

The effect of organic fertilizer on the changes of soil physical properties in different rotations cultivation in permanent plots

Mohammad Reza Emdad^{1*} , Arash Tafteh² , Seyed Ali Ghaffari Nejad³ 

¹ Associate Professor, Department of Irrigation and Soil Physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

² Assistant Professor, Department of Irrigation and Soil Physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

³ Assistant Professor, Department of Soil Fertility, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Abstract

Introduction

Organic matter is one of the important indicators of soil quality. Organic matter increases water retention in the soil and helps to transport water and air in the soil. Organic matter increases crop growth and provides nutrients needed by plants and soil microorganisms. The amount of soil organic matter in nature depends on factors such as climate, soil properties, and agricultural management, especially in the plowing stage. This is although in many cultivated and undisturbed soils, the amount of soil organic matter reaches a constant value after some time and becomes balanced. On the other hand, most regions of Iran the arid and semi-arid and have low organic matter. The chemical composition of organic matter is approximately 50% of carbon, 5.0 % of nitrogen, 0.5% of phosphorus, 0.5% of sulfur, 39% of oxygen, and 5.0% of hydrogen, and these values change from one soil to another. The management of compost and plant waste is one of the most essential aspects of soil fertility management in the direction of sustainable agriculture. The research results showed that organic matter and carbohydrates are two factors related to the stability of soil structure. Considering the role and effect of using organic fertilizers (from animal sources and urban waste compost) on the physical characteristics of the soil, it is necessary to improve the productivity of soil and water, changes in the physical characteristics of the soil in different crop management (rotation) in fixed plots and in several years to be reviewed and evaluated consecutively.

Materials and Methods

This research has been done to investigate the effect of applying organic manure from animal sources and urban waste compost in different and conventional crop rotations in fixed plots and also to investigate the changes in the physical characteristics of the soil due to the application of the following treatments in Alborz Province (at the research station of the Soil and Water Research Institute, Karaj) was implemented from November 2016. After planting wheat in 2016 and harvesting it in 2017, the land alternated with fallow. Wheat was planted again in the fall of 1997 and corn was planted in July 1998. In the fall of 1998, wheat was planted again and then the land was alternated with fallow. This research was conducted in the form of randomized complete blocks in five treatments and three replications in plots with an area of 200 square meters. The treatments include 1- no planting (T1), 2- control without fertilizer use (T2), 3- application of nitrogen, phosphorus, and potassium chemical fertilizers based on soil test (T3), 4- annual application of 20 ton/h of animal manure (T4) and annual application 20 ton/h of compost (T5). By taking soil samples from the surface layer, the physical characteristics of the soil, including field capacity, permanent wilting point, bulk density, final infiltration of soil, and aggregate stability of soil were measured in different treatments. Soil physical characteristics were measured after harvesting each product from a depth of 0-30 cm in three replicates. By removing the soil surface layer, the aggregate stability was determined by the wet sieve method.

Results and Discussion

Treatments T1, T2, and T3 did not show significant changes in field capacity. The mean values of the field capacity of these treatments T1, T2, and T3 are about 17.8% and the treatment using animal manure (18.1%) and compost (18.3%) increases the field capacity by about 1.0 and 2.0 %, respectively, compared to the average treatments without the use of organic fertilizers. The values of bulk density changes in the treatments for the desired periods are not significant and it indicates that there is no specific trend in each period due to the changes in soil surface conditions for the treatments. The values of changes in the soil aggregate stability values have become significant only in the treatments of organic fertilizer consumption (from animal sources and compost) in the desired periods. The soil aggregate stability index in the treatment of using compost and manure increased

by 27 and 18%, respectively, compared to the average of treatments without fertilizer use (1.1 mm), which indicates the role of organic fertilizer use in increasing the aggregate stability. The average final infiltration rate in the treatments without using fertilizer is about 28.1 mm h⁻¹ and the average rate of final infiltration in the treatments using manure and compost is about 32.7 and 33.3 mm h⁻¹, respectively. The average rate of final infiltration in the treatments using manure and compost has increased by about 16 and 19%, respectively, compared to the average of other treatments.

Conclusion

According to the obtained results and the changes in the physical characteristics of the soil affected by the use of manure and compost in the cultivation periods, the role of the use of these materials in improving the physical characteristics of the soil is generally evident. The average bulk density of treatments T1 to T5 was equal to 1.47, 1.52, 1.54, 1.54, and 1.54 g cm⁻³, respectively, indicating a relative increase in bulk density in organic fertilizer treatments. The soil aggregate stability index in the treatment of using compost and manure increased by 27 and 18%, respectively, compared to the average of treatments without fertilizer use, which indicates the role of organic fertilizer use in increasing the aggregate stability. The average final infiltration rate in manure and compost treatments has increased by about 16 and 19%, respectively, compared to the average of other treatments, which indicates the effect of manure and compost application in increasing the final soil infiltration rate. Because for each crop rotation, the soil is subjected to tillage operations, therefore destruction of the surface layer of the soil (with more organic matter) and as a result intensifying the activity of microorganisms, from the effect of organic matter on the characteristics, the physical properties of the soil are reduced and it even causes that no special trend can be seen in the physical characteristics of the soil during the cultivation periods. Therefore, it is necessary to use a set of management strategies to improve the amount of organic matter or the physical characteristics of the soil.

Keywords: Final infiltration rate, Field capacity, Soil water retention, Wet aggregate stability

Article Type: Research Article

Acknowledgement

We appreciate and thank the cooperation and assistance of the Soil and Water Research Institute and the laboratory department.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data availability statement

All necessary information and results are presented in the text of the article. If information is needed other than these, it will be provided through correspondence with the responsible author and other authors and obtaining permission from the research assistant of the Soil and Water Research Institute.

Authors' contribution

Mohammad Reza Emdad: Conceptualization, software/statistical analysis, writing; **Arash Tafteh:** Modeling, solving equations and editing the article; **Seyed Ali Ghaffari Nejad:** Implementing the defined treatments in permanent plots and corporation in sampling and measuring soil physical and chemical properties.

*Corresponding Author, E-mail: emdadmr591@yahoo.com

Citation: Emdad, M.R., Tafteh, A., & Ghaffari Nejad, S.A. (2024). Effect of using organic fertilizaer on the changes of soil physical properties in different rotations cultivation in permanent plots. *Water and Soil Management and Modeling*, 4(2),121-132.

DOI: 10.22098/mmws.2023.12491.1245

Received: 07 March 2023, Received in revised form: 08 April 2023, Accepted: 08 April 2023, Published online: 08 April 2023

Water and Soil Management and Modeling, Year 2024, Vol. 4, No. 2, pp. 121-132

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





تأثیر کودهای آلی بر تغییرات برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک در تناوب‌های مختلف کشت در کرت‌های دایم

محمدرضا امداد^{۱*}، آرش تافته^۲، سیدعلی غفاری‌نژاد^۳

^۱ دانشیار، بخش آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
^۲ استادیار، بخش آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
^۳ استادیار، بخش حاصل‌خیزی و تغذیه گیاهی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده

ویژگی‌های فیزیکی خاک نقش مهم و تعیین‌کننده‌ای در شرایط خاک و نیز مدیریت آبیاری داشته و تغییرات آن‌ها بر میزان نگهداشت آب در خاک و سایر موارد مرتبط با رابطه آب، خاک و گیاه تأثیرگذار است. نظر به نقش و تأثیر کاربرد کودهای آلی (از منابع دامی و کمپوست ضایعات شهری) بر ویژگی‌های فیزیکی خاک، این پژوهش در راستای تأثیر کاربرد کود آلی از منابع دامی و کمپوست ضایعات شهری در تناوب‌های زراعی مختلف و متعارف (گندم، آیش، گندم، ذرت، گندم، آیش) در کرت‌های ثابت و به‌منظور بررسی تغییرات ویژگی‌های فیزیکی خاک ناشی از اعمال تیمارهای مصرف کود به مقدار سالانه ۲۰ تن در هکتار در استان البرز اجرا شد. نتایج نشان داد که میانگین مقادیر ظرفیت زراعی در تیمارهای بدون مصرف کود حدود ۱۷/۸ درصد و میانگین آن در تیمار کاربرد کود آلی حدود ۱۸/۳ درصد بوده که بیان‌گر افزایش نسبی ظرفیت زراعی در تیمارهای مصرف کود دامی و کمپوست نسبت به تیمارهای بدون مصرف کود است. شاخص پایداری خاکدانه‌ها در تیمار کاربرد کمپوست و کود دامی به‌ترتیب به میزان ۲۷ و ۱۸ درصد نسبت به میانگین تیمارهای عدم مصرف کود (۱/۱ میلی‌متر) افزایش یافته‌اند. میانگین سرعت نفوذ در تیمارهای بدون مصرف کود حدود ۲۸/۱ میلی‌متر بر ساعت و میانگین سرعت نفوذ در تیمارهای مصرف کود دامی و کمپوست به‌ترتیب حدود ۳۲/۷ و ۳۳/۳ میلی‌متر بر ساعت شد. میانگین سرعت نفوذ در تیمارهای مصرف کود دامی و کمپوست به‌ترتیب به میزان حدود ۱۶ و ۱۹ درصد نسبت به میانگین سایر تیمارها بیش‌تر بوده که بیان‌گر تأثیر کاربرد کود دامی و کمپوست در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و نیز افزایش نفوذ نهایی خاک است.

واژه‌های کلیدی: پایداری خاکدانه، ظرفیت زراعی، نفوذ نهایی، نگهداشت آب خاک

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: emdadmr591@yahoo.com

استناد: امداد، محمدرضا، تافته، آرش، و غفاری‌نژاد، سیدعلی (۱۴۰۳). تأثیر کودهای آلی بر تغییرات برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک در تناوب‌های مختلف کشت در کرت‌های دایم، مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۴(۲)، ۱۲۱-۱۳۲.

DOI: 10.22098/mmws.2023.12491.1245

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۱۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۹، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۱/۱۹

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۳، دوره ۴، شماره ۲، صفحه ۱۲۱ تا ۱۳۲

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

ماده آلی یکی از شاخص‌های مهم کیفیت خاک است (Stevenson, 1994). مواد آلی باعث افزایش نگهداشت آب در خاک شده و به انتقال آب و هوا در خاک کمک می‌کند. ماده آلی باعث افزایش رشد محصول شده و تأمین‌کننده عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و میکروارگانیزم‌های خاک هست (Ebrahimipak et al., 2023). مواد آلی از فشردگی خاک جلوگیری کرده و موجب بهبود فیزیکی خاک می‌شود. به‌عبارت‌دیگر کاربرد مواد آلی باعث افزایش نفوذپذیری خاک، کاهش رواناب و سله سطحی و نیز شرایط را برای نفوذ ریشه فراهم می‌آورد. (Lal et al., 2012). مواد آلی کارایی مصرف کودهای شیمیایی را بهبود می‌بخشد (USDA, 1996). مواد آلی از بقایای گیاهی مشتق شده است، لذا حاوی عناصر غذایی مورد نیاز نباتات هستند. جانوران خاک از مواد آلی تغذیه نموده و از طریق مخلوط کردن خاک و ایجاد مجاری و حفرات باعث بهبود شرایط فیزیکی خاک می‌شوند. مقدار مواد آلی خاک در طبیعت تابع عواملی چون اقلیم، ویژگی‌های خاک و مدیریت زراعی به‌خصوص در مرحله شخم است. این در حالی است که در بسیاری از خاک‌های زراعی و دست‌نخورده مقدار مواد آلی خاک پس از مدتی به مقدار ثابتی رسیده و متعادل می‌شود. از طرفی، واقع شدن اکثر مناطق ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک سبب شده بخش عمده خاک‌های زیرکشت در کشور، دارای مواد آلی پایینی باشد. با توجه به این که خاک‌های اکثر مناطق ایران دارای اسیدیتهٔ قلیایی و فقیر از عناصر کم مصرف هستند، کودهای آلی به‌واسطه داشتن مقادیر بالای عناصر پرمصرف می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی حاوی عناصر مذکور باشد (Emadi Baladehi et al., 2022).

با افزایش مصرف کودهای شیمیایی و سوزاندن بقایای گیاهی و نیز عدم برگشت بقایای گیاهی به خاک، از میزان مواد آلی خاک کاسته شده و موجبات تخریب خاک فراهم می‌شود. مواد آلی شامل بقایای گیاهی، کودهای دامی و مرغی، مواد حاصل از زباله‌های شهری و کمپوست حاصل از باگاس نیشکر، ضایعات کارخانه‌های قند و فاضلاب شهری و سایر موارد مشابه است (Samavat, 2006). چرای بیش‌از حد، برداشت بقایای محصول و یا سوزاندن آن موجب کاهش مواد آلی در خاک می‌شود. ترکیب شیمیایی ماده آلی تقریباً ۵۰ درصد کربن، پنج درصد نیتروژن، ۰/۵ درصد فسفر، ۰/۵ درصد گوگرد، ۳۹ درصد اکسیژن و پنج درصد هیدروژن است که این مقادیر از خاکی به خاک دیگر متفاوت است. اغلب ماده آلی از کربوهیدرات‌ها، پروتئین، سلولز و لیگنین تشکیل شده‌اند. سه ترکیب اول به‌سرعت تجزیه شده؛ بنابراین، در تأمین غذای جانداران خاک و

دانه‌بندی خاک از اهمیت بیش‌تری برخوردارند (Barber, 1984). حاصل‌خیزی خاک وابسته به ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک است. حاصل‌خیزی خاک را توان کیفی خاک برای تأمین عناصر غذایی به مقدار کافی و در توازن مطلوب برای رشد گیاهان یا محصولات معین تعریف نموده‌اند (Abtahi, 2000). نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد حاصل‌خیزی خاک‌های ایران با توجه به میزان ماده آلی کم خاک‌ها در بخش عمده‌ای از اراضی زیرکشت در محدوده مناسب نمی‌باشد (Balali et al., 2011). در پژوهشی، (Mirzashahi and Saadat, 2010) افزایش عملکرد و اجزای عملکرد کلزا و نیز افزایش و کاهش به‌ترتیب کربن آلی و جرم مخصوص ظاهری خاک را در نتیجه مصرف پنج تن در هکتار کمپوست کود گوسفندی و یا کمپوست باگاس نیشکر توام با مصرف بهینه کودهای شیمیایی N، P و K را گزارش نمودند. در پژوهش دیگری، (Hudson, 1994) گزارش کرد که هر یک درصد افزایش در مواد آلی خاک، ظرفیت نگهداری آب را ۳/۷ درصد افزایش می‌دهد. نتایج متعدد نیز تأثیر مثبت مواد آلی بر نگهداشت آب خاک را گزارش می‌کنند (Rawls et al., 2003; Celik et al., 2004). همچنین، تأثیر مثبت مواد آلی خاک بر سایر ویژگی‌های فیزیکی خاک چون پایداری خاکدانه‌ها نیز تأیید شده است (Zhang et al., 1997; Dawish et al., 1995).

مدیریت پسماندها و ضایعات گیاهان از ضروری‌ترین موارد مدیریت حاصل‌خیزی خاک در راستای کشاورزی پایدار به‌شمار می‌رود. مواد آلی به‌علت اثرات مثبت و سازنده‌ای که بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارند از ارکان باروری و حاصل‌خیزی خاک شناخته می‌شوند (Ardalan and Albiach et Savaghebi Firozabadi, 2006). نتایج مطالعه (Annabi et al., 2001) نشان داد که ماده آلی و کربوهیدرات‌ها دو عامل در ارتباط با پایداری ساختمان خاکدانه‌ها هستند. آزمایش پنج ساله دیگری این یافته‌ها را تأیید و نشان داد کمپوست زباله شهری که هر دو سال یک‌بار استفاده شد پایداری خاکدانه‌ها را به میزان ۲۹/۳ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد و در نتیجه سبب افزایش مقاومت به فرسایش آبی شد (Annabi et al., 2006). بعد از ۱۶ سال استفاده از کود دامی یا بقایای گیاهی بهبود قابل‌توجهی در ویژگی‌های فیزیکی خاک شامل پایداری خاکدانه و نگهداشت آب در خاک مشاهده نشد که این به دلیل افزایش کلونیدهای هیومیک در خاک است (Dorado et al., 2003). در مطالعه‌ای، (Tejada et al., 2008) مشاهده کردند که بقایای لگوم‌های کمپوست شده به‌تنهایی یا همراه با ملاس چغندر قند تأثیر مثبتی بر پایداری ساختمان خاک داشته اما ملاس تازه چغندر پایداری ساختمان خاک را در مقایسه با شاهد کاهش داد.

حدود ۸۰ درصد اراضی کشاورزی به شیوه سطحی آبیاری شده و در صورت اعمال صحیح مدیریت آبیاری و در نظر گرفتن مقادیر دقیق نفوذ آب در خاک، راندمان بالا در آبیاری سطحی دور از انتظار نخواهد بود. یکی از مشخصه‌های فیزیکی خاک که نقش مهمی در مدیریت و طراحی سیستم‌های آبیاری دارد مسئله نفوذپذیری است. مدیریت آبیاری مناسب با تعیین دقیق نفوذ آب در خاک میسر بوده که ضمن رساندن آب کافی به ریشه گیاه از تلفات و هدر رفت آب نیز جلوگیری می‌کند. نفوذ یکی از مشکل‌ترین و زمان‌برترین اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی خاک است که بایستی به‌منظور برنامه‌ریزی صحیح آبیاری تعیین شده و با کاربرد مواد آلی در خاک‌های مختلف تغییر کند. تأثیر مواد آلی خاکاره، پودر پوسته میوه‌های هسته‌دار، زوائد بیرونی میوه آناناس و کود دامی به میزان ۵/۲ و پنج تن در هکتار نشان داد که سرعت نفوذپذیری در شرایط کاربرد موارد مذکور به ترتیب ۸، ۱۱/۹، ۱۵/۶ و ۱۶ میلی‌متر در ساعت بوده که در مقایسه با شاهد (۹/۷ میلی‌متر در ساعت)، باعث افزایش سرعت نفوذ شده است (Thampan, 1995). روش الک تر، رایج‌ترین روش اندازه‌گیری پایداری با توجه به اندازه خاکدانه‌هاست (Kemper and Rosenau, 1986). از پایداری خاکدانه‌ها به‌عنوان شاخص ارزیابی کیفی خاک استفاده می‌شود (Six et al., 2004; Bronick and Lal, 2005). در نتیجه کاهش مواد آلی در خاک، خاکدانه‌ها به‌آسانی شکسته شده و موجبات تخریب لایه سطحی خاک و کاهش پایداری خاکدانه‌ها را فراهم می‌آورند. ویژگی‌های فیزیکی خاک نقش مهم و تعیین‌کننده‌ای در شرایط خاک و نیز مدیریت آبیاری داشته و تغییرات آن‌ها بر میزان نگهداشت آب در خاک و سایر موارد مرتبط با رابطه آب، خاک و گیاه تأثیرگذار است. نظر به نقش و تأثیر کاربرد کودهای آلی (از منابع دامی و کمپوست ضایعات شهری) بر ویژگی‌های فیزیکی خاک، ضروری است در راستای ارتقا بهره‌وری از خاک و آب، تغییرات ویژگی‌های فیزیکی خاک در مدیریت‌های مختلف زراعی (تناوب) در کرت‌های ثابت و در چند سال متوالی بررسی و مورد ارزیابی واقع شود.

۲- مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در راستای تأثیر کاربرد کود آلی از منابع دامی و کمپوست ضایعات شهری در تناوب‌های زراعی مختلف و متعارف در کرت‌های ثابت و به‌منظور بررسی تغییرات ویژگی‌های فیزیکی خاک ناشی از اعمال تیمارهای زیر در استان البرز (در ایستگاه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج) از آبان ماه ۱۳۹۶ اجرا شد. پس از کاشت گندم در سال ۱۳۹۶ و برداشت آن در سال ۱۳۹۷، زمین در تناوب با آیش قرار گرفت. در پاییز ۱۳۹۷ مجدداً کاشت گندم و در تیرماه ۱۳۹۸، ذرت کاشته شد. در پاییز

بر اساس اطلاعات این بخش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده مکرر از اصلاح‌کننده‌های آلی می‌تواند حاصل‌خیزی فیزیکی خاک را بهبود بخشد که این فرآیند عمدتاً از طریق افزایش پایداری خاکدانه‌ها انجام می‌شود.

به‌طور کلی آب قابل استفاده در خاک‌های سبک با افزایش کربن آلی خاک نسبت به خاک رسی بیش‌تر افزایش می‌یابد. به‌عبارت دیگر به‌طور کلی به ازای هر یک درصد افزایش کربن آلی خاک، آب قابل استفاده سه میلی‌متر در صد میلی‌متر خاک افزایش می‌یابد. در خاک‌های لومی آب قابل استفاده به ازای هر یک درصد افزایش در کربن آلی خاک حدود ۲/۵ میلی‌متر در صد میلی‌متر خاک افزایش یافته، درحالی‌که این مقدار در خاک‌های رسی به حدود دو میلی‌متر در صد میلی‌متر خاک کاهش می‌یابد. تغییرات نگهداشت آب در خاک و جرم مخصوص ظاهری خاک با افزایش کربن آلی خاک پیچیده است و منابع مختلف نتایج متفاوتی را از ظرفیت نگهداشت آب خاک و جرم مخصوص ظاهری منتج از تغییرات کربن آلی خاک گزارش کردند. به‌طور کلی سطح کربن آلی خاک در محدوده دو تا ۲/۵ درصد برای ایجاد پایداری خاکدانه‌های خوب و پایدار در نظر گرفته می‌شود. پایداری خاکدانه‌ها در کربن آلی حدود ۱/۲ درصد به‌شدت کاهش یافته و در بافت‌های مختلف، سطح کربن آلی اثرات متفاوتی بر پایداری خاکدانه‌ها دارند (Murphy, 2015). افزایش پایداری خاکدانه‌ها با بهبود ساختمان خاک موجبات رشد مناسب گیاه و افزایش نفوذپذیری خاک می‌شود. اهمیت نسبی مواد آلی در خاک به‌منظور پایداری خاکدانه‌ها با تغییر در بافت خاک تغییر کرده و در خاک‌های سبک و شنی مواد آلی نقش مهم و مؤثرتری در پایداری خاکدانه‌ها ایفا می‌کند (Murphy, 2015). در بررسی اثرات مواد آلی در افزایش قابلیت نگهداری آب خاک نشان داده شد که افزودن مواد آلی شامل بقایای گیاهی، شلتوک برنج و کود سبز در مقادیر دو و ۱۰ تن در هکتار (پس از یک و سه ماه) سبب افزایش نگهداشت آب در خاک از طریق افزایش ظرفیت زراعی شده است (Mapa and Desilva, 1994). در پژوهشی که توسط Afzalnia and Karami (2018) انجام شد، اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر خصوصیات خاک و عملکرد ذرت در تناوب با گندم بررسی شد. نتایج نشان داد که خاک‌ورزی حفاظتی در اکثر سال‌های پژوهش باعث افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک (حداکثر ۱۳ درصد) و کاهش سرعت نفوذ آب در خاک (حداکثر ۲۵ درصد) شدند. کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک از ۴/۵ تا ۸/۱۹ درصد و نیز افزایش پایداری خاکدانه از ۶/۳۷ تا ۶/۷۳ درصد با کاربرد زغال زیستی گزارش شده است (Yekzaban et al., 2023).

خاک و در سه تکرار انجام شد. به دلیل بزرگی ابعاد کرت‌ها (۲۰۰ مترمربع)، سه نمونه خاک با هم مخلوط شده و یک نمونه مرکب از آن‌ها به منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی تهیه شد. همچنین، با برداشت لایه سطحی خاک، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با روش الک تر انجام پذیرفت (Kemper and Rosenau, 1986). مشخصات عملیات زراعی در تناوب غالب منطقه کرج در جدول ۱ ارائه شده است. در جدول ۲ زمان، مقدار و نوع کودهای شیمیایی مصرفی در تناوب غالب کرج را ارائه می‌کند. همچنین، جدول ۳، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرا را در ابتدای کشت ارائه می‌کند. در جدول‌های ۴ و ۵ برخی خصوصیات شیمیایی کود دامی مصرفی و کمپوست زباله شهری مصرفی ارائه شده است.

۱۳۹۸، مجدداً کاشت گندم و سپس زمین در تناوب با آیش قرار گرفت. این پژوهش در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در پنج تیمار و سه تکرار در کرت‌هایی با مساحت ۲۰۰ مترمربع (۱۰×۲۰ متر) انجام شد. تیمارها شامل: (۱) بدون کشت (T1)، (۲) شاهد بدون مصرف کود (T2)، (۳) کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژنی، فسفری و پتاسیم بر اساس آزمون خاک (T3)، (۴) کاربرد سالانه ۲۰ تن کود دامی (T4) و (۵) کاربرد سالانه ۲۰ تن کود کمپوست پسماند (T5) بودند.

با نمونه‌برداری از خاک لایه سطحی خصوصیات فیزیکی خاک شامل ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی، جرم مخصوص ظاهری، نفوذ نهایه‌ی خاک و پایداری خاکدانه‌ها در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی خاک پس از برداشت هر محصول و از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

جدول ۱- مشخصات عملیات زراعی در تناوب غالب منطقه کرج

Table 1- Characteristics of agricultural operations in the dominant rotation in Karaj region

مشخصات زراعی	پاییز ۱۳۹۶	تابستان ۱۳۹۷	پاییز ۱۳۹۷	تابستان ۱۳۹۸	پاییز ۱۳۹۸	تابستان ۱۳۹۹
نام محصول	گندم	-	گندم	-	ذرت علوفه‌ای	گندم
رقم	پشتاز	-	سیوند	-	سینگل کراس 704	بیات
تاریخ کشت	آبان 96	-	آذر 97	-	مرداد 97	آذر 98
مقدار بذر (کیلوگرم در هکتار)	180	-	200	-	25	180
تاریخ برداشت	تیر 97	-	تیر 98	-	آبان 98	تیر 99
علف‌کشی	تاپیک- توفوردی	-	تاپیک- توفوردی	-	تیکوسولفورون	تاپیک- توفوردی

جدول ۲- زمان، مقدار و نوع کودهای شیمیایی مصرفی (کیلوگرم در هکتار) در تناوب غالب کرج

Table 2- Time, amount, and type of chemical fertilizers used in the dominant rotation in Karaj

اوره	گندم			
	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹
مقدار	300	300	450	300
روش	سرک دست‌پاش	سرک دست‌پاش	کود آبیاری	سرک دست‌پاش
زمان	سه قسط (پس از کشت، پنجه‌زنی، ساقه روی)	سه قسط (پس از کشت، پنجه‌زنی، ساقه روی)	سه قسط (4، 6 و 8 برگی)	سه قسط (پس از کشت، پنجه‌زنی، ساقه روی)
سوپرفسفات تریپل	150 کیلوگرم به صورت نواری هم‌زمان با کشت			
سولفات پتاسیم	70 کیلوگرم به صورت نواری هم‌زمان با کشت			
کود دامی	به میزان 20 تن در هکتار به صورت پخش سطحی و اختلاط با خاک به وسیله دیسک			
کمپوست زباله شهری	به میزان 20 تن در هکتار به صورت پخش سطحی و اختلاط با خاک به وسیله دیسک			

جدول ۳- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرا

Table 3- Some physical and chemical properties of the soil at the implementation site

ویژگی	کرت 1	کرت 2	کرت 3
pH عصاره اشباع	8.3	8.2	8.2
EC عصاره اشباع (دسی‌زیمنس بر متر)	1.22	1.07	0.98
کربنات کلسیم معادل (درصد)	11.4	13.5	12.7
نیتروژن کل (درصد)	0.05	0.05	0.04
نیترات (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	17.9	19.2	16.2
آمونیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	1.7	2.0	1.4
فسفر قابل استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	6.4	5.4	5.6
پتاسیم قابل استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	235	210	210
آهن قابل استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	1.8	1.6	1.4
روی قابل استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	1.2	0.9	0.8
منگنز قابل استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	6.9	5.5	4.5
مس قابل استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	1.1	0.92	0.74
ظرفیت تبادل کاتیونی (میلی‌کیوالان بر ۱۰۰ گرم)	14.1	13.4	13.4
نسبت جذب سدیم (SAR)	0.75	0.79	0.71
رطوبت اشباع (درصد)	36	37	36

جدول ۴- برخی ویژگی‌های شیمیایی کود دامی مصرفی
Table 4- Some chemical properties of animal manure

1399	1398	1397	
9.1	-	9.5	pH عصاره ۱:۵
14.0	12.4	9.1	EC عصاره ۱:۵ (دسی‌زیمنس بر متر)
36.0	53.8	48.2	ماده آلی (درصد)
20.9	22.6	13.5	کربن آلی (درصد)
1.55	1.86	0.91	نیترژن کل (درصد)
50	-	112	نیترات (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
7000	-	420	آمونیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
1.12	1.21	0.74	فسفر کل (درصد)
0.63	1.56	1.42	پتاسیم کل (درصد)
3800	3544	3550	آهن کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
231	200	122	روی کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
275	297	295	منگنز کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
65	65	33	مس کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
7.33	5.23	3.1	سرب کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
0.2	0.33	0.2	کادمیوم کل (میکروگرم بر کیلوگرم)

جدول ۵- برخی خصوصیات شیمیایی کمپوست زیاله شهری مصرفی
Table 5- Some chemical properties of municipal waste compost

1399	1398	1397	1396	
7.6	-	7.7	6.9	pH عصاره ۱:۵
10.6	9.1	10.5	8	EC عصاره ۱:۵ (دسی‌زیمنس بر متر)
30.5	36.6	40.6	30.7	ماده آلی (درصد)
17.4	21.1	15.5	14	کربن آلی (درصد)
1.35	1.66	1.42	1.03	نیترژن کل (درصد)
50	-	196	112	نیترات (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
1900	-	590	420	آمونیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
0.8	0.83	0.86	0.87	فسفر کل (درصد)
2	0.76	0.9	0.43	پتاسیم کل (درصد)
13835	9268	15975	7578	آهن کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
650	684	750	425	روی کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
431	372	530	420	منگنز کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
341	272	40	22.5	مس کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
121.2	126	177	133.5	سرب کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
4.6	4.16	1.24	1.11	کادمیوم کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

۳- نتایج و بحث

نظر ارائه می‌شود. جدول ۶ نتایج آماری تغییرات رطوبت ظرفیت زراعی در تیمارهای مورد نظر را برای کل دوره‌های فصل کشت به تفکیک تیمارهای مورد نظر ارائه می‌کند. همان گونه که ملاحظه می‌شود مقادیر ظرفیت زراعی و تغییرات آن برای تمامی دوره‌ها و تیمارها معنادار نشده است.

با توجه به ویژگی‌های فیزیکی خاک اندازه‌گیری شده (رطوبت در ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی، جرم مخصوص ظاهری، پایداری خاکدانه‌ها و سرعت نفوذ نهایی) در ادامه نتایج و بحث و تفسیر مربوط به تغییرات این ویژگی‌ها در تناوب کشت‌های مورد

جدول ۶- نتایج تحلیل واریانس تغییرات رطوبت در ظرفیت زراعی تیمارها
Table 6- The results of the analysis of the variance of moisture of field capacity

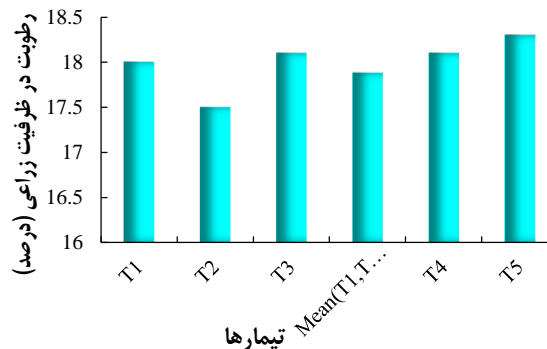
95% Confidence Interval of the Difference		Mean Difference	Sig.	df	t	ظرفیت زراعی
Upper	Lower					
0.4054	-0.1654	0.12000	0.375 ^{ns}	11	0.925	T1
0.0361	-0.8461	-0.40500	0.068 ^{ns}	11	-2.021	T2
0.6403	-0.0669	0.28667	0.102 ^{ns}	11	1.784	T3
0.3971	-0.5238	-0.06333	0.768 ^{ns}	11	-0.303	T4
0.8573	-0.0507	0.40303	0.076 ^{ns}	11	1.955	T5

ns: معنادار نیست

درصد و در تیمار کاربرد کود دامی (۱/۱۸ درصد) و کمپوست (۱۸/۳) به ترتیب حدود یک و دو درصد موجب افزایش ظرفیت زراعی نسبت به میانگین تیمارهای بدون مصرف کود آلی شدند.

در شکل ۱ تغییرات میانگین مقادیر ظرفیت زراعی تیمارها ارائه شده است. تیمارهای T1، T2 و T3 تغییرات معناداری در خصوص ظرفیت زراعی در طول دوره نشان ندادند. میانگین مقادیر ظرفیت زراعی تیمارهای T1، T2 و T3 حدود ۱۷/۸

بیانگر عدم تغییر این شاخص در کاربرد مواد آلی (از منابع دامی و کمپوست) است، دیده نشد. به دلیل انجام عملیات خاک‌ورزی و تغییرات ویژگی‌های لایه سطحی خاک در هر کشت، روند تغییرات ظرفیت زراعی و پژمردگی در استفاده از کود دامی و کمپوست معنادار نشده است. جدول ۸ نتایج تحلیل واریانس تغییرات جرم مخصوص ظاهری را برای کل تیمارها و در دوره‌های مختلف ارائه می‌کند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مقادیر تغییرات جرم مخصوص ظاهری در تیمارها برای دوره‌های مورد نظر معنادار نشده و بیانگر این است که روند مشخصی در هر دوره به علت تغییرات شرایط سطحی خاک (مانند عملیات خاک‌ورزی و کاشت در هر دوره) برای تیمارها وجود ندارد. متوسط جرم مخصوص ظاهری تیمارهای T1 تا T5 به ترتیب برابر ۱/۴۷، ۱/۵۲، ۱/۵۴، ۱/۵۴ و ۱/۵۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. تغییرات نگهداشت آب در خاک و جرم مخصوص ظاهری با افزایش کربن آلی خاک پیچیده است و منابع مختلف، نتایج متفاوتی را از ظرفیت نگهداشت آب خاک و جرم مخصوص ظاهری منتج از تغییرات کربن آلی خاک گزارش کردند (Murphy, 2015). جدول ۹ نتایج تحلیل واریانس تغییرات پایداری خاکدانه‌ها را ارائه می‌کند.



شکل ۱- تغییرات میانگین مقادیر ظرفیت زراعی در تیمارها
Figure 1- Changes in average crop capacity values in treatments

جدول ۷ نتایج تحلیل واریانس تغییرات رطوبت در نقطه پژمردگی دائم را برای تیمارها در دوره‌های مورد نظر ارائه می‌کند. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود تغییرات معناداری از رطوبت نقطه پژمردگی در دوره‌های مورد نظر ملاحظه نمی‌شود و بیانگر این است که روند مشخصی در هر دوره برای تیمارها وجود ندارد. متوسط مقادیر رطوبت در نقطه پژمردگی در تیمارهای T1 تا T5 به ترتیب ۱۲/۴، ۱۲/۳، ۱۲/۷، ۱۲/۱ و ۱۲/۵ درصد هستند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تغییرات معناداری برای ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی در دوره‌های مورد نظر که

جدول ۷- نتایج تحلیل واریانس تغییرات رطوبت در نقطه پژمردگی تیمارها

Table 7- Results of analysis of variance of moisture in wilting point

95% Confidence Interval of the Difference		Mean Difference	Sig.	df	t	PWP
Upper	Lower					
0.2297	-0.1964	0.0166	0.866 ^{ns}	11	0.172	T1
0.0410	-0.3243	-0.1416	0.116 ^{ns}	11	-1.707	T2
0.5890	-0.0057	0.29167	0.054 ^{ns}	11	2.159	T3
0.0480	-0.5980	-0.275	0.088 ^{ns}	11	-1.87	T4
0.5247	-0.2914	0.11667	0.542 ^{ns}	11	0.629	T5

ns: معنادار نیست.

جدول ۸- تغییرات جرم مخصوص ظاهری در تیمارهای مختلف در تناوب کشت‌های مورد نظر

Table 8- Changes in bulk density in the rotation of desired cultures in different treatments

95% Confidence Interval of the Difference		Mean Difference	Sig. (2-tailed)	df	t	pb
Upper	Lower					
0.03	-0.08	-0.025	0.339 ^{ns}	11	-1	T1
0.082	-0.048	0.0166	0.586 ^{ns}	11	0.561	T2
0.1157	-0.032	0.04167	0.241 ^{ns}	11	1.239	T3
0.098	-0.015	0.04167	0.137 ^{ns}	11	1.603	T4
0.1157	-0.0323	0.04167	0.241 ^{ns}	11	1.239	T5

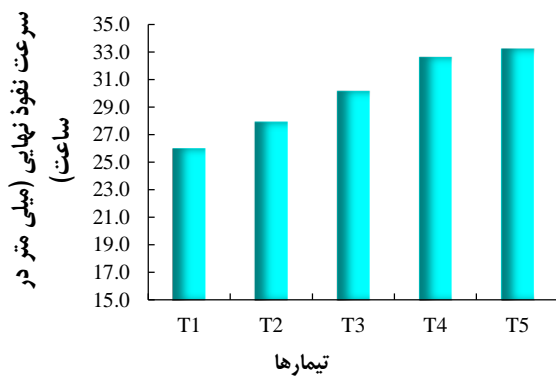
ns: معنادار نیست.

جدول ۹- نتایج تحلیل واریانس تغییرات پایداری خاکدانه‌ها در تیمارهای مختلف در تناوب کشت‌های مورد نظر

Table 9- Analysis of variance of changes in the aggregate stability in different treatments in the rotation of desired crops

95% Confidence Interval of the Difference		Mean Difference	Sig. (2-tailed)	df	t	WAS
Upper	Lower					
0.099	-0.015	0.04167	0.137 ^{ns}	11	1.603	T1
0.2634	-0.0301	0.1166	0.108 ^{ns}	11	1.750	T2
0.3241	-0.0075	0.1583	0.059 ^{ns}	11	2.102	T3
0.4633	0.0367	0.25	0.026*	11	2.579	T4
0.5577	0.0423	0.30	0.026*	11	2.562	T5

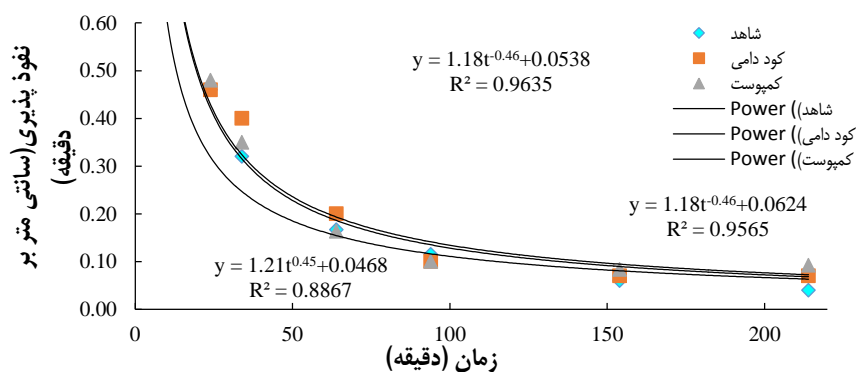
MS معنادر نیست. ° معنادر در سطح پنج درصد



شکل ۳- میانگین تغییرات نفوذ نهایی خاک در تیمارهای مختلف

Figure 3- Average changes in final infiltration in different treatments

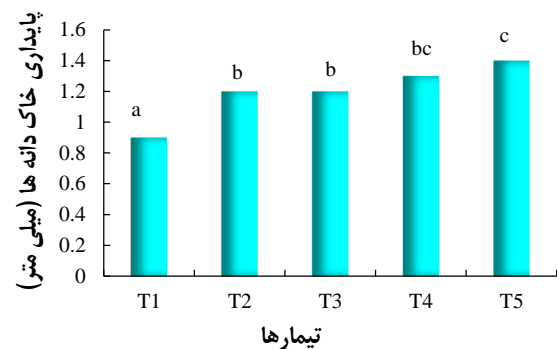
همان گونه که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، افزایش نسبی نفوذ نهایی در تیمارهای مصرف کود دامی و کمپوست نسبت به سایر تیمارها مشخص می‌شود. میانگین سرعت نفوذ در تیمارهای بدون مصرف کود حدود ۲۸/۱ میلی‌متر بر ساعت و میانگین سرعت نفوذ در تیمارهای مصرف کود دامی و کمپوست به ترتیب حدود ۳۳/۳ و ۳۲/۷ میلی‌متر بر ساعت است. میانگین سرعت نفوذ در تیمارهای مصرف کود دامی و کمپوست به ترتیب به میزان حدود ۱۶ و ۱۹ درصد نسبت به میانگین سایر تیمارها بیش‌تر شده است که نشان‌گر تأثیر کاربرد کود دامی و کمپوست در افزایش نفوذ نهایی خاک است (شکل ۴). در پژوهشی، Thampan (1995) افزایش سرعت نفوذ آب به خاک را در کاربرد مواد آلی تا ۱۶ میلی‌متر در ساعت نسبت به تیمار شاهد (۹/۷ میلی‌متر بر ساعت) گزارش کرد. نتایج تغییرات نفوذ تجمعی در شکل ۵ نشان می‌دهد که نفوذ تجمعی در تیمارهای کاربرد کود دامی و کمپوست بیش‌تر از تیمارهای بدون مصرف کود است. افزایش کود دامی و کمپوست به ترتیب موجب افزایش نفوذ تجمعی خاک به میزان حدود ۲۷ و ۱۱ درصد نسبت به تیمار بدون مصرف کود شد.



شکل ۴- تغییرات سرعت نفوذ در تیمارهای مختلف

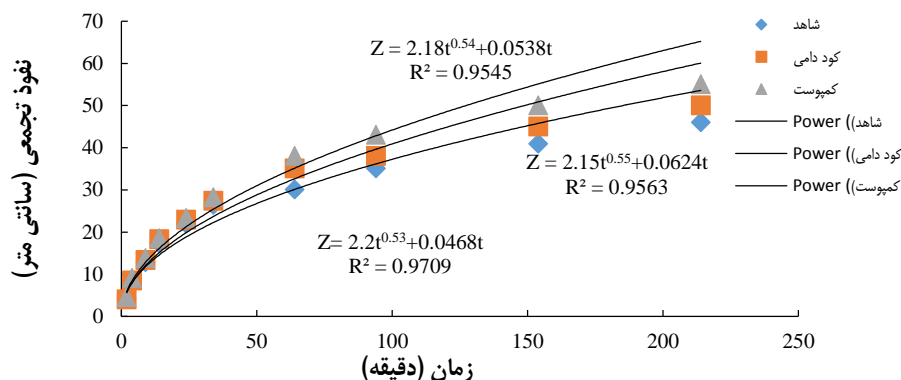
Figure 4- Changes in infiltration speed in different treatments

تغییرات مقادیر پایداری خاکدانه‌ها تنها در تیمارهای مصرف کود آلی (از منابع دامی و کمپوست) در دوره‌های موردنظر معنادار شده است. شکل ۲ میانگین تغییرات پایداری خاکدانه‌ها را در تیمارهای مورد نظر ارائه می‌کند. شاخص پایداری خاکدانه‌ها در تیمار کاربرد کمپوست و کود دامی به ترتیب به میزان ۱۸ و ۱/۱ درصد نسبت به میانگین تیمارهای عدم مصرف کود (۱/۱ میلی‌متر) افزایش یافته‌اند که بیان‌گر نقش مصرف کود آلی در افزایش پایداری خاکدانه‌هاست که (Dawish et al. (1997 نیز تأثیر مثبت مواد آلی خاک را بر شاخص پایداری خاکدانه‌ها گزارش نموده‌اند. سرعت نفوذ نهایی خاک یکی از شاخص‌های فیزیکی خاک بوده که تحت تأثیر ساختمان خاک، بافت خاک، کیفیت آب آبیاری، عملیات خاک‌ورزی و موارد دیگر می‌باشد. در این ارتباط تغییرات نفوذ نهایی خاک برای تیمارهای مختلف در دوره‌های متفاوت کشت مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت (شکل ۳).



شکل ۲- میانگین تغییرات پایداری خاکدانه‌ها در تیمارهای مختلف

Figure 2- Average changes in the soil aggregate stability in different treatments



شکل ۵- تغییرات نفوذ تجمعی در تیمارهای مختلف

Figure 5- Cumulative infiltration changes in different treatments

۴- نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده و تغییرات ویژگی‌های فیزیکی خاک متأثر از کاربرد کود دامی و کمپوست در دوره‌های کشت، به‌طور کلی نقش کاربرد این مواد در بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک مشهود می‌شود. میانگین مقادیر رطوبت در ظرفیت زراعی تیمارهای T1، T2 و T3 حدود ۱۷/۸ درصد و تیمار کاربرد کود دامی ۱۸/۱ درصد و کمپوست ۱۸/۳ درصد بوده که بیان‌گر افزایش نسبی رطوبت در ظرفیت زراعی در تیمارهای مصرف کود دامی و کمپوست نسبت به سایر تیمارها است. همچنین، تغییرات معناداری از رطوبت نقطه پژمردگی تیمارها در دوره‌های موردنظر ملاحظه نشده و روند مشخصی در تغییرات نقطه پژمردگی برای تیمارها وجود ندارد. متوسط مقادیر رطوبت در نقطه پژمردگی در تیمارهای T1 تا T5 به ترتیب ۱۲/۴، ۱۲/۳، ۱۲/۷، ۱۲/۱ و ۱۲/۵ درصد تعیین شدند. به دلیل تغییرات نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی و نیز انجام عملیات خاک‌ورزی و تغییرات ویژگی‌های لایه سطحی خاک در اوایل هر کشت، روند تغییرات ظرفیت زراعی و پژمردگی در استفاده از کود دامی و کمپوست معنادار نشده است. همچنین، روند مشخصی از جرم مخصوص ظاهری خاک در هر دوره به علت تغییرات شرایط سطحی خاک (مانند عملیات خاک‌ورزی و کاشت در هر دوره) برای تیمارها وجود ندارد. متوسط جرم مخصوص ظاهری تیمارهای T1 تا T5 به ترتیب برابر ۱/۴۷، ۱/۵۲، ۱/۵۴، ۱/۵۴ و ۱/۵۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب و بیان‌گر افزایش نسبی جرم مخصوص ظاهری در تیمارهای مصرف کود آلی بوده است. شاخص پایداری خاکدانه‌ها در تیمار کاربرد کمپوست و کود دامی به ترتیب به میزان ۲۷ و ۱۸ درصد نسبت به میانگین تیمارهای عدم مصرف کود (۱/۱ میلی‌متر) افزایش یافته‌اند که بیان‌گر نقش مصرف کود آلی در افزایش پایداری خاکدانه‌ها است. سرعت نفوذ نهایی خاک یکی از شاخص‌های فیزیکی خاک بوده که تحت تأثیر ساختمان خاک، بافت خاک، عملیات خاک‌ورزی و موارد دیگر است. میانگین سرعت نفوذ در تیمارهای بدون مصرف کود حدود ۲۸/۱

میلی‌متر بر ساعت و میانگین سرعت نفوذ در تیمارهای مصرف کود دامی و کمپوست به ترتیب حدود ۳۲/۷ و ۳۳/۳ میلی‌متر بر ساعت است. میانگین سرعت نفوذ در تیمارهای مصرف کود دامی و کمپوست به ترتیب به میزان حدود ۱۶ و ۱۹ درصد نسبت به میانگین سایر تیمارها بیش‌تر شده است که نشان‌گر تأثیر کاربرد کود دامی و کمپوست در افزایش نفوذ نهایی خاک است.

عملیات خاک‌ورزی یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده سطح مواد آلی در خاک است. دفعات زیاد شخم می‌تواند موجب تخریب ساختمان خاک شده و منجر به افزایش جرم مخصوص ظاهری و کاهش نفوذپذیری خاک شود. تجزیه مواد آلی و آزادسازی کربن، فرآیندی هوازی است. اکسیژن در این فرآیند باعث تشدید فعالیت میکروب‌ها که مواد آلی را مورد تغذیه قرار می‌دهند، می‌شود. به عبارت دیگر، با هر بار خاک‌ورزی تماس بقایای گیاهی با میکروارگانیسم‌ها بیش‌تر شده و تهویه نیز افزایش می‌یابد (نسبت اکسیژن به دی‌اکسیدکربن زیاد می‌شود). در این شرایط شدت تجزیه سریع‌تر شده و نتیجه آن تشکیل هوموس با پایداری کم‌تر و نیز آزادسازی دی‌اکسیدکربن به اتمسفر است. با توجه به این موضوع که برای هر نوبت کشت، خاک دستخوش عملیات خاک‌ورزی (شخم، دیسک و ماله) شده، لذا تهویه لایه سطحی خاک (با مواد آلی بیش‌تر) بیش‌تر و در نتیجه تشدید فعالیت میکروارگانیسم‌ها، از تأثیر مواد آلی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک کاسته شده و حتی موجب می‌شود تا روند خاصی در ویژگی‌های فیزیکی خاک در دوره‌های کشت دیده نشود. اعمال راه‌حلی‌هایی که صرفاً متکی به یک راه‌کار باشد شاید در مدیریت ماده آلی و تأثیر آن بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مؤثر نباشد. مثلاً کاربرد تنها کود دامی و یا کمپوست نمی‌تواند تأثیر چندانی بر ماده آلی خاک و تغییر ویژگی‌های فیزیکی خاک داشته باشد. بنابراین، استفاده از مجموعه‌ای از اقدامات و راه‌کارهای مدیریتی برای بهبود مقدار مواد آلی و یا ویژگی‌های فیزیکی خاک ضروری است.

ابطحی، علی (۱۳۷۹). فرهنگ کشاورزی و منابع طبیعی (شامل تعریف و معادل فارسی واژه‌های علمی) (جلد ۱۰). چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران. ۲۷۶ صفحه.

اردلان، محمد معز، و ثواقبی فیروزآبادی، غلامرضا (۱۳۸۸). تغذیه درختان میوه (ترجمه). انتشارات موسسه نشر جهاد. ۲۲۳ صفحه.

افضلی نیا، صادق، و کرمی، علی‌داد (۱۳۹۷). اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر خصوصیات خاک و عملکرد ذرت در تناوب با گندم. *مهندسی بیوسیستم ایران*. ۴۹(۱)، ۱۲۹-۱۳۷. doi:10.22059/ijbse.2017.243058.664995

بالالی، محمدرضا، رضایی، حامد، و مشیری، فرهاد (۱۳۹۳). وضعیت حاصلخیزی خاک‌های کشور و ضرورت ارتقا توان آن برای خدمات‌رسانی به تولیدات کشاورزی، برنامه جامع حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه (جلد اول). موسسه تحقیقات خاک و آب. ۴۸-۱۷.

سماوات، سعید (۱۳۸۶). گزارش وضعیت ماده آلی خاک‌های کشور. موسسه تحقیقات خاک و آب. ۶۱ صفحه.

عمادی بالادهی، سیدمصطفی، صادق‌زاده، فردین، بهمنیار، محمد علی، و جلیلی، بهی (۱۴۰۲). تأثیر کود کمپوست گاوی غنی شده با ضایعات فلزی آهن و روی بر غلظت آهن و روی قابل جذب خاک‌هایی آهکی با بافت مختلف. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*. ۳(۳)، ۲۱۲-۲۲۴. doi:10.22098/mmws.2022.11886.1185

میرزاشاهی، کامران، و سعادت، سعید (۱۳۸۹). تأثیر مواد آلی مختلف بر عملکرد کلزا و برخی خصوصیات خاک در شمال خوزستان. *پژوهش‌های خاک*. ۲۴(۱)، ۲۱-۲۹. doi:10.22092/ijrsr.2010.126526

یکزبان، عباس، موسوی، سیدعلی، ثامن، عبدالمجید، و رضایی، مهروز (۱۴۰۲). تأثیرگذاری زغال زیستی برگ نخل و تفاله لیموترش بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی یک خاک لوم شنی. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*. ۳(۱)، ۶۹-۸۳. doi:10.22098/mmws.2022.11264.1111

References

Albiach, R., Canet, R., Pomares, F., & Ingelmo, F. (2001). Organic matter components and aggregate stability after the application of different amendments to a horticultural soil. *Bio Resource Technology*, 76, 125-129. doi: 10.1016/s0960-8524(00)00090-0

Annabi, M., Houot, M.S., Francou, C., Le Villio-Poitrenau, M., & Le Bissonnais, Y. (2006). Improvement of aggregate stability after urban compost addition in a silty soil. In: E. Kraft et al.(ed.), *Biological Waste Management, From Local to Global, Proceedings of the International Conference*. doi:10.2136/SSSAJ2006.0161

Afzalnia, S., & Karami, A. (2018). Effect of conservation tillage on soil properties and corn yield in the corn-wheat rotation. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 49(1), 129-

سپاسگزاری

از همکاری و مساعدت مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور در ایجاد و نگهداری پایلوت کرت دائم و بخش آزمایشگاه برای همکاری‌های انجام شده تقدیر و تشکر می‌نماییم.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش وجود ندارند.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج لازم در متن مقاله ارائه شده است. اگر غیر از این موارد اطلاعاتی مورد نیاز باشد از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول و کسب اجازه از معاون پژوهشی مؤسسه تحقیقات خاک و آب در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

محمدرضا امداد: مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماري، تدوین مقاله؛ آرش تافته: مدل‌سازی نفوذ، حل معادلات و همکاری در تدوین مقاله؛ سید علی غفاری‌نژاد: پیاده‌سازی تیمارهای کودی در کرت‌های دائم و اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک.

منابع

ابراهیمی‌پاک، نیازعلی، امیدواری، شهرام، و عبدی، صمد (۱۴۰۲). تأثیر کود آلی و سطوح نیتروژن بر برخی صفات رشدی گیاه در تناوب گندم-ذرت. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*. ۳(۳)، ۱۰۸-۱۱۹. doi:10.22098/mmws.2022.11540.1139

137. doi: 10.22059/ijbse.2017.243058.664995. [In Persian]

Abtahi, A. (2000). Agricultural culture and natural resources (including definitions and Persian equivalents of scientific terms). 3th Edition, Tehran University Publications. 276 pages. [In Persian]

Ardalan, M.M., & Savaghebi Firozabadi, Gh. (2006). Nutrition of fruit trees (translation). Publications of Jihad Publishing House. 223 pages. [In Persian]

Barber, S.A. (1984). Soil Nutrient Bioavailability. John Wily and Sons Publication. New York.

Bronick, C.J., & Lal, R. (2005). Manuring and rotation effects on soil organic carbon concentration for different aggregate size fractions on tow soils in northeastern Ohio. USA, *Soil Tillage Research*. 81, 239-252. doi:10.1016/j.still.2004.09.011

- Balali, M.R., Rezai, H., & Moshiri, F. (2011). Fertility status of the country's soils and the need to improve its capacity to provide services to agricultural products, the comprehensive program of soil fertility and plant nutrition. Soil and Water Research Institute. 17-48. [In Persian]
- Celik, I., Ortas, I., & Kilic, S., (2004). Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a chromoxerert soil. *Soil and Tillage Research*. 78(1), 59-67. doi: /10.1016 /j. still .2004.02.012
- Dawish, O.H., Persaud, N., & Martens D.C. (1995). Effect of long-term application of animal manure on physical properties of three soils. *Plant Soil*. 176, 289-295. doi:10.1007/BF00011793
- Dorado, J., Zancada, M.C., Almendros, G., & Lopez-Fando, C. (2003). Changes in soil properties and humic substances after long-term amendments with manure and crop residues in dryland farming system. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 166, 31-38. doi:10.1002/jpln.200390009
- Emadi Baladehi, S.M., Sadeghzadeh, F., Bahmanyar, M.A., & Jalili, B. (2022). The effect of cow manure compost enriched with iron and zinc metal scraps on the available iron and zinc concentrations of calcareous soils with different textures. *Water and Soil Management and Modelling*, 3(3), 212-224. doi: 10.22098/mmws.2022.11886.1185. [In Persian]
- Ebrahimipak, N., Omidvari, S., & Abdi, S. (2023). Effect of organic fertilizer and nitrogen levels on plant growth characteristics in Wheat-Corn rotation. *Water and Soil Management and Modelling*, 3(3), 108-119. doi: 10.22098/mmws.2022.11540.1139. [In Persian]
- Hudson, B.D. (1994). Soil organic-matter and available water capacity. *Journal of Soil and Water Conservation*, 49(2), 189-194. <https://www.jswnonline.org/content/49/2/189>
- Kemper, W., & Rosenau, R. (1986). Aggregate stability and size distribution methods of soil analysis. *Physical and Mineralogical Methods*. WI: 425-460. doi:10.2136/sssabookser5.1.2ed.c17
- Lal, R., Stewart, B.A. Eds. (2012). Soil water and agronomic productivity (advances in soil science). CRC Press, Taylor & Francis Group. New York. pp. 427-454. doi:10.1201/b12214
- Mapa R.B., & De Silva, A. (1994). Effect of organic matter on available water in noncalci brown soils. *Sri Lankan Journal of Agricultural Science*, 31, 82-93. doi: 10.1097/00010694-200502000-00002
- Murphy, B. (2015). Key soil functional properties affected by soil organic matter. *Earth Environmental Science*, 25, 1-5. doi:10.1088/1755-315/25/1/012008
- Mirzashahi, K., & Saadat, S. (2010). Effect of Organic Amendments on Canola Yield and Some Soil Properties in the North of Khuzestan. *Iranian Journal of Soil Research*, 24(1), 21-29. doi: 10.22092/ijsr.2010.126526. [In Persian]
- Rawls, W.J., Pachepsky, Y.A., Ritchie, J.C., Sobecki, T.M., & Bloodworth, H. (2003). Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*, 116 (1-2), 61-76. doi:10.1016/S0016-7061(03)00094-6
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., & Deneff, K. (2004). A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research*, 79, 7-31. doi:10.1016/j.still.2004.03.008
- Samavat, S. (2006). Report on organic matter in the country's soils. Soil and Water Research Institute. 61 pages. [In Persian]
- Stevenson, F.G. (1994). Humus Chemistry. John Wiley and Sons Publication. New York.
- Tejada, M., Gonzalez, J.L., Garcia-Martinez, A.M. & Parrado, J. (2008). Application of a green manure and green manure composted with beet vinasse on soil restoration: Effects on soil properties. *Bio Resource Technology*, 99, 4949-4957. doi: 10.1016 /j. biortech .2007.09. 026
- Thampan, PK. (1995). Perspectives on organic agriculture. *Peekay Tree Crops Development Foundation*, Cochin, Pp 1-38.
- USDA Natural Resources Conservation Services (1996). Soil quality indicators: Organic matter. Soil Quality Information Sheet.
- Yekzaban, A., Moosavi, A.A., Sameni, A., & Rezaei, M. (2023). Effect of palm leaf and lemon peel biochar on some physical and mechanical properties of a sandy loam soil. *Water and Soil Management and Modelling*, 3(1), 69-83. doi: 10.22098/mmws.2022.11264.1111. [In Persian]
- Zhang, H., Hartge, KH., & Ringe, H. (1997). Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compacity. *Soil Science Society of American Journal*. 61(1), 239-254. doi:10.2136/sssaj1997.03615995006100010033x