

## اثر برهم‌کنش مواد آلی و کرم‌خاکی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دو خاک در شرایط تراکمی متفاوت

شکراله اصغری\*<sup>۱</sup> و مهشید نجفیان<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۱/۲۰)

### چکیده

اگرچه پژوهش‌های مختلف نشان داده است که کرم‌های خاکی از طریق فعالیت تغذیه‌ای، ترشح کست و حفاری می‌توانند بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تأثیر بگذارند ولی اثر برهم‌کنش مواد آلی و کرم‌خاکی بر خاکدانه‌سازی در شرایط تراکمی و بافتی متفاوت به‌خوبی شناخته نشده است. در این پژوهش اثر برهم‌کنش کرم‌خاکی / اسیسینیا فتیدا / و مواد آلی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دو خاک ریز و درشت بافت منتخب از دشت مغان واقع در شمال غرب ایران در دو سطح تراکمی بررسی گردید. آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۲۴ تیمار و ۳ تکرار در شرایط اتاق رشد و به‌مدت ۶ ماه اجرا شد. فاکتور اول کلاس بافت خاک در دو سطح لوم رسی و لوم شنی، فاکتور دوم مواد آلی در سه سطح بدون مواد آلی، کاه و کلش گندم و کود گاوی پوسیده هر دو به مقدار ۲۰ گرم بر کیلوگرم خاک، فاکتور سوم دو سطح فشردگی خاک شامل ۱/۳ و ۱/۴۵ g cm<sup>-3</sup> و فاکتور چهارم حضور یا عدم حضور کرم‌خاکی بود. نتایج نشان داد هر دو ماده آلی مصرفی به‌طور متوسط باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی (۶۹ درصد)، کلسیم محلول (۱۱/۷۵ درصد) و میانگین وزنی قطر (MWD) خاکدانه‌ها (۷۸ درصد) و کاهش معنی‌دار چگالی ظاهری (۳/۶ درصد) در هر دو کلاس بافت خاک گردید. همچنین بیشترین اثرات مثبت بر ساختمان خاک در تیمار کاه و کلش با بافت لوم رسی و حضور کرم‌خاکی به‌دلیل مقادیر زیاد کربن، کلسیم، منیزیم و رس دیده شد. تلقیح خاک با کرم‌خاکی در تیمار فشردگی ۱/۴۵ g cm<sup>-3</sup> موجب افزایش معنی‌دار MWD به‌میزان ۱۰ و ۱۶/۶ درصد و تخلخل کل به‌میزان ۵/۶ و ۶ درصد به‌ترتیب در کلاس بافت لوم شنی و لوم رسی گردید. نتایج نشان داد که استفاده از کرم‌خاکی می‌تواند موجب ارتقای کیفیت فیزیکی خاک‌های ریز و درشت بافت متراکم با افزودن مقدار کم مواد آلی گردد.

واژه‌های کلیدی: اسیسینیا فتیدا، بافت خاک، پایداری خاکدانه، تراکم، کربن آلی

۱- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه محقق اردبیلی (مکانبه کننده)

۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه محقق اردبیلی

پست الکترونیک: [shasghari@uma.ac.ir](mailto:shasghari@uma.ac.ir)

## مقدمه

پژوهش‌ها نشان داده است که جانداران خاکریز نقش مهمی در پایداری ساختمان خاک ایفا می‌کنند. در این راستا عوامل زیستی مانند کرم‌های خاکی از طریق حفر دالان، عبور دادن مواد آلی و خاک از روده و ترشح کلسیت باعث پیوستگی ذرات اولیه و در نتیجه تشکیل خاکدانه‌ها می‌شوند (Marinissen, 1995). کرم‌های خاکی به دلیل توانایی در ایجاد و اصلاح ساختمان خاک، مهندسين خاک نامیده می‌شوند (Johnson-Maynard *et al.*, 2007). فعالیت کرم‌های خاکی و ترکیب بقایای گیاهی موجود در خاک بر پایداری خاکدانه‌ها تأثیر گذار هستند (Al-Maliki & Scullion, 2013). اثر کرم‌های خاکی بر خاکدانه‌سازی بستگی به گونه‌ی کرم خاکی، کیفیت لاشبرگ و مواد مادری خاک دارد (Zhang & Schrader, 1993; Winsome & McColl, 1998). خاک‌های کشاورزی فعالیت کرم‌های خاکی تا حد زیادی بستگی به عملیات مدیریتی مانند خاک‌ورزی، افزودن بقایای گیاهی به خاک، افزودن کود و استفاده از آفت‌کش دارد (Marinissen, 1995). فراوان‌ترین جمعیت کرم‌های خاکی، متعلق به خانواده لومبریسیده‌ها هستند. از این خانواده می‌توان به کرم خاکی/یسینیا فتیدا اشاره نمود که به رنگ قهوه‌ای مایل به قرمز بوده و جهت تولید کود ورمی کمپوست از آن استفاده می‌شود (Edwards, 2004). تراکم خاک عامل مهمی در تخریب زمین‌های کشاورزی است که عمدتاً در اثر استفاده از ماشین‌های سنگین ایجاد می‌شود. در خاک متراکم‌شده، شرایط رشد برای ریشه‌ی گیاهان و جانداران زنده‌ی خاک نامطلوب شده و نفوذ آب و تبادلات گازی کاهش می‌یابد (Jury & Horton, 2004). خاک‌ورزی شدید سبب تراکم خاک شده و جمعیت کرم‌های خاکی را نیز کاهش می‌دهد؛ البته کرم‌های خاکی از طریق فعالیت دالان‌سازی و ترشح مواد دفعی، با تراکم خاک تا حدودی مقابله می‌کنند (Langmaack *et al.*, 1999).

باک و همکاران (Buck *et al.*, 2000) تأثیر بقایای گیاهی (جو، چغندر قند و ذرت) و تراکم خاک ( $1$  و  $1/5 \text{ g/cm}^3$ ) را بر ویژگی‌های مواد دفعی کرم خاکی در اتاق رشد بررسی کردند. نتایج نشان داد که کرم خاکی در حضور بقایای جو دارای بیشترین تأثیر مثبت بر درصد خاکدانه‌های پایدار در آب بود در حالی که بین مواد تولیدی کرم خاکی در دو

سطح تراکمی تفاوت معنی‌داری دیده نشد. لارینک و همکاران (Larink *et al.*, 2001) در بررسی احیای خاک‌های متراکم از طریق فعالیت کرم خاکی به این نتیجه دست یافتند که فضولات کرم خاکی به علت داشتن چگالی ظاهری کمتر باعث کاهش تراکم خاک‌های متراکم می‌گردد. چائویی و همکاران (Chaoui *et al.*, 2003) با بررسی اثر ورمی کمپوست تولیدشده از کود گاوی، برگ‌ها و بقایای مواد غذایی بر ویژگی‌های خاک نشان دادند که مواد دفعی کرم خاکی با بهبود ساختمان خاک باعث افزایش تخلخل و به دنبال آن کاهش تراکم خاک گردید. نتایج پولمن و همکاران (Pulleman *et al.*, 2005) نشان دادند که کرم‌های خاکی می‌توانند مستقیماً شروع به تشکیل خاکدانه‌های ریز نمایند که به حفاظت فیزیکی مواد آلی خاک در برابر حمله‌ی میکروبی تأثیر می‌گذارد. کوک و همکاران (Coqa *et al.*, 2007) در بررسی اثر فعالیت کرم خاکی بر خاکدانه‌ها و پویایی مواد آلی نشان دادند که افزودن بقایا به‌ویژه کاه و کلش برنج، در حضور کرم خاکی باعث افزایش خاکدانه‌سازی شد. تجادا و همکاران (Tejada *et al.*, 2009) گزارش کردند که کاربرد ورمی کمپوست /یسینیا فتیدا در منطقه سویل اسپانیا از طریق افزایش تخلخل کل و کاهش  $12/2$  درصدی چگالی ظاهری منجر به کاهش تراکم خاک گردید. نتایج پژوهش گلخانه‌ای موسوی و رئیسی (Moosavi & Raiesi, 2011) نشان داد که میانگین وزنی قطر ( $MWD^1$ ) خاکدانه‌ها از  $0/331$  در تیمار شاهد به  $0/651$  میلی‌متر در تیمار بقایای یونجه+کرم خاکی به طور معنی‌دار افزایش یافت. همچنین میانگین میزان کلسیم و منیزیم محلول در خاک تلقیح شده با کرم خاکی در مقایسه با خاک بدون کرم خاکی به طور متوسط و به ترتیب  $67$  و  $43$  درصد افزایش یافت. پژوهش‌های مزرعه‌ای  $3$  تا  $24$  ماهه کاپووایز و همکاران (Capowiez *et al.*, 2012) روی یک خاک لوم سیلتی در شمال فرانسه نشان داد که کرم‌های خاکی از طریق بهبود تخلخل و نفوذ آب به خاک نقش مهمی در اصلاح خاک متراکم دارند ولی احیای کامل خاک متراکم توسط کرم‌های خاکی فرآیندی کند و زمان‌بر می‌باشد. نتایج پژوهش یک ساله صفادوست و همکاران (Safadoust *et al.*, 2012)

1- Mean weight diameter

به ترتیب  $12/5^{\circ}C$  و  $462\text{ mm}$  است. نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن از الک  $4/75\text{ mm}$  عبور داده شد. برخی ویژگی‌های خاک شامل رسانایی الکتریکی ( $EC_e$ ) در عصاره گل اشباع به وسیله رسانایی سنج الکتریکی، pH در خمیر گل اشباع به وسیله pH متر، کلاس بافت به روش هیدرومتری ۴ قرائته و کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون با اسید مطابق روش‌های استاندارد و معمول (Page, 1985; Klute, 1986) اندازه‌گیری شد. کود گاوی پوسیده و کاه و کلش گندم نیز به مقدار لازم از دشت مغان تهیه و نسبت کربن به نیتروژن در آن‌ها اندازه‌گیری و محاسبه گردید. کود گاوی و کاه و کلش در دمای  $40^{\circ}C$  و به مدت ۲۴ ساعت در آون خشک گردید (Al-Maliki & Scullion, 2013) و به منظور یکنواختی از الک  $2\text{ mm}$  عبور داده شد.

#### انکوباسیون تیمارها

برای اجرای آزمایش گلخانه‌ای از لوله‌های پلیکا (PVC) به قطر و ارتفاع به ترتیب ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر استفاده شد. ته لوله‌های مذکور با استفاده از سیم فلزی و یک ورقه فلزی مشبک مسدود گردید سپس با خاک هوا خشک در دو سطح بدون فشردگی ( $1/3\text{ g/cm}^3$ ) و فشردگی ( $1/45\text{ g/cm}^3$ ) پس از اعمال تیمارهای مواد آلی پرگردید. مقادیر چگالی ظاهری در تیمارهای فشردگی بر مبنای آزمون سعی و خطا انتخاب گردید. به این ترتیب که در تیمار بدون فشردگی، خاک داخل لوله پس از پرکردن، چندین مرتبه تکان داده شد و چگالی ظاهری آن  $1/3\text{ g/cm}^3$  به دست آمد. بالاترین سطح فشردگی که امکان ایجاد آن در لوله‌ها میسر بود  $1/45\text{ g/cm}^3$  تعیین گردید، برای این منظور خاک داخل لوله با استفاده از یک وزنه آهنی به صورت لایه به لایه متراکم گردید. مقادیر مصرفی مواد آلی شامل صفر (شاهد)، ۲۰ گرم جرم آون خشک کود گاوی و کاه و کلش در هر کیلوگرم خاک بودند. به هر ستون خاک، ۱۰ عدد کرم خاکی بالغ /یسینیا فتیدا/ با اندازه متوسط (تهیه شده از یک کارگاه تولید ورمی کمپوست در شهرستان اردبیل) از طریق سوراخ‌های ایجاد شده در خاک اضافه گردید. نگهداری ستون‌های خاک در یک اتاق رشد تاریک با دمای ۱۵ تا  $20^{\circ}C$  و به مدت ۶ ماه انجام گردید. در طول این مدت، رطوبت خاک لوله‌ها در محدوده ۵۰ تا ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه

بیان گر آن است که اعمال توأمان تیمارهای فیزیکی (دوره‌های تر و خشک و انجماد و ذوب) و بیولوژیکی (فعالیت کرم خاکی) سبب کاهش چگالی ظاهری به میزان ۹ و ۷ درصد به ترتیب در خاک‌های لوم رسی و لوم شنی منتخب از استان همدان نسبت به خاک‌های دست-خورده گردید. المالکی و شولین (Al-Maliki & Scullion, 2013) گزارش نمودند که تیمار کرم خاکی + یونجه خشک باعث افزایش معنی‌دار پایداری خاکدانه‌ها گردید در حالی که اثر کرم خاکی + کاه بر پایداری خاکدانه‌ها نتوانست معنی‌دار شود لذا آن‌ها به این نتیجه رسیدند که میزان تأثیر مثبت کرم خاکی بر ساختمان خاک تابع نوع و میزان مصرفی بقایا نیز است. تنوع، فراوانی و میزان فعالیت کرم‌های خاکی به عوامل متعددی همچون دما، رطوبت، pH، حضور و تنوع مواد آلی، وضعیت زهکشی، بافت و تراکم خاک بستگی دارد (Moosavi & Raeisi, 2011).

اگرچه آثار مثبت کرم خاکی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک اثبات گردیده است ولی بر اساس دانسته‌های در دسترس، اثر برهم‌کنش فعالیت کرم خاکی و نوع مواد آلی افزوده شده به خاک بر کاهش محدودیت تراکم در خاک‌های ریز و درشت بافت مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد مقایسه قرار نگرفته است. اهداف اصلی پژوهش حاضر بررسی اثر برهم‌کنش مواد آلی در دسترس منطقه (کاه و کلش گندم و کود گاوی) و کرم خاکی /یسینیا فتیدا/ بر برخی پارامترهای پایداری ساختمان شامل کربن آلی، کلسیم، MWD خاکدانه‌ها و چگالی ظاهری در دو خاک ریز و درشت بافت منتخب از اراضی دشت مغان به عنوان قطب کشاورزی شمال غرب ایران، در شرایط تراکم خاک بود.

#### مواد و روش‌ها

##### آماده‌سازی خاک، مواد آلی و کرم خاکی

دو خاک با کلاس بافت متفاوت به مقدار لازم از زمین‌های بایر دشت مغان برداشته شد. دشت مغان در شمال غرب ایران به مختصات جغرافیایی  $30^{\circ}$  و  $47^{\circ}$  شرقی  $39^{\circ}$  تا  $20'$  و  $39^{\circ}$  شمالی واقع گردیده است و ارتفاع آن از سطح دریاهای آزاد به طور متوسط ۴۵ متر می‌باشد. اقلیم منطقه مورد مطالعه نیمه‌خشک بوده و میانگین دما و بارندگی سالیانه آن

هر الک (g)؛ s: جرم شن‌های مانده بر روی هر الک (g)؛ S: جرم تمامی شن‌ها (g)؛  $m_d$ : جرم کل خاک آون خشک برداشته شده (g) است.

### تجزیه و تحلیل آماری

آزمون نرمال بودن داده‌ها و تعیین همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های خاک با نرم‌افزار SPSS انجام شد. پس از اطمینان از نرمال بودن توزیع داده‌ها، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین ویژگی‌ها با آزمون دانکن و با استفاده از نرم‌افزار MSTATC و رسم اشکال با Excel انجام گرفت.

### نتایج و بحث

جدول ۱ نشان می‌دهد که هر دو خاک مورد آزمایش دارای کربن آلی ناچیز، EC کم (غیر شور)، pH نسبتاً قلیایی و از نظر میزان کربنات کلسیم، آهکی هستند. همچنین بر اساس سیستم طبقه‌بندی امریکایی، یکی از خاک‌ها دارای کلاس بافت لوم رسی با ۲۱/۵ درصد شن و ۳۴/۲ درصد رس و دیگری دارای کلاس بافت لوم شنی با ۶۹/۵ درصد شن و ۸/۵ درصد رس می‌باشد. میانگین نسبت کربن به نیتروژن ( $\frac{C}{N}$ ) در کاه و کلش گندم و کودگاو به‌کار رفته در این پژوهش به ترتیب برابر ۴۸ و ۲۷ تعیین گردید که بیان‌گر بالابودن میزان کربن آلی در کاه و کلش (۱۹/۲ درصد) در مقایسه با کود گاو (۱۵/۱ درصد) است. تجزیه واریانس ویژگی‌های خاک اندازه‌گیری شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که اثرات برهم‌کنش ماده آلی (A)، بافت (B)، فشردگی (C) و کرم خاکی (D) ( $A \times B \times C \times D$ ) بر کربن آلی و کلسیم ( $P < 0.05$ )، اثرات برهم‌کنش  $B \times C \times D$  بر میانگین وزنی قطر (MWD) خاکدانه‌ها ( $P < 0.05$ )، چگالی حقیقی ( $P < 0.01$ ) و تخلخل کل ( $P < 0.05$ )، اثرات برهم‌کنش  $A \times B \times C$  بر MWD، اثرات برهم‌کنش  $B \times D$  بر منیزیم و چگالی ظاهری، اثرات برهم‌کنش  $A \times D$  بر منیزیم ( $P < 0.05$ ) و اثرات اصلی مواد آلی و فشردگی خاک بر چگالی ظاهری ( $P < 0.01$ ) معنی‌دار گردید. ضریب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده نیز در جدول ۳ آورده شده است.

وبه روش وزنی نگاه‌داری شد. آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۲۴ تیمار و ۳ تکرار اجرا گردید. فاکتور اول مواد آلی در سه سطح صفر (بدون مواد آلی)، ۲۰ گرم کاه و کلش گندم و کودگاو پوسیده بر هر کیلوگرم خاک، فاکتور دوم کلاس بافت خاک در دو سطح لوم رسی ولوم شنی، فاکتور سوم دو سطح فشردگی خاک شامل  $1/3$  و  $1/45 \text{ g/cm}^3$  و فاکتور چهارم حضور یا عدم حضور کرم خاکی بود. در مجموع ۷۲ ستون خاک آماده گردید. در پایان دوره انکوباسیون، اندازه‌گیری ویژگی‌ها در نمونه‌های خاک دست‌نخورده (با استفاده از استوانه‌های استیل به قطر و ارتفاع ۵ cm) و دست‌خورده (با حداقل دست‌خوردگی) برداشته شده از عمق ۱۰ تا ۱۵ cm لوله‌ها انجام شد.

### اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک

کربن آلی به روش والکلی-بلاک (Nelson & Sommers, 1982)، کلسیم و منیزیم محلول به روش کمپلکسومتری و تیتراژ کردن با EDTA در حضور معرف‌های اریوکرم بلک تی و مورکساید (Page, 1985)، چگالی ظاهری خاک به روش استوانه دست‌نخورده (Blake & Hartge, 1986a)، چگالی حقیقی به روش پیکنومتر (Blake & Hartge, 1986b) و تخلخل کل با استفاده از مقادیر چگالی ظاهری و حقیقی خاک تعیین گردید.

میانگین وزنی قطر (MWD) در خاکدانه‌های کوچک‌تر از ۴/۷۵ mm به روش الک تر (Kemper & Rosenau, 1986) اندازه‌گیری شد. در این روش از سری الک‌ها با قطر ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۱۰۶ mm استفاده گردید. مقدار ۵۰ گرم خاک هوا-خشک بر روی الک اول ریخته شده و آنگاه اجازه داده شد سری الک‌ها به مدت ۵ دقیقه در داخل سطل آب با شدت ۳۰ نوسان در هر دقیقه و به ارتفاع ۳۷ میلی‌متر به صورت بالا و پایین حرکت کنند. آنگاه جرم آون خشک خاکدانه‌ها بر روی هر الک پس از تصحیح جرم شن از طریق شستشوی خاکدانه‌ها در زیر شیر آب محاسبه شده و به کمک رابطه زیر MWD بر حسب mm تعیین گردید:

$$MWD = \sum_{i=1}^n \left( \frac{R-s}{m_d-s} \right)_i \bar{d}_i \quad (1)$$

که در آن،  $\bar{d}_i$ : میانگین قطر سوراخ دو الک متوالی در کلاس  $i$  ام (mm)؛ R: جرم خاکدانه‌های آون خشک بر روی

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه  
Table 1: Some physical and chemical properties of the studied soils

CaCO <sub>3</sub> (%)	EC <sub>e</sub> (dS/m)	pH	کربن آلی Organic Carbon (%)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	کلاس بافت Textural class
11.25	0.659	7.67	0.53	34.2	44.3	21.5	لوم رسی Clay loam
8	0.286	7.55	0.17	8.5	22	69.5	لوم شنی Sandy loam

pH: اسیدیته در گل اشباع (Saturated paste)، EC<sub>e</sub>: رسانایی الکتریکی در عصاره گل اشباع (Saturated extract).

جدول ۲- تجزیه واریانس (مقادیر F) ویژگی‌های خاک اندازه‌گیری شده  
Table 2: Analyses of variance (F values) for the measured soil properties

n	D <sub>p</sub>	D <sub>b</sub>	MWD	Mg	Ca	OC	D <sub>f</sub>	SOV
3.11 <sup>ns</sup>	2.7 <sup>ns</sup>	46.5 <sup>**</sup>	235.6 <sup>**</sup>	7.46 <sup>**</sup>	51.44 <sup>**</sup>	52.7 <sup>**</sup>	2	ماده آلی (A) (Organic matter)
4.34 <sup>*</sup>	19.95 <sup>**</sup>	21.1 <sup>**</sup>	709.5 <sup>**</sup>	85.1 <sup>**</sup>	400.2 <sup>**</sup>	162.6 <sup>**</sup>	1	بافت (B) (Texture)
188.5 <sup>**</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	864.01 <sup>**</sup>	3.36 <sup>ns</sup>	0.42 <sup>ns</sup>	0.42 <sup>ns</sup>	0.45 <sup>ns</sup>	1	فشرده‌گی (C) (Compaction)
51 <sup>**</sup>	0.14 <sup>ns</sup>	265.1 <sup>**</sup>	25.97 <sup>**</sup>	56.1 <sup>**</sup>	553.8 <sup>**</sup>	11.4 <sup>**</sup>	1	کرم خاکی (D) (Earthworm)
0.04 <sup>ns</sup>	1.13 <sup>ns</sup>	2.68 <sup>ns</sup>	7.57 <sup>**</sup>	0.44 <sup>ns</sup>	4.7 <sup>*</sup>	0.76 <sup>ns</sup>	2	A×B
1.75 <sup>ns</sup>	2.77 <sup>ns</sup>	0.155 <sup>ns</sup>	11.42 <sup>**</sup>	1.21 <sup>ns</sup>	2.87 <sup>ns</sup>	18.3 <sup>**</sup>	2	A×C
0.11 <sup>ns</sup>	1 <sup>ns</sup>	2.91 <sup>ns</sup>	1.84 <sup>ns</sup>	4.37 <sup>*</sup>	3.73 <sup>*</sup>	0.99 <sup>ns</sup>	2	A×D
1.28 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	3.05 <sup>ns</sup>	1.12 <sup>ns</sup>	0.48 <sup>ns</sup>	12.5 <sup>**</sup>	4.8 <sup>*</sup>	1	B×C
3.49 <sup>ns</sup>	0.12 <sup>ns</sup>	9.36 <sup>**</sup>	0.98 <sup>ns</sup>	11.6 <sup>**</sup>	0.06 <sup>ns</sup>	8.86 <sup>**</sup>	1	B×D
2.92 <sup>ns</sup>	1.12 <sup>ns</sup>	2.02 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	2.7 <sup>ns</sup>	6.8 <sup>*</sup>	2.47 <sup>ns</sup>	1	C×D
1.28 <sup>ns</sup>	2.86 <sup>ns</sup>	1.19 <sup>ns</sup>	9.21 <sup>**</sup>	0.39 <sup>ns</sup>	1.66 <sup>ns</sup>	5.65 <sup>**</sup>	2	A×B×C
0.30 <sup>ns</sup>	0.51 <sup>ns</sup>	0.57 <sup>ns</sup>	0.39 <sup>ns</sup>	1.31 <sup>ns</sup>	1.54 <sup>ns</sup>	0.90 <sup>ns</sup>	2	A×B×D
0.56 <sup>ns</sup>	0.76 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	0.15 <sup>ns</sup>	0.51 <sup>ns</sup>	0.31 <sup>ns</sup>	8.02 <sup>**</sup>	2	A×C×D
4.69 <sup>*</sup>	4.11 <sup>*</sup>	0.43 <sup>ns</sup>	6.31 <sup>*</sup>	0.92 <sup>ns</sup>	11.55 <sup>**</sup>	1.39 <sup>ns</sup>	1	B×C×D
1.85 <sup>ns</sup>	1.35 <sup>ns</sup>	0.25 <sup>ns</sup>	0.57 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	3.79 <sup>*</sup>	4.09 <sup>*</sup>	2	A×B×C×D
-	-	-	-	-	-	-	48	خطا (Error)
4.11	3.27	1.64	9.38	15.01	4.33	13.44	-	CV (%)

\*\*معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، \*معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ns: غیر معنی‌دار. SOV: منابع تغییر، D<sub>f</sub>: درجه آزادی، CV: ضریب تغییرات، OC: کربن آلی، Ca: کلسیم، Mg: منیزیم، MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، D<sub>b</sub>: چگالی ظاهری، D<sub>p</sub>: چگالی حقیقی، n: تخلخل کل

\*\* : Significant at P<0.01, \* : Significant at P<0.05, ns: Not significant, SOV: Source of Variations, D<sub>f</sub>: Degree of freedom, CV: Coefficient of variations, OC: Organic carbon, Ca: Calcium, Mg: Magnesium, MWD: Mean weight diameter of aggregates, D<sub>b</sub>: Bulk density, D<sub>p</sub>: Particle density, n: Total porosity

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون (r) بین ویژگی‌های خاک اندازه‌گیری شده (n=72)  
Table 3: Pearson correlation (r) among the measured soil properties (n=72)

	OC	MWD	Ca	Mg	D <sub>p</sub>	D <sub>b</sub>
OC	1					
MWD	0.511 <sup>**</sup>	1				
Ca	0.594 <sup>**</sup>	0.558 <sup>**</sup>	1			
Mg	0.356 <sup>**</sup>	0.529 <sup>**</sup>	0.769 <sup>**</sup>	1		
D <sub>p</sub>	0.111	0.152	0.172	0.233 <sup>*</sup>	1	
D <sub>b</sub>	-0.092	-0.010	-0.324 <sup>**</sup>	-0.127	0.146	1
n	0.153	0.093	0.394 <sup>**</sup>	0.241 <sup>*</sup>	0.375 <sup>**</sup>	-0.862 <sup>**</sup>

توصیف علائم و پارامترها در زیر جدول ۲ آورده شده است.

(Description of symbols and parameters are available under Table 2)

**کربن آلی، کلسیم و منیزیم محلول**

با توجه به جدول ۴ مشاهده می‌گردد که میانگین کربن آلی خاک در تیمارهای شاهد لوم رسی ۰/۹۳۷ درصد بیشتر از لوم شنی ۰/۶۷ درصد می‌باشد که دلیل آن را می‌توان به بالابودن مقدار کربن آلی خاک لوم رسی در مقایسه با لوم شنی جدول ۱ نسبت داد. افزودن کاه و کلش و کود گاوی به ترتیب و به طور متوسط باعث افزایش کربن آلی به میزان ۶۴/۳ و ۷۱/۷۷ درصد در کلاس بافت لوم شنی و ۷۱/۸۲ و ۶۸/۶۲ درصد در کلاس بافت لوم رسی گردید (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها در جدول ۴ بیان‌گر آن است که حضور کرم خاکی تنها در تیمارهای کاه و کلش (فشرده‌گی  $1/45 \text{g/cm}^3$ ) و کود گاوی (فشرده‌گی  $1/3 \text{g/cm}^3$ ) و تنها در کلاس بافت لوم رسی توانست به‌طور معنی‌دار باعث افزایش کربن آلی گردد. افزایش فشرده‌گی از  $1/3$  به  $1/45 \text{g/cm}^3$  در شرایط عدم حضور کرم خاکی و کلاس بافت لوم رسی باعث کاهش معنی‌دار کربن آلی در حضور کاه و کلش به‌ترتیب از  $1/755$  به  $1/17$  درصد و افزایش معنی‌دار آن در حضور کود گاوی از  $1/144$  به  $1/69$  درصد گردید ولی در بقیه تیمارها اختلاف معنی‌دار بین دو سطح فشرده‌گی دیده نشد (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد افزایش فشرده‌گی از طریق کاهش حجم منافذ باعث کاهش احتمالی شدت تجزیه هوازوی و هوموسی‌شدن کاه و کلش در طی ۶ ماه انکوباسیون در خاک ریز بافت گردیده است در عین حال فشرده‌گی احتمالاً سبب کاهش تجزیه کود گاوی پوسیده و حفظ ماده آلی آن در خاک لوم رسی گردیده است. کرم‌های خاکی در تیمارهای حاوی مواد آلی فعالیت بهتری نشان می‌دهند چون کربن آلی برای تغذیه آن‌ها ضروری و حیاتی می‌باشد (Leroy *et al.*, 2008). پولمن و همکاران (Pulleman *et al.*, 2005) نشان دادند که مقدار کربن آلی خاک‌های دارای کرم خاکی، ۴۴ درصد بیشتر از خاک‌های بدون کرم خاکی بود. هندریکس و همکاران (Hendrix *et al.*, 1992) همبستگی معنی‌داری را بین فراوانی کرم خاکی و مقدار کربن آلی خاک گزارش کردند. مقایسه میانگین‌ها جدول ۴ نشان می‌دهد که میانگین میزان کلسیم محلول در خاک لوم رسی شاهد  $\text{meq/l}$

۴/۱۶۵ در حدود ۱۹ درصد بیشتر از خاک لوم شنی شاهد  $\text{meq/l}$  ۳/۴۹ است که دلیل این افزایش را می‌توان به بالابودن میزان  $\text{CaCO}_3$  در خاک لوم رسی نسبت به لوم شنی جدول ۱ و نیز ساختار کانی‌های غالب سازنده این دو نوع خاک نسبت داد. همچنین به‌کارگیری کاه و کلش و کود گاوی به ترتیب باعث افزایش مقدار میانگین کلسیم محلول به میزان  $10/32$  و  $7/73$  درصد در کلاس بافت لوم شنی و  $16/45$  و  $11/64$  درصد در کلاس بافت لوم رسی نسبت به شاهد گردید. با توجه به جدول ۳ مشاهده می‌گردد که بین کلسیم و کربن آلی خاک همبستگی مثبت و معنی‌دار ( $r=0.594^{**}$ ) وجود دارد، بنابراین افزودن ماده آلی احتمالاً از طریق کاهش pH منجر به افزایش حلالیت کلسیم در هر دو خاک قلیایی و آهکی مورد آزمایش گردیده است (Sparks, 2003). مقایسه میانگین‌ها جدول ۴ بیان‌گر آن است که مقدار کلسیم محلول در خاک تلقیح‌شده با کرم خاکی شاید به سبب ترشح کلسیت و یا کاهش pH خاک در اثر فعالیت کرم خاکی در مقایسه با خاک بدون کرم خاکی در کلیه تیمارها به‌طور معنی‌دار افزایش یافته است. بیشترین مقدار کلسیم  $5/7 \text{ meq/l}$  در خاک لوم رسی دارای کاه و کلش و کرم خاکی با سطح پایین فشرده‌گی و کمترین آن  $2/9 \text{ meq/l}$  در خاک لوم شنی بدون ماده آلی اصلاح‌کننده (شاهد) و کرم خاکی با سطح بالای فشرده‌گی به‌دست آمد. افزایش فشرده‌گی از  $1/3$  به  $1/45 \text{g/cm}^3$  در حضور کرم خاکی و کلاس بافت لوم رسی باعث کاهش معنی‌دار کلسیم در تیمار شاهد از  $4/93$  به  $4/37 \text{ meq/l}$  و در تیمار کاه و کلش از  $5/7$  به  $5/1 \text{ meq/l}$  گردید. دلیل احتمالی این یافته، شاید کاهش مواد دفعی کرم خاکی به‌دلیل کاهش تخلخل تهویه‌ای در اثر نیروی تراکم به‌ویژه در شرایط خاک ریزبافت مورد آزمایش باشد. موسوی و رئیسی (Moosavi & Raeisi, 2011) گزارش کردند میزان کلسیم طی آزمایش انکوباسیون در خاک تلقیح‌شده با کرم خاکی در مقایسه با خاک بدون کرم خاکی به طور متوسط ۶۷ درصد افزایش یافت.

جدول ۴- اثرات برهم کنش ماده آلی، بافت، فشردگی و کرم خاکی بر کربن آلی (OC) و کلسیم محلول (Ca) خاک  
 Table 4: Interactive effects of organic matter, texture, compaction and earthworm on soil organic carbon (OC) and soluble calcium (Ca).

کلسیم Ca (meq/l)	کربن آلی OC (%)	کرم خاکی Earthworm	فشردگی Compaction(g/cm <sup>3</sup> )	بافت Texture	ماده آلی Organic matter
2.96hi	0.598h	No خیر	1.3		
4.03d	0.676gh	Yes بله		لوم شنی	
2.90i	0.741fgh	No خیر	1.45	Sandy loam	شاهد
4.10d	0.663gh	Yes بله			Control
3.73e	0.936efg	No خیر	1.3		
4.93b	0.949efg	Yes بله		لوم رسی	
3.63ef	0.929efg	No خیر	1.45	Clay loam	
4.37cd	0.935efg	Yes بله			
3.36fg	1.105cde	No خیر	1.3		
4.10d	1.274cd	Yes بله		لوم شنی	
3.46efg	0.988def	No خیر	1.45	Sandy loam	کاه و کلش
4.50c	1.014def	Yes بله			Straw
4.36cd	1.755a	No خیر	1.3		
5.70a	1.82a	Yes بله		لوم رسی	
4.23cd	1.17cde	No خیر	1.45	Clay loam	
5.10b	1.69a	Yes بله			
3.23gh	1.12cde	No خیر	1.3		
4.23cd	1.24cde	Yes بله		لوم شنی	
3.40fg	1.235cde	No خیر	1.45	Sandy loam	
4.19cd	1.014def	Yes بله			کود گاوی
4.26cd	1.144cde	No خیر	1.3		Cow manure
5.10b	1.85a	Yes بله		لوم رسی	
4.36cd	1.69a	No خیر	1.45	Clay loam	
4.90b	1.625ab	Yes بله			

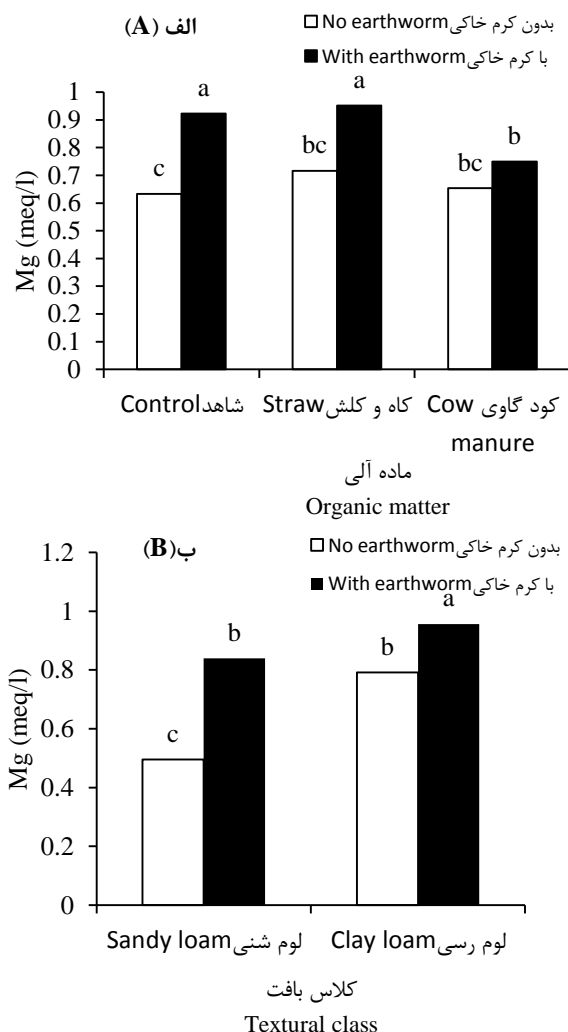
Dissimilar letters indicate significant difference at  $P < 0.05$  (Duncan's test).

است (Sparks, 2003). البته کود گاوی تنها در حضور کرم خاکی توانست باعث افزایش معنی دار منیزیم خاک در مقایسه با تیمار شاهد بدون کرم خاکی گردد. وجود همبستگی مثبت و معنی دار ( $r=0.356^{**}$ ) بین کربن آلی و منیزیم خاک مؤید این نتایج است (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها در شکل ۱ ب بیانگر آن است که در هر دو کلاس بافت خاک، تلقیح کرم خاکی باعث افزایش معنی دار منیزیم محلول گردیده است. همچنین بین دو کلاس بافت خاک از نظر مقدار منیزیم اختلاف معنی دار وجود دارد، به طوری که بیشترین مقدار منیزیم  $\text{meq/l}$   $0.957$  در خاک لوم رسی با حضور کرم خاکی تعیین گردید. دلیل این امر را می‌توان به کربن آلی بیشتر خاک

اثرات برهم کنش ماده آلی و کرم خاکی بر منیزیم خاک (شکل ۱ الف) نشان می‌دهد که تلقیح خاک با کرم خاکی تنها در تیمار کاه و کلش توانست به‌طور معنی دار باعث افزایش منیزیم محلول خاک نسبت به تیمار شاهد و بدون کرم خاکی گردد. همچنین بیشترین مقدار منیزیم  $\text{meq/l}$   $0.952$  در تیمار کاه و کلش با حضور کرم خاکی به‌دست آمد که اختلاف آن با تیمار شاهد و کود گاوی معنی دار بود. دلیل این یافته را می‌توان به محتوای کربن آلی زیاد کاه و کلش و نیز ترشحات روده‌ای بیشتر کرم‌ها در آن تیمار در مقایسه با کود گاوی نسبت داد که احتمالاً از طریق افزایش ماده آلی و کاهش pH خاک منجر به افزایش غلظت منیزیم محلول در خاک آهکی گردیده

لومبریکوس ترستریس باعث افزایش معنی‌دار ۳۴ درصد  
مینیزیم محلول در یک خاک لوم رسی سیلتی نسبت به  
شاهد گردید.

لوم رسی در مقایسه با لوم شنی جدول ۱ و نیز احتمالاً  
ساختار کانی‌های سازنده دو خاک نسبت داد. این نتایج با  
یافته‌های موسوی و رئیسی (Moosavi & Raeisi, 2011)  
مطابقت دارد که نشان دادند کاربرد هم‌زمان مواد آلی  
(بقایای یونجه، کود گاوی و کمپوست) با کرم خاکی



شکل ۱- اثرات برهم کنش ماده آلی و کرم خاکی (الف) و بافت و کرم خاکی (ب) بر مینیزیم (Mg) خاک

حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (آزمون دانکن)

Fig.1. Interactive effects of organic matter and earthworm (A) and texture and earthworm (B) on soil Mg. Dissimilar letters indicate significant difference at  $P < 0.05$  (Duncan's test)

افزایش می‌یابد (Warrick, 2001). مقایسه میانگین‌ها در  
جدول ۵ بیانگر آن است که افزودن کاه و کلش و کود  
گاوی به ترتیب باعث افزایش میانگین MWD به میزان  
۹۳/۷۵ و ۳۱/۲۵ درصد در کلاس بافت لوم شنی و  
۱۴۷/۵ و ۲۴/۵ درصد در کلاس بافت لوم رسی نسبت به  
شاهد به دلیل افزایش کربن آلی خاک جدول ۴ گردید.  
بیشترین مقدار MWD در تیمار کاه و کلش با بافت لوم  
رسی و سطح بالای فشردگی ۱/۲۱۷ mm و کمترین آن

#### میانگین وزنی قطر (MWD) خاکدانه‌ها

جدول ۵ نشان می‌دهد که میانگین وزنی قطر (MWD)  
خاکدانه‌ها در تیمار شاهد خاک لوم رسی به‌طور میانگین  
۱۰۸/۳ درصد بزرگتر از خاک لوم شنی است که این  
موضوع به درصد کربن آلی، رس و آهک بالای خاک لوم  
رسی بر می‌گردد. این پارامترها از عوامل اصلی  
سیمانی‌کننده ذرات خاک هستند و با افزایش سهم آن‌ها  
در خاک، MWD بزرگتر شده و پایداری خاکدانه‌ها



آب باشد. برزگر و همکاران (Barzegar *et al.*, 2002) گزارش کردند که افزودن کاه و کلش گندم، کمپوست باکاس نیشکر و کود دامی در مقادیر مصرفی ۵، ۱۰ و ۱۵ مگاگرم در هکتار بر یک خاک لوم رسی سیلتی زیر کشت گندم زمستانه باعث افزایش معنی‌دار پایداری خاکدانه‌ها گردید و کارایی هر سه اصلاح کننده در بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک، یکسان بود.

در تیمار شاهد با بافت لوم شنی و سطح پایین فشردگی  $0.182$  mm به دست آمد. اختلاف بین دو سطح فشردگی تنها در تیمار کاه و کلش با کلاس بافت لوم رسی معنی‌دار گردید به طوری که با افزایش فشردگی از  $1/3$  به  $1/45$  g/cm<sup>3</sup> MWD نیز افزایش یافت. یکی از دلایل احتمالی این قضیه شاید افزایش سطح تماس بقایای اسفنجی کاه و کلش با ذرات خاک در اثر افزایش نیروی تراکم و در نتیجه تشکیل خاکدانه‌های قوی و پایدار در

جدول ۵- اثرات برهم‌کنش ماده آلی، بافت و فشردگی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)

Table 5: Interactive effects of organic matter, texture and compaction on mean weight diameter (MWD) of aggregates

MWD (mm)	فشردگی (g/cm <sup>3</sup> )	بافت Texture	ماده آلی Organic matter
0.182 <sup>h</sup>	1.3	لوم شنی	شاهد Control
0.202 <sup>gh</sup>	1.45	Sandy loam	
0.407 <sup>de</sup>	1.3	لوم رسی	
0.392 <sup>de</sup>	1.45	Clay loam	کاه و کلش Straw
0.368 <sup>de</sup>	1.3	لوم شنی	
0.375 <sup>de</sup>	1.45	Sandy loam	
0.763 <sup>b</sup>	1.3	لوم رسی	کود گاوی Cow manure
1.217 <sup>a</sup>	1.45	Clay loam	
0.262 <sup>f</sup>	1.3	لوم شنی	
0.242 <sup>f</sup>	1.45	Sandy loam	
0.53 <sup>c</sup>	1.3	لوم رسی	
0.465 <sup>cd</sup>	1.45	Clay loam	

حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (آزمون دانکن).

Dissimilar letters indicate significant difference at  $P < 0.05$  (Duncan's test).

و شولین (Al-Maliki & Scullion, 2013) نیز نشان دادند که استفاده از کرم خاکی در حضور مواد آلی باعث افزایش MWD نسبت به شاهد گردید. تأثیر فشردگی بر MWD تنها در تیمار لوم رسی با حضور کرم خاکی (جدول ۶) معنی‌دار شد به طوری که با افزایش فشردگی از  $1/3$  به  $1/45$  g/cm<sup>3</sup> MWD نیز افزایش یافت. به نظر می‌رسد نیروی تراکمی باعث اتصال محکم‌تر ذرات خاک به یکدیگر از طریق مواد دفعی لزوج و چسپناک کرم خاکی گردیده است. باک و همکاران (Buck *et al.*, 2000) گزارش کردند بیشترین پایداری خاکدانه (۸۴ درصد) در حضور کرم خاکی و بقایای جو و در شرایط خاک متراکم به دست آمد.

اثرات برهم‌کنش بافت، فشردگی و کرم خاکی بر MWD در جدول ۶ نشان می‌دهد که تلقیح خاک با کرم خاکی باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها در همه تیمارها گردید که دلیل آن را شاید بتوان به بالا بودن میزان کلسیت و عناصر کلسیم و منیزیم در تیمارهای با کرم خاکی در مقایسه با بدون کرم خاکی نسبت داد. کلسیم و منیزیم از طریق ایجاد پل کاتیونی بین ذرات رس و ماده آلی، نقش مؤثری در تشکیل خاکدانه‌های قوی و پایدار دارند (Warrick, 2001). وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین MWD با کربن آلی ( $r=0.511^{**}$ )، کلسیم ( $r=0.558^{**}$ ) و منیزیم ( $r=0.529^{**}$ ) نیز این موضوع را تأیید می‌کند. موسوی و رئیسی (Moosavi & Raeisi, 2011) و المالکی

جدول ۶- اثرات برهم کنش بافت، فشردگی و کرم خاکی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، چگالی حقیقی ( $D_p$ ) و تخلخل کل خاک (n)

Table 6: Interactive effects of texture, compaction and earthworm on mean weight diameter (MWD) of aggregates, soil particle density ( $D_p$ ), total porosity (n)

n (%)	$D_p$ (g/cm <sup>3</sup> )	MWD (mm)	کرم خاکی Earthworm	فشردگی Compaction (g/cm <sup>3</sup> )	بافت Texture
46.2 <sup>c</sup>	2.38 <sup>b</sup>	0.24 <sup>d</sup>	No خیر	1.3	لوم شنی Sandy loam
51.95 <sup>a</sup>	2.44 <sup>ab</sup>	0.301 <sup>c</sup>	Yes بله		
41.27 <sup>f</sup>	2.43 <sup>ab</sup>	0.26 <sup>d</sup>	No خیر	1.45	لوم رسی Clay loam
43.6 <sup>de</sup>	2.39 <sup>b</sup>	0.286 <sup>c</sup>	Yes بله		
48.4 <sup>b</sup>	2.51 <sup>a</sup>	0.556 <sup>b</sup>	No خیر	1.3	لوم رسی Clay loam
50.6 <sup>a</sup>	2.48 <sup>a</sup>	0.578 <sup>b</sup>	Yes بله		
42.6e <sup>f</sup>	2.49 <sup>a</sup>	0.638 <sup>b</sup>	No خیر	1.45	لوم رسی Clay loam
45.14 <sup>cd</sup>	2.5 <sup>a</sup>	0.744 <sup>a</sup>	Yes بله		

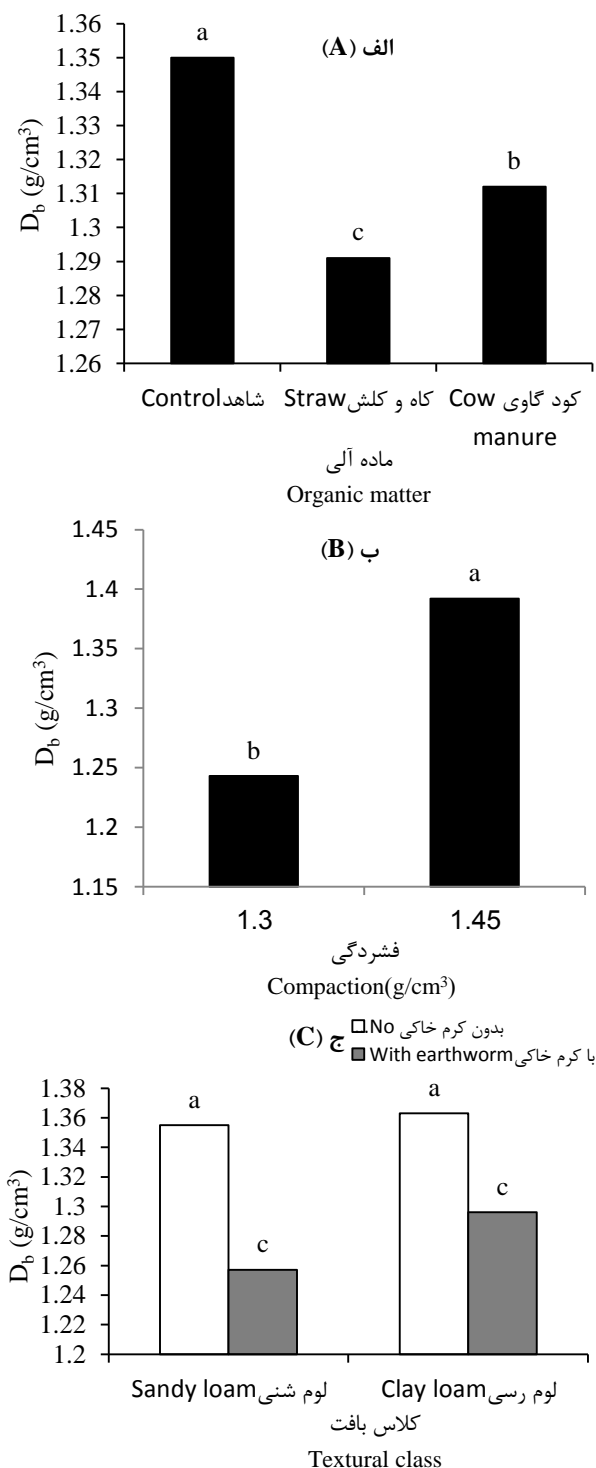
حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (آزمون دانکن)

Dissimilar letters indicate significant difference at  $P < 0.05$  (Duncan's test)

#### چگالی ظاهری و حقیقی و تخلخل کل

شکل ۲ الف نشان می‌دهد که استفاده از هر دو ماده آلی اصلاح کننده باعث کاهش معنی دار چگالی ظاهری خاک به میزان ۲/۸۱ تا ۴/۳۷ درصد نسبت به شاهد گردید. کمترین مقدار چگالی ظاهری  $g/cm^3$  ۱/۲۹۱ در تیمار کاه و کلش مشاهده گردید و اختلاف آن با تیمار کود گاوی نیز معنی دار شد. این یافته را می‌توان به مقدار کربن آلی زیاد و چگالی کم کاه و کلش در مقایسه با کود گاوی به کار رفته در این پژوهش نسبت داد. نتایج مشابهی در خصوص کاهش چگالی ظاهری با افزایش مواد آلی مختلف در خاک‌های با کلاس بافتی متفاوت توسط برزگر و همکاران (Barzegar *et al.*, 2002)، جردن و همکاران (Jordan *et al.*, 2010)، شیرانی و همکاران (Shirani *et al.*, 2011)، موسوی و همکاران (Mousavi *et al.*, 2012) و صفادوست و همکاران (Safadoust *et al.*, 2012) به دست آمده است. شکل (۲ ب) بیانگر آن است که چگالی ظاهری خاک در سطح فشردگی بالا به طور

معنی دار بیشتر از سطح فشردگی پایین می‌باشد. به نظر می‌رسد ۶ ماه انکوباسیون تیمارها (شرایط رطوبتی و حرارتی مناسب)، زمان کافی برای کاهش اختلاف چگالی ظاهری خاک بین دو سطح فشردگی نبوده است. مقایسه میانگین‌ها در شکل (۲ ج) نشان می‌دهد که تلقیح کرم خاکی در هر دو کلاس بافت لوم شنی و لوم رسی به ترتیب باعث کاهش معنی دار چگالی ظاهری به میزان ۷/۲۳ و ۴/۹۲ درصد در مقایسه با تیمار بدون کرم خاکی گردید، البته میزان تأثیر کرم خاکی در کاهش چگالی ظاهری خاک لوم شنی بیشتر از لوم رسی بود که شاید شرایط تهویه‌ای مناسب خاک لوم شنی برای فعالیت کرم‌های خاکی و افزایش احتمالی ترشحات آن‌ها دلیل این موضوع باشد. فضولات کرم خاکی دارای چگالی ظاهری کمتری نسبت به خاک‌های شاهد (بدون تأثیر کرم خاکی) هستند لذا افزودن مواد آلی دفع شده از کرم خاکی به خاک باعث کاهش چگالی ظاهری آن می‌گردد (Larink *et al.*, 2001; Marashi & Scullion, 2003).



شکل ۲- اثرات اصلی ماده آلی (الف) و فشردگی (ب) و اثرات برهم کنش بافت و کرم خاکی بر جرم مخصوص ظاهری ( $D_b$ ) خاک. حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد (آزمون دانکن)

Fig.2. Main effects of organic matter (A) and compaction (B) and interactive effects of texture and earthworm (C) on soil bulk density ( $D_b$ ). Dissimilar letters indicate significant difference at  $P < 0.05$  (Duncan's test)

با تیمار لوم شنی (تنها تیمارهای سطح پایین فشردگی بدون کرم خاکی و سطح بالای فشردگی با کرم خاکی) گردید. چگالی حقیقی خاک بیشتر تابع کانی‌های سازنده خاک است (Hillel, 2004) و به‌نظر

جدول ۶ نشان می‌دهد که افزودن کرم خاکی و اعمال فشردگی به خاک تأثیر معنی‌داری بر چگالی حقیقی خاک نداشته است ولی تغییر کلاس بافت خاک باعث افزایش معنی‌دار چگالی حقیقی در تیمارهای لوم رسی در مقایسه

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که به کارگیری توأم کرم خاکی با کاه و کلش و کود گاوی در مقایسه با کاربرد آن‌ها به تنهایی باعث افزایش کربن آلی و کلسیم در هر دو خاک ریز و درشت بافت منتخب از منطقه نیمه‌خشک گردید. بیشترین مقدار پایداری خاکدانه‌ها در آب و نیز کمترین مقدار چگالی ظاهری در تیمار کاه و کلش به دلیل داشتن کربن آلی زیاد مشاهده گردید. خاک لوم رسی در مقایسه با خاک لوم شنی به علت داشتن رس زیاد از خاکدانه‌های درشت‌تری برخوردار بود. تلقیح کرم خاکی حتی در شرایط تراکمی (فشرده‌گی  $1/45\text{g/cm}^3$ ) موجب بهبود پایداری ساختماناز طریق افزایش معنی‌دار MWD خاکدانه‌ها و تخلخل کل در هر دو کلاس بافت لوم شنی و لوم رسی گردید. بنابراین با به‌کارگیری فناوری‌های زیستی در کشاورزی نظیر تلقیح کرم خاکی می‌توان در شرایط تراکم با افزودن مقدار کم مواد آلی به ارتقای کیفیت فیزیکی خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمک شایانی نمود.

می‌رسد افزودن مواد آلی و نیز ترشحات کرم خاکی در اندازه‌ای نبوده است که از طریق افزایش ماده آلی خاک باعث کاهش چگالی حقیقی گردد.

مقایسه میانگین‌ها در جدول ۶ بیان‌گر آن است که تلقیح کرم خاکی از طریق کاهش چگالی ظاهری شکل (۲ ج) باعث افزایش معنی‌دار تخلخل کل و اعمال فشرده‌گی از طریق کاهش حجم کل منافذ خاک باعث کاهش معنی‌دار تخلخل کل در هر دو کلاس بافت لوم شنی و لوم رسی گردیده است. بیشترین مقدار تخلخل کل در تیمارهای لوم شنی (۵۱/۹۵ درصد) و لوم رسی (۵۰/۵۸ درصد) با فشرده‌گی سطح پایین و حضور کرم خاکی و کمترین مقدار آن در تیمار لوم شنی با فشرده‌گی سطح بالا و بدون کرم خاکی (۴۱/۲۷ درصد) یافت شد. افزایش تخلخل کل در حضور کرم خاکی و کلاس‌های مختلف بافت خاک توسط چائویی و همکاران (Chaoui *et al.*, 2003) و تجادا و همکاران (Tejada *et al.*, 2009) نیز گزارش شده است.

### References

- Al-Maliki, S., & Scullion, J. (2013). Interactions between earthworms and residues of differing quality affecting aggregate stability and microbial dynamics. *Applied soil ecology*, 64, 56-62.
- Barzegar, A. R., Yousefi, A., & Daryashenas, A. (2002). The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. *Plant and Soil*, 247(2), 295-301.
- Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). Particle density. *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods*, (methodsofsoilan1), 377-382.
- Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). Bulk density p. 363-375. *Methods of Soil Analysis: Part, 1*.
- Buck, C., Langmaack, M., & Schrader, S. (2000). Influence of mulch and soil compaction on earthworm cast properties. *Applied Soil Ecology*, 14(3), 223-229.
- Yvan, C., Stéphane, S., Stéphane, C., Pierre, B., Guy, R., & Hubert, B. (2012). Role of earthworms in regenerating soil structure after compaction in reduced tillage systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 55, 93-103.
- Chaoui, H. I., Zibilske, L. M., & Ohno, T. (2003). Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(2), 295-302.
- Coq, S., Barthès, B. G., Oliver, R., Rabary, B., & Blanchart, E. (2007). Earthworm activity affects soil aggregation and organic matter dynamics according to the quality and localization of crop residues—an experimental study (Madagascar). *Soil Biology and Biochemistry*, 39(8), 2119-2128.
- Capowiez, Y., Samartino, S., Cadoux, S., Bouchant, P., Richard, G., & Boizard, H. (2012). Role of earthworms in regenerating soil structure after compaction in reduced tillage systems. *Soil Biology & Biochemistry*, 55, 93-103.
- Edwards, C. A. (Ed.). (2004). *Earthworm ecology*. CRC Press.
- Hillel D. 2004. *Introduction to Environmental Soil Physics*. Elsevier Academic Press, 494p.

- Hendrix, P. F., Mueller, B. R., Bruce, R. R., Langdale, G. W., & Parmelee, R. W. (1992). Abundance and distribution of earthworms in relation to landscape factors on the Georgia Piedmont, USA. *Soil Biology and Biochemistry*, 24(12), 1357-1361.
- Johnson-Maynard, J. L., Umiker, K. J., & Guy, S. O. (2007). Earthworm dynamics and soil physical properties in the first three years of no-till management. *Soil and Tillage Research*, 94(2), 338-345.
- Jordan, A., Zavala, L. M., & Gil, J. (2010). Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena*, 81(1), 77-85.
- Jury, W. A., & Horton, R. (2004). *Soil physics*. John Wiley & Sons.
- Kemper, W. D., & Rosenau, R. C. (1986). Aggregate stability and size distribution.
- Klute, A. (1986). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods* (No. Ed. 2). American Society of Agronomy, Inc.
- Langmaack, M., Schrader, S., Rapp-Bernhardt, U., & Kotzke, K. (1999). Quantitative analysis of earthworm burrow systems with respect to biological soil-structure regeneration after soil compaction. *Biology and Fertility of Soils*, 28(3), 219-229.
- Larink O, Werner D, Langmaack M and Schrader S. 2001. Regeneration of compacted soil aggregates by earthworm activity. *Biology and Fertility of Soils*, 33: 395-401.
- Leroy, B. L., Schmidt, O., Van den Bossche, A., Reheul, D., & Moens, M. (2008). Earthworm population dynamics as influenced by the quality of exogenous organic matter. *Pedobiologia*, 52(2), 139-150.
- Marashi, A. R., & Scullion, J. (2003). Earthworm casts form stable aggregates in physically degraded soils. *Biology and fertility of soils*, 37(6), 375-380.
- Marinissen, J. C. Y. (1995). Earthworms, soil-aggregates and organic matter decomposition in agroecosystems in the Netherlands. *Landbouwniversiteit Wageningen*.
- Moosavi, F. S., & Raiesi, F. (2011). Soil Aggregate Stability in the Presence of Earthworms (*Lumbricus terrestris* L.) and Different Organic Materials in a Calcareous Soil. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 14(54), 71-84.
- Mousavi, S. F., Moazzeni, M., Mostafazadeh-Fard, B., & Yazdani, M. R. (2012). Effects of rice straw incorporation on some physical characteristics of paddy soils. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14(5), 1173-1183.
- Nelson, D. W., & Sommers, L. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methodsofsoilan2)*, 539-579.
- Page, A. L. (1982). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
- Pulleman, M. M., Six, J., Uyl, A., Marinissen, J. C. Y., & Jongmans, A. G. (2005). Earthworms and management affect organic matter incorporation and microaggregate formation in agricultural soils. *Applied Soil Ecology*, 29(1), 1-15.
- Sfadoust, A., Mosadeghi, M., Mahboubi, A., & Yousefi, G. (2012). Effects of wetting/drying, freezing/thawing and earth worm activities on soil hydraulic properties. *Journal of Soil and Water (Agricultural Science and Technology)*, 26(2), 340 -348 (in Persian).
- Sparks, D. L. (2003). *Environmental soil chemistry*. Academic press.
- Shirani, H., Rizabandi, E., Dashti, H., Mosaddeghi, M. R., & Afyuni, M. (2011). Effect of Pistachio Waste on Some Soil Physical Characteristics and Compactability of Two Soil Types. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 15(55), 85-98.
- Tejada, M., García-Martínez, A. M., & Parrado, J. (2009). Effects of a vermicompost composted with beet vinasse on soil properties, soil losses and soil restoration. *Catena*, 77(3), 238-247.
- Warrick, A. W. (Ed.). (2001). *Soil physics companion*. CRC press.
- Winsome, T., & McColl, J. G. (1998). Changes in chemistry and aggregation of a California forest soil worked by the earthworm *Argilophilus papillifer* Eisen (Megascolecidae). *Soil Biology and Biochemistry*, 30(13), 1677-1687.
- Zhang H and Schrader S. 1993. Earthworm effects on selected physical and chemical properties of soil aggregates. *Biology and Fertility of Soils*, 15: 229-234.

## Interactive Effects of Organic Matters and Earthworm on some Physical and chemical Properties of Two Soils under Different Compaction Conditions

Shokrollah Asghari<sup>1\*</sup>, Mahshid Najafian<sup>2</sup>

(Received: July 2014

Accepted: April 2015)

### Abstract

Although it has been known that earthworms through feeding, casting, and burrowing activity can influence soil physical and chemical properties, but interactive effects of organic matters and earthworm on aggregation under different compaction and textural conditions, have been not well known. In this study, the interactive effects of earthworm *Eisenia fetida* and organic matters on some physical and chemical properties of two fine- and coarse-textured soils selected from Moghan plain, northwest of Iran were investigated in two compaction level. The factorial experiment was conducted as a completely randomized design with 24 treatments and 3 replicates under growth room conditions during 6 months. The 4 factors were: 2 soil textural classes (sandy loam and clay loam), 3 organic matter levels (0, 20 g kg<sup>-1</sup> of wheat straw and cow manure), 2 soil compaction levels (1.3 and 1.45 g/cm<sup>3</sup>) and with or without earthworm. The results showed that on average, both used organic matters significantly increased organic carbon (OC) (by 69%), soluble Ca (by 11.75%), mean weight diameter (MWD) of aggregates (by 78%) and decreased bulk density (by 3.6%) in two soils. Also, the positive effects on the soil structure were much observed in the straw and clay loam with earthworm treatment due to the high contents of OC, Ca, Mg and clay. Soil with earthworm in compaction level of 1.45 g/cm<sup>3</sup>, significantly increased MWD by 10 and 16.6% and total porosity by 5.6 and 6% in sandy loam and clay loam soils, respectively. The results indicated that application of earthworm to the compacted soils can improve physical quality of fine- and coarse-textured soils by using minimum organic matter.

**Keywords:** Aggregate stability, Compaction, *Eisenia fetida*, Organic carbon, Soil texture

1- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili

2- Former MS.C student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili

\* Corresponding Author: [shasghari@uma.ac.ir](mailto:shasghari@uma.ac.ir)