# پایداری خاکدانه‌ها در حضور کرم خاکی (*Lumbricus terrestris* L.) و مواد آلی مختلف در یک خاک آهکی

فخرالسادات موسوی* و فایز رئیسی [۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۳/۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۳/۴)

## چکیده

**اگرچه نقش حیاتی کرم‌های خاکی بر اغلب خصوصیات فیزیکی خاک محرز می‌باشد، ولی مطالعات اندکی در باره آثار متقابل نوع مواد آلی و کرم خاکی بر خصوصیات فیزیکی از جمله پایداری خاکدانه‌ها، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، انجام شده است. پایین بودن میزان ماده آلی در خاک‌های این مناطق و در عین حال نقش مهم کرم‌های خاکی در بهبود شرایط فیزیکی خاک‌های این اقلیم ضرورت توجه خاص به آثار متقابل بقایای آلی و کرم‌های خاکی را نشان می‌دهد. بدین منظور آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار، تحت شرایط کنترل شده گلخانه‌ای برای مدت ۱۵۰ روز در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد اجرا شد. فاکتور اول شامل حضور یا عدم حضور کرم خاکی و فاکتور دوم شامل با و یا بدون بقایای آلی مختلف (بقایای یونجه، کود کمپوست و مخلوط بقایای یونجه + کود کمپوست و کود گاوی) بود. در این آزمایش از یک نوع کرم خاکی آنسیک (*Lumbricus terrestris* L.) استفاده شد. نتایج به دست آمده حاکی از این است که کاربرد مواد آلی و کرم خاکی هر یک به تنهایی سبب افزایش شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها مانند میانگین وزنی قطر ذرات (MWD)، توزیع اندازه ذرات خاکدانه‌ها نسبت خاکدانه سازی (AR)، میانگین هندسی قطر ذرات (GMD) و هم چنین میزان کلسیم و منیزیم خاک گردید، ولی بهترین نتایج ناشی از کاربرد هم‌زمان کرم خاکی و مواد آلی به دست آمد، به طوری که تلقیح کرم‌های خاکی در حضور مواد آلی به طور متوسط شاخص‌های MWD، AR، GMD، Ca، Mg و درصد خاکدانه‌های ۰/۲۵< میلی‌متر را به ترتیب ۳۹، ۵۸، ۲، ۶۷، ۴۳ و ۷۴ درصد افزایش در حالی که درصد خاکدانه‌های کوچک‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر را ۱۳/۵ درصد کاهش داد. هم‌بستگی معنی‌دار ($R^2$=۰/۹۴۵) بین کلسیم خاک و میانگین وزنی قطر ذرات مشاهده شد که نشان می‌دهد کرم‌های خاکی احتمالاً از طریق ترشح کلسیت از طریق پیوند کاتیونی با ذرات رسی و ماده آلی به پایداری خاکدانه‌ها و در نتیجه ساختمان خاک کمک می‌نمایند. به طور کوتاه، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که کاربرد هم‌زمان مواد آلی و کرم‌های خاکی نوع آنسیک کمک شایانی به بهبود ساختمان خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک می‌نماید.**

**واژه‌های کلیدی: پایداری خاکدانه، تلقیح کرم خاکی، خاک آهکی، مواد آلی**

---

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

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



[ Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.54.6.5 ]

## مقدمه

اتصال ذرات اولیه شن، سیلت و رس سبب ایجاد ذرات ثانویه یعنی خاکدانه‌ها (Aggregates) می‌شود. ترتیب و آرایش فضایی ذرات اولیه در مجاورت یکدیگر به همراه خاکدانه‌ها، ساختمان خاک نامیده می‌شوند. از به هم پیوستن خاکدانه‌های کوچک، خاکدانه‌های درشت تشکیل می‌شوند. در این راستا عوامل بیولوژیکی زیادی همچون پلیمرهای آلی (صمغ‌ها یا پلی‌ساکاریدهای میکروبی)، ریشه‌های گیاهان، هیف قارچ‌ها و اکتینومیست‌ها و پل‌های کاتیونی به خصوص کاتیون‌های چند ظرفیتی سبب پیوستگی ذرات در خاکدانه‌ها می‌شوند (۱۶). پایداری خاکدانه‌ها اساس وضعیت و کیفیت ساختمان خاک را پس از تشکیل آن، نشان می‌دهد. بدون شک کرم‌های خاکی در بهبود کیفیت ساختمان خاک سودمند می‌باشند، زیرا یک جنبه‌ی مهم کیفیت ساختمان خاک، پایداری خاکدانه‌هاست که تحت تأثیر فعالیت مستمر کرم‌های خاکی قرار می‌گیرند (۸).

کرم‌های خاکی فقط از طریق عبور دادن خاک از روده خود بر خاکدانه‌ها تأثیر نمی‌گذارند، بلکه آنها قادر هستند کانال‌های زیرزمینی زیادی تشکیل دهند که بر مورفولوژی و خصوصیات فیزیکی خاک اثر خواهند گذاشت و هم چنین قادرند لایه‌های عمقی و سطحی خاک را با هم مخلوط کنند (۱۶). با تشکیل کانال‌ها، تخلخل کل و سهم ماکروپورها افزایش می‌یابد (۱۶). کرم‌های خاکی قادر هستند به طور محسوس بر خصوصیات لایه شخم در خاک‌های کشاورزی از طریق فعالیت‌های بیولوژیکی خود، برگشت مواد آلی خاک، رها کردن عناصر غذایی و خاکدانه‌سازی تأثیرگذار باشند (۱۳).

خاکدانه‌های میکرو و ماکرو از لحاظ پایداری یکسان نیستند، در همین زمینه برخی محققان بیان کردند که خاکدانه‌های میکرو نسبت به خاکدانه‌های ماکرو پایدارتر هستند و نیز مواد آلی درون خاکدانه‌های میکرو نسبت به خاکدانه‌های ماکرو از حمله و تجزیه میکروبی بیشترمحفوظ می‌مانند (۲۲). زمانی که خاکدانه‌های ماکرو در اثر شخم یا عوامل دیگر شکسته می‌شوند، مواد آلی درون خاکدانه‌های ماکرو و نیز بین خاکدانه‌های میکرو برای حمله میکروبی در دسترس قرار می‌گیرند، در صورتی که مواد آلی داخل خاکدانه‌های میکرو هنوز محفوظ باقی مانده‌اند. بنابراین خاکدانه‌های میکروی پایدار تشکیل شده در درون فضولات کرم خاکی، مواد آلی را از تجزیه حفظ کرده و تا زمانی که قسمتی از فضولات ویران نشود، سالم و دست نخورده باقی می‌مانند. از این رو تشکیل خاکدانه‌های میکروی پایدار در درون خاکدانه‌های ماکرو، برای حفظ مواد آلی در خاکدانه‌های میکرو مهم می‌باشد (۲۲).

اغلب فضولات کرم‌های خاکی نسبت به خاک مجاور پایداری بیشتری دارند. مکانیسم‌های ممکن برای خاکدانه‌سازی در فضولات کرم‌های خاکی هنوز به طور کامل شناخته شده نیست. لی و فوستر (۱۴) بیان کردند که اتصال مکانیکی اجزای مختلف در بین فضولات کرم خاکی، یکی از انواع مکانیسم‌های پایداری فضولات است، زیرا عبور ذرات خاک و مواد آلی از روده کرم‌های خاکی سبب به هم چسبیدن اجزای قطعه قطعه شده و قسمت‌های تجزیه شده موادآلی به یکدیگر و هم‌چنین به ذرات خرد شده خاک و قرار گرفتن اجتماعی از بیوماس میکروبی در بین این اجزای می‌شود که برای ایجاد پایداری، این اجزا، از طریق مواد موسیلاژی دفع شده توسط میکرو فلور روده‌ای، به هم می‌پیوندند. به علاوه، آرایش و نحوه پیوند بین اجزای بقایای آلی هوموسی شده و ترکیبات معدنی خاک، در این فرآیند نقش دارد. تیسدال (۲۵) اظهار داشت در تیمارهای بقایای آلی توسعه هیف قارچ‌ها در اطراف خاکدانه‌ها و فضولات کرم‌ها می‌تواند به پایداری خاکدانه‌های خاک و فضولات کرم‌های خاکی کمک کند. سیکس و همکاران (۲۲) علت پایداری فضولات کرم‌های خاکی را به هم پیوستن بقایای آلی تثبیت شده بیان کردند، ولی مارینیسن و دکستر (۱۷) پایداری فضولات کرم‌های خاکی را در حالت عدم افزودن مواد آلی به عنوان غذا برای کرم‌های خاکی ثابت کردند. حضور مواد آلی در خاک یکی از عوامل تأثیرگذار بر پایداری خاکدانه‌های خاک می‌باشد، البته پایداری خاکدانه‌های خاک نیز دینامیک مواد آلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۵). خاکدانه‌های خاک به طور



[ Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.54.6.5 ]

فیزیکی، موادآلی را از طریق غیر قابل دسترس کردن آنها برای تجزیه بیشتر، محافظت می‌کنند (۵). به طور کلی دینامیک مواد آلی خاک توسط کرم‌های خاکی هم از طریق فعالیت‌های تغذیه‌ای آنها و هم از طریق اثر آنها بر ساختمان خاک، تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در زنجیره غذایی، کرم‌های خاکی مواد آلی را مصرف و تا حدی هضم می‌کنند و به طور مستقیم فعالیت میکروبی را تحریک می‌کنند (۵). ساختمان خاک که توسط کرم‌های خاکی دانه‌ای شده است، شرایط مساعدتری را برای تجزیه‌ی هوازی ایجاد می‌کند (۱۲). به علاوه کرم‌های خاکی لاشبرگ گیاهی را خرد کرده و جابه‌جا می‌کنند، و جابه‌جایی قسمتی از مواد آلی داخل خاکدانه‌های پایدار، می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای دینامیک مواد آلی را تحت تأثیر قرار دهد (۱۲).

به طور کلی بیشتر نتایج ارائه شده توسط محققان نشان‌دهنده تأثیر مثبت مواد آلی بر پایداری خاکدانه‌ها در حضور کرم‌های خاکی است و تفاوت‌های مشاهده شده، به دلیل نوع و ماهیت ماده آلی می‌باشد. بنابراین چنین استنباط می‌گردد که اثر کرم‌های خاکی بر ویژگی‌های خاک به نوع مواد آلی بستگی دارد. از یک سو در خاک‌های ایران به ویژه خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک، کمبود ماده آلی یکی از تنگناهای اصلی در کشاورزی است. از سوی دیگر، کرم‌های خاکی را در بیشتر خاک‌های دنیا می‌توان جستجو کرد، ولی تنوع، فراوانی و میزان فعالیت آنها در خاک‌های مختلف به عوامل متعددی همچون دما، رطوبت، pH، حضور و تنوع مواد آلی، بافت خاک، وضعیت زه‌کشی خاک و غیره بستگی دارد. بنابراین، هدف از این تحقیق بررسی اثر متقابل کرم خاکی و نوع مواد آلی مختلف بر پایداری خاکدانه‌ها در یک خاک آهکی در منطقه خشک و نیمه خشک شهرکرد تحت شرایط گلخانه‌ای بود.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۰ تیمار و ۴ تکرار (۴۰ گلدان) در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد اجرا گردید. فاکتور اول شامل حضور (W+) یا عدم حضور (W-) کرم خاکی و فاکتور دوم شامل با انواع مختلف مواد آلی (A+) و یا بدون مواد آلی (A-) بود. در ابتدا به روش نمونه‌برداری تصادفی، از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری، چندین نمونه خاک (بافت لوم رسی سیلتی) تهیه و از الک ۴ mm عبور داده شد و پس از مخلوط کردن تمام خاک الک شده، ۱۰ کیلوگرم خاک برای هر گلدان (گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر) با ترازوی دقیق توزین و به گلدان‌ها اضافه شد. لازم به ذکر است که در کف گلدان‌ها چندین سوراخ جهت زه‌کشی و تبادل هوا تعبیه شد و هم چنین برای جلوگیری از خروج خاک و کرم ها، کف گلدان‌ها با تورهای نازک پلاستیکی پوشانده شد. یک نمونه مرکب از خاک الک شده (۴ mm) جهت اندازه گیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی اولیه (جدول ۱) مانند EC، pH، نیتروژن کل (روش کجلدال)، مقدار کربنات کلسیم معادل (روش تیتراسیون)، کربن آلی (روش اکسایش تر) و بافت خاک (روش هیدرومتری) به آزمایشگاه منتقل شد (۶ و۴). مواد آلی مورد آزمایش (بقایای یونجه، کودگاوی، کود کمپوست و مخلوط کود کمپوست + بقایای یونجه) در هوای معمولی خشک و سپس با آسیاب پودر شدند. پس از آن بقایا از الک ۱mm عبور و برای هر تیمار به میزان ۵۰ گرم توزین گردید. برای تیمارهای مخلوط کود کمپوست + بقایای یونجه از هر یک از بقایای یونجه و کود کمپوست به میزان ۲۵ گرم (به نسبت ۱:۱) توزین و سپس با هم مخلوط شدند. در نهایت بقایا به گلدان‌ها اضافه و با خاک مخلوط گردیدند. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک و مواد آلی مورد آزمایش، در جدول ۱ آورده شده است. به نیمی از گلدان‌ها ۴۰ عدد کرم خاکی از نوع آنسیک (*Lumbricus terrestris* L.) اضافه گردید. به منظور تعیین دقیق اثر نوع ماده آلی بر پایداری خاکدانه‌ها، ابتدا محتویات دستگاه گوارش کرم‌ها از مواد غذایی بلعیده شده بستر تکثیر، کاملاً تخلیه و پاکسازی شد. به این صورت که کرم‌های خاکی روی کاغذ حوله‌ای مرطوب به مدت ۲۴ ساعت به حالت نیمه شناور رها شدند. پس از گذشت ۲۴



[ Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.54.6.5 ]

**جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و مواد آلی مورد آزمایش**

| خصوصیات | خاک | بقایای یونجه | کود گاوی | کمپوست | مخلوط کمپوست + یونجه |
|---|---|---|---|---|---|
| شن (٪) | ۱۶ | – | – | – | – |
| سیلت (٪) | ۵۲ | – | – | – | – |
| رس (٪) | ۳۲ | – | – | – | – |
| بافت | لوم رسی سیلتی | – | – | – | – |
| $CaCO_3$ (٪) | ۳۳/۸ | – | – | – | – |
| Ca (میلی اکی والان بر لیتر) | ۴۰ | – | – | – | – |
| Mg (میلی اکی والان بر لیتر) | ۱۷/۵ | – | – | – | – |
| OM (٪) | ۰/۹۳۰ | – | – | – | – |
| وزن مخصوص ظاهری($g/cm^{-3}$) | ۱/۳۰ | – | – | – | – |
| OC (٪) | ۰/۵۴۰ | ۳۹/۷ | ۱۴/۲ | ۲۲/۲ | ۳۰ |
| N (٪) | ۰/۰۴۱ | ۲/۹۰ | ۰/۶۱۶ | ۱/۷۳ | ۲/۲۱ |
| C/N | ۱۳/۲ | ۱۳/۷ | ۲۳/۰ | ۱۲/۸ | ۱۳/۵ |
| EC (دسی زیمنس بر متر) | ۰/۱۲ | ۲/۷۷ | ۳/۱۸ | ۳/۹۴ | ۶/۳۶ |
| pH | ۷/۷۹ | ۶/۰۲ | ۸/۱۵ | ۷/۸۰ | ۶/۹۴ |

ساعت کرم‌ها به بسترهای آزمایش منتقل گردیدند (۱۰). در طول مدت آزمایش، رطوبت در حداقل ۵۰ درصد ظرفیت زراعی از طریق آبیاری گلدان‌ها به میزان ۵۰۰ میلی متر به فاصله هر ۳ روز یکبارتنظیم شد. کنترل تهویه از طریق باز نمودن پنجره‌های گلخانه در دو نوبت صبح و عصر انجام شد. در این تحقیق پایداری خاکدانه‌ها به روش الک تر (سری الک‌های ۲، ۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متری) اندازه‌گیری شد (۱، ۶ و ۱۱). به این صورت که پس از گذشت ۱۵۰ روز از اعمال تیمارها، کرم‌های خاکی از گلدان‌ها با دست جدا شدند و سپس خاک هر تیمار از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شد و مواد باقی‌مانده روی الک ۴ میلی‌متری دور ریخته شد و مابقی خاک برای سنجش پایداری خاکدانه‌ها نگهداری شدند. نمونه‌ها به مدت یک هفته روی روزنامه، به طور جداگانه هوا خشک گردیدند. پس از آن، از خاک هوا خشک شده هر تیمار یک نمونه۵۰ گرمی توزین و برای تعیین پایداری خاکدانه‌ها به آزمایشگاه منتقل شد. لازم به ذکر است که قبل از روشن نمودن دستگاه الک تر، سطح آب دستگاه (به طوری که خاک روی الک در بالاترین نقطه نوسان کاملاً زیر آب قرار گیرد)، سرعت نوسان و دامنه‌ی نوسان تنظیم گردید. مدت زمان الک تر برای هر نمونه ۱۵ دقیقه بود. سپس خاک باقی‌مانده روی هر الک در ظروف جداگانه جمع‌آوری و به آون منتقل شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت نمونه‌ها به دقت توزین و وزن خاکدانه‌های باقی مانده روی هر الک تعیین گردید. در نهایت شاخص‌های مختلف پایداری خاکدانه‌ها شامل میانگین وزنی قطر ذرات (Mean weight diameter)، توزیع اندازه ذرات خاکدانه (یا درصد پایداری خاکدانه‌ها)، نسبت خاکدانه سازی (Aggregation ratio) و میانگین هندسی قطر ذرات (Geometric mean diameter) محاسبه شدند (۶ و ۱۱)، که هر یک از این شاخص‌های به طور کیفی پایداری خاک را مورد ارزیابی قرار می‌دهند (۶). پایداری خاکدانه‌های خاک یک شاخص اصلی از کیفیت خاک است. یک مشخصه اصلی در این شاخص‌ها، عدم تفکیک واضح در میزان خاکدانه های ماکرو



[ Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.54.6.5 ]

پایدار و ناپایدار است (۶). میانگین وزنی قطر ذرات (MWD) بیانگر توزیع نرمال قطر ذرات و میانگین هندسی قطر ذرات (GMD) بیانگر توزیع نرمال لگاریتمی قطر ذرات می‌باشد. پارامتر توزیع اندازه ذرات خاکدانه برای بررسی میزان خاکدانه‌های پایدار باقی مانده روی هر الک (۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۲۵> میلی‌متر) به کار می‌رود. شاخص‌های مذکور که به صورت متریک برای تعیین کیفیت و سنجش پایداری خاک استفاده می‌شوند، به صورت زیر محاسبه می‌گردند:

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} x_i w_i \qquad [۱]$$

که در آن:

MWD = میانگین وزنی قطر ذرات بر حسب میلی متر؛

$x_i$ = میانگین قطر خاکدانه‌های باقی مانده روی هر الک بر حسب میلی‌متر و

$w_i$ = وزن خشک خاکدانه‌ها در هر الک (بر حسب گرم) به وزن کل خاک (۵۰ گرم) است (۶).

$$GMD = \exp\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} w_i \log x_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i}\right) \qquad [۲]$$

که در آن:

GMD = میانگین هندسی قطر ذرات بر حسب میلی‌متر؛

$x_i$ = میانگین قطر خاکدانه‌های باقی مانده روی هر الک بر حسب میلی‌متر و

$w_i$ = وزن خشک خاکدانه‌ها در هر الک (برحسب گرم) به وزن کل خاک (۵۰ گرم) است (۶).

برای پی بردن توزیع خاکدانه‌های درشت و ریز، نسبت خاکدانه‌سازی به صورت زیر محاسبه شد (۲):

$$AR = \frac{\text{درصد خاکدانه هاي ماکرو(> ۲۵۰ میکرومتر)}}{\text{درصد خاکدانه هاي میکرو(< ۲۵۰ میکرومتر)}} \qquad [۳]$$

$$\text{درصد پایداری خاکدانه‌ها} = \frac{x_i}{w_i} \times ۱۰۰ \qquad [۴]$$

که در آن:

$x_i$ = میانگین قطر خاکدانه‌های باقی مانده روی هر الک بر حسب میلی‌متر و

$w_i$ = وزن کل خاک (۵۰ گرم) می‌باشد (۶).

به منظور بررسی تأثیر تیمارها بر کلسیم و منیزیم خاک، در پایان آزمایش (۱۵۰ روز پس از شروع آزمایش) یک گرم خاک از هر نمونه توزین و ۵ میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه و پس از ۳۰ دقیقه شیکرکردن نمونه‌ها، عصاره ۱ به ۵ تهیه شد. سپس با استفاده از روش کمپلکسومتری میزان کلسیم و منیزیم اندازه‌گیری شد (۴) و نتایج بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش گردید.

برای تجزیه آماری داده‌ها، ابتدا داده‌های پرت (Outliers) به کمک بررسی باقی‌مانده‌ها (Residuals) مشخص و حذف شدند. سپس داده‌ها جهت نرمال بودن (Normality test) و همگن بودن واریانس‌ها و (Equal variance test) به کمک آزمون‌های متداول در سطح احتمال ۵ درصد مورد ارزیابی قرار گرفتند و پس از اطمینان از مقدار P، مدل آماری GLM نرم‌افزار SigmaStat 10.0 برای تجزیه واریانس‌ها به صورت طرح کاملاً تصادفی نامتعادل اجرا شد. مقایسه میانگین‌های مواد آلی برای هر تیمار کرم خاکی به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

### ۱) توزیع اندازه ذرات خاکدانه

اثر کرم خاکی و مواد آلی و هم‌چنین آثار متقابل آنها (W×OM) بر توزیع اندازه ذرات خاکدانه معنی‌دار (P< ۰/۰۰۱) بود (جدول ۲). تلقیح کرم‌های خاکی درصد خاکدانه‌های مانده روی الک ۲، ۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر (خاکدانه‌های ۰/۲۵mm>) را در مقایسه با خاک بدون کرم‌خاکی به ترتیب ۷۴/۰، ۳۴/۰، ۲۷/۰ و ۲۳/۰ درصد افزایش و درصد ذرات کوچک‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر (خاکدانه‌های میکرو) را ۱۳/۶ درصد کاهش داده است (جدول ۳). کوک و همکاران



[ Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.54.6.5 ]

**جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر کرم خاکی و مواد آلی و آثار متقابل آنها بر کلسیم و منیزیم خاک، و توزیع اندازه ذرات خاکدانه‌ها و شاخص‌های مختلف پایداری خاکدانه‌ها (اعداد آماره F هستند)**

| شاخص | منبع تغییر | | |
|---|---|---|---|
| | کرم خاکی (W) | ماده آلی (OM) | (W × OM) |
| درجه آزادی | ۱ | ۴ | ۴ |
| ذرات mm ۲< | ۳۸۱۶۱*** | ۲۸۸۳*** | ۲۹۰*** |
| ذرات mm ۲-۱ | ۱۱۳۱۹*** | ۱۱۰۸*** | ۱۱۴۳*** |
| ذرات mm ۱-۰/۵ | ۸۱۷۹*** | ۲۰۱۹*** | ۲۶۸*** |
| ذرات mm ۰/۵-۰/۲۵ | ۱۳۶۷۷*** | ۸۸۱۹*** | ۴۲۵۵*** |
| ذرات mm ۰/۲۵ > | ۵۴۴۸۳*** | ۹۷۸۰*** | ۱۰۷۸*** |
| ذرات mm ۰/۲۵< | ۵۴۴۸۳*** | ۹۷۸۰*** | ۱۰۷۸*** |
| AR | ۱۸۰۸۱*** | ۳۳۴۴*** | ۶۰۲*** |
| MWD | ۳۷۳۵۱*** | ۳۴۱۵*** | ۵۵۷*** |
| GMD | ۵۱۴۵۱*** | ۶۵۶۴*** | ۱۰۵۹*** |
| کلسیم | ۱۸۹*** | ۱۸/۴*** | ۰/۱۶۱n.s |
| منیزیم | ۸/۷۰** | ۹/۶۵*** | ۰/۴۹n.s |

**،*** و n.s به ترتیب به مفهوم معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۰/۱٪ و غیرمعنی‌دار می‌باشد.

نیز به طور مشابه دریافتند که فعالیت دفع فضولات توسط کرم‌های خاکی سهم خاکدانه‌های بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر را افزایش می‌دهد (۸). به طوری که مشاهده می‌شود (جدول ۳) در تیمارهای تلقیح شده با کرم خاکی بیشترین درصد خاکدانه‌های ماکرو در تیمار بقایای یونجه و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد (بدون اضافه نمودن مواد آلی) است، در حالی که در تیمارهای تلقیح نشده با کرم‌خاکی بیشترین درصد خاکدانه‌های ماکرو در تیمار مخلوط بقایای یونجه + کود کمپوست و کمترین درصد آن در تیمار شاهد (بدون افزودن مواد آلی) می‌باشد. احتمالاً بقایای یونجه مطبوع به ذائقه‌ترین ماده آلی قابل بلع برای کرم‌های خاکی و مخلوط بقایای یونجه + کود کمپوست دلپذیرترین سوبسترا برای ریزجانداران خاک بوده است. از دیگر دلایل احتمالی برای افزایش درصد خاکدانه‌های ماکرو در این تیمارها، افزایش فعالیت قارچ‌هاست، زیرا همان‌طور که مارینسین و دکستر بیان کردند هیف قارچ‌ها به طور مستقیم در پایداری خاکدانه‌ها نقش دارند (۱۷). به طور کلی تلقیح کرم خاکی درصد خاکدانه‌های ماکرو را نسبت به خاک بدون کرم خاکی به طور متوسط ۳۹ درصد افزایش داده است. کوک و همکاران دریافتند که اثر متقابل معنی‌دار بین فراوانی خاکدانه‌های ماکرو و نوع بقایا وجود دارد (۸). آنها نشان دادند که کرم‌های خاکی فضولات بیشتری در حضور بقایای برنج نسبت به بقایای سورگوم تولید می‌کنند. آنها این چنین فرض کردند از آنجا که بقایای برنج شامل کاه و کلش نرم و بقایای سورگوم دارای بافت چوبی است، کرم‌های خاکی بقایای سورگوم را کمتر می‌بلعند و فعالیت کمتری در حضور این بقایا خواهند داشت و این فعالیت کمتر منجر به کاهش نقش آنها در تشکیل خاکدانه‌های ماکرو می‌گردد (۸). در یک مطالعه دیگر، لولانگر- مرسیرس و همکاران گزارش کردند که اثر کرم خاکی آندوژئیک *Aporrectodea caliginosa* بر تعداد خاکدانه‌های بزرگ (mm ۲<) به نوع لاشبرگ گیاه بستگی دارد،



[ Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.54.6.5 ]

**جدول ۳. آثار تلقیح کرم خاکی و اضافه کردن مواد آلی مختلف بر درصد توزیع اندازه ذرات خاکدانه‌ها.**

**اعداد جدول میانگین‌ها (n =۴) به همراه (SD) هستند.**

| کرم خاکی | مواد آلی | توزیع اندازه ذرات خاکدانه (٪) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | >۲mm | ۱-۲ mm | ۰/۵-۱ mm | ۰/۲۵-۰/۵ mm | <۰/۲۵ mm | >۰/۲۵mm |
| -W | خاک شاهد | ۲/۹۲(۰/۰۸۳) E | ۵/۲۰(۰/۰۵۹)E | ۵/۵۶(۰/۰۵۹) E | ۶/۰۵ (۰/۰۵۸) E | ۸۰/۳(۰/۰۹۶) A | ۱۹/۷(۰/۰۹۶) E |
| | بقایای یونجه | ۴/۸۷(۰/۰۴۲) A | ۶/۳۴(۰/۰۵۲) D | ۷/۳۴(۰/۰۷۱) B | ۱۱/۵ (۰/۰۸۱) B | ۶۹/۹(۰/۱۵۱) E | ۳۰/۱(۰/۱۵۱) B |
| | کود گاوی | ۳/۳۱(۰/۰۵۸) D | ۷/۱۲(۰/۰۵۷) B | ۶/۹۴(۰/۰۷۳) D | ۷/۷۱(۰/۰۷۲) D | ۷۴/۹(۰/۱۵۲) B | ۲۵/۰(۰/۱۵۲) D |
| | کودکمپوست | ۳/۴۱(۰/۰۴۲) C | ۷/۱۶(۰/۰۴۴) A | ۷/۰۴(۰/۰۶۸) C | ۸/۵۷ (۰/۰۴۴) C | ۷۳/۸(۰/۰۷۱) C | ۲۶/۲(۰/۰۷۱) C |
| | کمپوست + یونجه | ۳/۹۴(۰/۰۶۶) B | ۷/۰۷(۰/۰۴۲) C | ۷/۵۷(۰/۰۷۰) A | ۱۳/۶(۰/۰۶۶) A | ۶۷/۸(۰/۶۰۴) D | ۳۲/۲(۰/۶۰۴) A |
| | متوسط | ۳/۷۱(۰/۰۵۸) | ۶/۵۷(۰/۰۵۰) | ۶/۸۹(۰/۰۶۸) | ۹/۴۸(۰/۰۶۴) | ۷۳/۳۴(۰/۱۰۳) | ۲۶/۴(۰/۶۷۹) |
| +W | خاک شاهد | ۶/۰۹(۰/۰۵۰) E | ۷/۹۶(۰/۱۱۰)E | ۶/۹۶(۰/۰۵۱) E | ۹/۷۷(۰/۰۴۴) E | ۶۹/۲(۰/۱۱۹) A | ۳۰/۸(۰/۱۱۹) E |
| | بقایای یونجه | ۹/۵۶ (۰/۰۶۰) A | ۱۱/۱(۰/۰۴۸)A | ۹/۹۶(۰/۰۵۰) B | ۱۳/۹(۰/۰۷۷) A | ۵۵/۴(۰/۰۵۷) E | ۴۴/۶(۰/۰۵۷) A |
| | کود گاوی | ۶/۳۱(۰/۰۴۴) D | ۸/۱۸(۰/۰۳۱)C | ۸/۹۰(۰/۰۵۹) C | ۱۱/۳(۰/۰۴۴) C | ۶۵/۲(۰/۲۰۷) B | ۳۴/۸(۰/۲۰۷) D |
| | کود کمپوست | ۶/۶۸ (۰/۰۶۰) C | ۸/۰۴(۰/۰۷۰)D | ۷/۸۷(۰/۰۶۰) D | ۱۲/۵(۰/۰۴۹) B | ۶۴/۹(۰/۱۰۸) C | ۳۵/۰(۰/۱۰۸) C |
| | کمپوست + یونجه | ۳/۷۳(۰/۰۴۸) B | ۸/۹۰(۰/۰۹۸)B | ۹/۹۸(۰/۰۶۰) A | ۱۱/۰(۰/۰۴۴) D | ۶۲/۳(۰/۱۷۹) D | ۳۷/۶(۰/۱۷۹) B |
| | متوسط | ۶/۴۷(۰/۰۵۲) | ۸/۸۳(۰/۰۷۱) | ۸/۷۳(۰/۰۵۹) | ۱۱/۶۹(۰/۰۵۱) | ۶۳/۴ (۰/۱۳۴) | ۳۶/۶(۰/۱۳۴) |
| | $\frac{+w}{-w}$ | ۱/۷۴ | ۱/۳۴ | ۱/۲۷ | ۱/۲۳ | ۰/۸۶۴ | ۱/۳۹ |

در هر ستون میانگین تیمارهای مواد آلی هر تیمار کرم خاکی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

به گونه‌ای که تعداد خاکدانه‌های درشت در حضور برگ درخت راش بیشتر از برگ بلوط بود، در حالی که این کرم خاکی برای تغذیه برگ بلوط را به برگ راش ترجیح می‌دهد (۱۵). طی این آزمایش تلقیح کرم‌های خاکی بیشترین تأثیر را در مقایسه با عدم حضور کرم خاکی، بر خاکدانه‌های بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر داشته است (افزایش ۷۴/۰ درصدی)، که این نتایج نشان می‌دهد احتمالاً طی این مدت خاکدانه‌های درشت در اطراف مواد آلی تشکیل شده و به مرور زمان، با تجزیه مواد آلی و فعالیت‌های میکروبی، خاکدانه‌های ریزتر در حال تشکیل هستند. مقایسه نتایج خاکدانه‌های میکرو (mm ۰/۲۵>) و ماکرو (mm ۰/۲۵<) نشان می‌دهد که در تیمار شاهد خاک از کل خاکدانه‌ها، ۸۰/۳ درصد را خاکدانه‌های میکرو و ۱۹/۷ درصد را خاکدانه‌های ماکرو تشکیل داده است (جدول ۳)، که در مقایسه با تمامی تیمارها بیشترین درصد خاکدانه‌های میکرو و کمترین درصد خاکدانه‌های ماکرو را به خود اختصاص داده است و بیانگر این نکته است که در تیمار شاهد به دلیل عدم وجود کرم‌های خاکی و بالطبع موسیلاژهای روده‌ای و مواد چسبنده دفعی توسط آنها و هم‌چنین عدم وجود صمغ‌ها، پلی‌ساکاریدهای میکروبی و ترکیبات آلی به عنوان منبع انرژی و کربن برای ریزجانداران، که سبب کاهش شدید جامعه میکروبی خاک می‌شود، خاکدانه‌های میکرو نتوانسته‌اند به یکدیگر بپیوندند و خاکدانه‌های ماکرو پایدارتر را تشکیل دهند. کوپن و همکاران( ۷) اظهار داشتند که افزایش میزان خاکدانه‌های درشت در حضور کرم‌های خاکی به طور عمده مربوط به تولید



[ Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.54.6.5 ]

فضولات توسط این موجودات می‌باشد (۷). فضولات در ابتدا چسبناک و ناپایدار هستند، اما با گذشت زمان پایدار می‌شوند. مواد لزج تولید شده توسط کرم‌ها و عوامل پیوند دهنده ناشی از میکروب‌ها مانند پلی ساکاریدها، نقش عوامل پیوند دهنده را بازی می‌کنند (۲۳). نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که هر نوع مواد آلی بر اندازه خاصی از خاکدانه‌ها تأثیر داشته است. ورتمان و شاپیرو (۲۶) نیز به طور مشابهی به همین نتایج دست یافتند. اخیراً لولانگر- مرسیرس و همکاران نشان دادند که قابلیت هضم و کیفیت لاشبرگ (Litter palatability) گیاه تأثیری زیادی بر خاکدانه‌سازی خاک توسط کرم خاکی دارد (۱۵).

**۲) میانگین وزنی قطر ذرات (MWD)**

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که اثر کرم خاکی (W) و مواد آلی (OM) به تنهایی و هم‌چنین آثار متقابل آنها (W×OM) بر میانگین وزنی قطر ذرات معنی‌دار (P<۰/۰۰۱) می‌باشد. تلقیح کرم خاکی میانگین وزنی قطر ذرات را به طور متوسط ۳۹ درصد نسبت به خاک بدون کرم خاکی افزایش داده است (جدول ۴). تأثیر مواد آلی مختلف بدون در نظر گرفتن اثر کرم خاکی بر MWD (جدول ۴)، بدین صورت است که بقایای یونجه، کود گاوی، کود کمپوست و مخلوط کود کمپوست + بقایای یونجه به طور متوسط به ترتیب ۳۳/۴، ۹/۴۰، ۱۰/۶ و ۲۰/۸ درصد MWD را در مقایسه با شاهد (خاک بدون مواد آلی) افزایش دادند، که نشان می‌دهد در بین مواد آلی مختلف بقایای یونجه بیشترین تأثیر را بر MWD داشته است و این حاکی از نقش مثبت بقایای گیاهی بر پایداری خاکدانه‌های خاک می‌باشد. مارتینز (۱۹) ثابت کرد که تمام انواع بقایای گیاهی MWD را نسبت به شاهد افزایش می‌دهند، اما بیشترین تأثیر بقایا با گذشت زمان بر میانگین وزنی قطر ذرات نمایان می‌شود. اغلب افزایش سطح مواد آلی مفید است و از دیدگاه کشاورزی مقادیر بیشتر مواد آلی، خاکدانه‌سازی خاک را افزایش می‌دهد (۲۳). نتایج نشان می‌دهد که کمترین میانگین وزنی قطر ذرات (۰/۳۳۱mm) مربوط به تیمار شاهد خاک و بیشترین آن (۰/۶۵۱mm) مربوط به تیمار بقایای یونجه + کرم خاکی می‌باشد. تلقیح کرم خاکی در تیمارهای بقایای یونجه، کود گاوی، کود کمپوست و مخلوط بقایای یونجه + کود کمپوست نسبت به همین تیمارها در خاک بدون کرم خاکی به ترتیب سبب افزایش ۵۲/۴، ۳۲/۳، ۳۱/۳ و ۳۴/۰ درصدی MWD شده است. بینت و لی بایون (۳) اظهار داشتند اگرچه کرم‌های خاکی از مواد آلی بیجان و ریزجانداران ساکن روی آنها تغذیه می‌کنند، اما موادی که توسط گونه‌های اندوجیک و آنسیک در هنگام تغذیه و حفر دالان‌های زیرزمینی بلعیده می‌شود، بیشتر شامل مواد معدنی می‌باشد. مواد آلی و معدنی در دستگاه گوارش کرم خاکی کاملاً مخلوط می‌شوند و در نهایت تحت عنوان فضولات در خاک دفع می‌گردند. محل دفع این فضولات (سطح یا داخل خاک) بستگی به گونه کرم خاکی، مکان و منبع غذایی دارد و به همین علت است که به طور متفاوت بر پایداری خاکدانه‌ها تأثیر می‌گذارند. همان طور که مشاهده می‌شود بقایای یونجه بیشترین افزایش MWD را در حضور و عدم حضور کرم‌های خاکی داشت. احتمالاً در بقایای یونجه ترکیبات قابل تجزیه بیشتری نسبت به دیگر مواد آلی وجود دارد و همین سبب تحریک فعالیت میکروبی در حضور بقایای یونجه می‌شود. علاوه بر این، از آنجا که بقایای یونجه نسبت به دیگر مواد آلی مورد استفاده دارای بیشترین درصد کربن آلی و نیتروژن بود، احتمالاً برای فون خاک مطبوع به دائقه است. برخی محققان اظهار داشتند که دلپذیری لاشبرگ‌های گیاهی به شدت خاکدانه‌سازی خاک را توسط فون خاک تحت تأثیر قرار می‌دهد (۹). در همین راستا تین و همکاران (۲۴) اظهار کردند که فون خاک به شدت از انواع لاشبرگ‌های غنی از کمپلکس‌های تانین، پروتئین، پلی‌فنل‌ها و لیگنین اجتناب می‌کنند، ولی لاشبرگ‌هایی با مقادیر کربن بالا را به آسانی جذب می‌کنند. این محققین دریافتند که دیگر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی لاشبرگ‌ها مانند پوست خشبی، مقدار عناصر غذایی نیز می‌تواند در محدود کردن دلپذیری آنها نقش داشته باشد



[ Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.54.6.5 ]

**جدول ۴ . آثار تلقیح کرم خاکی و اضافه کردن مواد آلی مختلف بر شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها**

**اعداد جدول میانگین‌ها (n =۴) به همراه (SD) هستند.**

| کرم خاکی | مواد آلی | AR | MWD | GMD |
|---|---|---|---|---|
| | | – | (mm) | (mm) |
| -W | خاک شاهد | ۰/۲۴۸(۰/۰۰۵)E | ۰/۳۳۱ (۰/۰۰۳)E | ۰/۴۸۰(۰/۰۰۱) E |
| | بقایای یونجه | ۰/۴۳۰(۰/۰۰۰)B | ۰/۴۲۷(۰/۰۰۱)A | ۰/۵۱۹(۰/۰۰۱)B |
| | کود گاوی | ۰/۳۳۸(۰/۰۰۵)D | ۰/۳۸۱ (۰/۰۰۳)D | ۰/۵۰۲ (۰/۰۰۱)D |
| | کود کمپوست | ۰/۳۵۵(۰/۰۰۵)C | ۰/۳۸۷(۰/۰۰۳)C | ۰/۵۰۵(۰/۰۰۱) C |
| | کمپوست + یونجه | ۰/۴۷۷ (۰/۰۰۵)A | ۰/۴۱۷(۰/۰۰۱)B | ۰/۵۲۳(۰/۰۰۰)A |
| | متوسط | ۰/۳۶۹(۰/۰۰۴) | ۰/۳۸۸ (۰/۰۰۲) | ۰/۵۰۵(۰/۰۰۰) |
| +W | خاک شاهد | ۰/۴۴۵(۰/۰۰۵)D | ۰/۴۷۸ (۰/۰۰۳)E | ۰/۵۳۱(۰/۰۰۱)E |
| | بقایای یونجه | ۰/۸۰۳(۰/۰۰۵)A | ۰/۶۵۱(۰/۰۰۲) A | ۰/۶۰۲(۰/۰۰۱)A |
| | کود گاوی | ۰/۵۳۳ (۰/۰۰۵)C | ۰/۵۰۴ (۰/۰۰۳)D | ۰/۵۴۷(۰/۰۰۱)D |
| | کود کمپوست | ۰/۵۴۰(۰/۰۰۰)C | ۰/۵۰۸ (۰/۰۰۲)C | ۰/۵۴۷(۰/۰۰۱) C |
| | کمپوست + یونجه | ۰/۶۰۷(۰/۰۰۵)B | ۰/۵۵۹ (۰/۰۰۲)B | ۰/۵۶۵(۰/۰۰۰) B |
| | متوسط | ۰/۵۸۵ (۰/۰۰۴) | ۰/۵۴۰(۰/۰۰۲) | ۰/۵۵۸(۰/۰۰۰) |
| | $\frac{+w}{-w}$ | ۱/۵۸ | ۱/۳۹ | ۱/۱۰ |

در هر ستون میانگین تیمارهای مواد آلی هر تیمار کرم خاکی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

AR، نسبت خاکدانه سازی؛ MWD، میانگین وزنی قطر ذرات ؛ GMD، میانگین هندسی قطر ذرات.

(۲۴). کوک و همکاران اظهار داشتند که مقدار اسید فنولیک در بقایای یونجه کم است و شاید این یکی از دلایل افزایش MWD در حضور این بقایا باشد (۸).

### ۳) نسبت خاکدانه‌سازی (AR)

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که اثر کرم خاکی (W) و مواد آلی (OM) هر یک به تنهایی و هم‌چنین آثار متقابل کرم خاکی و مواد آلی (W×OM) بر نسبت AR یعنی نسبت خاکدانه‌های ماکرو به میکرو معنی‌دار (P< ۰/۰۰۱) است. نتایج نشان می‌دهد که تلقیح کرم‌های خاکی نسبت خاکدانه‌سازی را به طور متوسط ۵۸ درصد در مقایسه با عدم تلقیح کرم‌های خاکی افزایش داده است (جدول ۴). افزایش این نسبت نشان‌دهنده تخریب خاکدانه‌های میکرو و تشکیل خاکدانه‌های ماکرو در خاک است (۲). مقایسه AR تیمار شاهد خاک (خاک بدون کرم خاکی و افزودن مواد آلی) و شاهد کرم خاکی (جدول ۴) نشان می‌دهد که کرم‌های خاکی حتی در شرایط عدم افزایش مواد آلی نقش مثبت بر AR داشته و توانسته‌اند این نسبت را در مقایسه با تیمار شاهد خاک به طور متوسط ۷۹/۴ درصد افزایش دهند، که به وضوح بیانگر تأثیر شدیداً مثبت کرم‌های خاکی بر افزایش خاکدانه‌های ماکرو (۲۵۰< میکرومتر) است. برخی محققین بیان کردند که بر اثر کاربرد کودهای آلی خاکدانه‌های بزرگ افزایش می‌یابند، در حالی که



[ Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.54.6.5 ]

خاکدانه‌های کوچک کاهش می‌یابند، که شاید به علت به هم پیوستگی خاکدانه‌های میکرو درون خاکدانه‌های ماکرو باشد (۹)، که این مشابه نتایج این مطالعه است، زیرا کاربرد مواد آلی مختلف (بدون در نظر گرفتن تأثیر کرم‌های خاکی) مقدار AR را نسبت به شاهد (خاک بدون مواد آلی) افزایش داد، بدین صورت که به طور متوسط هر یک از بقایای یونجه، کود گاوی، کود کمپوست و مخلوط بقایای کود کمپوست + بقایای یونجه نسبت به شاهد (خاک بدون اضافه نمودن مواد آلی) AR را به ترتیب ۷۸/۰، ۲۵/۷، ۲۹/۱ و ۵۶/۶ درصد افزایش داده‌اند. مونرال و همکاران (۲۰) گزارش کردند که تولیدات متابولیسم میکروبی می‌تواند در پایداری خاکدانه‌های میکرو با قطر کمتر از ۲۰ میکرومتر شرکت کنند، در حالی که بقایای گیاهی نقش مهم‌تر در پایداری خاکدانه‌های میکرو با قطر ۲۰۰-۱۰۰ میکرومتر بازی می‌کنند و ریشه‌های گیاهی و قارچ‌ها، ذرات خاک و مواد آلی را در خاکدانه‌های ماکرو پایدار می‌کنند.

### ۴) میانگین هندسی قطر ذرات (GMD)

میانگین هندسی قطر ذرات یکی دیگر ازشاخص‌های پایداری ساختمان خاک است، که مقادیر بزرگ‌تر آن بیان کننده پایداری بیشتر خاک می‌باشد (۱۷). نتایج (جدول ۲) نشان می‌دهد که اثر کرم خاکی (W) و مواد آلی (OM) هر یک به تنهایی و هم‌چنین آثار متقابل کرم خاکی و مواد آلی (W×OM) بر شاخص GMD معنی‌دار (P< ۰/۰۰۱) می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که تلقیح کرم خاکی میانگین هندسی قطر ذرات را نسبت به خاک بدون کرم خاکی به طور متوسط ۱۰/۰درصد افزایش داده است (جدول ۴). GMD در تیمار شاهد کرم خاکی در مقایسه با تیمار شاهد خاک افزایش ۱۰/۶ درصدی داشت (جدول ۴)، که نشان دهنده تأثیر اندک ولیکن مثبت کرم‌های خاکی در شرایط عدم افزودن مواد آلی به خاک بر میانگین هندسی قطر ذرات است.

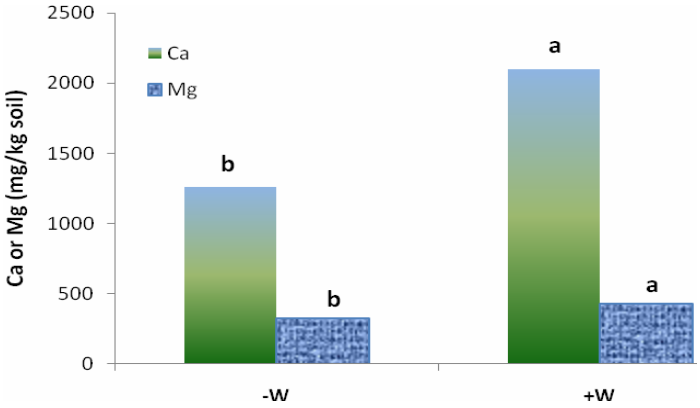
### ۵) کلسیم و منیزیم

اثر کرم خاکی (شکل ۱) و مواد آلی (شکل۲) هر یک به تنهایی بر میزان کلسیم معنی‌دار (P<۰/۰۰۱)، ولی آثار متقابل کرم خاکی و مواد آلی بر میزان کلسیم غیرمعنی‌دار بود. اثر کرم خاکی و مواد آلی هر یک به تنهایی بر میزان منیزیم درسطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود و همان‌طور که مشاهده می‌شود (جدول ۲) اثرات متقابل کرم خاکی و مواد آلی (W×OM) بر میزان منیزیم خاک غیر معنی‌دار است. مقایسه میانگین‌ها (شکل ۲ و ۱) نشان می‌دهد که میزان کلسیم و منیزیم طی آزمایش درخاک تلقیح شده با کرم خاکی در مقایسه با خاک بدون کرم خاکی به طور متوسط ۶۷ و ۴۳ درصد افزایش داشته است. در تیمار شاهد کرم خاکی میزان کلسیم و منیزیم نسبت به تیمار شاهد خاک به ترتیب ۸۸/۸ و ۴۲/۸ درصد افزایش داشته و این نشان می‌دهد که فعالیت کرم‌های خاکی به شدت بر میزان کلسیم و منیزیم خاک تأثیرگذار می‌باشد، که یکی از دلایل احتمالی آن را می توان مربوط به تأثیر کرم‌های خاکی بر pH خاک و در نتیجه افزایش کلسیم محلول در خاک دانست. تأثیر مواد آلی مختلف بدون در نظر گرفتن اثر کرم خاکی بر کلسیم و منیزیم (شکل ۲)، بدین صورت بود که بقایای یونجه، کود گاوی، کود کمپوست و مخلوط کود کمپوست + بقایای یونجه به طور متوسط، هر یک به تنهایی میزان کلسیم و منیزیم را به ترتیب ۵۷/۷، ۱۵/۴، ۳۰/۸ و ۴۲/۳ درصد و ۱۰۰/۰، ۳/۹۲، ۳۵/۳ و ۹۴/۱درصد در مقایسه با شاهد (خاک بدون مواد آلی) افزایش داده‌اند. همان‌طور که در شکل ۲ و جدول ۴ مشاهده می‌شود در تیمار بقایای یونجه + کرم خاکی که بیشترین میزان کلسیم و منیزیم را داشته است، بالاترین MWD به دست آمده است. نتایج نشان داد که هم‌بستگی معنی‌دار ($R^2$=۰/۹۴۵) بین کلسیم خاک و میانگین وزنی قطر ذرات دیده شد (شکل ۳) که نشان می‌دهد کرم‌های خاکی احتمالاً از طریق ترشح کلسیت و ایجاد پل کاتیونی کلسیم بین ذرات رسی و ماده آلی به پایداری خاکدانه‌ها و در نتیجه ساختمان خاک کمک می‌نمایند. این در حالی است که هم‌بستگی بین منیزیم خاک و میانگین

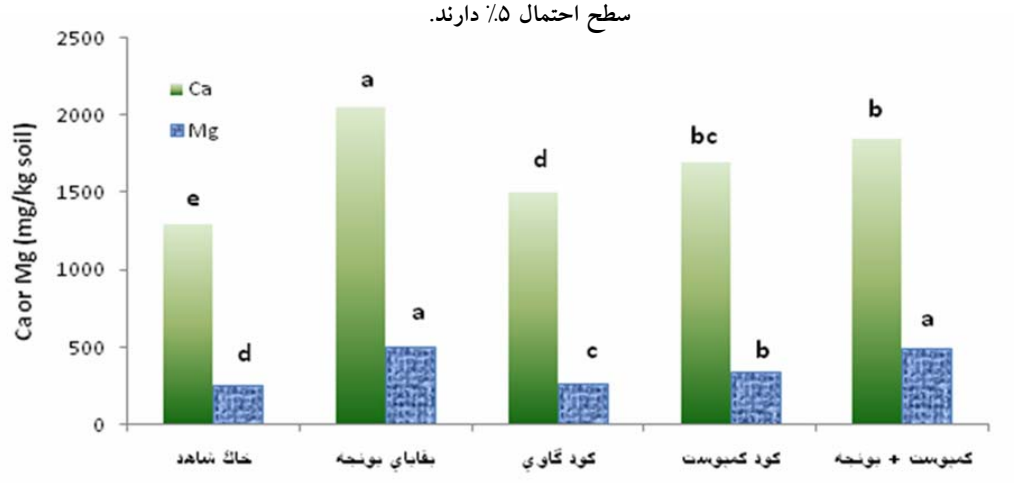


[ Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04 ]

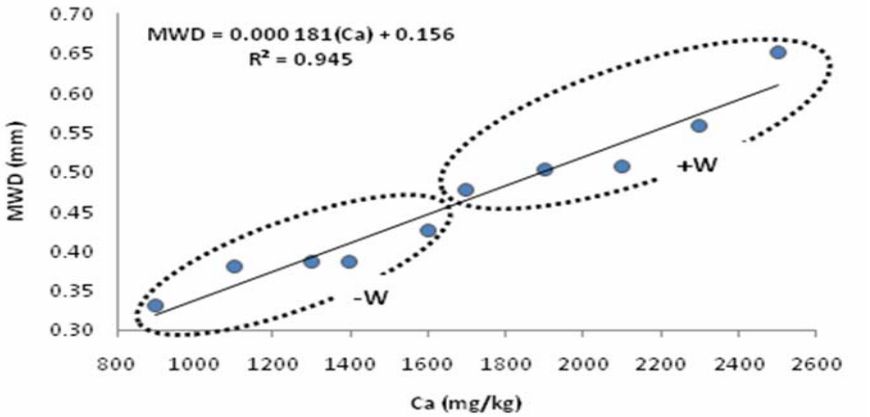
[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.54.6.5 ]




**شکل ۱. اثر کرم خاکی بر کلسیم و منیزیم خاک. اعداد میانگین‌ها (n=۲۰) هستند. ( W- بدون کرم خاکی؛ W+ خاک تلقیح شده با کرم خاکی). میانگین کلسیم و منیزیم برای تیمارهای کرم خاکی با حرف متفاوت براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ دارند.**




**شکل ۲. اثر مواد آلی بر کلسیم و منیزیم خاک. اعداد میانگین‌ها (n=۸) هستند. میانگین کلسیم و منیزیم برای تیمارهای مواد آلی با حرف متفاوت براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ دارند.**




**شکل ۳. رابطه بین میانگین وزنی قطر ذرات (MWD) و کلسیم (Ca) خاک در حضور (W+) و عدم حضور (W-) کرم خاکی.**



[ Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.54.6.5 ]

وزنی قطر ذرات معنی‌دار نبود، که نشان می‌دهد نقش کلسیم در افزایش پایداری خاکدانه مؤثرتر از نقش منیزیم است. ادواردس (۹) به طور مشابهی به نقش بیشتر کلسیم در مقایسه با منیزیم در پایداری خاکدانه‌ها اشاره نمود. از این رو، افزایش میزان کلسیم در حضور کرم‌های خاکی، را می‌توان با افزایش پایداری خاکدانه‌ها مشاهده نمود، زیرا وجود یون‌های کلسیم در فضولات دفع شده کرم‌های خاکی قابلیت دیسپرس شدن این فضولات را به دلیل پیوستگی ذرات رس به یکدیگر کاهش می‌دهد (۹).

## نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق که بر تأثیر معنی‌دار و مثبت کرم خاکی و مواد آلی بر چندین شاخص پایداری خاک دلالت دارد، نشان می‌دهد که استفاده از بقایای گیاهی، کود کمپوست، کود حیوانی و یا مخلوطی از این کودها به همراه مدیریت حفظ و ازدیاد کرم‌های خاکی می‌تواند از طریق تأثیر مثبت بر جامعه میکروبی خاک و فعالیت آنها، تا حد زیادی به پایداری خاکدانه‌های خاک و در نتیجه دست‌یابی به خاکی با بهترین کیفیت که از اهداف اصلی کاربرد صحیح بیوتکنولوژی در کشاورزی مدرن می‌باشد، کمک شایانی بنماید. البته بررسی تأثیر بهترین نوع و مقدار مواد آلی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک ایران، که از دیرباز از کمبود مواد آلی و افت عملکرد رنج می‌بردند، نیاز به تحقیقات گسترده‌تر در آینده دارد. ولیکن در مجموع نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با افزودن حداقل مواد آلی در حضور کرم‌های خاکی، با حفظ حداقل شرایط رطوبتی، می‌توان سبب بالا بردن فعالیت‌های میکروبی خاک و در نتیجه افزایش پایداری خاکدانه‌های خاک گردید و توجه به این نتیجه کمک زیادی به کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک که از کمبود مواد آلی و پایین بودن کیفیت فیزیکی خاک در تنگنا هستند، می‌نماید تا بدون استفاده از کودهای شیمیایی که مصرف بالای آنها می‌توانند سبب آلودگی و کاهش کیفیت آب‌ها و در نتیجه تحت تأثیر قرار دادن سلامت ریزجانداران، گیاهان، حیوانات و انسان‌ها شود و نیز توجه به محصولات کارخانجات کمپوست‌سازی در کشاورزی آلی با دیدگاه برطرف کردن یکی از جدی‌ترین تنگناهای مدیریت شهرنشینی و برداشتن گامی سازنده در جهت حفظ محیط زیست و جلوگیری از تخریب آن و نیز کمک به منابع اقتصادی مدیریت شهری، به مطلوب ترین شرایط بیولوژیکی و فیزیکوشیمیایی دست یافت.

## سپاسگزاری

از دانشگاه شهرکرد به خاطر حمایت‌های مالی این تحقیق قدردانی و تشکر می شود.

## منابع مورد استفاده

۱. برزگر، ع. ۱۳۸۰. *مبانی فیزیک خاک*. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.

2. Baker, B. J., B. J. Fausey and K. R. Islam. 2004.Comparison of soil physical properties under two different water table management regimes. Soil Sci. Soc. Amer. J. 68:1973-1981.
3. Binet, F. and R. C. Le Bayon. 1998. Space-time dynamics *in situ* of earthworm casts under temperate cultivated soils. Soil Biol. Biochem. 31: 85-93.
4. Black, C. A., D. D. Evans, L. E. Ensminger, J. L. White, F. E. Clark and R. C. Dinauer. 1986. Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison. WI.
5. Bossuyt, H., J. Six and P. F. Hendrix. 2004. Rapid incorporation of carbon from fresh residues into newly formed stable microaggregates within earthworm casts. Eur. J. Soil Sci. 55: 393-399.
6. Carter, M. R. and E. G. Gregorich. 2008. Soil Sampling and Methods of Analysis. 2rd ed., CRC Press, Canadian Society of Soil Science.
7. Coppns, F., R. Mercks and S. Recous. 2006. Impact of crop residues location on carbon and nitrogen distribution in soil and in water-stable aggregates. Eur. J. Soil Biol. 57: 570-582.
8. Coq, S., B. G. Barthesa, R. Oliver, B. Rabary and E. Blanchart. 2007. Earthworm activity affects soil aggregation and organic matter dynamics according to the quality and localization of crop residues - An experimental study



[ Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04 ]
[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.54.6.5 ]

(Madagascar). Soil Biol. Biochem. 39: 2119-2128.
9. Edwards, C. A. 2004. Earthworm Ecology. 3rd ed., CRC Press, Boca Raton, FL. 441 p.
10. Haynes, R. J. and P. M. Fraser. 1998. A comparison of aggregate stability and biological activity in earthworm casts and uningested soil as affected by amendment with wheat or lucerne straw. Soil Sci. 49: 629-636.
11. ISSAS (Institute of Soil Science, the Chinese Academy of Science). 1978. Methods for Soil Physical and Chemical Analysis-Chinese. Shanghai Science and Technology Press, Shanghai. 532 p.
12. Ladd, J. N., R. C. Foster and J. O. Skjemstad. 1993. Soil structure: carbon and nitrogen metabolism. Geoderma 56: 401-434.
13. Lavelle, P. and A. Martin. 1992. Small-scale and large-scale effects of endogeic earthworm on soil organic matter dynamics in soils of the humid tropics. Soil Biol. Biochem. 24: 1491-1498.
14. Lee, K. E. and R. C. Foster. 1991. Soil fauna and soil structure. Aust. J. Soil Res. 29: 745-775.
15. Loranger-Merciris, G., K. R. Laossi and F. Bernhard-Reversat. 2008. Soil aggregation in a laboratory experiment: Interactions between earthworms, woodlice and litter palatability. Pedobiologia 51:439-43.
16. Marinissen, J. C. Y. 1995. Earthworm soil-aggregates and organic matter decomposition in agro-ecosystems in the Netherlands. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands.
17. Marinissen, J. C. Y. and A. R. Dexter. 1990. Mechanisms of stabilization of earthworm casts and artificial casts. Biol. Fertil. Soils 9: 163-167.
18. Ma´rquez, C. O., V. J. Garcia, C. A. Cambardella, R. C. Schultz and T. M. Isenhart. 2004. Aggregate-size stability distribution and soil stability. Soil Sci. Soc. Amer. J. 68: 725-735.
19. Martens, D. A. 2000. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. Soil Biol. Biochem. 32: 361-369.
20. Monreal, C. M., M. Schnitzer, H. R. Schulten, C. A. Campbell and D. W. Anderson. 1995. Soil organic structures in macro and microaggregates of a cultivated brown chernozem. Soil Biol. Biochem. 27: 845-853.
21. Shuklaa, M. K., R. Lal, M. Ebingerc and C. Meyer. 2006. Physical and chemical properties of soils under some pinon-juniper-oak canopies in a semi-arid ecosystem in New Mexico. J. Arid Environ. 66: 673-685.
22. Six, J. and J. D. Jastrow. 2002. Soil organic matter turnover. PP. 936-942. *In*: Lal, R. (Ed.), Encyclopedia of Soil Science. Marcel Dekker Inc., New York.
23. Six, J., C. Feller, K. Denef, S. M. Oglen, J. C. Moraes Sa and A. Albrecht. 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils-effect of no tillage. Agron. 22: 755-775.
24. Tian, G., J. A. Olimah, G. O. Adeoye and B. T. Kang. 2000. Regeneration of earthworm population in a degraded soil by natural and planted fallows under humid tropical conditions. Soil Sci. Amer. J. 64: 222-228.
25. Tisdall, J. M. 1991. Fungal hyphae and structural stability of soil. Aust. J. Soil Res. 29: 729-743.
26. Wortmann, C. S. and C. A. Shapiro. 2008. The effects of manure application on soil aggregation. Nutr. Cycl. Agric. 80: 173-180.



[ Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.54.6.5 ]