میلیمتری عبور داده شد و با قرار دادن در جعبه‌هایی با ابعاد ۲۰×۴۰×۴۰ سانتیمتر، میزان رطوبت برابر ۷۰ درصد رطوبت مزرعه بر آن اعمال شد. سپس توسط طیف وسیعی از ریزجانداران هوازی فرایند تخمیر آن صورت گرفت تا به مرحله بلوغ رسیده و مورد استفاده قرار گرفت.

جدول (۱) ویژگی‌های شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table(1) The chemical properties of the studied saline-sodic soil

ویژگی / Parameter	هدایت الکتریکی/EC	واکنش خاک/pH	پتاسیم/ K	کلسیم/ Ca	منیزیم/ Mg	سدیم/ Na	درصد سدیم تبادلی/ESP	کربن آلی/OC	آهک/ CaCO <sub>3</sub>
واحد	dS/m	-			me/l		%	%	
مقدار	19.8	7.8	37.0	4.2	98.0	264.5	40.6	0.5	20.0

جدول (۲) برخی از پارامترهای اندازه‌گیری شده زغال‌های زیستی و کمپوست افزوده شده به خاک

Table (2) Some of the measured parameters of biochars and compost applied to the studied soil

مواد/Matter	واکنش pH	هدایت الکتریکی EC	هیدروژن H	کربن C	نیتروژن N	فسفر P	نسبت کربن به نیتروژن C/N	سطح ویژه Specific surface area
واحد	-	dS/m	(%)	(%)	(%)	(%)	-	m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>
باگاس نیشکر Sugarcane bagasse	9.43	0.51	4.40	40	0.58	5.93	20.69	2.08
کنو کارپوس Conocarpus	8.90	3.30	3.19	41.19	2.08	3.60	49.19	9.24
پوست پسته Pistachio shell	11.70	7.20	3.80	57.8	2.18	0.06	26.50	2.86
کمپوست Compost	7.92	4.98	3.40	55.4	2.64	2.14	25.40	3.00

شدند و دامنه‌ی نوسانات رطوبتی بین ۲۵ تا ۷۵ درصد رطوبت مزرعه می‌باشد.

پایداری خاکدانه‌ها به روش سری الک خشک اندازه‌گیری و به کمک شاخص میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)<sup>۱</sup> بیان و ارزیابی گردید (۹، ۱۵ و ۱۶). شایان ذکر است که پایداری خاکدانه‌ها به عنوان یکی از مهمترین شاخص‌ها برای ارزیابی حساسیت خاک‌ها به تخریب ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر همین اساس از دو روش معمول یعنی الک خشک و الک تر برای ارزیابی این ویژگی فیزیکی خاک‌ها استفاده می‌شود. روش الک خشک معمولاً برای مناطقی است که دارای شرایط خشکی هستند در نتیجه عامل آب به عنوان تخریب ساختمان محسوب نمی‌شود در نتیجه در چنین شرایطی از الک خشک استفاده می‌شود. ولیکن الک تر برای ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها در مقابل تنش‌های آبی مانند فرسایش آبی است. اندازه‌گیری چگالی ظاهری خاک با استفاده از رینگ‌های استاندارد و نمونه‌برداری مزرعه‌ای صورت گرفت و با افزایش تکرار در نمونه‌های برداشتی سطح دقت در محاسبات فزونی یافت. برای تعیین مقاومت به فروروی (PR)<sup>۲</sup> و تغییرات آن از پترومتر نوک مخروطی با زاویه ۳۰ درجه و سطح یک سانتی‌متر استفاده شد که این پترومتر در دستگاه دیجیتال با سرعت ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه نصب شد و نمونه‌های دست نخورده خشک شده در شرایط طبیعی و زیر نور آفتاب، به قطر ۵۸ میلی‌متر و ارتفاع ۴۰ میلی‌متر در دستگاه مقاومت به فروروی مدل DBP-100 قرار داده شد و میزان مقاومت آنها به فروروی ثبت شد (۱۳). همچنین رطوبت حد روانی با استفاده از دستگاه کاساگرانده و رطوبت حد خمیری با استفاده از روش فتیله کردن گل اندازه‌گیری شد که با توجه به وجود ۵۰ درصد رس در اجزاء متشکله بافت خاک منطقه‌ی مطالعاتی، امکان تعیین حدوداتربرگی فراهم شد (۱۶).

همان‌گونه که جدول ۲ نشان می‌دهد غالب تیمارهای افزوده شده به خاک دارای pH قلیایی هستند و از هدایت الکتریکی پایینی برخوردارند. بر مبنای اندازه‌گیری‌های انجام شده زغال‌زیستی باگاس نیشکر که یکی از مهمترین ضایعات آلی فرایند تولید شکر از نیشکر محسوب می‌شود دارای کمترین نسبت C به N (C/N) و در مقابل زغال‌زیستی کنوکارپوس از بالاترین میزان C/N برخوردار است که با توجه به تاثیر این نسبت بر نرخ تجزیه‌پذیری زغال‌های زیستی لذا به دنبال آن بر رفتارهای آنها در خاک موثر می‌باشد. همچنین زغال‌زیستی باگاس نیشکر از کمترین میزان سطح ویژه برخوردار است ولیکن زغال‌زیستی گیاه کنوکارپوس دارای بالاترین میزان سطح ویژه می‌باشد. با توجه به وجود اختلافات در ویژگی‌های زیستوده‌های مورد استفاده جهت تولید زغال‌های زیستی در نتیجه ویژگی‌های زغال‌های زیستی حاصله نیز با هم متفاوت می‌باشد (جدول ۲).

پس از تولید زغال‌های زیستی و کمپوست، تیمارها در سطوح ۲ و ۴ درصد وزنی به صورت آزمایش فاکتوریل با دو فاکتور نوع و مقدار مواد اصلاحی و رطوبت خاک و در قالب طرح کاملاً تصادفی و در ۳ تکرار به خاک افزوده شد و برای مدت زمان ۴ ماه انکوباسیون گردید. قابل ذکر است که این پژوهش به صورت گلدانی، در گلدان‌های ۵ کیلوگرمی و به تعداد ۱۰۸ انجام شد. خاک گلدان‌ها به نحوی تهیه شد که وضعیت خاک سطحی و زیرین آن یکسان باشد و نمونه‌ی خاک برای انجام آزمایشات از عمق ۵ سانتیمتری برداشت شد. در طول دوره‌ی انکوباسیون رطوبت خاک در سطح ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه با اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش وزنی و افزودن کسری رطوبتی به خاک، تنظیم گردید. با فراهم نمودن شرایط فوق‌الذکر زمینه‌ی ارزیابی تأثیرات سطوح رطوبتی بر روی رفتارهای زغال‌های زیستی و کمپوست افزوده شده به خاک فراهم شد. بدین ترتیب گلدان‌ها در طول انکوباسیون تر و خشک

1- Mean weight diameter (MWD)

2 -Penetration resistance (PR)



تجزیه‌ی بیشتر باعث فعال شدن واکنش‌های شیمیایی و زیستی در خاک شده در نتیجه منجر به اتصال ذرات خاک به یکدیگر شد و لذا باعث کاهش چگالی ظاهری خاک تیمار شده، گردید. همچنین زغال‌زیستی حاصل از بقایای کنوکارپوس دارای بیش‌ترین سطح ویژه است (جدول ۲) که این سطح ویژه بالا سبب فراهم شدن شرایط مناسب برای پیوندسازی و اتصال بیشتر ذرات خاک به یکدیگر و افزایش تخلخل و کاهش چگالی ظاهری خاک شد. تمامی تیمارهای مورد استفاده و در سطوح مختلف افزایشی به خاک، منجر به کاهش چگالی ظاهری خاک گردیدند که این کاهش به معنی بهبود شرایط ساختمانی خاک می‌باشد. ضمناً با توجه به اینکه تیمارهای افزوده شده به خاک تیمارهایی آلی هستند که سبب افزایش درصد ماده‌ی آلی خاک و بهبود خاکدانه‌سازی شده‌اند لذا عاملی موثر در کاهش میزان تخریب خاک محسوب می‌شوند. پژوهش‌های انجام شده در ارتباط با تاثیرات مواد آلی بر بهبود ویژگی‌های ساختمانی خاک و در نتیجه کاهش میزان فرسایش‌پذیری خاک‌ها، نشان می‌دهد که مواد آلی با کاهش چگالی ظاهری خاک و افزایش تخلخل خاک عاملی موثر در خاکدانه‌سازی و کاهش فرسایش‌پذیری خاک‌ها می‌باشند (۹ و ۲۸).

همچنین نتایج نشان می‌دهد اثرات افزودن انواع مواد اصلاح‌کننده اعم از زغال‌های زیستی و کمپوست، سطوح رطوبتی و اثرات متقابل آن‌ها بر روی پایداری خاکدانه‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۳). مقایسه‌ی میانگین اثرات انواع مواد اصلاح‌کننده و سطوح رطوبتی نشان می‌دهد که بیشترین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (۱/۵۷ میلی‌متر) به‌عنوان شاخص پایداری خاکدانه‌ها از تیمار ۴ درصد وزنی زغال‌زیستی بقایای کنوکارپوس در سطح رطوبتی ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه و کمترین پایداری خاکدانه‌ها (۰/۴۴ mm) از تیمار شاهد (عدم کاربرد اصلاح‌کننده) در سطح رطوبتی ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه به دست آمد (جدول ۴). افزایش پایداری خاکدانه‌ها حاکی از تاثیرات تیمارهای آلی در بهبود ویژگیهای ساختمانی

## تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه‌ی واریانس نتایج حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی و مکانیکی خاک توسط نرم افزار آماری SAS 9.2 انجام شد. همچنین مقایسه‌ی میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح معنی‌داری ۱ درصد صورت گرفت.

## نتایج و بحث

### تاثیر تیمارها بر ویژگیهای فیزیکی خاک شورسدیمی

نتایج آنالیز واریانس ویژگی‌های فیزیکی اندازه‌گیری شده شامل چگالی ظاهری و پایداری خاکدانه متأثر از مواد اصلاح‌کننده و سطوح رطوبتی در جدول ۳ ارائه شده است. اثر انواع مواد اصلاح‌کننده، سطوح رطوبتی و اثرات متقابل آن‌ها بر چگالی ظاهری در سطح یک درصد معنی‌دار شد. مقایسه‌ی میانگین اثرات متقابل انواع مواد اصلاح‌کننده در سطوح رطوبتی نشان داد که بیشترین چگالی ظاهری ( $1/50 \text{ g/cm}^3$ ) در تیمار شاهد (عدم کاربرد اصلاح‌کننده) در سطح رطوبتی ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه و کمترین چگالی ظاهری ( $1/07 \text{ g/cm}^3$ ) در تیمار ۴ درصد وزنی زغال‌زیستی بقایای کنوکارپوس با سطح رطوبتی ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه به دست آمد (جدول ۴). نتایج مقایسه‌ی میانگین اثرات متقابل نشان می‌دهد که با افزایش سطوح مواد اصلاح‌کننده و سطوح رطوبتی، چگالی ظاهری کاهش یافت. با افزایش سطح رطوبت در خاک، فعالیت ریزجانداران افزایش می‌یابد که ماحصل آن افزایش فرایند خاکدانه‌سازی و در نتیجه پایداری خاکدانه‌ها می‌باشد (۱۷ و ۱۸). البته در خاک‌های شور و سدیمی به واسطه‌ی تاثیراتی که یون سدیم به عنوان یک کاتیون با قابلیت ایجاد پراکنندگی در ذرات خاک داراست، در نتیجه ممکن است روند افزایش پایداری خاکدانه‌ها متأثر از افزایش درصد رطوبت خاک رخ ندهد. با توجه به اینکه زغال‌زیستی بقایای کنوکارپوس دارای کمترین نسبت کربن به نیتروژن است در نتیجه سرعت تجزیه‌ی آن بیشتر بوده که این سرعت

یافته است. همچنین وجود ذرات رس در خاک منجر به ایجاد پیوندهای آلی-معدنی در خاک گردیده است که نتیجه‌ی آن افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که افزودن زغال‌زیستی بقایای گیاه کنوکارپوس در سطح ۴ درصد وزنی و در سطح رطوبتی ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه، منجر به بهبود ویژگی‌های ساختمانی خاک شور و سدیمی مورد مطالعه شده است. لازم به ذکر است که علاوه بر غنی بودن زغال‌های زیستی از کربن آلی و سایر مواد مورد نیاز برای فعالیت ریزجانداران، به دلیل دارا بودن pH قلیایی در نتیجه عاملی موثر در فراهم ساختن شرایط مناسب برای غالب ریزجانداران خاکزی هستند که این جانداران نیز به عنوان بخش کاملاً پویای خاک به تشکیل خاکدانه‌ها و نیز پایدار شدن آنها کمک می‌نمایند (۲۰).

خاک است که در ارتباط با خاک‌های شور و سدیمی، مواد آلی سبب کنترل اثرات سدیم تبادلی می‌شود (۳، ۴)، همان گونه که در جدول ۱ نشان داده شده است خاک منطقه‌ی مطالعاتی از درصد سدیم تبادلی بالایی برخوردار است که این امر مدیریت خاک را پیچیده‌تر و سخت‌تر می‌نماید و ضرورت دارد از مواد آلی جهت اصلاح خاک استفاده شود. در واقع افزودن مواد آلی به خاک به بهبود ویژگی‌های ساختمانی خاک‌های شور و سدیمی کمک می‌نماید (۱۴). بدین ترتیب افزودن تیمارهای آلی سبب کنترل اثرات مخرب سدیم تبادلی خاک‌های مطالعاتی شد. نتایج مقایسه‌ی میانگین اثرات متقابل تیمارها نشان داد که با افزایش سطوح انواع مواد اصلاح‌کننده و سطوح رطوبتی تا ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به‌عنوان شاخصی از پایداری خاکدانه‌ها افزایش

جدول (۳) نتایج تجزیه‌ی واریانس پارامترهای فیزیکی و مکانیکی اندازه‌گیری شده خاک منطقه‌ی مطالعاتی  
Table (3) The analysis of variance of physical and mechanical parameters of the studied soil

میانگین مربعات						منابع تغییرات
حد خمیری (g g <sup>-1</sup> ) Plastic limit	حد روانی (g g <sup>-1</sup> ) Liquid limit	مقاومت فروری (kpa) Penetration resistance	میانگین وزنی قطر خاکدانه (mm) MWD	چگالی ظاهری (g.cm <sup>-3</sup> ) Bulk density	درجه آزادی (df)	Sources of changes
44.12**	55.29**	1.05**	0.96**	0.05**	11	تیمار آلی Organic treatments
0.38 <sup>ns</sup>	1.78 <sup>ns</sup>	0.72**	0.56**	0.02**	2	سطوح رطوبتی Moisture levels
3.72**	5.13**	0.12**	0.08**	0.006**	22	اثر متقابل Interaction
1.67	0.818	0.0013	0.0012	0.00017	85	خطای آزمایشی Error
5.66	2.56	4.77	4.46	1	-	ضریب تغییرات CV

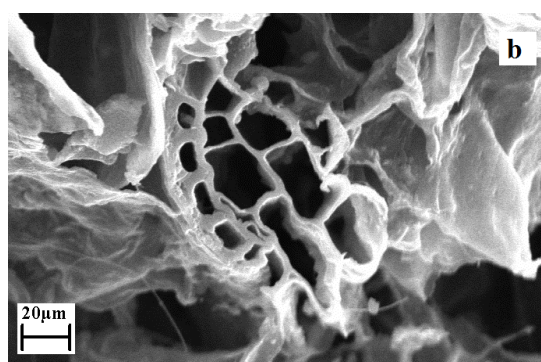
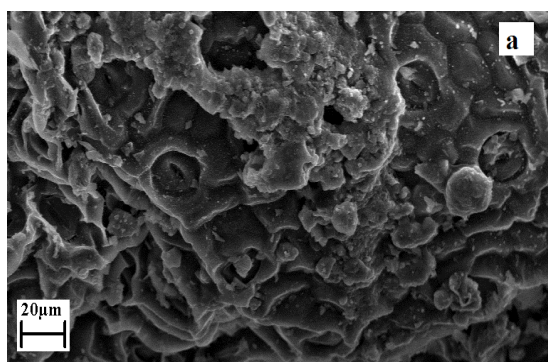
\*\*، <sup>ns</sup> به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و غیر معنی‌دار

\*\*، <sup>ns</sup> Significant at level of 1% and non-significant, respectively.

ویژگی‌های تخلخلی متفاوتی با یکدیگر می‌باشند که با توجه به هدایت بسیاری از فعل و انفعالات و واکنش-پذیری‌ها در خاک توسط سطوح جذبی، در نتیجه تفاوت‌های رفتاری زغال‌های زیستی، از این اختلافات ساختاری تاثیر می‌پذیرند. طی پژوهشی توسط عالیپور بابادی و همکاران (۱۳۹۷) این اختلاف ساختاری بیان گردید بدین ترتیب که زغال‌زیستی باگاس نیشکر دارای ساختار شبکه مانند بوده و سطح ناهمواری دارد و همین ویژگی منشاء اختلاف در واکنش پذیری آنها در خاک معرفی شده است (۳). توجه به جوانب گوناگون استفاده از یک تیمار به عنوان خاکپوش، بویژه در راستای اهداف زیست محیطی کنوانسیون‌های بین‌المللی (۲۰)، ضرورت استفاده از تیمارهایی را که از پایه و ترکیبات آلی برخوردارند را نشان می‌دهد.

همچنین شایان ذکر است که خاک‌های منطقه‌ی مطالعاتی (کبوترخان رفسنجان) ضمن اینکه شوروسدیمی هستند دارای بافت سنگین و ریزدانه‌اند که این ویژگی در خاک‌ها سبب کاهش نفوذپذیری خاک-ها و نیز بالارفتن خطر خیزش مویینه شده است. نتایج پژوهش نشان داد که استفاده از تیمارهای آلی (شامل زغال‌های زیستی و کمپوست) منجر به همواری ذرات خاک، کاهش چگالی ظاهری و در نتیجه بهبود ویژگی‌های ساختمانی خاک‌ها شده است.

رفتار زغال‌های زیستی تولید شده از زیتوده‌های مختلف با هم متفاوت می‌باشد همان گونه که شکل ۳ به وضوح نشان می‌دهد تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی زغال‌های زیستی کنوکارپوس (الف)، باگاس نیشکر (ب) و پوست سخت پسته (ج) دارای ساختار و



شکل (۲) تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) زغال‌زیستی کنوکارپوس (a) زغال‌زیستی باگاس نیشکر (b) و زغال-زیستی پوست سخت پسته (c) با مقیاس یکسان

Figure (2) The SEM images of Conocarpus biochar (a) Sugarcane Bagasse biochar (b) and Pistachio shell biochar (c) with the same scale

موجب افزايش پايدارى خاکدانه‌ها در خاک‌هاى متعلق به رده‌هاى آلفى سول و اندى سول<sup>۴</sup> گرديده است (۱۲) و اين نتايج مويد اين موضوع است كه زغال‌زيستى به دليل ويژگي‌هاى فيزيكى-شيميايى و ساختارى كه داراست در خاک‌هاى با ويژگي‌هاى غيريكسان كه لحاظ وضعيت بافت و ساختمان و نيز ويژگي‌هاى شيميايى با هم تفاوت دارند، نيز از اين ظرفيت برخوردار است كه سرمنشاء تاثيرات مثبتى در خاک باشد. پژوهش‌هاى (۱۷، ۲۰) انجام شده در خاک‌هاى مختلف تاثيرات مثبت و خاکدانه‌ساز مواد آلى افزوده شده به خاک را حتى در مدت زمان کوتاه نشان مى‌دهد زيرا مواد آلى با توجه به ويژگي‌هاى كه دارند كه به طور ويژه در ارتباط با سطح ويژه‌ى بالا، تخلخل بالا و چگالي ظاهري پايين است در نتيجه با ايجاد و تقويت پيوندهاى درون ساختارى در خاک منجر به افزايش خاکدانه‌سازى مى‌شوند (۲۰، ۱۷). اين رخداد در خاک‌هاى شوروسديمى كه به دليل برخوردارى از درصد سديم تبادلى بالا فاقد ويژگي‌هاى ساختمانى مناسب هستند، به خوبي خود را نشان مى‌دهد به نحوى كه اين ويژگي تيمارهاى آلى اثرات مخرب شيميايى سديم را در خاک خنثى مى‌نمايد. شايد ذكر است كه با توجه به مجموع ويژگي‌هاى مثبت و سازنده‌ى موجود در مواد آلى معمولاً با افزايش سطح افزودن آنها به خاک اثربخشي مثبت آنها نيز روندى افزايشى را نشان مى‌دهد (۱۷، ۲۰). خاک‌هاى منطقه‌ى مطالعاتى داراى بافت سنگين هستند كه خشكسالى‌هاى اخير مزيد علت شده است كه برخى از اين اراضى پتانسيل خود را جهت كشت پسته از دست دهند. در همين راستا و به منظور رفع اين بحران افزودن تيمارهاى آلى همچون زغال‌زيستى و كمپوست داراى نقش موثرى جهت بهبود ويژگي‌هاى ساختمانى خاک و استقرار گياه مى‌باشند.

زغال‌زيستى گياه كنوكارپوس به علت دارا بودن نسبت كرين به نيتروژن بيشتر (جدول ۲) منجر به سرعت تجزيه‌ى بيشترى شده كه نتيجه‌ى آن توليد متابوليت‌هاى در خاک است و سبب چسبندگي ذرات رس به همدگر شده است. همچنين با افزايش فشار جزئى گاز CO<sub>2</sub>، سبب حلاليت بيشتر تركيبات معدنى حاوى يون كلسيم در خاک شده و يون كلسيم بيشترى آزاد کرده است كه بالا بودن مقدار كلسيم در محلول خاک به‌عنوان عامل منعقد كننده‌ى ذرات رس (فلوكولاسيون) عمل نموده و از پراكنش ذرات رس جلوگيري كرده است (۱۱) كه اين موضوع تا حدودى مى‌تواند تشكيل خاکدانه‌ها را در اثر کاربرد سطح ۴ درصد وزنى زغال-زيستى گياه كنوكارپوس در خاک تفسير نمايد.

به‌طوركللى تمامى اصلاح‌كننده‌ها در مقايسه با تيمار شاهد باعث افزايش پايدارى خاکدانه‌ها گرديده است كه اين امر اثر مفيد مواد آلى در تشكيل ساختمان خاک را نشان مى‌دهد. **حاج عباسى و همكاران<sup>۱</sup>** (۲) نشان دادند كه مواد آلى حاصل از منابع گياهى و ميكروبي با ايجاد پل در فضاى بين ذرات خاک نقش كلىدى در پايدارى خاکدانه‌هاى كوچك ايفا مى‌كنند (۲). **لهراسبى و همكاران<sup>۲</sup>** (۲۰) طى پژوهشى نشان دادند كه مواد آلى هم در تشكيل و هم در پايدارى خاکدانه‌ها تأثير مثبت دارند به‌طوري‌كه با افزايش ماده‌ى آلى خاک، پايدارى مرطوب خاکدانه‌ها افزايش مى‌يابد كه با نتايج پژوهش حال حاضر هم‌خوانى دارد (۲۰). **برزگر (۵)** تاثير مقادير و منابع مختلف مواد آلى بر شاخص پايدارى خاکدانه‌ها در شمال خوزستان را بررسى نمودند و گزارش كردند كه در اثر افزايش مواد آلى به خاک، ميانگين وزنى قطر خاکدانه‌ها از ۰/۲۲ به ۰/۶۴ ميلي‌متر افزايش يافته است. **هراد و همكاران<sup>۳</sup>** (۱۲) گزارش كردند كه افزودن زغال‌زيستى حاصل از كاه ذرت

1

2 Lohrasbi et al.

3 Herath et al.

جدول (۴) مقایسه‌ی میانگین اثرات متقابل سطوح مواد اصلاح‌کننده و سطوح رطوبتی بر روی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک

Table (4) The mean comparison of amendment and moisture levels on physical and mechanic properties of soil

مواد اصلاح‌کننده Amendments	سطوح اصلاح‌کننده (%) Levels of amendment	سطوح رطوبتی (%) Levels of moisture	چگالی ظاهری (g.cm <sup>-3</sup> ) Bulk Density	پایداری خاکدانه‌ها (mm) MWD	مقاومت فروروی (Kpa) Penetration Resistance	حد روانی (g g <sup>-1</sup> ) Liquid Limit	حد خمیری (g g <sup>-1</sup> ) Plastic Limit
زغال‌زیستی باگاس نیشکر Sugarcane bagasse biochar	0	25	1.50BC	0.56 KJL	1.034 A	29.90M	22GHJI
		50	1.41A	0.51ML	0.94 BC	32.4 L	21.88GHI
		70	1.35C	0.44M	1.64 A	33KL	18.75 KFG
	2	25	1.399A	0.57KLJ	0.54 HEGDF	34.45IKHJ	23.43FGEHD
		50	1.393A	0.60IHJ	0.83 C	34.61IKHJ	23.92FGECD
		70	1.319C	0.52KL	1.040B	33.46 KL	25.61FGECD
	4	25	1.318C	0.63H	0.52HEGDFI	35.41 IGFH	23.50FGEH
		50	1.234FHG	0.65H	0.53HEGDFI	36.68GFDE	25.01BECD
		70	1.218FEG	0.63H	0.64D	34.62IKHJ	26BC
زغال‌زیستی کنوکارپوس Conocarpus biochar	0	25	1.50BC	0.56KJL	1.034A	29.90M	22GHJI
		50	1.410 A	0.51ML	0.94BC	32.47L	21.88GHI
		70	1.35 C	0.44 M	1.64A	33KL	18.75 KFG
	2	25	1.293B	1.146D	0.51HEGDFI	34.47IKHJ	22.64FGEHJI
		50	1.256 E	1.406B	0.61ED	35.90GFHE	24.48FGEHJI
		70	1.071 K	0.91F	0.94BC	34.38 IKHJ	24.56FBECD
	4	25	1.201FEG	1.125D	0.22L	39.99B	23.34FBECD
		50	1.190 FE	1.576A	0.50 HEGDF	42.82A	26.03 BC
		70	1.0775L	1.163D	0.58EDF	39.77 B	29 A
زغال‌زیستی پوست پسته Pistachio skin biochar	0	25	1.50 BC	0.56KLJ	1.034A	29.90 M	22GHJI
		50	1.41 A	0.51ML	0.94BC	32.47 L	21.88GHI
		70	1.35 C	0.44M	1.64 A	33KL	18.75 KFG
	2	25	1.39A	0.63IH	0.43HEGDFI	35.18IGKHJ	20.49KJ
		50	1.36AB	0.76G	0.45 HGJFI	39.4B	20.73KJI
		70	1.346B	1.163D	0.53HEGDFI	33.98 KLJ	21.43 GHJI
	4	25	1.209H	1.22C	0.36KJI	38.55BC	21.35 HJI
		50	1.278D	1.386B	0.38KJI	38.53 BC	21.73GHJI
		70	1.213HG	0.64IH	0.40HKJI	37.03CFDE	22.43FGHJI
کمپوست Compost	0	25	1.50BC	0.56KLJ	1.03A	29.90M	22GHJI
		50	1.41 A	0.51ML	0.94BC	32.47 L	21.88GHI
		70	1.35 C	0.44 M	1.64 A	33KL	18.75 KFG
	2	25	1.25 E	1.06E	0.51HEGDFI	35.27 IGHJ	21.56 GHJI
		50	1.219FHG	1.37 B	0.52HEGDFI	37.40 CDE	22.45 FGHJI
		70	1.197IHJ	1.14D	0.55EGDF	34.09 IKLJ	23.38 FGEHD
	4	25	1.196 KJ	1.058E	0.32KL	35.78IGFHE	FGEHJI
		50	1.184 IKJ	1.39B	0.48HEGJFI	37.65 CD	24.6FBECD
		70	1.184 IKJ	1.26C	0.50HEGDFI	35.63IGHJ	24.77FBECD

### تاثير تيمارها بر ويژگي‌هاى مكانيكى خاك شوروسديمى

اثرات انواع مواد اصلاح‌كننده، سطوح رطوبتى مختلف و اثرات متقابل آنها بر روى مقاومت فروروى در سطح يك درصد معنى دار شد (جدول ۳). مقايسه‌ى ميانگين اثرات انواع مواد اصلاح‌كننده و سطوح رطوبتى نشان داد كه بيشترين مقاومت فروروى ( $1/64 \text{Kpa}$ ) از تيمار شاهد (عدم كاربرد اصلاح‌كننده) در سطح رطوبتى ۷۰ درصد ظرفيت مزرعه و كمترين مقاومت فروروى ( $0/22 \text{Kpa}$ ) از تيمار ۴ درصد وزنى زغال‌زيستى حاصل از بقايى كنوكارپوس در سطح ۲۵ درصد رطوبت ظرفيت مزرعه به دست آمد (جدول ۴).

نتايج مقايسه ميانگين اثرات متقابل نشان داد كه با افزايش سطوح زغال‌زيستى در سطوح رطوبتى پايين‌تر، مقاومت فروروى روند كاهشى بيشترى دارد، كه علت كاهش مقاومت فروروى مربوط به اثر آن در كاهش چگالى ظاهرى است كه اين كاهش چگالى ظاهرى باعث بهبود ساختمان خاك شده و خاك به علت خاصيت چسبندگى و محكم بودن ساختمان خاك باعث كاهش مقاومت فروروى شده است (۲۰).

به‌طوركلى تمامى اصلاح‌كننده‌ها در مقايسه با تيمار شاهد در سطوح رطوبتى پايين‌تر سبب كاهش مقاومت فروروى خاك گرديده است كه اين امر اثرات مثبت مواد آلى در كاهش مقاومت فروروى را نشان مى‌دهد. نتايج پژوهش حاضر با پژوهش اهيو و همكاران<sup>۱</sup> (۱۹۸۵) هم‌خوانى دارد به‌طورى كه در اين پژوهش گزارش شده است مواد آلى، مقاومت خاك را در مقادير رطوبتى پايين كاهش مى‌دهند زيرا باعث افزايش خاصيت ارتجاعى خاك و خاصيت آسايش در برابر تنش مى‌شوند، بدين معنى كه خاصيت ارتجاعى خاك را افزايش داده و درنتيجه خاك زودتر به حالت اوليه‌ى

خود پس از رفع تنش برمى‌گردد (۲۲). اكو و همكاران<sup>۲</sup> (۱۹۹۵) بيان كردند كه با افزايش ماده‌ى آلى خاك، مقدار مقاومت فروروى در سطوح پايين رطوبتى كاهش مى‌يابد درحالى كه در سطوح بالاى رطوبتى، عكس اين مطلب ديده مى‌شود (۱۴). اكو و همكاران (۱۹۹۰) گزارش كردند كه افزودن ۱۱ و ۱۷ درصد ماده‌ى آلى توليد شده از علف و پيت به خاك لومى شنى در شرايط گلخانه‌اى موجب كاهش مقاومت فروروى خاك مى‌شود كه علت اصلى آن كاهش چگالى ظاهرى خاك متاثر از افزودن مواد آلى است (۸). شاهويى (۱۳۸۵) در پژوهشى گزارش كرد كه بر اثر افزودن ماده‌ى آلى به خاك ريز بافت، شكل‌پذيرى و چسبندگى در آنها كاهش مى‌يابد و درنتيجه موجب كاهش مقاومت مكانيكى اين خاك‌ها و مديريت آسان در آنها مى‌شود ولى در خاك‌هاى درشت‌بافت به علت اينكه ذرات اتصال كمترى باهم دارند درنتيجه اين خاك‌ها از نظر چسبندگى بين ذرات ضعيف و سست بوده و مقاومت فروروى آنها كم است از اين رو افزودن سطوح پايين بقايى آلى به اين خاك‌ها اثرى بر شاخص مخروطى نداشت (۴). بدين ترتيب بافت خاك به‌عنوان يكي از مهمترين ويژگي‌هاى فيزيكى خاك، بر روى رفتارهاى خاك متاثر از افزودن تيمارهاى آلى تاثيرگذار مى‌باشد.

نتايج تجزيه‌ى واريانس (جدول ۳) نشان داد كه اثر انواع مواد اصلاح‌كننده و اثرات متقابل آنها و سطوح رطوبتى بر روى رطوبت حد روانى در سطح يك درصد معنى دار است وليكن اثر سطوح رطوبتى مختلف بر روى رطوبت حد روانى معنى دار نمى‌باشد. مقايسه‌ى ميانگين اثرات متقابل نشان داد كه بيشترين رطوبت حد روانى (۸) ۴۲٪ از تيمار ۴ درصد وزنى زغال‌زيستى حاصل از بقايى كنوكارپوس با سطح رطوبتى ۵۰ درصد ظرفيت مزرعه و كمترين رطوبت حد روانى (۲۹ / ۹۰) از تيمار

آلی به خاک، حد روانی هم افزایش می‌یابد (۱). جی وهمکاران (۱۹۸۶) بیان کردند که کاربرد زغال‌زیستی حاصل از سبوس برنج به میزان ۴ و ۶ درصد وزنی در یک خاک رسی، موجب افزایش معنی‌دار رطوبت حد روانی شده است. زانگ و چان (۲۰۱۴) بیان کردند که زغال‌زیستی به‌دست‌آمده از تراشه‌های چوب به میزان ۲، ۴ و ۶ درصد وزنی موجب افزایش معنی‌دار رطوبت حد روانی نسبت به تیمار شاهد در یک خاک رسی شده است (۳۱).

بر اساس نتایج مندرج در جدول تجزیه‌ی واریانس (جدول ۳) مشخص شد که اثر متقابل انواع مواد اصلاح‌کننده و سطوح رطوبتی و اثر انواع مواد اصلاح‌کننده بر روی رطوبت حد خمیری در سطح یک درصد معنی‌دار شد ولی اثر ساده سطوح رطوبتی بر روی رطوبت حد خمیری معنی‌دار نشد. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل مواد اصلاح‌کننده با سطوح رطوبتی نشان داد که بیشترین حد خمیری از تیمار ۴ درصد وزنی زغال‌زیستی بقایای کنوکارپوس با سطح رطوبتی ۷۰ درصد (۲۶) و کمترین رطوبت حد خمیری از تیمار شاهد با سطح رطوبتی ۷۰ درصد (۱۸/۷۵) به دست آمد (جدول ۴).

نتایج مقایسه‌ی میانگین اثرات متقابل نشان داد که بین سطوح مختلف زغال‌زیستی و سطوح رطوبتی مختلف با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری وجود داشته است به‌طوری‌که با افزایش سطوح زغال‌زیستی و افزایش سطوح رطوبتی، رطوبت حد خمیری افزایش یافت. به علت اینکه بقایای کنوکارپوس بیشترین سطح ویژه‌ی کل را در بین تمامی اصلاح‌کننده‌ها داراست، افزودن زغال‌زیستی بقایای کنوکارپوس موجب افزایش سطح ویژه‌ی کل و جذب رطوبت در خاک می‌شود که باعث افزایش رطوبت حد خمیری شده است که این امر اثرات مثبت مواد آلی را در افزایش رطوبت حد خمیری نشان می‌دهد. به‌طوری‌که پژوهشی زانگ و چن (۲۰۱۴) نیز مشخص کرده‌اند که کاربرد زغال‌زیستی به‌دست‌آمده از

شاهد (عدم کاربرد اصلاح‌کننده) با سطح رطوبتی ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه به دست آمد (جدول ۴).

نتایج مقایسه‌ی میانگین اثرات متقابل نشان داد که بین سطوح مختلف زغال‌زیستی و سطوح رطوبتی مختلف با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری وجود داشته است به‌طوری‌که با افزایش سطوح زغال‌زیستی در سطح رطوبتی معادل ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه، حد رطوبت روانی افزایش یافت. با توجه به اینکه زغال‌زیستی بقایای کنوکارپوس بیشترین سطح ویژه را در بین تمامی اصلاح‌کننده‌ها دارد در نتیجه با افزودن سطوح ماده‌ی آلی به خاک، سطح ویژه‌ی خاک افزایش یافت و از طرفی به دلیل حضور فراوان گروه‌های عامل و به دنبال آن افزایش بار الکتریکی در کلوئیدهای آلی، آب متصل به آن بیشتر شده و در نهایت حد روانی خاک نیز افزایش نشان داده است.

به‌طور کلی تمامی اصلاح‌کننده در مقایسه با تیمار شاهد منجر به افزایش حد روانی خاک گردیده است که این امر اثرات مفید مواد آلی در افزایش رطوبت حد روانی را نشان می‌دهد. پژوهش‌های پیشین نیز نشان می‌دهد که با افزودن مواد آلی به خاک، رطوبت حد روانی خاک افزایش پیدا می‌کند زیرا حد روانی به سطح ویژه‌ی ذرات بستگی دارد و افزودن مواد آلی به خاک عاملی موثر جهت افزایش سطح ویژه‌ی ذرات خاک است و ذرات رس نیز در این ارتباط نقش کلیدی ایفاء می‌کنند (۵). در مجموع وجود و افزایش درصد مواد آلی در خاک با توجه به افزایش قابلیت جذب آب در سطوح کلوئیدی در نتیجه زمینه‌ای را فراهم می‌سازد که رطوبت حد روانی خاک افزایش پیدا کند که به نحوی شاخصی از افزایش در ظرفیت نگهداشت آب توسط آن خاک است. این امر اثرات مفید مواد آلی را در افزایش رطوبت حد روانی را نشان داد به‌طوری‌که، آدکالو و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۱) بیان کردند که از آنجایی که حد روانی با مقدار ذرات کلوئیدی هم‌بستگی خطی دارد، با افزودن ماده‌ی

مجموع نتايج حاصل از اين پژوهش كابردي نشان مى‌دهد كه افزودن زغال‌هاي زيستى و كمپوست مى‌تواند به- عنوان راهكارى مناسب در راستاى اهداف مديريت پايدار منابع خاك با محوريت حفظ و افزايش درصد مواد آلى در خاك باشد كه نتيجه‌ي نهايى آن بهبود ويژگي‌هاي فيزيكى، مكانيكى و ساختمانى خاك است. زمانيكه ويژگي‌هاي ساختمانى خاك بهبود مى‌يابد بارزترين نمود آن استقرار و رشد هر چه بهتر گياهان در خاك است كه اين موضوع در خاك‌هاي شوروسديمى كه فاقد شرايط ساختمانى مطلوب براى رشد گياهان هستند، از اهميت شايانى برخوردار است. به طور ويژه در منطقه‌ي مطالعاتى كه به دليل مشكلات شوروسديمى و البته كمبود منابع آب بسيارى از باغ‌هاي پسته رها شده- اند، بهره‌گيرى از اين زغال‌هاي زيستى كه خود يك نوع مديريت ضايعات آلى مى‌باشد مى‌تواند راهكارى مناسب باشد و از آن تحت عنوان بهترين شيوه‌ي مديريت<sup>۱</sup> در خاك‌هاي داراى مشكل تخريب شيميايى-فيزيكي خاك نام برد.

تراشه‌هاي چوب به ميزان ۲،۴۶ درصد وزنى موجب افزايش معنى‌دار رطوبت حد خميرى نسبت به تيمار شاهد دريك خاك رسي شده است (۳۱). كو و همكاران (۲۰۱۴) گزارش كردند كه استفاده از خاكستر سبوس برنج به ميزان ۲۰ و ۳۰ درصد (حجمى/حجمى) تحت شرايط گلخانه موجب افزايش معنى‌دار رطوبت حد خميرى در خاك‌هايى با بافت لوم سيلتى و لوم رسي سيلتى شده است كه اين افزايش را ناشى از افزايش سطح ويژه‌ي خاك در اثر كاربورد اين ماده عنوان كردند (۲۳).

### نتيجه‌گيرى

در اين پژوهش، تاثيرات زغال‌زيستى باگاس نيشكر (در سطوح ۰، ۲، ۴، درصد وزنى)، زغال‌زيستى بقاياى كنوكارپوس (در سطوح ۰، ۲، ۴، درصد وزنى)، زغال-زيستى پوست پسته (در سطوح ۰، ۲، ۴، درصد وزنى) و كمپوست تهيه‌شده از شاخ و برگ گياه برگ‌بو (در سطوح ۰، ۲، ۴، درصد وزنى) و در سه سطح رطوبتى ۲۵، ۵۰، ۷۰ درصد ظرفيت مزرعه بررولى ويژگي‌هاي فيزيكى و مكانيكى خاك‌هاي شوروسديمى ارزيابى گرديد. نتايج نشان داد كه تمامى اصلاح‌كننده‌هاي آلى باعث بهبود ويژگي‌هاي فيزيكى و مكانيكى خاك‌هاي شور و سديمى شدند اما در بين تمامى اصلاح‌كننده‌هاي آلى، افزودن ۴ درصد وزنى زغال‌زيستى بقاياى كنوكارپوس در سطح رطوبتى ۲۵ درصد سبب بيشترين چگالى ظاهرى و مقاومت فرورولى خاك شد. بدين ترتيب منجر به افزايش تخلخل كل و کاهش ميزان تراكم‌پذيرى خاك مى‌گردد كه در نهايت برآيند آن سهولت در رشد و گسترش سيستم ريشه‌اي گياه به درون خاك است. بررسى‌ها نشان داد كه در اثر افزودن ۴ درصد وزنى زغال‌زيستى بقاياى كنوكارپوس در سطح رطوبتى ۵۰ درصد، پايدارى خاك‌دانه‌ها و رطوبت حد روانى افزايش پيدا مى‌كند و در اثر افزودن ۴ درصد وزنى زغال‌زيستى بقاياى كنوكارپوس در سطح رطوبتى ۷۰، رطوبت حد خميرى افزايش پيدا مى‌كند. در



### References

1. Adekalu, K.O., and J.A. Osunbitan. 2001. Compatibility of some agricultural soils in south western Nigeria. *Soil and Till. Res.* 59:27-31.
2. Ali, Sh., Rizwan, M., Qayyum, M.F., Ok, Y.S., Ibrahim, M., Riaz, M., Arif, M.S., Hafeez, F., Al Wabel, and Shahzad, A.N. 2017. Biochar soil amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: a critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, DOI 10.1007/s11356-017-8904.
3. Alipour Babadi M., Moezzi, A.A., Nouruzi Masir M., and Khademalrasoul, A. 2018. Effects of feedstock and temperature of pyrolysis on some chemical and physical properties of biochar. *Iran Journal of Soil Water Research*, 49(3): 537-547.
4. Amini, S., Ghadiri, H., Chen, Ch., and Marschner, P. 2015. Salt-affected soils, reclamation, carbon dynamics, and biochar: a review. *Journal of Soils and Sediments*, DOI: 10.1007/s11368-015-1293-1.
5. Barzegar, A.R. 2004. *Advanced soil physics*. Shahid Chamran University press.
6. Brown, R. 2009. Biochar production technology. *Biochar for environmental management: Science and Technology*, 127-146.
7. Demirbas, A. 2004. Effects of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residues. *Journal of Analytical Applied Pyrolysis*, 72, 243–248.
8. Ekwue, E. I., and Stone, R. J., 1995. Organic matter effects on the strength properties of compacted agricultural soils. *Trans. ASAE*, 38: 357-365.
9. Ekwue, E.I. 1990. Organic matter effects on soil strength properties. *Soil and Tillage Research*, 16: 289-297.
10. Fang, Y., Singh, B., Singh, B.P., and Krull, E. 2014. Biochar carbon stability in four contrasting soils. *European Journal of Soil Science*, 65:60–71.
11. 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.
12. Herath, H.M.S.K., Camps-Arbestain, M., Hedley, M. 2013. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: an Alfisol and an Andisol. *Geoderma*, 209–210, 188–197.
13. Herrick, J. E., and Jones, T. L. 2002. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. *Soil Science Society of America Journal*, 66: 1320-1324.
14. Ippolito, J.A., Novak J.M., Busscher, W.J., Ahmedna, M., Rehrh, D., and Watts D.W. 2012b. Switchgrass biochar affects two Aridisols. *Journal of Environmental Quality*, 41, 1123–1130.
15. Kemper, W.D., and Rosenau, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. *Methods of soil analysis: Part 1 physical and mineralogical methods*, 5.1, second edition. SSSA book series.
16. Klute, A. (Ed.) *Methods for soil Analysis. Part6. Physical and Mineralogical Methods*. 2nd Edition. Agron. Monog. 8 ASA/SSSA, Madison, WI. pp. 524-552.
17. Khademalrasoul, A., Naveed, M. G., Heckrath, K.G.I.D., Kumari, L.W., de Jonge, L., Elsgaard, H., Vogel, J., and Iversen, B.V. 2014. Biochar effects on soil aggregate properties under no-till maize. *Soil Science*, 179:273-283.
18. Khademalrasoul, A., Nikolaus, J.K., Elsgaard, L., Hu, Y., Iversen, B.V., and Heckrath, G. 2019. Short-term effects of biochar application on soil loss during a rainfall-runoff simulation. *Soil Science*, 184: 17-24.

19. Lehmann, J., and Joseph, S. 2009. Biochar for environmental management: an introduction. In: *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. J. Lehmann, and S. Joseph (eds.). Earthscan, London, UK, pp. 1–12.
20. Lohrasbi, H., Khademalrasoul, A., and Farrokhian Firuzi, A. 2019. Effects of biochar and zeoplant on physical and mechanical properties of erodible soils (Case Study: Bostan). *Journal of Water and Soil*, 33 (5), 723-737.
21. Luo, X., Liu, G, Xia, Y., Chen, L., Jiang, Z., Zheng, H., and Wang, Z. 2016. Use of biochar compost to improve properties and productivity of the degraded coastal soil in the Yellow River Delta, China. *Journal of Soils and Sediments*, DOI 10.1007/s11368-016-1361-1.
22. Ohu, J. O., Ekwue, E., and Folorunse, O. A. 1994. The effect of addition of organic matter on the compaction of a vertisol from Northern Nigeria. *Soil Technology*, 7: 155-162.
23. Qu, J., Li, B., Wei, T., Li, C., and Liu, B. 2014. Effects of rice-husk ash on soil consistency and compatibility. *Catena*, 122: 54-60.
24. Rajkovich, S., A. Enders, K., Hanley, C., Hyland, A., Zimmerman R., and Lehmann., J. 2012. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biology and Fertility of Soils*, 48(3): 271-284.
25. Sheng-Gao Lu, Fang-Fang Sun, Y-Tong Zong, 2013. Effect of ricehusk biochar and coal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol). *Catena*, 114 (2014) 37–44.
26. Sohi, S., Krull E., Lopez-CapelE., and Bol, R. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy*, 105: 4-82.
27. 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.
28. Tejada, M., and. Gonzalez, J.L. 2006. The relationships between erodibility and erosion in a soil treated with two organic amendments. *Soil and Tillage Research*, 91: 186–198.
29. Thies, J.E., and Rillig, M.C. 2009. Characteristics of biochar: biological properties. *Biochar for environmental management. Science and Technology*, 1, 85-105.
30. Zhang, A., Bian, R., Pan, G., Cui, L., Hussain, Q., Li, L., Zheng , J., Zhang ,X., Han, X., and Yu ,X. 2012. Effects of biochar amendment on soil quality, crop yield and greenhouse gas emission in a Chinese rice paddy: A field study of 2 consecutive rice growing cycles. *Field Crops Research*, 127: 153–160.
31. Zong, Y., and Chen, D. 2014. Impact of biochars on swell-shrinkage behavior, mechanical strength, and surface cracking of clayey soil. *Journal of Plant Nutrients and Soil Science*, 177: 6. 1-7.