Water and Soil Science, Vol.34, NO.1, Spring2024, pp. 19-37.

DOI: 10.22034/ws.2021.49033.2432 ISSN:2717-3755 https://water-soil.tabrizu.ac.ir/

Research Article

Short-Term Effect of Mushroom Substrate Compost on Some Physical and Chemical Properties of Soils with Different Textures

Ch. Mahdizadeh[1], H. Bayat[2*]

Received: August 22, 2021 Accepted: February 20, 2022
Revised: February 11, 2022 Published online: March 20, 2024

1- Ph. D. Student of Soil Science, Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
2- Assoc. Prof. Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
* Corresponding Author, Email: h.bayat@basu.ac.ir

Abstract

Background and Objectives

One of the solutions to sustainable agriculture is the use of mushroom substrate compost (MSC). Mushroom substrate compost is a mixture of stable organic matter and composed of various components such as wheat straw, poultry manure and lime. It is rich in nutrients, such as nitrogen, ammonium nitrate, superphosphate, potassium salts and etc. MSC could be a good alternative for other fertilizers and amendments due to less cost and improving soil properties. However, its simultaneous effect in three levels of 0, 3 and 6 % on the properties of soils with different textures has not been before reported. Therefore, objective of this study was to evaluate the short-term effect of the MSC on some physical and chemical properties of soil with different textures.

Methodology

In this study, three soil samples with different textures of sandy loam, loam and clay, were taken from a bayer farm of the Agricultural Research Center, Abbas Abad Farm of the Bu-Ali Sina University and a bayer farm in the Kerk Suffla Village of Nahavand County, respectively. Sampling was done with a knowledge of soil properties, from soil surface layer (0-20 cm depth). The soil samples were transferred to the Soil Physics Laboratory of the Bu-Ali Sina University for testing and after being air dried, they were passed through a 4 mm sieve. The research was conducted as a factorial experiment in a completely randomized design with three replications. The factors were included soil texture at three levels (sandy loam, loam and clay), and MSC at three levels (0, 3 and 6% W/W). The MSC sample was obtained from Alvand Mountain Company in Hamedan Industrial City. The mushroom substrate consisted of wheat straw, lime and poultry manure, which were mixed at rates of 57, 36 and 7%, respectively. MSC levels were calculated based on treatments after determining the desired soil content for each container. The treated soils were transferred into plastic containers with dimensions of 21 × 13.5 ×12.5 cm based on the field bulk density of each soil. A total of 27 plastic containers containing treatments were prepared. Soils treated in plastic containers were saturated with tap water and then dried for a 120-day incubation period.

©: The Author(S)
Publisher: University of Tabriz

Findings

The results showed that the order of the soil total porosity was loam > clay > sandy loam, with significant difference between them. The application of mushroom substrate compost significantly increased the porosity at 3 and 6% levels compared to the control. But there was no significant difference between total porosity at 3 and 6% levels. Also, the order of the bulk density in different textures was exactly opposite to that of total porosity. Application of 6% mushroom substrate compost significantly increased cation exchange capacity in sandy loam soil compared to that in the control and 3% level, but no significant difference was found between the cation exchange capacity of control and 3% level. The order of cation exchange capacity was clay > loam > sandy loam, with significant difference between them. Comparison of the electrical conductivity of the soils at different levels of MSC showed that at the zero level of the MSC, the order of electrical conductivity values was loamy > clay> sandy loam, with significant difference between them. The order of pH values was sandy loam > clay > loam at control. The order of pH values was sandy loam = clay > loam at the 3 and 6% levels of the MSC. The results showed that, soil cation exchange capacity, electrical conductivity and total porosity increased from 11.8 to 36 $cmol_c\ kg^{-1}$, 0.16 to 0.69 $dS\ m^{-1}$ and 0.52 to 0.56, respectively and bulk density and pH decreased from 1.24 to 1.18 $g\ cm^{-3}$ and 8.25 to 7.3, respectively, by using MSC. The greatest effect of treatments at the 6% level of MSC on the electrical conductivity, total porosity, and bulk density was obtained in the soil with loam texture, and that of pH and cation exchange capacity was obtained in soil with clay texture.

Conclusion

According to the results, mushroom substrate compost increased cation exchange capacity, electrical conductivity and total porosity and decreased pH and bulk density in all three soils by increasing MSC levels. Overall, the results showed that mushroom substrate compost improved soil physical and chemical properties, due to its stable organic matter and low bulk density. As this compost has a much lower price than other soil modifiers, therefore, mushroom substrate compost can be used in agricultural lands to maintain soil fertility, improve soil stability, and improve soil physical and chemical properties.

Keywords: Cation exchange capacity, Compost, Electrical conductivity, pH, Total porosity.

نشریه دانش آب و خاک / جلد ۳۴ شماره ۱ صفحه‌های ۱۹ تا ۳۷/ سال ۱۴۰۳

مقاله پژوهشی

تاثیر کوتاه مدت کمپوست بستر قارچ بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با بافت‌های متفاوت

چیمن مهدی‌زاده[۱]، حسین بیات[۲]*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۱
تاریخ ویرایش:۱۴۰۰/۱۱/۲۲ تاریخ انتشار انلاین :۱۴۰۳/۰۱/۰۱

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: h.bayat@basu.ac.ir

چکیده

کمپوست بستر قارچ ویژگی‌های خاک را اصلاح نموده و قیمت کمتری نسبت به سایر کودها و اصلاح کننده‌ها دارد و می‌تواند جایگزین بهتری برای آن‌ها باشد. با این وجود تاثیر آن بر خصوصیات خاک با سه سطح متفاوت (۰، ۳ و ٦ درصد) در بافت‌های مختلف به طور همزمان تا کنون گزارش نشده است. بنابراین هدف از انجام این تحقیق بررسی تاثیر کوتاه مدت کمپوست بستر قارچ بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با بافت‌های متفاوت بود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل بافت خاک در سه سطح (لوم‌شنی، لوم و رسی)، و درصد وزنی کمپوست بستر قارچ در سه سطح (صفر، ۳ و ٦ درصد) بود. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ، ظرفیت تبادل کاتیونی از ۱۱/۸ تا ۳٦ $cmol_c\ kg^{-1}$، هدایت الکتریکی از ۰/۱٦ تا ۰/٦۹ $dS\ m^{-1}$ و تخلخل کل از ۰/۵۲ تا ۰/۵٦ افزایش و در مقابل جرم مخصوص ظاهری از ۱/۲٤ تا ۱/۱۸ $g\ cm^{-3}$ و pH از ۸/۲۵ تا ۷/۳ کاهش یافت. بیشترین تاثیر در سطح ٦ درصد برای متغیرهای هدایت الکتریکی، تخلخل کل و جرم مخصوص ظاهری مربوط به بافت لوم بود و برای متغیرهای ظرفیت تبادل کاتیونی و pH مربوط به بافت رسی بود. در مجموع افزودن کمپوست بستر قارچ به خاک باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شد. لذا می‌توان در اراضی کشاورزی جهت حفظ باروری خاک و بهبود ویژگی‌های خاک از کمپوست بستر قارچ خوراکی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: تخلخل کل، ظرفیت تبادل کاتیونی، کمپوست، قابلیت هدایت الکتریکی، pH

مقدمه

یکی از راهکارهای عملی برای رسیدن به کشاورزی پایدار استفاده از کمپوست بستر قارچ (MSC)[1] خوراکی است. کمپوست بستر قارچ خوراکی مخلوطی از موادآلی پایدار می‌باشد و از اجزای مختلفی مانند کاه و کلش گندم، کود مرغی و پودر سنگ‌آهک تشکیل شده است. این بستر غنی از مواد مغذی، مانند نیتروژن، نیترات آمونیوم، سوپر فسفات، نمک‌های پتاسیم و غیره است (لو و همکاران ۲۰۱۷). استفاده از کمپوست در خاک‌های کشاورزی به طور گسترده‌ای به عنوان یکی از روش‌های بهبود بهره‌وری محصول و باروری خاک مورد استفاده قرار گرفته است (جییری و همکاران ۲۰۱٤). چرا که این کمپوست به‌علت داشتن موادآلی فراوان می‌تواند بسیاری از ویژگی‌های خاک را تحت تاثیر قرار دهد.

مواد آلی مواد افزودنی مهم خاک هستند که به بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک کمک می‌کنند و حاصلخیزی خاک را بهبود می‌بخشند (وو و همکاران ۲۰۱٤). ماده‌آلی یکی از شاخص‌های مهم کیفیت خاک در بهبود و پایداری خاک محسوب می‌شود (محمود و عبدالقادر ۲۰۱۵). تجادا و همکاران (۲۰۰٦) بیان کردند که ماده‌آلی به عنوان یک عامل سیمانی‌کننده در هماوری ذرات برای تشکیل خاکدانه‌های مقاوم ضروری است. از دست دادن موادآلی به طور کلی با کاهش تخلخل و پایداری خاکدانه‌های مرطوب و هم‌چنین افزایش شاخص‌های تراکم و مقاومت فروروی خاک همراه است. حرکت و نگه‌داری آب خاک، پوسته پوسته شدن، نفوذ ریشه، عملکرد محصول، فرسایش و بازیافت مواد مغذی تحت تاثیر ساختار خاک قرار دارند (سکر ۲۰۰۳ و لال و شوکلا ۲۰۰٤). جرم مخصوص ظاهری یکی از خصوصیات فیزیکی خاک در رابطه با تولید محصول است. زیرا افزایش مقدار آن به معنی کاهش میزان تخلخل، جریان، نگهداری آب و تهویه می‌باشد. این تغییرات بر دما و مقاومت فروروی خاک اثر قابل توجهی دارند (بیات ۲۰۰۳). تجادا و گنزالز (۲۰۰۸) با کاربرد کودهای‌آلی کمپوست و کود دامی در خاک، کاهش جرم مخصوص ظاهری، افزایش پایداری ساختمان و کاهش هدر رفت خاک را گزارش کردند و بیشترین اثر را به کمپوست نسبت دادند. تخلخل کل نیز یک متغیر کمّی برای مشخص نمودن خواص فیزیکی خاک است (بیات ۲۰۰۳). افزودن ماده آلی به خاک، با بهبود شرایط خاکدانه‌سازی، موجب افزایش تخلخل خاک شده و در نتیجه جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد (نیک روش و همکاران ۲۰۱۸). ظرفیت تبادل کاتیونی خاک از ویژگی‌های شیمیایی مهم و تاثیرگذار بر دیگر ویژگی‌های خاک بوده و متغیری مناسب برای ارزیابی کیفیت و بهره‌وری خاک است (بیات و همکاران ۲۰۱۳). مقدار آن بسته به میزان موادآلی، مقدار و نوع رس و شرایط خاک متغیر است. رس‌ها و ماده‌آلی با دارا بودن سطح ویژه زیاد و باردار بودن، نقش مهمی در ظرفیت تبادل کاتیونی دارند و با افزایش آن‌ها ظرفیت تبادل کاتیونی افزایش می‌یابد (میر خانی و همکاران۲۰۰۵).

قابلیت هدایت الکتریکی (EC)[2] یکی از ویژگی‌های خاک است که به طور غیرمستقیم غلظت کل نمک‌های محلول در خاک را نشان می‌دهد و به عنوان یک اندازه‌گیری مستقیم شوری عمل می‌کند (سرور و همکاران ۲۰۰۸). بسیاری از نویسندگان همبستگی مثبتی بین EC و ترکیبات حاصل از تجزیه ماده‌آلی در خاک پیدا کرده‌اند (مدینا و همکاران ۲۰۱۲، گلسر و همکاران ۲۰۱۰ و آرتر و همکاران ۲۰۱۲). اسیدیته (pH)[3] یکی از متداول‌ترین

[1] Mushroom substrate compost

[2] Electrical conductivity

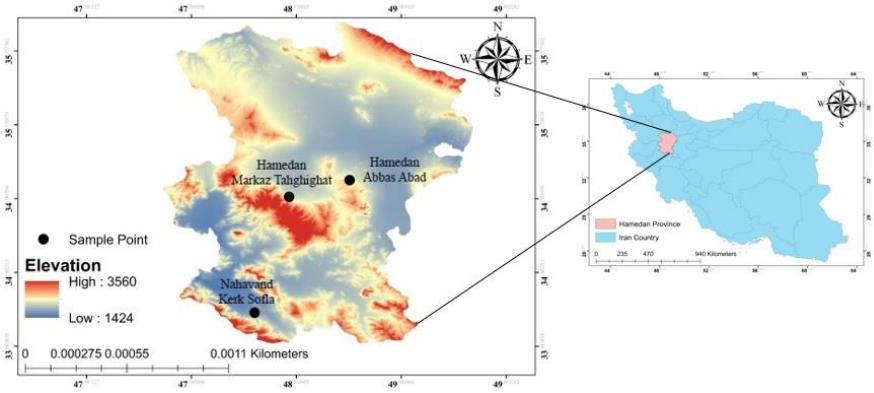
[3] Potential hydrogen

ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری برای تعیین خصوصیات خاک است و مقیاسی است که برای سنجش میزان اسیدیته یا قلیائیت محیط به کار می رود (جلالی ۲۰۱۳). کاربرد اصلاح کننده‌هایی مانند لجن فاضلاب در خاک باعث کاهش pH خاک می‌شود که علت آن افزایش تجزیه موادآلی خاک است (والکر و اسکابلر ۲۰۰٤).

استفاده درازمدت از کودهای شیمیایی، به دلیل تاثیر منفی که بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دارند باعث کاهش عملکرد گیاهان می‌شود (ژائو و همکاران ۲۰۱٦). در مقابل کودهای آلی به دلیل اصلاح ویژگی‌های فیزیکی خاک دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشند (آگنگنهیو و همکاران ۲۰۱۵). کودهای آلی شکل پایداری از موادآلی خاک را فراهم می‌کنند که خصوصیات فیزیکی ظرفیت نگه‌داری آب، خلل و فرج خاک، پایداری و جرم مخصوص ظاهری خاک را اصلاح می‌کنند (لوکاز و همکاران ۲۰۱٤). کمپوست بستر قارچ خوراکی دارای بسیاری از ویژگی‌های مورد نیاز در افزایش محصولات کشاورزی ارگانیک و مدیریت محیط‌زیست است. این کمپوست دارای جرم مخصوص ظاهری کمی است که می‌تواند ساختار خاک را اصلاح کند (گاماس و سکر ۲۰۱۷). دارای مقادیر بالایی مواد مغذی نسبت به کود حیوانی است که در کشاورزی ارگانیک برای بهبود نفوذ آب به خاک، ظرفیت نگه‌داشت آب و تهویه استفاده می‌شود (مدینا و همکاران ۲۰۱۲). کمپوست بستر قارچ علاوه بر افزایش ماده‌آلی، به دلیل داشتن برخی عناصر باعث افزودن مقادیری نیتروژن، فسفر و برخی عناصر کم مصرف به خاک شده که این امر منجر به بهبود حاصلخیزی خاک می‌شود (اونال و تاپکوگلو ۲۰۱۲). کمپوست بستر قارچ دارای خاصیت اصلاح‌کنندگی بالا برای خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک می‌باشد (کورتین و مولن ۲۰۰۷). این کمپوست نسبت به سایر اصلاح کننده‌های خاک دارای قیمت بسیار ارزانی می‌باشد، که می‌تواند هزینه تولید را کاهش دهد. علی‌رغم اینکه کمپوست بستر قارچ به‌علت داشتن ماده‌آلی و مواد غذایی بالا می‌تواند بر قابلیت هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی، ماده‌آلی، جرم مخصوص ظاهری و تخلخل کل تاثیر داشته باشد و نحوه‌ی تاثیر آن در بافت‌های مختلف متفاوت باشد، با این وجود این موضوعات در هیچ تحقیقی مورد بررسی قرار نگرفته است، بنابراین هدف از انجام این تحقیق بررسی تاثیر کمپوست بستر قارچ بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با بافت‌های متفاوت بود.

مواد و روش

برای انجام این پژوهش سه نمونه خاک با بافت‌های لوم-شنی، از مرکز تحقیقات کشاورزی واقع در کیلومتر ٥ جاده همدان-تهران از یک مزرعه بایر با موقعیت جغرافیایی ۳٤ درجه و ٥۲ دقیقه و ٥٤ ثانیه شمالی و ٤۸ درجه و ۳۲ دقیقه و ۱۸ ثانیه شرقی، لومی از مزرعه عباس آباد دانشگاه بوعلی سینا-همدان با موقعیت جغرافیایی ۳٤ درجه و ٤۷ دقیقه و ۲٦ ثانیه شمالی و ٤۸ درجه و ۲۸ دقیقه و ٤۰ ثانیه شرقی و رسی، از یک مزرعه بایر در روستای کرک سفلی واقع در شهرستان نهاوند، با موقعیت جغرافیایی ۳٤ درجه و ۹ دقیقه و ٥۷ ثانیه شمالی و ٤۸ درجه و ۱۷ دقیقه و ۲۷ ثانیه شرقی تهیه شد (شکل ۱).



شکل ۱- شمایی ازموقعیت استان همدان و نقاط نمونه‌برداری خاک.

نمونه برداری با اطلاع از خصوصیات خاک منطقه، از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری سطح خاک انجام شد. نمونه‌های خاک جهت انجام آزمایش به آزمایشگاه فیزیک خاک منتقل شده و پس از هوا خشک نمودن، از الک ٤ میلی‌متر عبور داده شدند. انتخاب این الک جهت حفظ ساختمان خاک و خاکدانه‌ها (البته تا حد ممکن) بود. ولی برای انجام آزمایش‌ها بر روی ذرات خاک معمولا الک ۲ میلی‌متر استفاده می شود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل بافت خاک در سه سطح لومی شنی، لوم و رسی، و درصدهای وزنی کمپوست بستر قارچ در سه سطح صفر، ۳ و ٦ درصد بود.

تهیه کمپوست بستر قارچ

نمونه MSC از شرکت کوهستان الوند واقع در شهرک صنعتی همدان تهیه شد. کمپوست از دو ترکیب خاک بستر و بستر قارچ تشکیل شده است. خاک بستر دارای ماده آلی زیادی می‌باشد. این خاک شامل خاک سنگین، خاک سبک، سنگ آهک و خاک پوششی استفاده شد. ترکیب دوم که بستر قارچ بود از کاه و کلش گندم، پودر سنگ آهک و کود مرغی به ترتیب با نسبت‌های اختلاط ۵۷، ٣٦ و ۷ درصد تشکیل شده است. بعد از این مراحل فرایند تخمیر روی بستر قارچ انجام شد. بعد از مدت زمان یک هفته خاک بستر به آن افزوده شد. لازم به ذکر است که قبل از خروج بستر کشت، که شامل کمپوست و خاک پوششی و حتی بخش‌هایی از قارچ که به عنوان ضایعات دور ریخته می‌شود، به منظور رفع آلودگی احتمالی عمل پاستوریزاسیون نهایی در حرارت بالا بر روی بستر انجام شد و در نهایت محتویات سالن کشت به محیط آزاد انتقال داده شد. این بستر حدوداً ۱/۵ سال پس از خارج شدن از سالن‌های کشت در هوای آزاد قرار داده شد و سپس مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که تمامی مراحل تهیه کمپوست توسط شرکت کوهستان الوند صورت گرفته است.

تیمار خاک با کمپوست بستر قارچ

به منظور بررسی اثر سطوح مختلف کمپوست بستر قارچ و بافت های متفاوت خاک بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، کمپوست بستر قارچ با نسبت‌های صفر، ۳ و ٦ درصد وزنی با خاک هوا خشک شده که از الک ٤ میلی-متر عبور داده شده بود، ترکیب شد. پس از تعیین مقدار خاک مورد نظر برای هر ظرف مقادیر MSC بر اساس تیمارها محاسبه شد. بدین صورت که برای هر تیمار ابتدا خاک هوا خشک شده را به چند قسمت تقسیم کرده و به نسبت وزن هر قسمت به آن کمپوست بستر قارچ اضافه شد، و تا به دست آوردن یک ترکیب همگن با هم مخلوط شدند. مخلوط خاک+ تیمار به دست آمده به داخل ظروف پلاستیکی به ابعاد ۱۲/۵×۱۳×۲۱ سانتی‌متر بر اساس جرم مخصوص ظاهری خاک مزرعه، منتقل گردید. در

مجموع ۲۷ ظرف پلاستیکی حاوی مخلوط خاک+ تیمار تهیه شد. خاک تیمار شده درون ظروف پلاستیکی، برای گذراندن دوره انکوباسیون ۱۲۰ روزه با آب شهری اشباع شدند.

تعداد و فواصل خشک شدن و اشباع شدن به ترتیب ٤ بار به فاصله تقریبا هر یک ماه بود. اشباع شدن ظروف از بالا انجام شد. این اشباع شدن و خشک شدن متوالی تا پایان ۱۲۰ روز ادامه یافت. بعد از گذر ۱۲۰ روز از شروع انکوباسیون، در تاریخ ۹۷/۱۰/۱۹ نمونه برداری از ظروف به صورت دست خورده و دست نخورده توسط سیلندرهای فلزی با قطر ٥ سانتی‌متر و ارتفاع ٤/٥ سانتی‌متر انجام شد.

روش‌های اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها

از نمونه‌های دست‌خورده برای اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های شیمیایی مانند ظرفیت تبادل کاتیونی، pH، قابلیت هدایت الکتریکی و همچنین از نمونه‌های دست-نخورده برای اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های فیزیکی مانند جرم مخصوص ظاهری و تخلخل کل استفاده شد. ظرفیت تبادل کاتیونی تیمارهای آزمایش و نمونه اولیه خاک‌ها با روش استات آمونیوم ۱ نرمال اندازه‌گیری شد (راول ۱۹۸۲). قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۱:٥ خاک به آب به کمک دستگاه هدایت سنج الکتریکی مدل CTR 80، اندازه‌گیری شد (راودیس ۱۹۹٦). pH خاک، در عصاره ۱:٥ خاک به آب با استفاده از دستگاه pH متر مدل ۷٤٤، اندازه گیری شد (توماس ۱۹۹٦). ماده‌آلی به روش اکسایش تر یا روش والکلی و بلک (۱۹۳٤) بر روی ذرات کوچکتر از ۰/٥ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک از نمونه‌های خاک دست‌نخورده به روش استوانه‌های نمونه‌برداری، با قطر ٥ سانتی‌متر و ارتفاع ٤/٥ سانتی‌متر، استفاده شد (بلک و هارتگه ۱۹۸٦). برای اندازه‌گیری بافت خاک از روش هیدرومتر استفاده شد (بایکاس ۱۹٦۲). برای اندازه گیری تخلخل کل، رطوبت حجمی اشباع نمونه‌های دست نخورده اندازه‌گیری و برابر با تخلخل کل در نظر گرفته شد (هیلل ۱۹۹۸).

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های نرمال شده با آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با نرم‌افزار SAS.9.4 انجام گردید. مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون دانکن در سطح ٥ درصد مورد تجزیه قرار گرفت. یکی از فرض‌های تجزیه واریانس این است که خطای نمونه‌ها باید توزیع نرمال داشته باشند (زمانی ۲۰۱۱)، بر این اساس تست نرمال بودن خطای متغیرها با آزمون‌های کولموگروف- اسمیرنوف و شاپیرو- ویلک (رزالی و واه ۲۰۱۱) بررسی شدند. در صورت نرمال نبودن، داده‌های پرت حذف و داده‌های غیر نرمال، تبدیل شدند. همگن بودن واریانس‌ها با آزمون لون بررسی شد (زمانی ۲۰۱۱). برای رسم گراف‌ها از نرم‌افزارExcel 2013 استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک مورد بررسی در جدول ۱ نشان داده شده است. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک لوم‌شنی کم بود (متسون ۱۹٦۱). بر اساس pH اندازه‌گیری شده در کلاس خاک‌های نسبتا قلیایی (به نقل از هزلتون و مورفی ۲۰۱٦)، هدایت الکتریکی در محدوده خاک‌هایی با شوری کم (هزلتون و مورفی ۲۰۱٦)، مقدار آهک خاک نیز در محدوده کم قرار دارد (هزلتون و مورفی ۲۰۱٦). ظرفیت تبادل کاتیونی خاک لومی در محدوده بالا (متسون ۱۹٦۱) قرار می‌گیرد. بر اساس pH اندازه‌گیری شده خاک لومی در کلاس خاک‌های خنثی (به نقل از هزلتون و مورفی ۲۰۱٦) قرار دارد. هدایت الکتریکی خاک مورد مطالعه نشان داد که خاک لومی در محدوده خاک‌های با شوری

کم (هزلتون و مورفی ۲۰۱۶)، قرار دارد. ماده‌آلی خاک لومی بالا (چارمن و روپر ۲۰۰۷) بود. مقدار آهک خاک در محدوده بسیار کم می‌باشد (هزلتون و مورفی ۲۰۱۶). ظرفیت تبادل کاتیونی خاک رسی در محدوده بالا، بر اساس pH اندازه گیری شده خاک رسی در کلاس نسبتا قلیایی (به نقل از هزلتون و مورفی ۲۰۱۶)، هدایت الکتریکی خاک رسی در محدوده خاک‌های با شوری کم (هزلتون و مورفی ۲۰۱۶) می‌باشد. ماده‌آلی خاک کم (چارمن و روپر ۲۰۰۷) و مقدار آهک این خاک نیز کم است (هزلتون و مورفی ۲۰۱۶). کمپوست بستر قارچ دارای رنگ قهوه‌ای روشن و سبک، pH در کلاس نسبتا قلیایی (به نقل از هزلتون و مورفی ۲۰۱۶)، هدایت الکتریکی بالا (هزلتون و مورفی ۲۰۱۶)، ماده‌آلی بالا (چارمن و روپر ۲۰۰۷)، مقدار آهک در محدوده کم بود (هزلتون و مورفی ۲۰۱۶).

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های خاک‌های مورد بررسی و کمپوست بستر قارچ

بافت خاک	pH	هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	ماده آلی (%)	کربنات کلسیم (%)	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (mm)	ظرفیت تبادل کاتیونی ($cmol_c\ kg^{-1}$)
لوم شنی	۸/۰۳	۰/۱۶	۰/۶۷	۸/۰۰	۰/۳۷	۱۲/۰۰
لوم	۷/۰۲	۰/۳۳	۲/۳۵	٤/۰۰	۱/۳۳	۲٤/۷۵
رسی	۷/٦۲	۰/۲۱	۱/۲٦	۲٤/۰۰	۰/۵۰	۳۱/۹٤
کمپوست بستر قارچ	۷/۲۵	۵/۵٦	۲٦/۸٦	۷/۸۳	–	۷۳/۵

.

تأثیر کاربرد کمپوست بستر قارچ بر خصوصیات فیزیکی خاک‌ها

نتایج تجزیه واریانس متغیرهای شیمیایی و فیزیکی مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۲ نشان داده شده – است. اثرات اصلی نوع بافت خاک و سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ (درسطح آماری ۱ درصد) بر متغیرهای تخلخل و جرم مخصوص ظاهری معنی‌دار بود. ولی اثر برهمکنش آن‌ها بر متغیرهای مذکور معنی دار نشد (جدول ۲). بررسی توزیع خطا با استفاده از آزمون‌های کولموگروف- اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک و فرض همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون لون صورت پذیرفت که نشان داد، نتایج کفایت مدل برای تمام متغیرها (به‌جز pH) معنی‌دار نیست و بیانگر نرمال بودن توزیع خطای این متغیرها بود (جدول ۳). چون توزیع خطای pH خاک غیر نرمال بود، بنابراین با آزمون ویلکوکسون روش ناپارامتری مورد آنالیز قرار گرفت.

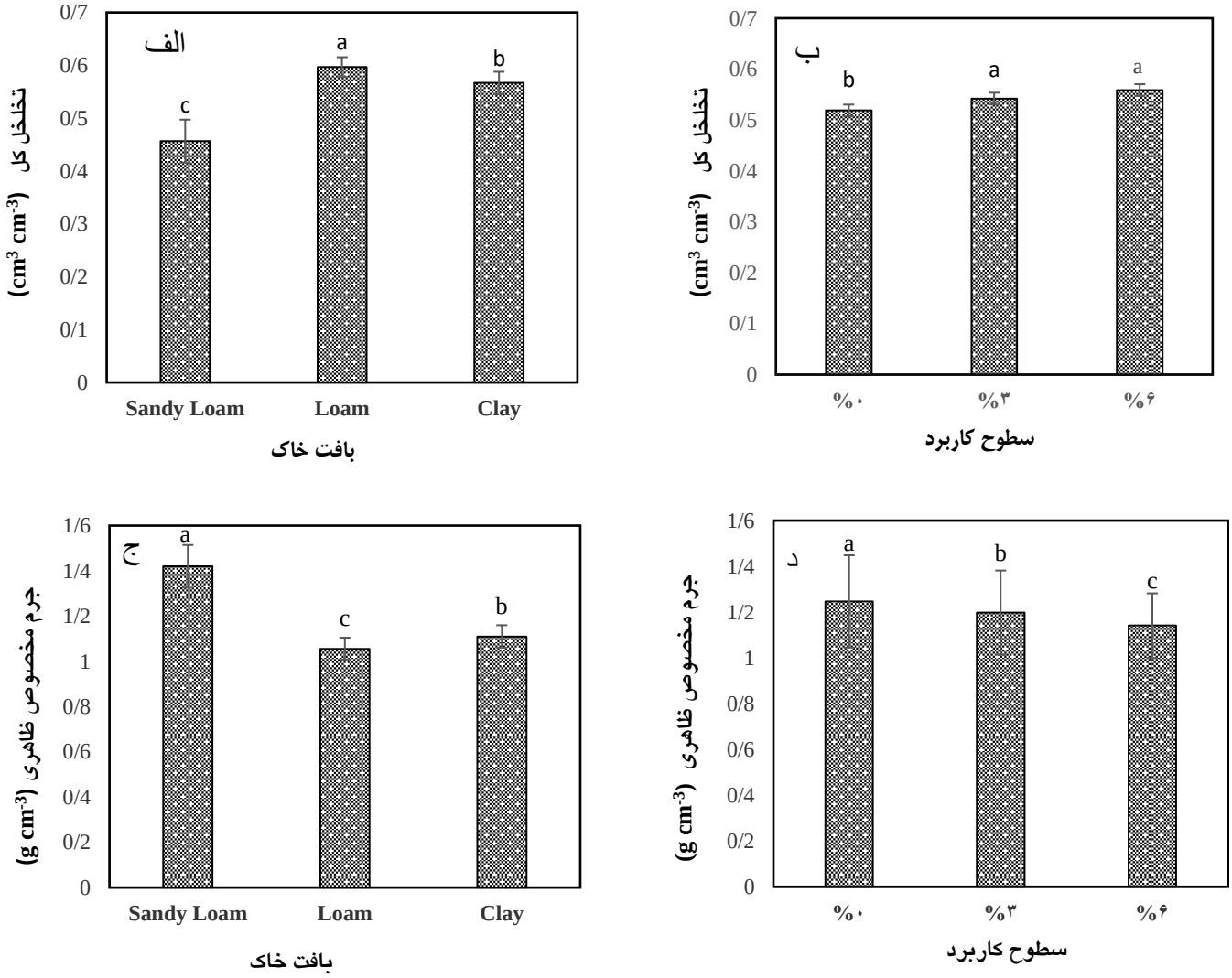
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر تخلخل، جرم مخصوص ظاهری، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، هدایت الکتریکی و pH خاک.

منابع تغییر	درجه آزادی	تخلخل	جرم مخصوص ظاهری	ظرفیت تبادل کاتیونی	هدایت الکتریکی	pH
		p-value				
بافت خاک	۲	< ۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱
سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ	۲	۰/۰۰٤٦	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۵۸	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱
بافت × سطح کاربرد کمپوست	٤	۰/۱۸۱۱	۰/۱۲۹۸	۰/۰۰۰۲	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱

جدول ۳ -نتایج کفایت مدل برای متغیرهای شیمیایی و فیزیکی خاک‌های تیمار شده.

نام متغیر	چولگی	کشیدگی	آزمون نرمال		آزمون لون
			کولموگروف- اسمیرنوف	شاپیرو- ویلک	
			p-value		p-value
تخلخل	۰/۷٦٥	-۰/۲۱۷	۰/۰۵۲	۰/۰۵۵	۰/۱۲۱
جرم مخصوص ظاهری	-۰/۸۲۲	۰/۵۰۸	> ۰/۱۵۰۰	۰/۱٦۷	۰/۰۵۹
ظرفیت تبادل کاتیونی	۰/۰۹٤	۰/۰۰٤	> ۰/۱۵۰۰	۰/۹۵٦	۰/۰۹۳
هدایت الکتریکی	۰/۳۳٤	-۰/۵٤۸	> ۰/۱۵۰۰	۰/۱۹۰	۰/۱۹۱

نتایج مقایسه میانگین آزمون دانکن نشان داد که مقدار تخلخل کل در تیمارهای مورد مطالعه در خاک لوم بیشتر از خاک رس و در خاک رس بیشتر از خاک لوم‌شنی بود، که تفاوت همه آن‌ها معنی‌دار بود (شکل ۲-الف). نتایج مقایسه میانگین کاربرد سطوح کمپوست بستر قارچ نشان داد که سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ باعث افزایش معنی‌دار تخلخل در سطح ۳ و ٦ درصد نسبت به شاهد شد. ولی بین تخلخل کل در سطوح ۳ و ٦ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲-ب). هم‌چنین مقایسه میانگین نشان داد که ترتیب جرم مخصوص ظاهری در بافت‌های متفاوت دقیقا عکس تخلخل کل بود. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که جرم مخصوص ظاهری در سطح شاهد بیشترین و در سطح ٦ درصد کمترین بود، و بین همه سطوح تفاوت معنی‌دار به دست آمد (شکل ۲-ج، د). علت اینکه تخلخل کل در خاک لوم نسبت به خاک رسی و لوم‌شنی بیشتر بود می‌تواند درصد ماده‌آلی زیاد در خاک لوم نسبت به خاک رسی و لوم‌شنی باشد (جدول ۱). از طرفی کاهش جرم مخصوص ظاهری در خاک لوم نسبت به لوم‌شنی گواه بر این نتیجه است (شکل ۲- ج). وجود ماده‌آلی در خاک با ایجاد لایه آبگریز اطراف خاکدانه‌ها سبب کاهش سرعت نفوذ آب در خاکدانه‌ها و افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شود (چنگ و همکاران ۲۰۱۵). به دلیل افزایش پایداری خاکدانه‌ها، تخلخل کل و خلل و فرج درشت خاک افزایش می‌یابد و در نتیجه ویژگی‌های فیزیکی خاک بهبود می‌یابد (عباسی ۲۰۱۷). از طرفی ماده‌آلی با خاصیت پیوند دهندگی بالا باعث اتصال ذرات ریز خاک شده و در نتیجه باعث افزایش حجم منافذ کل خاک گردیده و در نهایت تخلخل کل خاک را بالا می‌برد (آزادگان ۲۰۱۰).



شکل ۲- اثر اصلی بافت خاک (الف و ج) و سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ (ب و د) به ترتیب بر تخلخل‌کل و جرم مخصوص ظاهری خاک. در هر شکل وجود حروف مشابه بر روی هر یک از ستون‌ها نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد. خطوط عمودی بر روی هر ستون نشان دهنده انحراف استاندارد داده‌ها است.

علت اینکه در خاک رسی تخلخل نسبت به خاک لوم‌شنی بیشتر و جرم مخصوص ظاهری کمتر بود را می‌توان به درصد رس، و ماده‌آلی بیشتر بافت رسی نسبت داد (شکل ۲-الف،ج). بر این اساس اسپاسینی و پیکولو (۲۰۱۳) گزارش کردند که درصد پایداری خاکدانه‌های درشت در خاک‌هایی با بافت سنگین که مقدار بالایی رس در آن‌ها وجود دارد بیشتر می باشد. اهمیت موادآلی دراصلاح ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند تخلخل، هدایت هیدرولیکی، ساختمان و نگهداری رطوبت به خوبی شناخته شده است (گلدبرگر ۲۰۰۸).

سطوح ۳ و ٦ درصد کمپوست بستر قارچ به طور معنی-داری در سطح آماری ۵ درصد به‌ترتیب موجب افزایش تخلخل به‌مقدار ۴/۵ تا ۷/۸ درصد و کاهش جرم مخصوص ظاهری به‌مقدار ۳/۹ تا ۸/٤ درصد گردیدند. کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک به دو دلیل می‌تواند رخ دهد. دلیل اول مخلوط شدن ماده‌ای با جرم مخصوص کمتر با خاک و دلیل دوم آن ناشی از تاثیر

غیر مستقیم ماده‌آلی است. به این ترتیب که ماده‌آلی موجب تشکیل ساختمان و دانه‌بندی خاک می‌شود و از این طریق جرم مخصوص ظاهری خاک را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، با افزودن موادآلی به دلیل افزایش تخلخل خاک، جرم مخصوص ظاهری کاهش می‌یابد (تجادا و گونزالز ۲۰۰۶). تجادا و گونزالز (۲۰۰۸) با کاربرد کودهای آلی کمپوست، ورمی‌کمپوست و کود دامی در خاک، کاهش جرم مخصوص ظاهری و افزایش منافذ خاک را گزارش کردند.

نتایج تحقیقات عیسوند رجبی و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که، با افزدون بیوچار کود گاوی بر سه خاک لوم-شنی، لوم و رسی در سطوح ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد در هر سه خاک تخلخل کل نسبت به شاهد افزایش یافت، به نحوی که بیشترین مقدار مربوط به خاک لوم و کمترین هم مربوط به خاک لوم‌شنی بود. افزودن ماده‌آلی از قبیل بیوچار به خاک، با بهبود شرایط خاکدانه‌سازی، وضعیت تخلخل خاک را ارتقاء بخشیده که در نتیجه جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد (نیک روش و همکاران ۲۰۱۸). هم‌چنین لیم و همکاران (۲۰۱۶) کاهش جرم مخصوص ظاهری با اضافه کردن ورمی‌کمپوست به خاک را گزارش کردند.

نتایج پژوهش گلاب و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که افزودن بیوچار در چهار سطح ۰/۵، ۱ ، ۲ و۴ درصد وزنی به خاک سبب کاهش جرم مخصوص ظاهری و افزایش تخلخل خاک گردید. دبوسز و همکاران (۲۰۰۲) با به کارگیری تیمار کمپوست، کود شیمیایی و کود دامی به منظور بررسی اثر آن‌ها بر خصوصیات فیزیکی خاک، گزارش کردند که اضافه کردن این تیمارها به خاک، به ترتیب باعث افزایش ۴۷، ۳۲ و ۴۲ درصدی تخلخل کل نسبت به شاهد شد.

تأثیر کاربرد کمپوست بستر قارچ بر خصوصیات شیمیایی خاک

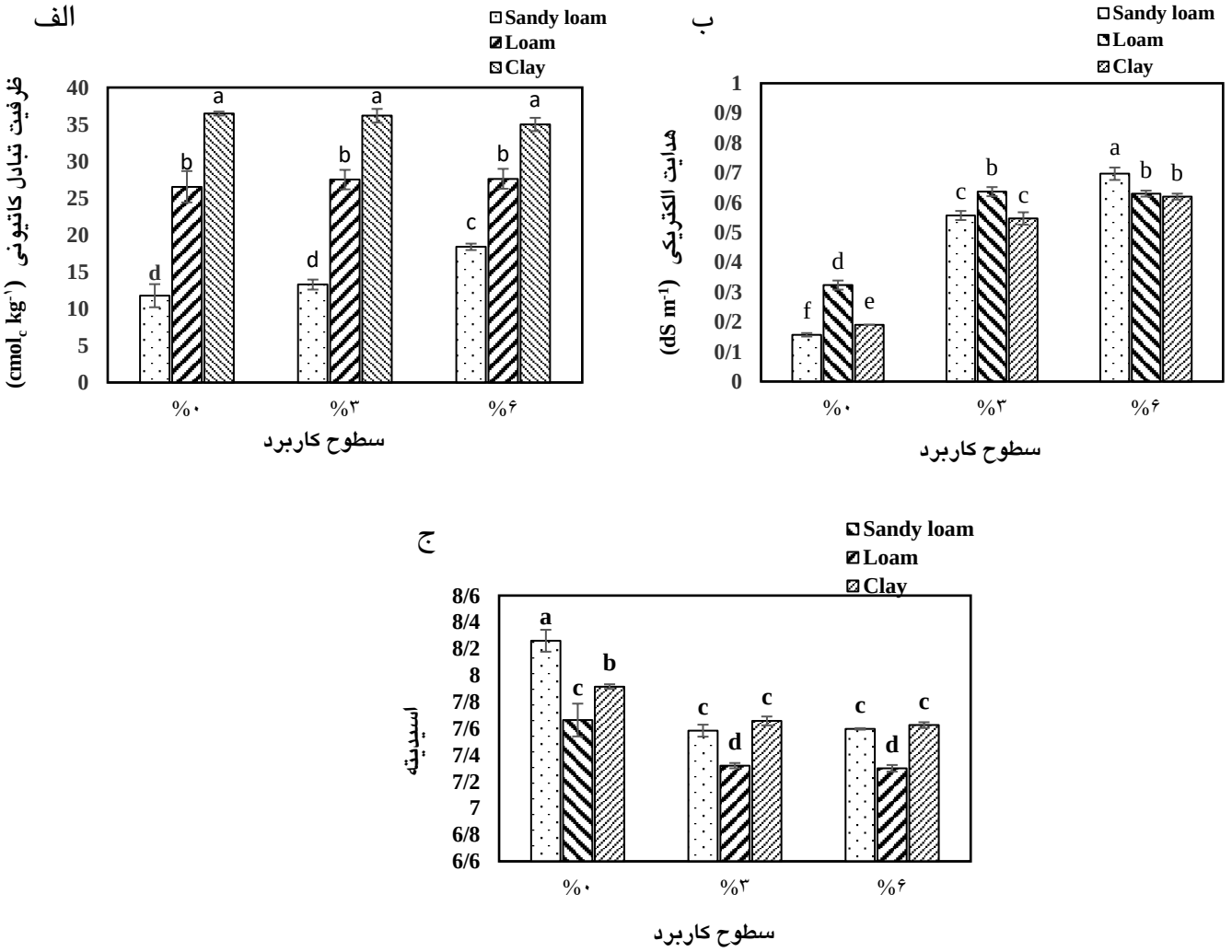
ظرفیت تبادل کاتیونی خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی نوع بافت خاک و سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ و اثر متقابل آن‌ها (در سطح آماری ۱ درصد) بر متغیر ظرفیت تبادل کاتیونی معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در خاک لوم‌شنی استفاده ۶ درصد از کمپوست بستر قارچ نسبت به شاهد و سطح ۳ درصد موجب افزایش معنی‌دار ظرفیت تبادل کاتیونی گردید، ولی سطح شاهد و ۳ درصد تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند (شکل ۳-الف). علت آن می‌تواند زیاد بودن موادآلی در اثر استفاده کمپوست بستر قارچ در سطح ۶ درصد نسبت به سطح شاهد و ۳ درصد باشد. زیرا موادآلی با دارا بودن سطح ویژه زیاد و باردار بودن نقش مهمی در ظرفیت تبادل کاتیونی دارند و با افزایش آن ظرفیت تبادل کاتیونی افزایش می‌یابد. میرخانی و همکاران (۲۰۰۵) دلیل این امر را سطح ویژه بالای ماده-آلی و داشتن گروه‌های عاملی و تأثیر آن‌ها بر افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی دانستند. در تحقیقی نشان داده شده است که خاک‌های با مقدار موادآلی بیشتر، ظرفیت تبادل کاتیونی بیشتر، ظرفیت نگهداری آب بالاتر و بالاخره از سلامت بهتری نسبت به خاک‌هایی با مقدار موادآلی کمتر برخوردار هستند (هادسون ۱۹۹۴). مشابه همین پژوهش وهابی ماشک و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که با افزودن کمپوست قارچ خوراکی در سطح ۶۰ تن در هکتار به خاک ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک لوم شنی نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت.

در بافت‌های لوم و رسی استفاده از کمپوست بستر قارچ تغییر معنی‌داری در مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی ایجاد نکرد. احتمالا علت آن بالا بودن ظرفیت تبادل کاتیونی در

این دو خاک باشد. یا شاید بالا بودن درصد رس در این خاک‌ها باعث شده ظرفیت تبادل کاتیونی در دو خاک لوم و رسی افزایش معنی‌دار نداشته باشد.

مقایسه مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها در سطوح مختلف کاربرد نشان داد که درهر سه سطح مقدارظرفیت تبادل کاتیونی در خاک رس بیشتر از خاک لومی و در خاک لوم بیشتر از خاک لوم شنی بوده و تفاوت آن‌ها معنی‌دار بود. علت اینکه ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک رسی و لومی بیشتر از خاک لوم‌شنی بود را می‌توان به زیاد بودن درصد رس و ماده‌آلی بافت رسی و لومی نسبت به بافت لوم‌شنی نسبت داد. ظرفیت تبادل کاتیونی در ارتباط با سطح ویژه خاک است (لال و شوکلا ۲۰۰٤). هم‌چنین ماده‌آلی مؤثرترین ویژگی در برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی است. میرخانی و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که با افزایش درصد رس، موادآلی و pH، میزان بارهای منفی کلوییدهای خاک افزایش یافته و در نتیجه میزان ظرفیت تبادل کاتیونی خاک نیز افزایش پیدا می‌کند. علی‌رغم اینکه مقدار ماده‌آلی در خاک لومی بیشتر بود، ولی CEC در خاک رسی بیشتر از لومی بود. علت این نتیجه می‌تواند درصد زیاد رس و نوع رس‌های موجود در خاک با بافت رسی باشد. ظرفیت تبادل کاتیونی، بسته به مقدار رس، نوع رس و مقدار ماده‌آلی از خاکی به خاکی دیگر متفاوت است. با افزایش مقدار رس، میزان ظرفیت تبادل کاتیونی افزایش می‌یابد. هم‌چنین نوع رس‌ها ممکن است CEC خاک‌ها را تحت تاثیر قرار دهند. زیرا رس‌های مختلف CEC متفاوتی دارند. به گونه‌ای که خاک‌های با رس گروه اسمکتایت دارای CEC بیش‌تری نسبت به خاک‌های گروه کائولینایت می باشند (جلالی ۲۰۱۳). بنابراین در این تحقیق، احتمالا نوع رس‌های موجود در خاک رسی از نوع ۲ به ۱ بودند، که عامل اصلی کنترل کننده CEC بوده و باعث گردیده که مقدار ماده‌آلی در خاک رسی بیشتر از لومی باشد. میرخانی و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که افزایش pH خاک نیز با تاثیر بر تفکیک گروه‌های عامل در خاک‌های دارای بار وابسته به pH باعث افزایش CEC می‌شود. تیمار کمپوست بستر قارچ باعث کاهش pH در خاک رسی و لومی شد و این کاهش در بافت لوم بیشتر از رسی بود (شکل ۳–ج). علی‌رغم اینکه بافت لومی از ماده‌آلی بیشتری برخوردار است، بافت رسی هم دارای درصد رس زیادی است و خود کمپوست بستر قارچ هم باعث افزایش ماده‌آلی زیاد شده است و باتوجه به رابطه مستقیم ماده‌آلی با ظرفیت تبادل کاتیونی، انتظار می‌رود که ظرفیت تبادل کاتیونی افزایش پیدا کند. ولی در این تحقیق استفاده از کمپوست بستر قارچ در CEC بافت لوم و رسی تغییری ایجاد نکرده است. احتمالا کاهش pH در این دو خاک باعث شده است که میزان بارهای منفی خاک کاهش یابد و در نتیجه CEC در این دو خاک تغییر نکرده باشد.



شکل ۳- اثر برهمکنش بافت خاک × سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ (الف، ب و ج)، به ترتیب بر ظرفیت تبادل کاتیونی، قابلیت هدایت الکتریکی و pH خاک. در هر شکل وجود حروف مشابه بر روی هر یک از ستون‌ها نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد. خطوط عمودی بر روی هر ستون نشان دهنده انحراف استاندارد داده‌ها است.

قابلیت هدایت الکتریکی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی بافت خاک، سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ و برهمکنش بافت خاک × سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین آزمون دانکن قابلیت هدایت الکتریکی نشان داد که استفاده از کمپوست بستر قارچ در سطح ۳ و ٦ درصد در هر ۳ بافت موجب افزایش معنی‌دار (p <۰/۰۵) هدایت الکتریکی نسبت به شاهد شد. سطح ۳ و ٦ درصد در بافت لوم‌شنی و رسی نسبت به همدیگر تفاوت معنی‌دار (p <۰/۰۵) داشتند، ولی در بافت لومی نسبت به همدیگر تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند (شکل ۳-ب). یکی از دلایل افزایش مقدار هدایت الکتریکی در هر سه خاک می‌تواند مربوط به تأثیر هدایت الکتریکی خود کمپوست بستر قارچ (۵/٥٦ دسی‌زیمنس بر متر)، باشد، چراکه

حداقل ١٤ برابر هدایت الکتریکی خاک‌ها بود. از طرفی غلظت زیاد املاح در کمپوست هم موجب افزایش EC می‌شود. وهابی ماشک و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که در تمام تیمارهای کمپوست بستر قارچ مقدار EC به ترتیب برای سطوح مختلف ٦٠ تن در هکتار بیشتر از ۳۰ تن در هکتار و آن هم بیشتر از ۱۵ تن در هکتار بود و علت را به زیاد بودن نمک‌ها و غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها در محلول نسبت دادند. اکبرنژاد و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که افزودن کمپوست پسماند شهری در سطوح ۰، ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار موجب افزایش EC خاک گردید. آن‌ها علت را به تولید اسیدهای آلی در اثر تجزیه ماده‌آلی نسبت دادند. آذرمی (۲۰۰۸) گزارش کرد که در اثر افزودن ورمی‌کمپوست به خاک هدایت الکتریکی آن نسبت به شاهد افزایش یافت.

مقایسه قابلیت هدایت الکتریکی خاک‌ها در سطوح مختلف کاربرد نشان داد که در سطح صفر درصد، مقدار قابلیت هدایت الکتریکی به ترتیب به طور معنی‌داری در بافت لومی بیشتر از رسی و در آن هم بیشتر از لوم‌شنی بود. با توجه به اینکه مقادیر هدایت الکتریکی در خاک‌های اصلی (بدون تیمار) قبل از دوره انکوباسیون در بافت لوم بیشترین و در بافت رسی کمترین بود و با توجه به اینکه در دوره انکوباسیون هم به ظروف، در سطح شاهد هیچ ورودی اضافه نشده است. ولی در این دوره مقادیر هدایت الکتریکی در بافت رسی بیشتر از بافت لوم‌شنی. احتمالا در دوره انکوباسیون به علت شرایط خشک و مرطوب شدن خاک بوده است، که در زمان آبیاری املاح موجود در خاک به سمت پایین شسته شده‌اند. در خاک لوم‌شنی به علت ماده‌آلی کمتر و با توجه به اینکه دارای منافذ درشت نسبت به خاک رسی می‌باشد. املاح به سرعت به طرف پایین شسته شدند و چون نمونه‌برداری از سطح خاک انجام شده است، بنابراین املاح در سطح خاک کمتر شده و در نتیجه در خاک لوم‌شنی مقدار هدایت الکتریکی کمتر شده است.

در سطح ۳ درصد مقدار هدایت الکتریکی در بافت لومی نسبت به بافت لوم‌شنی و رسی به طور معنی‌داری بیشتر بود. ولی بافت‌های لوم‌شنی و رسی تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند. عدم تفاوت معنی‌دار بین EC بافت لوم شنی و رسی هم احتمالا به علت مقدار کم EC و ماده‌آلی دو خاک باشد، چراکه خود کمپوست بستر قارچ دارای EC بالایی است و وقتی به خاک اضافه شده است باعث شده است که تفاوت EC آن‌ها ناچیز باشد. قمرنیا و تختگاهی (۲۰۱۷) گزارش کردند که با افزودن ورمی‌کمپوست به خاک هدایت الکتریکی ٢٦/٩٨ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. علت افزایش هدایت الکتریکی را به مقدار زیاد نمک ورمی‌کمپوست نسبت دادند.

در سطح ٦ درصد مقدار هدایت الکتریکی در بافت لوم‌شنی نسبت به دو بافت دیگر به طور معنی‌داری بیشتر بود و بافت لوم و رسی تفاوت معنی‌داری را نسبت به همدیگر نشان ندادند. به نظر می‌رسد علت تفاوت روند هدایت الکتریکی خاک‌های متفاوت در سطوح کاربرد، همان تاثیر نوع بافت خاک باشد. در خاک لوم‌شنی همانطور که نمودار نشان می‌دهد (شکل ۳-ب)، با افزایش سطح کاربرد کمپوست مقدار هدایت الکتریکی افزایش یافته است. این نتیجه نشان می‌دهد که بافت لوم‌شنی هنوز ظرفیت آن را دارد که با افزایش سطوح کاربرد کمپوست، ماده‌آلی تجزیه شود و عناصر غذایی وارد محلول شود، درنتیجه هدایت الکتریکی خاک افزایش یابد. در حالی که برای خاک لوم سطوح ۳ و ٦ درصد تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند، که نشان دهنده این است ظرفیت آزادسازی عناصر به خاک در بافت لوم در همین حد است. یعنی افزودن کمپوست بیش از ۳ درصد تاثیری مثبتی بر آزادسازی عناصر غذایی به داخل محلول خاک

ندارد. شاید این نتیجه ظرفیت بالای بافری بافت لوم در حفظ عناصر غذایی را نشان دهد.

مطالعات آرتور و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که در اثر افزودن کمپوست قارچ به یک خاک لوم‌شنی کربن آلی، نیتروژن کل، هدایت الکتریکی و pH خاک به طور معنی‌دار نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد. تجادا و گونزالز (۲۰۰٦) نیز گزارش کردند که در اثر افزایش ماده‌آلی، مقدار هدایت‌الکتریکی عصاره‌ی خاک بالا رفته و در اثر این افزایش، هماوری و تشکیل خاکدانه‌ها به صورت موقتی بیشتر شد، که منجر به بهبود وضعیت ساختمان خاک شده است. گیو وکرور (۲۰۰٤) گزارش کردند که با اضافه کردن تیمار کمپوست قارچ خوراکی به خاک EC نسبت به شاهد افزایش یافت. به طور کلی روند هدایت الکتریکی در بین بافت‌ها در سطوح مختلف کاربرد متفاوت است. در سطوح صفر و ۳ درصد، هدایت الکتریکی در بافت لوم نسبت به دو بافت دیگر بیشتر بود. ولی در سطح ٦ درصد بافت لوم‌شنی نسبت به دو بافت دیگر هدایت الکتریکی بالاتری داشت. ماده‌آلی خاک دارای بار وابسته به pH می‌باشد. با افزایش pH بار الکتریکی منفی خاک زیاد شده و هدایت الکتریکی خاک افزایش می‌یابد (اوستان ۲۰۱۰). یکی از علت‌های افزایش EC در بافت لوم‌شنی pH بالای آن می‌باشد. هم‌چنین بوستامانته و همکاران (۲۰۱٤) گزارش کردند که با افزودن کمپوست‌های کشاورزی و کود گوسفندی به یک خاک آهکی، EC خاک کاهش یافت و علت آن را جذب مواد مغذی توسط محصول، شستشوی یون و بی‌حرکتی نیتروژن غیرآلی دانستند.

اسیدیته خاک (pH)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی بافت خاک، سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ و برهمکنش بافت خاک × سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ بر pH خاک در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در هر سه خاک استفاده از کمپوست بستر قارچ موجب کاهش pH در سطح ۳ و ٦ درصد نسبت به شاهد شد. ولی سطح ۳ و ٦ درصد نسبت به همدیگر تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند (شکل ۳- ج). علت کاهش pH در سطوح ۳ و ٦ درصد در هر سه خاک نسبت به سطح شاهد می‌تواند ماده‌آلی کمپوست بستر قارچ باشد که با افزایش سطح کمپوست بستر قارچ، ماده‌آلی زیادی به خاک اضافه شده است. تغییرات ماده‌آلی خاک می‌تواند موجب کاهش یا افزایش pH خاک شود. در اثر تجزیه موادآلی pH کاهش پیدا می‌کند. pH خاک ارتباط نزدیکی با موادآلی خاک دارد. معمولا به دنبال بالاتر بودن موادآلی کاهش pH خاک مورد انتظار است (رسولی ۲۰۱٦). کاهش pH ممکن است به دلیل تکامل موادآلی و سطح تجزیه آن‌ها باشد، به گونه‌ای که مولکول‌های آلی توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه می‌شوند و سبب تولید CO_2، اسیدهای‌آلی و انتشار اولیه آمونیاک می‌شوند، که موجب کاهش pH خاک می‌گردد (والکر و اسکابلر ۲۰۰٤). در همین راستا آذرمی و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که استفاده از ورمی‌کمپوست در سطح ۱۵ تن در هکتار موجب کاهش قابل توجه pH شده است. ایشان گزارش کردند که علت کاهش pH خاک بعد از اضافه کردن تیمار دارای ورمی‌کمپوست می‌تواند تجزیه پسماندهای آلی و تولید اسیدهای آلی باشد.

مقایسه pH خاک‌ها در سطوح مختلف کاربرد نشان داد که مقدار pH در سطح شاهد به طور معنی‌دار در خاک لوم شنی بیشتر از رسی و در رسی بیشتر از لوم بود. در سطح ۳ و ٦ درصد مقدار pH به طور معنی‌دار در خاک لوم‌شنی = رسی > لوم بود. علت کاهش pH در سطح شاهد در خاک لوم احتمالا پایین بودن کربنات کلسیم دراین خاک می‌باشد.

علت افزایشpH در خاک لوم‌شنی در سطح شاهد می‌تواند درصد کمتر ماده‌آلی دراین خاک نسبت به دو خاک دیگر باشد. چرا که تجزیه ماده‌آلی و تولید CO_2 در خاک

لوم‌شنی کمتر شده و موجب افزایش pH گردیده است (والکر و اسکابلر ۲۰۰٤). احتمالا علت عدم تفاوت معنی‌دار pH خاک لوم‌شنی و رسی در سطح ۳ و ٦ درصد تاثیر نوع بافت خاک باشد، که pH در بافت‌های متفاوت به مرور زمان به‌شکل متفاوتی تغییر می‌کند.

نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش نشان داد که تیمار کمپوست بستر قارچ و سطوح مختلف آن سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌گردد. بر اساس نتایج حاصل شده، تیمار کمپوست بستر قارچ خوراکی از طریق افزایش سطح ماده‌آلی خاک، موجب افزایش متغیرهای CEC، EC و تخلخل کل و کاهش متغیرهای pH و جرم مخصوص ظاهری در هر سه خاک شد. در بافت لومی متغیرهای EC، pH و تخلخل کل به علت ماده‌آلی بیشتر و در بافت رسی متغیرهای CEC و pH به علت بافت سنگین رس و ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد خاک نسبت به بافت لوم شنی بیشترین تغییر را داشت. دلیل افزایش EC، pH و تخلخل کل در بافت لوم با مصرف کمپوست بستر قارچ را می‌توان به ماده‌آلی کمپوست نسبت داد. ماده‌آلی با خاصیت پیوند دهندگی بالا باعث اتصال ذرات ریز خاک شده و در نتیجه باعث افزایش حجم منافذ کل خاک گردیده و در نهایت تخلخل کل خاک را افزایش و جرم مخصوص ظاهری را کاهش می‌دهد. هم‌چنین موادآلی با دارا بودن سطح ویژه زیاد و باردار بودن نقش مهمی در ظرفیت تبادل کاتیونی دارند و با افزایش آن ظرفیت تبادل کاتیونی افزایش می‌یابد. در برخی از متغیرها سطوح ۳ و ٦ درصد نسبت به هم تفاوت معنی‌داری نداشتند. این بدان معنی است که بهتر است همان سطح ۳ درصد استفاده شده و هزینه زیادی مصرف نشود. در مجموع نتایج نشان داده است که کمپوست بستر قارچ خوراکی به علت موادآلی پایدار و جرم مخصوص ظاهری کم باعث خاکدانه‌سازی، بهبود پایداری خاکدانه‌ها و حاصلخیزی خاک شده است. با توجه به اینکه این کمپوست نسبت به سایر اصلاح کننده‌های خاک دارای قیمت بسیار ارزانی می‌باشد، لذا می‌توان در اراضی کشاورزی جهت حفظ باروری خاک، بهبود پایداری خاکدانه‌ها و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از آن استفاده نمود.

منابع مورد استفاده

Abbasi F, 2017. Advanced Soil Physics. Fourth edition. University of Tehran Publications, Tehran. (In Persian)

Agegnehu G, Bass AM, Nelson PN, Muirhead B,Wright G and Bird MI, 2015. Biochar and biochar-compost as soil amendments: effects on peanut yield, soil properties and greenhouse gas emissions in tropical North Queensland, Australia. Agriculture Ecosystems and Environment. 213: 72-85.

Akbarnejad F, Astarai AS, Fatwat A and Nasiri Mahallati MS, 2012. Effect of municipal waste compost and sewage sludge on soil chemical properties. Journal of Soil Agricultural Science and Technology 26:1329-1338. (In Persian with English abstract)

Arthur E, Cornelis W and Razzaghi F, 2012. Compost amendment to sandy soil affects soil properties and greenhouse tomato productivity. Compost Science and Utilization 20: 215-221.

Azadegan B, 2009. Effects of compaction in the cultivated soils on permeability and water use efficiency in Pakdasht region. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 2:60-70. (In Persian with English abstract)

Azarmi R, Giglou MT and Taleshmikail RD, 2008. Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato (*Lycopersicum esculentum*) field. African Journal of Biotechnology 714:2397-2401.

Bauycos GJ, 1962. Hydrometer methods improved for making particle size of soils. Agronomy Journal 54, 464-465.

Bayat H, 2003. Investigation of tillage effect and wheel traffic on soil physical properties. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University. (In Persian with English abstract)

Bayat H, Joreh M, Safari Sinejani AA and Davatgar N, 2013. Investigating the relationship between soil cation exchange capacity and aggregate size distribution. Pp. 31-40; Proceedings of the 13th Iranian Soil Science Congress. 27-29 January, Ahvaz, Iran. (In Persian with English abstract)

Blake GR and Hartge KH, 1986. Bulk density1.Pp.363-375. In: Klute, A (Ed). Methods of Soil Analysis, Part 1—Physical and Mineralogical Methods, 2nd Edition, Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy—Soil Science Society of America, Madison.

Bustamante DE, Won BY and Cho TO, 2014. Polysiphonia dokdoensis sp. nov. (Rhodomelaceae, Ceramiales) based on a population previously known as *Polysiphonia atlantica* sensu Kim and Lee from Korea. Botanica Marina 57: 281-289.

Charman PEV and Roper MM, 2007. Soil organic matter. Pp. 276-285. In: Charman PEV and Murfy BW (eds). Soils their Properties and Management. Oxford University Press, Melbourne.

Cheng M, Xiang Y, Xue Ansh and Darboux F, 2015. Soil aggregation and inter-aggregate carbon fractions in relation to vegetation succession on the Loess Plateau, China. Catena. 124: 77-84.

Curtin JS and Mullen GJ, 2007. Physical properties of some intensively cultivated soils of Ireland amended with spent mushroom compost. Land Degradation and Development, 18: 355-368.

Debosz K, Petersen S O, Kure LK and Ambus P, 2002. Evaluating effects of sewage sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties. Applied Soil Ecology 19: 237-248.

Esavand Rajabi F, Karimi A and Motaghian HR, 2019. The effect of biochar using cow manure on bulk density in sandy loam textures. Pp.1-5, Proceedings of the 16th Iranian Soil Science Congress. 27-29 August, Zanjan, Iran. (In Persian with English abstract)

Głąb T, Palmowska J, Zaleski T and Gondek K, 2016. Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. Geoderma 281: 11-20.

Goldberger JR, 2008. Diffusion and adoption of non-certified organic agriculture: a case study from semi-arid makueni district, Kenya. Journal of Sustainable Agriculture 32: 531-564.

Gue M and Chorover J, 2004. Solute release of weathering spent mushroom substrate under controlled conditions. Compost Science and Utilization 12: 225-234.

Gulser C, Demir Z and Ic S, 2010. Changes in some soil properties at different incubation periods after tobacco waste application. Journal of Environmental Biology 31: 671-674.

Gümüş İ and Şeker C, 2017. Effects of spent mushroom compost application on the physicochemical properties of a degraded soil. Solid Earth 8(6): 1153-1160.

Hazelton P and Murphy B, 2016. Interpreting soil test results: What do all the numbers mean? CSIRO publishing. Pp. 81-82. In: Richards L A (ed). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils. USDA Handbook No. 60.Washington.

Hillel D, 1998. Environmental Soil Physics: Fundamentals, Applications, and Environmental Considerations. University of Massachusetts Amberst, Massachusetts. Elsevier.

Hudson BD, 1994. Soil organic matter and available water capacity. Journal of Soil and Water Conservation 49: 189-194.

Jaiarree S, Chidthaisong A., Tangtham N, Polprasert C, Sarobol E and Tyler SC, 2014. Carbon budget and sequestration potential in a sandy soil treated with compost. Land Degradation and Development, 25; 120-129.

Jalali M, 2013. Soil Fertility. Bu Ali Sina University Press, Hamedan. (In Persian)

Lal R and Shukla MK, 2004. Principles of Soil Physics. CRC Press.

Lim TJ, Spokas KA, Feyereisen G and Novak JM, 2016. Predicting the impact of biochar additions on soil hydraulic properties. Chemosphere 142: 136-144.

Lou Z, Sun Y, Zhou X, Baig SA, Hu B and Xu X, 2017. Composition variability of spent mushroom substrates during continuous cultivation, composting process and their effects on mineral nitrogen transformation in soil. Geoderma 307: 30-37.

Lucas ST, D'Angelo EM and Williams MA, 2014. Improving soil structure by promoting fungal abundance with organic soil amendments. Applied Soil Ecology 75: 13-23.

Mahmoud E and Abdelkader N, 2015. Heavy metal immobilization in contaminated soils using phosphor-gypsum and rice straw compost. Land Degradation and Development 26: 819-824.

Medina E, Paredes C, Bustamante MA, Moral R and Moreno-Caselles J, 2012. Relationships between soil physico-chemical, chemical and biological properties in a soil amended with spent mushroom substrate. Geoderma 173: 152-161.

Metson AJ, 1961. Methods of chemical analysis for soil survey samples. Pp. 168-175. In: Hazelton P and Murphy B (eds). Interpreting Soil Test Results What Do All The Numbers Mean?. Department of Scientific and Industrial Research, New Zealand.

Mirkhani R, Shabanpour M and Sadaat S, 2005. Using particle size distribution and organic carbon peresentage to predict the cation exchange capacity of soil of Lorestan province. Journal of Soil and Water Sciences 19: 235-242. (In Persian with English abstract)

Nick Ravesh A, Boroumand Nasab S, Naseri AS and Soltani Mohammadi A, 2018. The effect of biochar and hydrochar application of wheat straw on physical properties of a sandy-loam soil. Journal of Soil and Water 32: 387 – 397. (In Persian with English abstract)

Onal M and Topcuoglu KB, 2012. The effect of spent mushroom compost on the dry matter and mineral content of pepper (*Piper nigrum*) grown in greenhouse. Available online at: konal@akdeniz.edu.tr. Accessed 18 April 2012. Akdeniz University, Vocational High School of Technical Science, Turkey.

Oustan Sh, 2010. Soil Chemistry with an Environmental Approach, Compiled by Donald L. Sparks, (Translated), University of Tabriz Publications, Tabriz.

Qamarnia H and Mirzaei Takhtgahi H, 2017. Impact of vermicompost on soil electrical conductivity. Pp. 1-7. 4th International Conference on Environmental Planning and Management. 23-24 May. (In Persian with English abstract)

Rasuli M, 2016. Influence of polyacrylamide, urban compost and vermicompost on some soil texture characteristics. Iran. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, University of Guilan. (In Persian with English abstract)

Rawls WJ, Brakensiek DL and Saxtonn KE, 1982. Estimation of soil water properties. Transactions of the ASAE, 25: 1316-1320

Razali NM and Wah YB, 2011. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. Journal of Statistical Modeling and Analytics 2: 21-33.

Rhoades JD, 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. Pp. 417-435. In: Sparks RL (ed). Methods for Soil Analysis Part 3—Chemical Methods, Soil Science Society of America. Madison

Sarwar G, Schmeisky H, Hussain N, Muhammad S, Ibrahim M and Safdar E, 2008. Improvement of soil physical and chemical properties with compost application in rice-wheat cropping system. Pakistan Journal of Botany 40: 275-282.

Seker C, 2003. Effects of selected amendments on soil properties and emergence of wheat seedlings. Canadian Journal of Soil Science 83(5): 615-621.

Spaccini R and Piccolo A, 2013. Effects of field managements for soil organic matter stabilization on water-stable aggregate distribution and aggregate stability in three agricultural soils. Journal of Geochemical Exploration 129: 45-51

Tejada M and Gonzalez JL, 2008. Influence of two organic amendments on the soil physical properties, soil losses, sediments and runoff water quality. Geoderma 145: 325-334.

Tejada M and Gonzalez JL, 2006. The relationships between erodibility and erosion in a soil treated with two organic amendments. Soil and Tillage Research 91: 186-198.

Thomas GW, 1996. Soil pH and soil acidity. Pp. 475-490.In: Sparks DL(ed) Methods for Soil Analysis. Part3: Chemical Methods, Soil Science Society of America. Madison.

Vahabi F, MirSeyed Hosseini H and Shorafa M, 2011. Investigation of the effect of spent mushroom compost (SMC) application on some chemical properties, Journal of Soil and Water 25:49-60. (In Persian with English abstract)

Vahabi Mashak F, Hosseini H, Shorafa M and Hatami, 2008. Investigating the effects of using fungal compost (SMC) on some soil and leaching chemical properties. Journal of Soil and Water 22: 394-406. (In Persian with English abstract)

Walker C and Schüßler A, 2004. Nomenclatural clarifications and new taxa in the Glomeromycota. Mycological Research 108: 981-982.

Walkley A and Black IA, 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29-38.

Wu Y, Xu G and Shao HB, 2014. Furfural and its biochar improve the general properties of a saline soil. Solid Earth 5: 665-671.

Zamani P, 2011. Statistical Designs in Animal Sciences. Bu-Ali Sina University, Hamedan. (In Persian)

Zhao J, Ni T, Li J, LU Q, Fang Z, Huang Q, Zhang R, Li R, Shen B and Shen Q, 2016. Effects of organic–inorganic compound fertilizer with reduced chemical fertilizer application on crop yields, soil biological activity and bacterial community structure in a rice–wheat cropping system. Applied Soil Eco chemistry 37: 507-515.