Research Paper

Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil Resources Conservation (WSRCJ)

Web site:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

Email:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 13
No. 2 (50)

Received:
2023-01-26

Accepted:
2023-09-24

Pages: 1-12

Short-Term Effects of Mushroom Substrate Compost on Penetration Resistance, Aggregate Size Distribution and Their Stability in Soils with Different Textures

Chiman Mahdizadeh[*1] and Hossein Bayat[2]

1) Ph. D. Student of Soil Science and Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
2) Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
*Corresponding author email: .bayat@basu.ac.ir

Abstract:

Background and objectives: Adding organic matter to the soil is an important method to solve the problem of compaction and consequently penetration resistance and fertility reduction. Mushroom substrate compost (MSC) has many properties that are required for growing organic crops and environmental management. Considering that the ingredients of mushroom substrate compost (including heavy soil, light soil, root soil, wheat straw and stubble, limestone and chicken manure) are different from other types of organic materials, it is necessary to carry out new research to investigate its effect on the physico-chemical properties of the soil. Although different textures behave differently but, the effect of MSC on the penetration resistance and aggregates size distribution in different soils, has not been studied, so far. Therefore, the purpose of this study was to investigate the short-term effect of MSC on the penetration resistance, mean weight diameter of aggregates, aggregates size distribution and organic matter content in three soil types.

Materials and methods: A factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. Factors consist Soil texture at three levels (sandy loam, loam and clay) was the first factor, and MSC at three levels (0, 3 and 6% W/W) was the second factor. After treatment of the soils, samples were then incubated for 120 days, and they were saturated and dried with urban water, regularly, once a month (saturated from above), during this period. At the end of the incubation period, disturbed and undisturbed soil samples were taken by 5 cm in diameter and 4.5 cm in height steal cylinders. The penetration resistance was measured by a micro-penetrometer on the core samples at the matric suction of 0.3 bar. Organic matter, mean weight diameter of aggregates and aggregates size distribution were measured.

Results: The results showed that the use of 6% level mushroom substrate compost in the sandy loam soil caused a decrease in the penetration resistance compared to the level of 3% and the control, due to the interaction between the compounds in the compost and the creation of stable soil aggregates. Also, the results showed that highest amount of organic matter and mean weight diameter of aggregates at 6% level of MSC was found in loam texture. Also, the order of the mass of aggregates in classes 4-8 and 2-4 mm, was in loam> sandy loam> clay, with significant differences between the textures. Application of MSC at 3 and 6% levels in the loam texture significantly increased the mass of aggregates of 0.25 – 0.5 and 0.5-1 mm in comparison with control. These aggregates did not show significant differences in sandy loam and clay soils at different application levels of the MSC. Organic matter, mean weight diameter of aggregates, mass of aggregates of 0.5 to 1, and 0.25 to 0.5 mm increased in the range of 27 to 66%, 16 to 34.5%, 4 to 117.5% and 4 to 170%, respectively, by increasing MSC application levels at different soils.

Conclusion: This compost is different from other modifiers and can have different effective mechanisms in different textures. The simultaneous addition of lime, clay and organic matter (through compost) to soils with different textures causes cation exchange reactions in the soil. Lime as one of the main additives that has the ability to improve the behavior of fine-grained soils has been noticed for a long time. In this way, in clay and loam soils, the interaction between lime and clay with organic matter plays an important role as soil accumulation factors by forming cationic bridges. The use of lime and gypsum directly improve soil resistance. Therefore, the use of mushroom substrate compost in agricultural lands is useful for improving the soil structure.

Key words: mean weight diameter of aggregates, mushroom substrate compost, penetration resistance, soil structure, soil texture

10.30495/WSRCJ.2023.71436.11348

مقاله پژوهشی

تأثیر کوتاه مدت کمپوست بستر قارچ بر مقاومت فروروی، توزیع اندازه خاکدانه‌ها و پایداری آن‌ها در خاک‌هایی با بافت متفاوت

چیمن مهدی زاده[1] و حسین بیات[2*]

۱) دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه بوعلی سینا همدان.
۲) دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه بوعلی سینا همدان.
* ایمیل نویسنده مسئول: h.bayat@basu.ac.ir

شاپا چاپی: ۷۴۸۰-۲۲۵۱
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۰-۲۲۵۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

پست الکترونیک:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

سال سیزدهم
شماره ۲ (۵۰)

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۱۱/۰۶

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۷/۰۲

صفحات: ۱۲-۱

چکیده:

سابقه و هدف: در میان روش‌های مختلفی که برای حل مشکلات تراکم و به تبع آن افزایش مقاومت فروروی و کاهش حاصلخیزی خاک اعمال می‌شود، افزودن مواد آلی به خاک از جایگاه مهمی برخوردار است. کمپوست بستر قارچ خوراکی دارای بسیاری از ویژگی‌های مورد نیاز برای افزایش محصولات کشاورزی ارگانیک و مدیریت محیط زیست است. با توجه به اینکه مواد تشکیل دهنده کمپوست بستر قارچ (شامل خاک سنگین، خاک سبک، خاک ریشه، کاه و کلش گندم، سنگ آهک و کود مرغی) متفاوت از انواع دیگر مواد آلی می‌باشد، انجام تحقیقات جدید برای بررسی تأثیر آن بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ضروری است. علی‌رغم اینکه بافت‌های مختلف رفتارهای متفاوتی دارند، با این وجود تأثیر کمپوست بستر قارچ بر مقاومت فروروی، جرم خاکدانه‌های ریز و درشت در بافت‌های متفاوت کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر کوتاه مدت کمپوست بستر قارچ بر مقاومت فروروی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، توزیع اندازه خاک‌دانه‌ها و ماده آلی در سه نوع خاک بود.

مواد و روش: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل بافت خاک در سه سطح (لوم-شنی، لوم و رسی) و درصد وزنی کمپوست بستر قارچ در سه سطح (صفر، ۳ و ۶ درصد) بود. تیمارها اعمال و نمونه‌ها به مدت ۱۲۰ روز در دوره انکوباسیون قرار گرفتند و در این دوره با آب شهری مرتب هر ماه ۱ بار اشباع (اشباع شدن از بالا) و خشک شدند تا شرایط مزرعه شبیه‌سازی گردد. در پایان دوره انکوباسیون، نمونه‌برداری از ظروف به صورت دست‌خورده و دست نخورده توسط سیلندرهای استیل با قطر ۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۴/۵ سانتی‌متر انجام شد. اندازه‌گیری مقاومت فروروی توسط فروسنج میکرو روی نمونه‌های دست‌نخورده در مکش ماتریک ۰/۳ بار صورت گرفت. ماده آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و توزیع اندازه خاکدانه‌ها اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که استفاده از سطح ۶ درصد کمپوست بستر قارچ در خاک لوم‌شنی به علت برهمکنش بین ترکیبات موجود در کمپوست و ایجاد خاکدانه‌های پایدار موجب کاهش مقاومت فروروی نسبت به سطح ۳ درصد و شاهد گردید. همچنین نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقدار تغییرات در ماده آلی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در سطح ۶ درصد، در بافت لوم مشاهده شد. هم‌چنین جرم خاکدانه‌ها در کلاس‌های ۸-۴ و ۴-۲ میلی‌متر، در خاک‌های مورد مطالعه به ترتیب لوم بیشتر از لوم‌شنی و لوم شنی بیشتر از رسی بود، که تفاوت همه آن‌ها معنی‌دار شد. به کار بردن کمپوست بستر قارچ در سطح ۳ و ۶ درصد در بافت لومی موجب افزایش معنی‌دار جرم خاکدانه‌های ۵-۰/۱ و ۰/۵-۰/۲۵ میلی‌متر نسبت به شاهد شد. خاکدانه‌های مذکور در خاک لوم‌شنی و رسی در سطوح مختلف تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند. با افزایش سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ در خاک‌های مختلف، ماده‌آلی در دامنه ۲۷ تا ۶۶ درصد، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در دامنه ۱۶تا ۳۴/۵ درصد، جرم خاکدانه‌های ۱-۰/۵ میلی‌متر در دامنه ۴ تا ۱۱۷/۵ درصد و جرم خاکدانه‌های ۰/۵-۰/۲۵ میلی‌متر در دامنه ۴ تا ۱۷۰ درصد افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: این کمپوست متفاوت از سایر اصلاح کننده‌ها می‌باشد و می‌تواند در بافت‌های متفاوت مکانیسم تاثیر متفاوتی داشته باشد. به این صورت که افزودن همزمان آهک، رس و ماده آلی (از طریق کمپوست) به خاک‌های با بافت متفاوت باعث بروز واکنش‌های تبادل کاتیونی در خاک می‌شود. آهک به عنوان یکی از اصلی‌ترین افزودنی‌هایی که توانایی بهبود رفتار خاک‌های ریزدانه را دارد از دیر باز مورد توجه قرار داشته است. به این صورت که در خاک رس و لوم برهمکنش بین آهک و رس با ماده‌آلی با تشکیل پل‌های کاتیونی نقش مهمی به عنوان عوامل تجمع خاک ایفا می‌کنند. در خاک لوم‌شنی به علت کم بودن ماده‌آلی و ساختمان ضعیف، استفاده از آهک و گچ مستقیما مقاومت خاک را بهبود می‌دهد. لذا استفاده از کمپوست بستر قارچ در اراضی کشاورزی جهت اصلاح ساختمان خاک مفید است.

کلید کلیدی: بافت خاک، ساختمان خاک، کمپوست بستر قارچ ، مقاومت فروروی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

10.30495/WSRCJ.2023.71436.11348

مقدمه

خاکدانه‌ها ذرات ثانویه خاک هستند که از به هم پیوستن ذرات خاک به وسیله مواد آلی و غیر آلی پدید می‌آیند، که این فرآیند تحت تأثیر برهمکنش عوامل مختلف می‌باشد (Khosravi and Moosavi, 2017). پایداری خاکدانه یک فرآیند کلیدی است که حفظ کربن آلی خاک و ترسیب کربن را تسهیل می‌کند (Abrar et al., 2020). تشکیل خاکدانه‌های پایدار بستگی زیادی به محتویات و پویایی مواد آلی، به ویژه در خاک‌های لومی یا رسی دارد، زیرا این خاک‌ها از نظر عوامل تثبیت کننده مواد معدنی فقیر هستند (Sayara et al., 2020).

ساختمان خاک نقش مهمی در فرآیندهای مختلف خاک دارد (Novotná and Badalíková, 2018). تأثیر ساختمان خاک و پایداری خاک برای کنترل فرآیندهایی مانند ذخیره کربن آلی، کاهش فرسایش، تهویه خاک و نگه‌داشت آب شناخته شده است (Rabot et al., 2018). پایداری خاکدانه‌ها به خصوصیات خاک‌ها از جمله بافت، کانی‌شناسی، ماده آلی خاک و هم‌چنین عملیات مدیریتی بستگی دارد (Carrizo et al., 2017; Almajmaie et al., 2015). مواد آلی خاک یک منبع کلیدی برای کشاورزی است. با این حال، محتوای آن در خاک‌های زیرکشت کم است و اغلب کاهش می‌یابد (Lipiec et al., 2021). کمبود مواد آلی در بیش-تر خاک‌های ایران موجب پدید آوردن مشکلاتی از قبیل ناپایداری ساختمان خاک، تراکم و در نتیجه تخریب اراضی شده است (Behnam et al., 2016).

کمپوست بستر قارچ مشتق شده از بستر قارچ خوراکی بوده و در زمین‌های کشاورزی به منظور بهبود بهره‌وری محصول و باروری خاک و افزایش موادآلی و عناصر عذایی خاک استفاده می‌شود (Lou et al, 2017a). کمپوست به‌علت داشتن مواد آلی فراوان می‌تواند بسیاری از ویژگی‌های خاک را تحت تأثیر قرار دهد. در واقع یکی از راهکارهای عملی برای رسیدن به کشاورزی پایدار استفاده از کمپوست بستر قارچ است. کمپوست بستر قارچ مخلوطی از مواد آلی پایدار می‌باشد و از اجزای مختلفی مانند کاه و کلش‌گندم، کود مرغی و سنگ‌گچ تشکیل شده است. این بستر غنی از عناصر عذایی، مانند نیتروژن، نیترات آمونیوم، سوپر فسفات، نمک‌های پتاسیم و غیره است (Lou et al, 2017b). این کمپوست می‌تواند در موارد مختلف کشاورزی و باغبانی به عنوان اصلاح‌کننده خاک، بسترکشت مجدد در تولید قارچ، بهبود دهنده ساختمان خاک، کاهش دهنده فشردگی خاک، بهبود دهنده شرایط زهکشی و افزایش دهنده فعالیت میکروبی، مورد استفاده قرار گیرد، اما مهم-ترین خصوصیت این کمپوست، مقدار موادآلی بالای آن است (Vahabi et al., 2011). بافت کمپوست شبیه هوموس است، بنابراین تشکیل خاکدانه‌های پایدار از طریق اتصال ذرات آلی هنگامی که کمپوست به خاک اضافه می‌شود، افزایش می‌یابد (Ozlu and Kumar, 2018).

این کمپوست دارای جرم مخصوص ظاهری کمی است که می‌تواند ساختار خاک را اصلاح کند (Suess and Curtis, 2006)، دارای مقادیر بالایی عناصر غذایی نسبت به کود حیوانی است که در کشاورزی ارگانیک برای بهبود نفوذ آب به خاک، ظرفیت نگه‌داشت آب و تهویه استفاده می‌شود (Medina et al., 2012). 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 (Onal and Topcuoglu, 2012).

افزودن کمپوست به خاک‌ها باعث بازسازی ساختمان آن‌ها می‌شود که انتقال گاز و آب را آزاد می‌کند، مدیریت خاک را برای شخم زدن یا کاشت تسهیل می‌کند و جوانه‌زنی و رشد ریشه را افزایش می‌دهد، همچنین خطر فرسایش و تبخیر آب را کاهش می‌دهد، رطوبت را تنظیم می‌کند و زهکشی را بهبود می‌بخشد (Adugna, 2016). علی‌رغم این‌که کمپوست بستر قارچ به‌علت داشتن ماده‌آلی و عناصر غذایی بالا می‌تواند بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و توزیع اندازه خاکدانه‌ها تأثیر داشته باشد و نحوه اثرآن در بافت‌های مختلف متفاوت باشد، با این وجود این موضوع کمترمورد بررسی قرار گرفته است، بنابراین هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر کمپوست بستر قارچ بر توزیع اندازه خاکدانه‌ها و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در بافت‌های مختلف بود.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های خاک با بافت‌های لوم‌شنی، از مرکز تحقیات کشاورزی واقع در کیلومتر ۵ جاده همدان-تهران، لومی از مزرعه عباس آباد دانشگاه بوعلی سینا-همدان و رسی، از یک مزرعه بایر در روستای کرک سفلی واقع در شهرستان نهاوند، تهیه گردید. نمونه برداری از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری سطح خاک انجام شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و پس از خشک شدن از الک ۴ میلی‌متر عبور داده شدند. کمپوست بستر قارچ (MSC)[1] از شرکت کوهستان الوند واقع در شهرک صنعتی همدان تهیه شد. ویژگی‌های خاک‌های مورد بررسی در جدول ۱و کمپوست بستر قارچ در جدول ۲ نشان داده شده است. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل بافت خاک در سه سطح (لوم شنی، لوم و رسی) و درصدهای وزنی کمپوست بستر قارچ در سه سطح (صفر، ۳ و ۶ درصد) بودند. ولی در برخی از ویژگی‌ها سطح ۳ درصد برای بهبود بسیاری از ویژگی‌ها می‌تواند کفایت کند.

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی

بافت خاک	pH	EC (dS/m)	OM (%)	(%)$CaCO_3$	MWD (mm)	CEC ($cmol_c\ kg^{-1}$)	ρ_b ($g\ cm^{-3}$)	TV (V/V ٪)
لوم‌شنی	۸/۰۳	۰/۰۳۷	۰/۶۷	۸/۰۰	۰/۳۷	۱۲/۰۰	۱/۳۹	۰/۴۳
لوم	۷/۰۲	۰/۰۴۰	۲/۳۵	۴/۰۰	۱/۳۳	۲۴/۷۵	۱/۰۶	۰/۵۳
رسی	۷/۶۲	۰/۰۳۶	۱/۲۶	۲۴/۰۰	۰/۵۰	۳۱/۹۴	۱/۰۸	۰/۵۴

pH: واکنش خاک، EC: هدایت الکتریکی، OM : ماده آلی، $CaCO_3$: کربنات کلسیم، MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، ρ_b: چگالی ظاهری و TV، تخلخل کل

جدول ۲. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کمپوست بستر قارچ

بافت خاک	pH	EC (dS/m)	OM (%)	(%)$CaCO_3$	MWD (mm)	CEC ($cmol_c\ kg^{-1}$)	ρ_b ($g\ cm^{-3}$)	TV (V/V ٪)
کمپوست بستر قارچ	۷/۲۵	۵/۵۶	۲۶/۸۶	۷/۸۳	-	۷۳/۵	۰/۵۳	۰/۷۹

pH: واکنش خاک، EC: هدایت الکتریکی، OM: ماده آلی، $CaCO_3$: کربنات کلسیم، MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، ρ_b: چگالی ظاهری و TV، تخلخل کل

تیمار خاک با کمپوست بستر قارچ

به منظور بررسی اثر سطوح مختلف کمپوست بستر قارچ و بافت‌های متفاوت خاک بر مقدار ماده آلی، توزیع اندازه خاکدانه‌ها و پایداری آن‌ها، کمپوست بستر قارچ با نسبت‌های صفر، ۳ و ۶ درصد وزنی با خاک هوا خشک شده ترکیب شد. کمپوست بستر قارچ قبل از مخلوط شدن با خاک، هواخشک شده و از الک ۴ میلی متری عبور داده شد. مخلوط خاک+ تیمار به دست آمده به داخل ظروف پلاستیکی به ابعاد ۲۱×۱۳×۱۲/۵ سانتی‌متر بر اساس چگالی مزرعه هر خاک (لوم‌شنی، لوم و رسی به ترتیب ۱/۳۹، ۱/۰۶ و ۱/۰۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود)، منتقل گردید. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۲۰ روز در دوره انکوباسیون قرار گرفتند و در این دوره با آب شهری مرتب هر یک ماه به تعداد ۴ بار تا پایان انکوباسیون اشباع (اشباع شدن از بالا) و خشک می‌شدند. بعد از گذر ۱۲۰ روز از شروع انکوباسیون، در دی ماه ۹۷ نمونه‌برداری از ظروف به صورت دست‌خورده و دست نخورده توسط سیلندرهای فلزی با قطر ۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۴/۵ سانتی‌متر انجام شد.

روش‌های اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها

مقاومت فروروی

اندازه‌گیری مقاومت فروروی توسط فروسنج میکرو[۲] روی نمونه‌های دست نخورده که در مکش ماتریک ۰/۳ بار به تعادل رسیده بودند، صورت گرفت. اندازه‌گیری نیرو در ۲ تکرار و در عمق‌های ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ سانتی‌متر انجام شد سپس میانگین ۱۲ نقطه اندازه‌گیری شده برای هر نمونه خاک به دست آمد (معادله ۱)

$$Faverage = \frac{\sum Fi}{12} \qquad (۱)$$

که در آن $F_{average}$: میانگین نیرو و Fi: مقدار نیرو در هر کدام از ۱۲ اندازه‌گیری می‌باشد. در نهایت مقاومت فروروی از رابطه زیر محاسبه شد (معادله ۲).

$$PR = \frac{Faverage}{Acone} \qquad (۲)$$

A_{core}: سطح قاعده مخروط فروسنج می‌باشد.

ماده‌آلی به روش اکسایش تر (Walkley and Black, 1934) بر روی ذرات کوچکتر از۰/۵ میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)[۳] از روش کمپر و روزنو (Kemper and Rosenau, 1986) که مشابه با روش Yoder (1936) است، استفاده شد. بدین منظور مقدار ۳۰ گرم (W_1) از خاکدانه‌های هوا خشک شده که از الک ۸ میلی‌متر عبور داده شده و بر روی الک ۴ میلی‌متر باقی مانده بودند، توزین گردید. سری الک‌ها شامل ۴، ۲، ۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر بودند. الک‌ها به مدت ۱۲/۵ دقیقه با شدت ۳۰ دور در دقیقه و دامنه ۲/۶ سانتی‌متر در داخل آب نوسان شدند. پس از ۱۲/۵ دقیقه نوسان کردن الک‌ها، محتویات هر الک درون یک پتری دیش شسته شد و در آون به مدت ۲۴ ساعت خشک شد، سپس وزن شدند (W_2). در مرحله بعد نمونه‌ها بر روی همان الک زیر آب شسته شدند. سپس شن مانده بر روی هر الک پس از خشک شدن در آون توزین گردید (W_3). وزن آب خاکدانه‌های هوا خشک شده با قرار دادن ۱۰ گرم خاک هوا خشک از هر نمونه تیمار به مدت ۲۴ ساعت در آون اندازه‌گیری شد و بر پایه $g\ g^{-1}$ محاسبه شد (W_c). در نهایت از فرمول زیر برای برآورد خاکدانه‌های پایدار در آب (WSA_i)[۴] استفاده شد.

$$WSA_i = \left(W_{2i} - W_{3i}\right) / \left(Ws - \Sigma W_{3i}\right) \qquad (۳)$$

$$Ws = \left(W_1 / \left(1 + W_c\right)\right) \qquad (۴)$$

Ws : جرم خشک کل خاکدانه‌ها. برای محاسبه MWD از فرمول زیر استفاده شد:

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} x_i WSA_i \qquad (۵)$$

i: شاخص کلاس اندازه و n: تعداد الک‌ها که در این آزمایش ۵ سری الک به کار رفت، x_i: میانگین قطر خاکدانه‌های به جا مانده بر روی هر الک که برابر میانگین قطر روزنه‌های الکی که خاکدانه‌ها بر روی آن به جا مانده و قطر روزنه الک بالایی آن بود.

تجزیه و تحلیل آماری

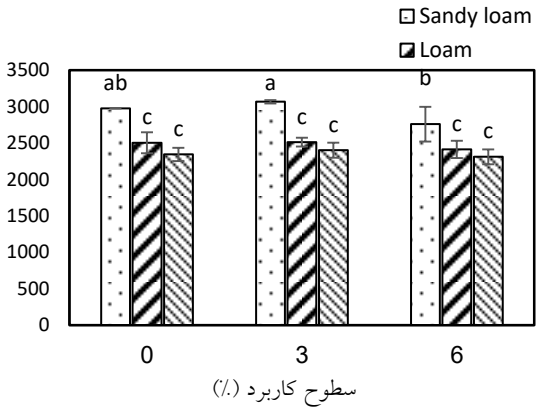
تجزیه و تحلیل آماری داده‌های نرمال شده با آزمون فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با نرم‌افزار SAS.9.4 انجام گردید. مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون دانکن در سطح ۵ درصد مورد تجزیه قرار گرفت. تست نرمال بودن خطای متغیرها با آزمون‌های کولموگروف- اسمیرنوف و شاپیرو- ویلک (Razali and Wah, 2011) انجام شد. در صورت نرمال نبودن، داده‌های پرت حذف و داده‌های غیر نرمال، تبدیل شدند. همگن بودن واریانس‌ها با آزمون لون بررسی شد (Zamani, 2011) برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزارExcel 2013 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی نوع بافت خاک و سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ (در سطح آماری ۱ درصد) بر مقاومت فروروی، پارامترهای میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و ماده‌آلی معنی‌دار بود. ولی اثر برهمکنش آن‌ها بر پارامترهای مذکور معنی دار نشد (جدول ۳).

ذکر این نکته در اینجا ضروری است که، نویسندگان به خوبی آگاهی دارند که، مقادیر اولیه ویژگی‌های خاک در سه خاک مورد مطالعه متفاوت بودند، بنابراین متفاوت بودن مقادیر این ویژگی‌ها پس از اعمال تیمارها هم امری قابل انتظار است. ولی هدف نویسندگان از انتخاب خاک‌های متفاوت در این مطالعه، بررسی چگونگی رفتار و واکنش این خاک‌ها در مقابل اضافه نمودن اصلاح‌کننده کمپوست بستر قارچ بود. به عبارت دیگر آیا کمپوست بستر قارچ در خاک‌های متفاوت تاثیر مشابه یا متفاوتی داشت.

نتایج مقایسه میانگین آزمون دانکن نشان داد که در خاک لوم‌شنی استفاده ۶ درصد از کمپوست بستر قارچ به ترتیب موجب کاهش ۹/۸ و ۸/۳ درصد مقاومت فروروی نسبت به سطح ۳ درصد (معنی‌دار) و شاهد (غیرمعنی‌دار) گردید، ولی بین سطح شاهد و ۳ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در خاک‌های دیگر استفاده از کمپوست بستر قارچ تاثیر معنی‌داری بر مقاومت فروروی نداشت (شکل ۱). با توجه به اینکه تاثیر ماده آلی بر مقاومت فروروی خاک به میزان رطوبت و نوع ماده آلی بستگی دارد و دارای مکانیسم پیچیده ای است (Shahgholi and janatkhah, 2018) و با افزایش رطوبت و ماده‌آلی مقاومت فروروی کاهش می‌یابد، مواد تشکیل دهنده موجود در کمپوست از طریق اتصال ذرات آلی و ایجاد خاکدانه-های بزرگتر به عنوان یک عامل سیمانی کننده در هماوری ذرات در خاک لوم‌شنی عمل کرده است و موجب کاهش مقاومت فروروی شده است.



شکل۱. برهمکنش بافت خاک و سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ بر مقاومت فروروی. وجود حروف مشابه بر روی هر یک از ستون‌ها نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد

جدول۳. نتایج تجزیه واریانس اثر بافت خاک و کمپوست بر مقاومت فروروی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، ماده‌آلی و جرم خاکدانه‌ها با قطرهای مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	مقاومت فروروی	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها	ماده‌آلی	4-8	2 – 4	1-2	0.5-1	0.25-0.5
		Mean Square							
بافت خاک	۲	۵۹۵۵۷۱**	۰/۹۵۹**	۳۰/۷۹۵**	۱/۲۸۲**	۱۱/۹۴**	۵/۲۲۷**	۱۰/۳۹۳**	۱۹/۱۵۷**
سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ	۲	۶۳۹۱۴**	۰/۰۴۰**	۵/۹۳۵**	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۰۴۲^{ns}	۰/۱۱۴^{ns}	۰/۸۴۹**	۰/۷۸۰**
بافت × سطح کاربرد کمپوست	۴	۱۲۴۲۲^{ns}	۰/۰۱۳^{ns}	۰/۲۴۵^{ns}	۰/۰۴۶^{ns}	۰/۰۵۰^{ns}	۰/۰۶۱^{ns}	۰/۷۸۰^{ns}	۰/۸۵۰^{ns}
خطای ازمایشی		۱۵۶۱۹	۰/۰۰۵	۰/۱۱۵	۰/۳۴۴	۰/۰۳۸	۰/۰۳۳	۰/۰۹۰	۰/۰۹۲
ضریب تغییرات		۴/۸	۱۵/۷	۱۰/۶	۲۳/۰	۱۸/۲	۷۵/۲	۱۷/۱	۱۳/۶

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد و ns بدون تفاوت معنی‌دار. تبدیل شده جرم خاکدانه‌های ۸-۴، ۴-۲ و ۲-۱ به ترتیب $Z_i=1/y_i+0.5$، $^{0.5}$(4-2) و Cos (1-2).

به نظر می‌رسد تاثیر ماده آلی بر افزایش مقاومت مکانیکی خاکدانه‌ها تا حدی مؤثر است و بعد از آن موجب کاهش مقاومت فروروی می‌شود. از طرفی ارتباط بین پایداری خاکدانه-ها و ماده‌آلی بستگی به عوامل پیوندی و ترشحات پلی‌ساکاریدی قارچ‌ها دارد. بافت کمپوست شبیه هوموس است، بنابراین تشکیل خاکدانه‌های پایدار از طریق اتصال ذرات آلی هنگامی که کمپوست به خاک اضافه می‌شود، افزایش می‌یابد (Ozlu and Kumar, 2018). Eghbal (2018) گزارش کرد که افزایش محتوای ماده آلی منجر به کاهش مقاومت فروروی می-شود. Stock and Downes (2008) گزارش کردند که مقاومت فروروی در خاک‌هایی با صفر تا ۱ درصد کربن آلی بالاترین مقدار و با افزایش کربن آلی به تدریج کاهش می‌یابد. Xin et al. (2016)گزارش کردند که اضافه کردن کود دامی به خاک موجب کاهش مقاومت فروروی می‌شود. Negiş et al. (2020) گزارش کردند که با به‌کاربردن سطوح ۰، ۲ و ۴ درصد از کمپوست و بایوچار، با افزایش سطوح کاربرد، مقاومت فروروی به ترتیب ۹/۷ و ۲۸/۳۴ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. Li et al. (2018) گزارش کردند که بایوچار و کمپوست به طور موثری می‌توانند مقاومت فروروی را کاهش دهند و این در تنوع گسترده‌ای از خاک‌های کشاورزی با بافت‌های مختلف نشان داده شده است.

مقایسه مقاومت فروروی خاک‌ها در سطوح مختلف کاربرد نشان داد که در هر سه سطح، مقدار مقاومت فروروی به ترتیب به طور معنی‌داری در بافت لوم‌شنی بیشتر از لوم و رسی بود (شکل ۱). با توجه به اینکه رطوبت، جرم مخصوص ظاهری و ساختمان خاک بر مقاومت فروروی تأثیر زیادی دارند (Byrd and Cassel, 1980)، با افزایش رطوبت، مقاومت فروروی کاهش و با افزایش جرم مخصوص ظاهری، مقاومت فروروی افزایش می‌یابد. بنابراین علت بیشتر بودن مقاومت فروروی در خاک لوم‌شنی نسبت به دو خاک دیگر را می‌توان به ضعیف بودن ساختمان خاک و بالا بودن جرم مخصوص ظاهری آن نسبت داد (جرم مخصوص ظاهری در خاک‌های لوم شنی، لوم و رسی به ترتیب برابر با ۱/۴۲، ۱/۰۵ و ۱/۱۱ گرم بر سانتی متر مکعب بود). Puppala et al. (1995) گزارش کردند که مقاومت فروروی در خاک‌های درشت بافت نسبت به خاک‌های ریز بافت بیش‌تر است. در سطح ۳ و ۶ درصد کمپوست بستر قارچ هم با توجه به اینکه تأثیر ماده‌آلی بر مقاومت خاک دارای مکانیسم پیچیده‌ای می‌باشد، از یک سو باعث کاهش مقاومت فروروی می‌شود به این صورت که افزودن کمپوست با کنار هم قرار دادن ذرات خاک (شن، سیلت و رس) موجب تشکیل خاکدانه‌های بزرگتر گردیده و در نتیجه تخلخل را افزایش، چگالی ظاهری را کاهش، ظرفیت نگداشت آب و نفوذ خاک اصلاح شده را بهبود می‌بخشد (Okunade et al., 2020). از طرف دیگر با افزایش پایداری خاکدانه‌ها و مقاومت مکانیکی موجب افزایش مقاومت فروروی می‌شود (Ekwue, 1990).

احتمالا برهمکنش ترکیبات موجود در کمپوست باعث شده است که پایداری و مقاومت مکانیکی در خاک لوم‌شنی نسبت به دو خاک دیگر افزایش یابد. به طور کلی روند تاثیر عوامل موجود در ترکیبات کمپوست در هر بافت متفاوت است و به مدت زمان بیشتری نیاز دارد تا تاثیر مثبت خود را بر پارامترهای فیزیکی و مکانیکی نشان دهد.

نتایج مقایسه میانگین آزمون دانکن نشان داد که مقادیر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های مورد مطالعه به‌طور معنی‌دار به ترتیب در لوم۱۹۶٪ نسبت به لوم‌شنی و ۲۴۵٪ نسبت به رسی بیشتر بود (شکل۲- a). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که مقدار ماده‌آلی، در خاک‌های مورد مطالعه به ترتیب در لوم بیشتر از رس و در رس هم بیشتر از لوم‌شنی بود بود که تفاوت همه آن‌ها معنی‌دار بود (شکل۲-c). مواد‌آلی نه تنها ساختمان خاک را بهبود می‌بخشند بلکه موجب بهبود هوادهی خاک نیز می‌شوند (Angin et al., 2013). احتمالا در این تحقیق علت بالا بودن ماده‌آلی در خاک لوم شرایط محیطی محل نمونه برداری باشد. چرا که نمونه خاک لوم از محلی که دارای درخت بود، برداشته شد که تجزیه برگ‌های درختان بر روی خاک لوم موجب افزایش ماده‌آلی در خاک لوم گردیده است. به‌طور طبیعی مقدار ماده آلی در خاک رسی بیشتر از یک خاک درشت بافت است. همچنین در خاک رسی احتمالا به علت کشت عدس هم بوده است که ماده‌آلی نسبت به لوم شنی افزایش یافته است.

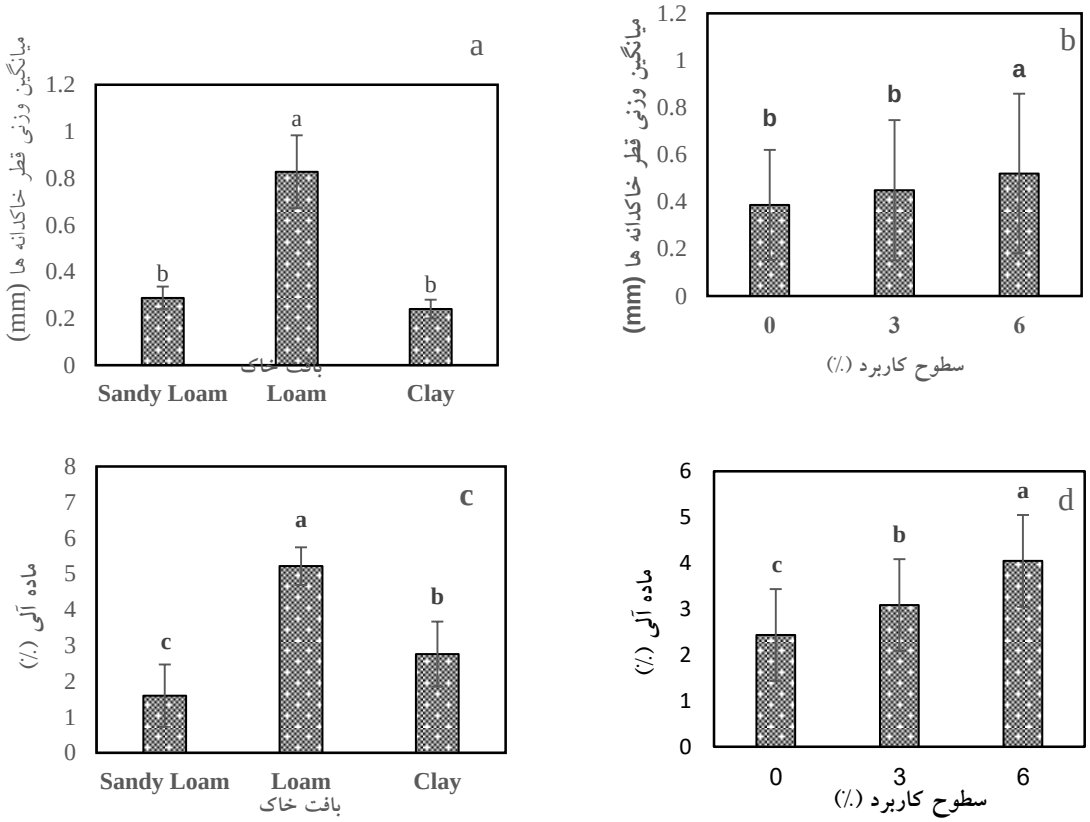
محل نمونه برداری در خاک لوم‌شنی فاقد کشت بود. بنابراین کمتر بودن ماده‌آلی در بافت لوم‌شنی قابل توجیه است. از طرفی احتمالا افزایش اکسیداسیون و احیا در دوره تر و خشک شدن خاک در بازه زمانی مشخص و اکسید شدن ماده-آلی توسط موجودات زنده موجب کاهش ماده‌آلی در خاک لوم شنی شده‌است. در همین راستا گزارش‌هایی مبنی بر افزایش معدنی شدن کربن‌آلی در نتیجه خشک و مرطوب شدن متوالی ارائه شده است (Wu and Brookes, 2005). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که مقادیر ماده‌آلی در سطح ۶ درصد ۳۳ ٪ بیش‌تر از سطح ۳ درصد و۰/۴۲ ٪ بیش‌تر از سطح شاهد بودند که تفاوت همه این سطوح معنی‌دار بود (شکل۲-d). میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در سطح ۶ درصد به‌طور معنی‌داری به ترتیب ۳۵/۵ و ۱۸/۱۸ درصد بیشتر از شاهد و سطح ۳ درصد بود، ولی بین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در سطح شاهد و ۳ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل۲-b). این روند طبیعی است چرا که در سطح صفر درصد تیماری به خاک اضافه نشده است که بر ماده‌آلی و MWD تاثیری داشته باشد. مشابه همین پژوهش Robin et al. (2018) به

بررسی تاثیر سه کودآلی ورمی‌کمپوست، کمپوست زباله و کود مایع بر خصوصیات خاک پرداختند. آنها گزارش کردند که با افزایش درصد موادآلی، کربن‌آلی کل خاک، تخلخل و پایداری ساختمان افزایش می‌یابد. بافت رسی دارای مقدار رس و ماده-آلی بیشتر نسبت به بافت لوم‌شنی بود و انتظار بر این بود که جرم خاکدانه‌های بافت رسی بیشتر از بافت لوم‌شنی شود، لیکن در این آزمایش میزان MWD در این دو بافت تفاوت معنی-داری را نشان نداد. علت آن احتمالا مربوط به دوره تر و خشک شدن خاک باشد. چرا که تر و خشک شدن متناوب بر اثر انقباض و انبساط در خاک رسی موجب ایجاد ترک‌های ریز در خاک شده و خاکدانه‌ها را خرد می‌کند و در نهایت موجب سست شدن خاکدانه‌ها و ناپایداری آن‌ها می‌شود (Utomo and Dexter, 1982). بنابراین MWD در خاک رسی کاهش یافته و برابر با مقدار آن در خاک لوم‌شنی شد.

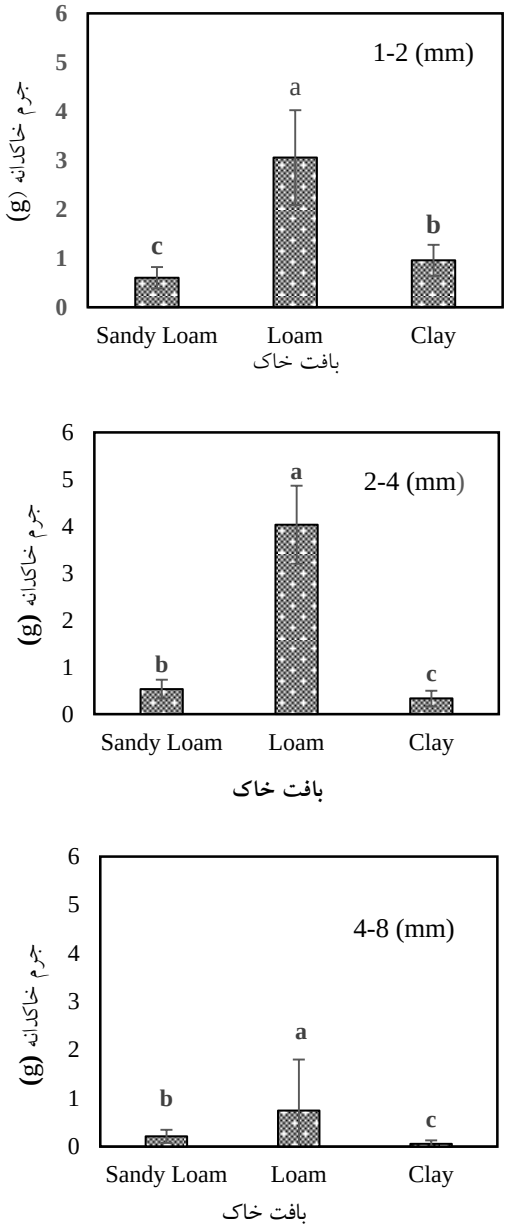
تاثیرکاربرد کمپوست بستر قارچ بر جرم خاکدانه‌ها با قطرهای مختلف

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی نوع بافت خاک در پایه یک درصد آماری بر جرم خاکدانه‌های ۸-۴، ۴-۲، ۲-۱، ۱-۰/۵ و ۰/۵-۰/۲۵ میلی‌متر معنی‌دار بود. اثر سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ و اثر متقابل دوگانه بافت خاک × سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ در پایه ی ۱ درصد آماری فقط بر جرم خاکدانه‌های ۱-۰/۵ و ۰/۵-۰/۲۵میلی‌متری معنی‌دار بود (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در خاک‌های مورد مطالعه جرم خاکدانه‌ها در کلاس‌های ۸-۴ و ۴-۲ میلی‌متر، به ترتیب در لوم (۶۵۶٪-۲۵۲٪) بیش‌تر از لوم‌شنی و در آن هم (۶۰٪ -۲۷۹٪) بیش‌تر از رسی بود. جرم خاکدانه‌های۲ -۱ میلی‌متر به ترتیب در لوم ۲۱۹٪ بیش‌تر از رس و آن هم ۵۹٪ بیش‌تر از لوم‌شنی بود، که تفاوت همه آن‌ها معنی‌دار بود.



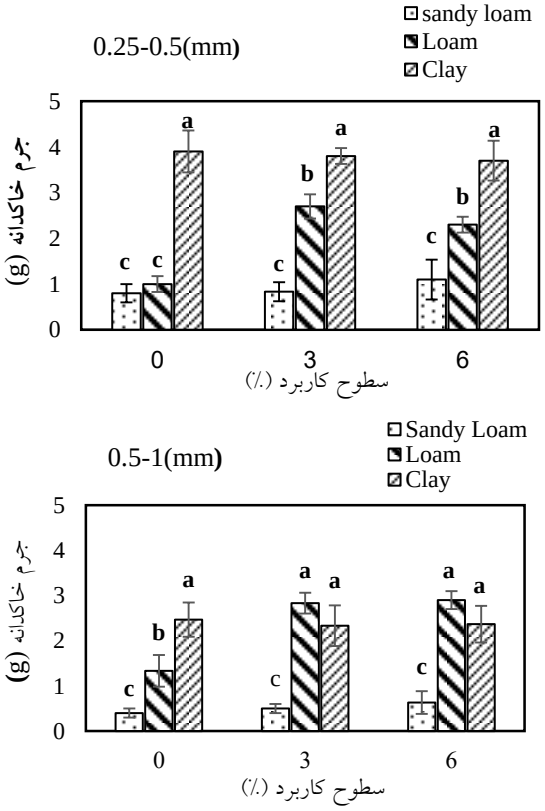
شکل۲. اثر بافت خاک (a و c) و سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ (b و d) به ترتیب بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و ماده‌آلی خاک. در هر شکل وجود حروف مشابه بر روی هر یک از ستون‌ها نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد.



شکل۳. اثر بافت خاک بر جرم خاکدانه‌ها با قطرهای مختلف. در هر شکل وجود حروف مشابه بر روی هر یک از ستون‌ها نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد.

علت زیاد بودن جرم خاکدانه‌های ۸-۴، ۴-۲ و ۲-۱ میلی-متر در خاک لوم را می‌توان به زیاد بودن ماده‌آلی در خاک لوم نسبت به خاک لوم‌شنی و رسی نسبت داد. چرا که ماده‌آلی با به هم پیوستن ذرات خاک موجب افزایش پایداری خاکدانه‌ها می-شود، به گونه‌ای که در خاک لوم نسبت به خاک رسی و لوم شنی خاکدانه‌های با اندازه درشت‌تر افزایش پیدا می‌کنند و در مقابل خاکدانه‌های ریز کاهش می‌یابند. از طرفی کمبود و کاهش ماده‌آلی سبب کاهش اندازه خاکدانه‌ها، تخریب آن‌ها و در نتیجه، حساسیت خاک به فرسایش می شود (Behnam et al., 2016). در همین راستا برخی پژوهشگران (Ghosh et al., 2018; He et al., 2018) گزارش کردند که افزودن مداوم کودهای آلی به شکل کمپوست، بقایای محصول و کاه و کلش به دلیل تجمع بیشتر کربن آلی در خاک در ارتباط با مواد معدنی در حال تجزیه، در مقایسه با خاکدانه‌های ریز، باعث ایجاد خاکدانه‌های درشت می‌شود.

بافت رسی علی‌رغم میزان رس و درصد ماده‌آلی بالا نسبت به بافت لوم‌شنی، از مقدار جرم خاکدانه‌های ۸-۴ و ۲-۴ میلی-متر کمتری برخوردار بود. همانگونه که قبلا اشاره شده، علت آن احتمالا مربوط به دوره تر و خشک شدن خاک باشد. افزایش جرم خاکدانه‌های ۲-۱ میلی‌متر در بافت رس نسبت به لوم‌شنی نیز شاهدی بر این علت است. یعنی انبساط و انقباض ناشی از تر و خشک شدن، باعث خرد شدن خاکدانه‌های درشت‌تر به خاکدانه‌های ریزتر شده است. البته در حالت کلی نیز درصد رس و ماده‌آلی زیاد در خاک رسی نسبت به لوم‌شنی باعث افزایش خاکدانه‌ها می‌گردد. Molina et al. (2001) تاثیر رس و ماده-آلی را بر پایداری خاکدانه‌ها به روش الک‌تر مثبت ارزیابی کردند. Canasveras et al. (2010) همبستگی مثبت معنی‌داری بین رس خاک با MWD به دست آوردند



شکل ۴. برهمکنش بافت خاک و سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ بر جرم خاکدانه‌ها با قطرهای ۱-۰/۵ و ۰/۵-۰/۲۵ میلی متر.
در هر شکل وجود حروف مشابه بر روی هر یک از ستون‌ها نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد.

نتایج مقایسه میانگین آزمون دانکن جرم خاکدانه‌های۱-۰/۵ و ۰/۵-۰/۲۵ میلی‌متر نشان داد که استفاده از کمپوست

بستر قارچ به ترتیب در سطح ۳ درصد (۲۸۰٪-۱۱۲٪) و ۶ درصد (۱۳۰٪-۱۱۷٪) در بافت لومی موجب افزایش معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) جرم این خاکدانه‌ها نسبت به شاهد شد. ولی بین جرم خاکدانه‌های مذکور در سطوح ۳ و ۶ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل۳). در خاک‌های دیگر استفاده از کمپوست بستر قارچ تأثیر معنی‌داری بر جرم خاکدانه‌های۱-۰/۵ و ۰/۵-۰/۲۵ میلی‌متر نداشت.

این نتیجه نشان می‌دهد که افزودن کمپوست بستر قارچ در خاک لوم با مقدار بیشتر ماده آلی نسبت به خاک‌های دیگر بر اندازه خاکدانه‌های ۱-۰/۲۵ مؤثر بوده، ولی در خاک‌های دیگر چنین تاثیری نداشته است. شاید یک برهمکنش مثبت بین مقدار رس و ماده آلی در این خاک موجب این تاثیر مثبت بوده است. چرا که ماده‌آلی مهمترین عامل برای تشخیص پایداری خاکدانه‌هاست (Aksakal et al., 2015). وجود ماده‌آلی در خاک با ایجاد لایه آبگریز اطراف خاکدانه‌ها سبب کاهش نفوذ آب در خاکدانه‌ها و افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شود (Zheng et al., 2021). یا شاید بیشتر بودن مقدار رس در خاک لوم نسبت به خاک لوم‌شنی و بیشتر بودن ماده‌آلی خود بافت لوم نسبت به بافت رسی موجب شده است که برهمکنش بین ماده-آلی و رس در بافت لوم نسبت به دو بافت دیگر بر اندازه خاکدانه‌های ۰/۵-۰/۲۵ و ۱-۰/۵ تاثیر گذار باشد.

مقایسه مقدار جرم خاکدانه‌های ۱-۰/۵ میلی‌متر خاک‌ها در سطوح مختلف کاربرد نشان داد که مقدار جرم خاکدانه‌های ۱-۰/۵ میلی‌متر در سطح شاهد به طور معنی‌دار در خاک رسی۸۵٪ بیش‌تر از لوم و ۵۱۶٪ بیش‌تر از لوم‌شنی بود. بود. مقدار جرم خاکدانه‌های ۱-۰/۵ میلی‌متر به طور معنی‌دار در سطح ۳ درصد در دامنه (۳۶۶-۴۶۶) درصد ودر سطح ٪۶ در دامنه (۲۷۳-۳۵۸) درصد به ترتیب در خاک لوم و رسی بیش‌تر از لوم‌شنی بود. ولی بافت لوم و رسی تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند.

مقایسه مقدار جرم خاکدانه‌های ۰/۵-۰/۲۵ میلی‌متر خاک-ها در سطوح مختلف کاربرد نشان داد که مقدار جرم خاکدانه-های ۰/۵-۰/۲۵ میلی‌متر در سطح شاهد به طور معنی‌دار در خاک رسی ۲۹۰٪ بیش‌تر از لوم و۳۸۷٪ بیش‌تر از لوم شنی بود. ولی بافت لوم و لوم‌شنی تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند. مقدار جرم خاکدانه‌های ۰/۵-۰/۲۵ میلی‌متر در خاک رسی به طور معنی‌دار در سطح ۳٪ نسبت به لوم ۵۰٪ و نسبت به لوم‌شنی ۳۵۷٪ ودر سطح ٪۶ خاک رسی نسبت به لوم ۶۱٪ و نسبت به لوم‌شنی ۲۳۶٪ بیش‌تر بود.

علت افزایش خاکدانه‌های ۱-۰/۵ و ۰/۵-۰/۲۵ میلی‌متر در خاک رسی نسبت به دو خاک دیگر احتمالا درصد رس زیاد در خاک رسی نسبت به دو خاک دیگر باشد. از طرفی خاک رسی جزء بافت‌های ریز است و خاکدانه‌هایی با قطر ۲۵/۵-۰/۰ میلی-متری هم جز خاکدانه‌های ریز می‌باشند. طبیعتا با این شرایط افزایش معنی‌دار جرم خاکدانه‌ها در خاک رسی نسبت به دو خاک دیگر قابل توجیه است. البته پایین بودن جرم خاکدانه‌های ۸-۴ و ۴-۲ میلی‌متر در خاک رسی نیز یکی دیگر از علت‌هاست که موجب گردیده جرم خاکدانه‌های ۱-۰/۵ و ۰/۵-۰/۲۵ میلی-متر در این بافت افزایش یابد. احتمالا بالا بودن کربنات کلسیم در خاک رسی نسبت به دو خاک دیگر هم یکی از علت‌ها است. چراکه کربنات کلسیم منجر به ایجاد پیوند بین ذرات رس با یکدیگر یا با موادآلی خواهد شد. متصل شدن ذرات رس به مواد-آلی سبب پوشش دادن مواد آلی شده و آنها را در برابر عوامل تجزیه کننده محافظت کرده و این عمل پایداری خاکدانه‌ها را نیز به دنبال دارد (Bronick and Lal, 2005). Mustafa et al. (2020) نیز گزارش کردند که خاکدانه‌های ریز و متوسط در قسمت‌هایی که تحت تیمار کود حیوانی است نسبت به کود NPK کاهش یافت، که علت احتمالی این امر را به افزایش ترشحات مخاطی کودآلی نسبت دادند که می‌تواند خاکدانه‌های کوچکتر را به یکدیگر متصل کرده و خاکدانه‌های درشت را تشکیل دهد و در نتیجه نسبت خاکدانه‌های کوچک را کاهش دهد. با توجه به مطالب ذکر شده، بیشتر بودن جرم خاکدانه-های ۱-۰/۵ میلی‌متر در بافت لوم نسبت به لوم‌شنی در سطح ۳ و ۶ درصد به علت درصد ماده‌آلی زیاد در بافت لوم نسبت به دو بافت دیگر می‌باشد. عدم تفاوت معنی‌داری بافت لوم و رسی در این سطوح هم شاید به علت بالا بودن ماده‌آلی در خاک لوم و بالا بودن درصد رس در بافت رسی باشد. با توجه به اینکه در بافت لوم جرم خاکدانه‌های درشت‌تر از ۱ میلی‌متر به‌طور معنی‌داری بیشتر از هر دو بافت دیگر بود، ولی افزودن کمپوست بستر قارچ موجب افزایش خاکدانه‌ها در اندازه ۱-۰/۵ میلی‌متر نیز گردید، درصورتی که در بافت‌های دیگر افزایش معنی‌داری ایجاد نکرد. Ternan et al. (1996) از رس به عنوان ملات بین ذرات خاک نام برده و به این نتیجه رسیدند که افزایش میزان رس، بهبود پایداری خاکدانه‌ها را به دنبال دارد. نتایج تحقیقات Karami et al. (2012) نشان دادند که با افزایش سطوح ماده آلی (کود آلی، کود گوسفندی، ساقه نی و ساقه برنج خورد شده)، MWD به طور معنی‌داری افزایش یافته است. Opara (2009) ابراز داشت که مقادیر قابل ملاحظه رس، اثر مطلوبی بر خاکدانه‌سازی و پایداری خاکدانه‌ها دارد.

نتیجه‌گیری

به طورکلی این پژوهش نشان داد که تیمار کمپوست بستر قارچ و سطوح مختلف آن سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک می‌گردد. بر طبق نتایج حاصله، استفاده ۶ درصد از کمپوست بستر قارچ در خاک لوم‌شنی به علت برهمکنش بین

ترکیبات موجود در کمپوست و ایجاد خاکدانه‌های پایدار موجب کاهش مقاومت فروروی نسبت به سطح ۳ درصد و شاهد گردید. هم‌چنین نتایج نشان داد که استفاده ۶ درصد از تیمار کمپوست بستر قارچ خوراکی از طریق افزایش مقدار ماده‌آلی خاک و آهک موجب افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در هر سه خاک - شد. به این صورت که کمپوست بستر قارچ باعث شده است که ذرات خاک توسط نوعی شبکه چسبنده تشکیل شده از ریسه های قارچ، پل‌های کاتیونی بین مواد آلی و رس به ذرات درشت تر تبدیل شوند و پایداری خاکدانه ها را افزایش دهند. کمپوست بستر قارچ خوراکی نسبت به سایر اصلاح کننده‌ها دارای ترکیبات متفاوت و مکانیسم اثر متفاوت در بافت‌های مختلف می‌باشد. به این صورت که افزودن آهک و رس (از طریق کمپوست) به خاک‌های با بافت متفاوت باعث بروز واکنش‌های تبادل کاتیونی در خاک می‌شود. تبادل کاتیونی بین آهک و خاک رس باعث بهبود خواص خمیری و خصوصیات تراکمی خاک می‌گردد. هم‌چنین برهمکنش آهک از طریق یون‌های کلسیم و رس با ماده‌آلی به دلیل تشکیل پل‌های کاتیونی بین ذرات خاک رس و ماده آلی خاک، نقش مهمی به عنوان عوامل تجمع خاک ایفا می‌کنند و موجب افزایش مقاومت خاک می-شوند. هم‌چنین استفاده از کمپوست بستر قارچ برای خاکدانه-های ۱-۰/۵ و ۰/۵-۰/۲۵ در خاک لوم و در سطح ۳ درصد موثرتر از سطوح و خاک‌های دیگر می‌باشد و در هر سطح به صورت مجزا خاک‌های لوم و رسی نسبت به خاک لوم‌شنی بیش‌تر تحت تاثیر کمپوست بستر قارچ قرار می‌گیرند. درنتیجه علی‌رغم تأثیر بیشتر ۶ درصد وزنی کمپوست بستر قارچ بر ساختمان خاک به‌علت تأثیر بهینه کاربرد ۳ درصد وزنی کمپوست بستر قارچ بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک جهت اصلاح ساختمان خاک، کاهش اثرات نامطلوب تراکم و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک این سطح به عنوان سطح بهینه توصیه می‌شود.

Reference:

Abrar, M. M., Xu, M., Shah, S. A. A., Aslam, M. W., Aziz, T., Mustafa, A., & Ma, X. (2020). Variations in the profile distribution and protection mechanisms of organic carbon under long-term fertilization in a Chinese Mollisol. Science of the Total Environment, 723, 138181.

Adugna, G. (2016). A review on impact of compost on soil properties, water use and crop productivity. Academic Research Journal of Agricultural Science and Research, 4(3), 93-104.

Aksakal, E. L., Sari, S., & Angin, I. (2015). Effects of vermicompost application on soil aggregation and certain physical properties. Land Degradation & Development, 27(4), 983-995.

Almajmaie, A., Hardie, M., Doyle, R., Birch, C., & Acuna, T. (2017). Influence of soil properties on the aggregate stability of cultivated sandy clay loams. Journal of Soils and Sediments, 17(3), 800-809.

Angin, I., Aksakal, E. L., Oztas, T., & Hanay, A. (2013). Effects of municipal solid waste compost (MSWC) application on certain physical properties of soils subjected to freeze–thaw. Soil and Tillage Research, 130, 58-61.

Behnam, H., Farrokhian Firouzi, A. & Moezzi, A. A. 2016. Effect of sugarcane bagasse biochar and compost on some soil mechanical properties. Journal of Water and Soil Conservation. 23:4. 235-250. (In Persian)

Bronick, C. J., & Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. Geoderma, 124(1-2), 3-22.

Byrd, C. W., & Cassel, D. K. (1980). The effect of sand content upon cone index and selected physical properties. Soil Science, 129(4), 197-204.

Cañasveras, J. C., Barrón, V., Del Campillo, M. C., Torrent, J., & Gómez, J. A. (2010). Estimation of aggregate stability indices in Mediterranean soils by diffuse reflectance spectroscopy. Geoderma, 158(1-2), 78-84.

Carrizo, M. E., Alesso, C. A., Cosentino, D., & Imhoff, S. (2015). Aggregation agents and structural stability in soils with different texture and organic carbon contents. Scientia Agricola, 72, 75-82.

Ekwue, E. I. (1990). Organic-matter effects on soil strength properties. Soil and Tillage Research, 16(3), 289-297. doi: 10.1016/0167-1987(90)90102-J

Ghosh, A., Bhattacharyya, R., Meena, M. C., Dwivedi, B. S., Singh, G., Agnihotri, R., and Sharma, C. 2018. Long-term fertilization effects on soil organic carbon sequestration in an Inceptisol. Soil and Tillage Research. 177: 134-144.

He, Y., Xu, C., Gu, F., Wang, Y., & Chen, J. (2018). Soil aggregate stability improves greatly in response to soil water dynamics under natural rains in long-term organic fertilization. Soil and Tillage Research, 184, 281-290.

Iqbal, I. (2018). Effect of sugarcane litter compost on soil compaction. International Journal of Agriculture System, 6(1), 35-44.

Karami, A., Homaee, M., Afzalinia, S., Ruhipour, H., & Basirat, S. (2012). Organic resource management: Impacts on soil aggregate stability and other soil physico-chemical properties. Agriculture, Ecosystems & Environment, 148, 22-28.

Kemper, W. D., & Rosenau, R. C. (1986). Aggregate stability and size distribution. In 'Methods of soil analysis, Part 1: Physical and mineralogical methods'.(Ed. A. Klute). Soil Science Society of America: Madison. Wisconsin, USA. 425–442.

Khosravi, A., & Moosavi, A. (2017). The effect of organic acids on wet and dry cycles on stability and size distribution of aggregates in a calcareous soil, Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences). 31(2), 264-277. (In Farsi).

Li Y, Hu S, Chen J, Müller K, Li Y, Fu W, Wang H. 2018. Effects of biochar application in forest ecosystems on soil properties and greenhouse gas emissionsa review. Journal of Soils and Sediments, 18(2): 546-563. doi:10.1007/s11368-017-1906-y

Lipiec, J., Usowicz, B., Kłopotek, J., Turski, M., & Frąc, M. (2021). Effects of Application of Recycled Chicken Manure and Spent Mushroom Substrate on Organic Matter, Acidity, and Hydraulic Properties of Sandy Soils. Materials, 14(14), 4036.

Lou, Z., Sun, Y., Bian, S., Baig, S. A., Hu, B., & Xu, X. (2017a). Nutrient conservation during spent mushroom compost application using spent mushroom substrate derived biochar. Chemosphere, 169, 23-31.

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

Medina, E., Paredes, C., Bustamante, M. A., Moral, R., & 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.

Molina, N. C., Caceres, M. R., & Pietroboni, A. M. (2001). Factors affecting aggregate stability and water dispersible clay of recently cultivated semiarid soils of Argentina. Arid Land Research and Management, 15(1), 77-87.

Mustafa, A., Minggang, X., Shah, S. A. A., Abrar, M. M., Nan, S., Baoren, W., & Núñez-Delgado, A. (2020). Soil aggregation and soil aggregate stability regulate organic carbon and nitrogen storage in a red soil of southern China. Journal of Environmental Management, 270, 110894.

Negiş, H., Şeker, C., Gümüş, I., Manirakiza, N., & Mücevher, O. (2020). Effects of biochar and compost applications on penetration resistance and physical quality of a sandy clay loam soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 51(1), 38-44. doi: 10.1080/00103624.2019.1695819

Novotná, J., & Badalíková, B. (2018). The soil structure changes under varying compost dosage. Agriculture/Pol'nohospodárstvo, 64(4), 143–148.

Okunade, D. A., Raphael, O. D., Adesina, A. M. & Adekalu, K. O. (2020). "Compaction characteristics and penetration resistance of poultry-litter-amended agricultural soils." In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 445(1), 012025.

Onal, M., & Topcuoglu, K. B. (2012). The effect of spent mushroom compost on the dry matter and mineral content of pepper (Piper anagram) grown in greenhouse. Available online at: konal@akdeniz.edu.tr.

Opara, C. C. (2009). Soil microaggregates stability under different land use types in southeastern Nigeria. Catena, 79(2), 103-112.

Ozlu, E., & Kumar, S. (2018). Response of soil organic carbon, pH, electrical conductivity, and water stable aggregates to long-term annual manure and inorganic fertilizer. Soil Science Society of America Journal, 82(5), 1243-1251

Puppala, A. J, Acar, Y.B, &Tumay, M. T. (1995). Cone penetration in very weakly cemented sand . Journal of Geotechnical Engineering. 121(8): 589-600. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9410(1995)121:8(589)

Rabot, E., Wiesmeier, M., Schlüter, S., & Vogel, H. J. (2018). Soil structure as an indicator of soil functions: A review. Geoderma, 314, 122-137.

Razali, N. M., & Wah, Y. B. (2011). Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. Journal of statistical modeling and analytics, 2(1), 21-33.

Robin, P., Morel, C., Vial, F., Landrain, B., Toudic, A., Li, Y., & Akkal-Corfini, N. (2018). Effect of three types of exogenous organic carbon on soil organic matter and physical properties of a sandy technosol. Sustainability, 10(4), 1146.

Sayara, T., Basheer-Salimia, R., Hawamde, F., & Sánchez, A. (2020). Recycling of organic wastes through composting: Process performance and compost application in agriculture. Agronomy, 10(11), 1838.

Shahgholi, G., & JANATKHAH, J. (2018). Investigation of the effects of organic matter application on soil compaction. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 28(2), 175-185. doi: 10.29133/yyutbd.348036

Stock, O., & Downes, N. K. (2008). Effects of additions of organic matter on the penetration resistance of glacial till for the entire water tension range. Soil and Tillage Research, 99(2), 191-201. doi: 10.1016/j.still.2008.02.002

Suess, A., & Curtis, J. (2006). Report: Value-added strategies for spent mushroom substrate in BC, prepared for British Columbia Mushroom Industry, 101 pp. Br. Columbia Minist. Agric. Lands., British Columbia, Canada.

Ternan, J. L., Elmes, A., Williams, A. G., & Hartley, R. (1996). Aggregate stability of soils in central Spain and the role of land management. Earth Surface Processes and Landforms, 21(2), 181-193.

Utomo, W. H., & Dexter, A. R. (1982). Changes in soil aggregate water stability induced by wetting and drying cycles in non-saturated soil. Journal of Soil Science, 33(4), 623-637.

Vahabi, F., Mir Seyed Hosseini, H.,&Sharafa. (2011). Investigation of the effect of spent mushroom compost (smc) application on some chemical properties. Bushehr. Journal of Soil Research and Soil and Water Sciences. 25: 1. 49-60. (In Persian).

Walkley, A., & Black, I. A. (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(1), 29-38.

Wu, J., & Brookes, P. C. (2005). The proportional mineralisation of microbial biomass and organic matter caused by air-drying and rewetting of a grassland soil. Soil Biology and Biochemistry, 37(3), 507-515.

Xin, X., Zhang, J., Zhu, A., & Zhang, C. (2016). Effects of long-term (23 years) mineral fertilizer and compost application on physical properties of fluvo-aquic soil in the North China Plain. Soil and Tillage Research, 156, 166-172.

Yoder, R. E. (1936). A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. 1. Agronomy J. 28: 5. 337-351.

Zamani, P. 2011. Statistical designs in animal sciences. Bu-Ali Sina Univ. Press, 668p. (In Persian)

Zheng, J. Y., Zhao, J. S., Shi, Z. H., & Wang, L. (2021). Soil aggregates are key factors that regulate erosion-related carbon loss in citrus orchards of southern China: Bare land vs. grass-covered land. Agriculture, Ecosystems & Environment, 309, 107254.

یادداشت ها

[1] *Mushroom substrate compost*
[2] *Micro-penetrometer*
[3] *Mean weight diameter*
[4] *Water stable aggregates*