مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد نوزدهم، شماره اول، ۱۳۹۱
http://jwfst.gau.ac.ir

پایداری خاک‌دانه‌ها در تیمارهای مختلف شوری و مواد آلی خاک در حضور کرم خاکی آنسیک (*Lumbricus terrestris* L.) در شرایط گلخانه‌ای

* فاطمه نعمتی[۱]، فایز رئیسی[۲] و علیرضا حسن‌پور[۲]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد بیولوژی و تکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهر کرد،
[۲]دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهر کرد

تاریخ دریافت: ۸۹/۸/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۳/۲۵

چکیده

اثر مواد آلی بر پایداری خاک‌دانه‌ها در حضور کرم خاکی برای حفظ حاصل‌خیزی و کیفیت خاک دارای اهمیت بسیاری می‌باشد و ممکن است در محیط‌های شور متفاوت از محیط‌های غیرشور باشد. هدف این پژوهش بررسی اثرات متقابل شوری خاک و مواد آلی بر پایداری خاک‌دانه‌ها در خاک تلقیح شده با کرم خاکی آنسیک (*Lumbricus terrestris* L.) بود. در این پژوهش اثر سه سطح شوری (۲، ٤ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) با استفاده از نمک کلرید سدیم و خاک شاهد و سه نوع ماده آلی (کود گاوی، بقایای یونجه و ذرت) به اضافه خاک فاقد ماده آلی به‌عنوان شاهد به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط یکنواخت و کنترل شده‌ی گلخانه‌ای به‌مدت ۱۹ هفته مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. در پایان ۱۹ هفته پایداری خاک‌دانه‌ها به روش مرطوب اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد شاخص‌های پایداری خاک‌دانه‌ها با افزایش سطح شوری بین حداقل ۰/۱ و حداکثر ٢٤ درصد کاهش یافت. مواد آلی اضافه شده به خاک‌های شور و غیرشور سبب بهبود پایداری خاک‌دانه‌ها (بین ۱ تا ۵۳ درصد) به روش مرطوب گردیدند. اثر مواد آلی گوناگون بر پایداری خاک‌دانه‌ها و در نتیجه ساختمان خاک در سطوح مختلف شوری اغلب متفاوت بود. به‌طور خلاصه،

* مسئول مکاتبه: fatemeh.nemati2010@yahoo.com

نتایج بیانگر آن است که شوری موجب کاهش پایداری خاک‌دانه‌ها می‌گردد و استفاده از بقایای گیاهی و کود حیوانی می‌تواند از طریق تأثیر مثبت بر جامعه میکروبی، تغذیه کرم خاکی و فعالیت آن‌ها، تا حدودی از اثرات منفی شوری بکاهند.

واژه‌های کلیدی: پایداری خاک‌دانه، شوری خاک، کرم خاکی و مواد آلی

مقدمه

ساختمان خاک یک فاکتور کلیدی در عملکرد آن، توانایی نگهداری (تکیه‌گاه) گیاه و پناه‌گاه حیوانات و تعدیل‌کننده کیفیت محیط با تأکید ویژه بر تجزیه کربن آلی خاک و کیفیت آب به‌شمار می‌آید (برونیک و لال، ۲۰۰۵). از پایداری خاک‌دانه‌ها به‌عنوان شاخص ارزیابی کیفیت ساختمان خاک استفاده می‌شود (سیکس و همکاران، ۲۰۰٤؛ برونیک و لال، ۲۰۰۵). در مناطق نیمه خشک پایداری خاک‌دانه‌های خاک یکی از ویژگی‌های بسیار مهم خاک است که رشد گیاهان را کنترل می‌کند (کوهلر و همکاران، ۲۰۱۰). وجود کربن معدنی، خاک‌دانه‌سازی را در مناطق خشک و نیمه‌خشک افزایش می‌دهد و تشکیل کربنات‌های ثانویه تحت تأثیر حضور کربن آلی خاک، کلسیم و منیزیم قرار می‌گیرد (آبوت و مورفی، ۲۰۰۷). موجودات خاک دی‌اکسیدکربن آزاد می‌کنند و کربن آلی محلول تشکیل داده که انحلال کربنات‌های اولیه را افزایش می‌دهند. کاتیون‌هایی از جمله Si^{+4}، Fe^{+3}، Al^{+3} و Ca^{+2} ترسیب ترکیبات را تغییر می‌دهند و به‌عنوان عامل پیونددهنده ذرات اولیه عمل می‌کنند (سیکس و همکاران، ۲۰۰٤؛ برونیک و لال، ۲۰۰۵). آبوت و مورفی (۲۰۰۷) طی بررسی منابع متعدد اظهار داشتند، گیاهان میکروسکوپی خاک ترکیبات آلی تولید می‌کنند که خاک‌دانه‌ها را به هم متصل می‌سازند ولی جانوران درشت خاک (مانند کرم‌های خاکی، موریانه‌ها و مورچه‌ها) بیشترین تأثیر را بر فرآیندهای ساختمان‌سازی خاک دارند. آن‌ها حفرات زیستی ایجاد کرده و مواد آلی و ذرات معدنی را با هم مخلوط می‌کنند. حفره‌های ایجاد شده، اغلب تهویه و نفوذپذیری را در خاک تحریک می‌کنند. اثر نهایی جانوران خاک بر ویژگی‌های خاک اغلب در نتیجه تعادل بین فرآیندهای فشرده‌سازی و جداسازی می‌باشد (لاول و همکاران، ۱۹۹۷؛ سیکس و همکاران، ۲۰۰٤).

کرم‌های خاکی خاک‌دانه‌سازی را به‌واسطه تغییرات بیولوژیکی و فیزیکوشیمیایی افزایش می‌دهند (برون و همکاران، ۲۰۰۰). آن‌ها اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر ساختمان خاک و کربن آلی محلول

خاک دارند. با این حال، اثر کرم خاکی بر خاک‌دانه‌سازی بستگی به گونه‌های کرم خاکی، کیفیت لاشبرگ و مواد مادری خاک دارد (ژانگ و اسچرادر، ۱۹۹۳؛ وینسام و مک کول، ۱۹۹۸). آرایش مجدد ذرات خاک و آزادسازی آنزیم‌ها توسط کرم خاکی بر معدنی شدن، جریان آب و فعالیت میکروبی مؤثر است (جگو و همکاران، ۲۰۰۱). نتایج بسیاری از پژوهش‌ها نشان داده که نفوذ آب بین ۲ تا ۱۰ برابر در حضور کرم‌های خاکی افزایش می‌یابد. یکی از دلایل این پدیده کانال‌های ایجاد شده توسط کرم‌ها می‌باشد که تعداد کانال‌ها بستگی به تراکم جمعیت کرم‌ها در منطقه دارد. حدود ۱۰۰ تا ۳۰۰ کانال در مترمربع گزارش شده است. این بستگی به تعداد گونه‌ها و شرایط محیطی دارد (لی، ۱۹۸۵). علاوه بر آن کرم‌های خاکی به‌ویژه کرم‌های بزرگ از جمله گونه‌های *P. corethrurus* یا *M. anomale* مقدار زیادی فضولات دفع می‌نمایند که در نتیجه باعث افزایش خاکدانه‌سازی و جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شوند (آبوت و مورفی، ۲۰۰۷).

گونه‌های زیادی از کرم خاکی غده‌های تولیدکننده آهک[1] دارند که منبع تولید کربنات‌کلسیم هستند و تأثیر زیادی بر قابلیت دسترسی کلسیم در برخی خاک‌ها دارند. علاه بر این، کلسیم به‌عنوان یک عامل اتصال‌دهنده خاک‌دانه‌ها عمل می‌کند (ادواردس و بوهلن، ۱۹۹٦). مقدار کربنات کلسیم موجود در مواد دفعی کرم‌ها در مقایسه با خاک بلعیده نشده ممکن است یک شاخص مفید برای ظرفیت مختلف گونه‌ها در اتصال ذرات خاک و تشکیل مجدد خاک‌دانه‌های پایدار باشد (ادورادس، ۲۰۰٤).

خاک‌دانه‌ها و مواد آلی خاک اجزاء و عناصر اصلی حاصل‌خیزی و باروی آن می‌باشند (سیکس و همکاران، ۲۰۰٤). از طرفی نتایج پژوهش کاراواکا و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد مواد آلی پایداری خاک‌دانه‌ها را افزایش می‌دهد. مواد آلی فاکتور کلیدی در چرخه نیتروژن و هم‌چنین یک شاخص بسیار مهم کیفیت خاک هستند (تیسدال و اودس، ۱۹۸۲). کاربرد بقایا (علاءالدین و موحدی، ۲۰۰۹) و فعالیت کرم خاکی اثر مهمی بر تشکیل خاک‌دانه‌های پایدار در آب دارد. دو گونه متفاوت آندوژئیک (*A. caliginosa*) و اپی‌ژئیک (*L. rubellus*) به‌ترتیب سبب افزایش ٤/۳ و ۳/٦ برابری خاک‌دانه‌های درشت در مقایسه با تیمار شاهد (فاقد بقایا و بدون کرم‌خاکی) شدند (بوسییوت و همکاران، ۲۰۰٦). در واقع، تأثیر کرم خاکی بر ساختمان خاک از طریق هضم خاک، شکست نسبی مواد آلی، مخلوط کردن این اجزاء با خاک و خروج فضولات، تأثیر بر تهویه با ایجاد کانال‌ها و آوردن خاک زیر سطحی به سطح می‌باشد (پولمان و همکاران، ۲۰۰۵).

1- Calciferous

علل عمده تخریب خاک‌دانه‌ها عبارتند از: وارفتگی خاک‌دانه[1]، تخریب ناشی از تورم خاک، تخریب ناشی از اصابت قطرات باران و پراکنش فیزیکو- شیمیایی حاصل از فشار اسمزی (تیسدال و آدم، ۱۹۸٦). پدیده شوری تنها زمانی‌که با قلیائیت همراه شود، می‌تواند بر پایداری خاک‌دانه‌ها اثر منفی بگذارد. یکی از عواملی که منجر به تخریب ساختمان خاک می‌شود پدیده قلیائیت است که ناشی از وجود سدیم تبادلی زیاد می‌باشد (برزگر، ۲۰۰۱). افزایش میزان سدیم قابل تبادل خاک با معیارهای نسبت جذب سدیم[2] یا درصد سدیم قابل تبادل[3] اندازه‌گیری می‌شود (استونس و همکاران، ۲۰۰۳). سدیم تبادلی زیاد از دلایل اصلی جدا شدن رس از خاک‌دانه‌ها، افزایش پراکنش رس‌ها، فروپاشی خاک‌دانه‌ها و به دنبال آن ناپایداری ساختمان خاک می‌باشد. به این صورت که با جذب سدیم توسط خاک‌دانه‌ها، مقدمات فروپاشی خاک‌دانه‌ها فراهم می‌شود. سدیم با قرار گرفتن در محل تبادلی سطح رس‌ها، باعث افزایش ضخامت لایه الکتریکی دوگانه پخشیده شده که این عمل منجر به آماس و پخشیدگی رس‌ها و تخریب خاک‌دانه‌ها می‌شود. به‌همین دلیل خاک‌هایی که سدیمی می‌شوند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی نامطلوبی خواهند داشت و توان تولید محصول نیز در آن‌ها کم است (تاجیک و همکاران، ۱۹۹۹). گروس و همکاران (۲۰۰٦) با بررسی نتایج مطالعه‌های پژوهشگران متعدد بیان کردند که افزایش مقدار Na^+ خاک در محلول خاک و در ظرفیت تبادل کاتیونی خاک موجب خراب شدن ساختمان خاک می‌شود که در نتیجه موجب وارفتگی خاک‌دانه و متعاقب آن موجب کاهش مقدار منافذ ریز، شکستگی با تورم تفاضلی رس‌ها و در نتیجه کاهش اندازه منافذ و جداسازی و مهاجرت رس و به دنبال آن مسدود کردن منافذ هدایت‌کننده آب توسط ذرات رس جابه‌جا شده می‌گردد. نتایج مطالعه و پژوهش مزرعه‌ای بردواج و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که اثر هم‌زمان شوری و سدیمی بر شاخص‌های گوناگون مربوط به پایداری ساختمان خاک پیچیده است. به‌نظر می‌رسد شوری خاک اثر بیشتری بر هدایت هیدرولیکی و تورم رس در مقایسه با سدیمی (قلیائیت) دارد. برعکس، پایدرای خاک‌دانه بیشتر تحت تأثیر قلیائیت تا شوری قرار می‌گیرد.

به هر حال، اطلاعات اندکی در مورد اثرات شوری خاک بر پایداری خاک‌دانه‌ها در خاک‌های شور تیمار شده با انواع مواد آلی به‌ویژه در حضور کرم خاکی وجود دارد. اهداف این پژوهش بررسی اثرات شوری، مواد آلی و اثرات متقابل آن‌ها بر پایداری خاک‌دانه‌ها در خاک تلقیح شده با کرم خاکی *Lumbricus terrestris* L. بود.

1- Slaking
2- Sodium Adsorption Ratio
3- Exchangeable Sodium Percentage

مواد و روش‌ها

این پژوهش با استفاده از ۳ سطح شوری آب شامل ۲، ٤ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر حاصل از کلرید سدیم روی خاک شاهد (۰/٤۹ دسی‌زیمنس بر متر) و سه نوع مواد آلی (کودگاوی، بقایای یونجه و ذرت) به همراه شاهد (بدون ماده آلی) به‌صورت طرح فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در شرایط گلخانه‌ای به اجرا درآمد. نمونه‌ی خاک ابتدا از الک ٤ میلی‌متری عبور داده و آنالیزهای اولیه خاک و سه نوع مواد آلی انجام شد (جدول‌های ۱ و ۲). سپس حدود ۱۰ کیلوگرم خاک توزین شد و برای تیمارهای حاوی مواد آلی ۵۰ گرم (۱/۵ کیلوگرم در مترمربع خاک یا ۱۷ تن در هکتار) بقایای خشک یونجه، ذرت و کود گاوی اضافه و بطور کامل با خاک مخلوط گردید و سپس به درون گلدان‌ها ریخته شد و مقداری آب (بر اساس محاسبه رطوبت ظرفیت مزرعه) برای تنظیم رطوبت خاک در ۷۰ تا ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه به تمام بسترهای پرورش اضافه شده و سپس ۳۰ عدد کرم خاکی بالغ گونه *Lumbricus terrestris* L. به تمام گلدان‌ها اضافه شد. کرم‌خاکی به روش دستی در یک باغ گردو در شهرستان سپیدان استان فارس (عرض جغرافیای ۳۰ درجه و ۱۲ دقیقه و ۳۳/٤ ثانیه درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۰/۲ دقیقه و ۵۲ ثانیه درجه شرقی در ارتفاع ۱۹٤٤ متر از سطح) جمع آوری شد. کرم‌های خاکی از عمق ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متری سطح خاک جمع‌آوری و سپس تکثیر شدند. قبل از تکثیر کرم‌های خاکی، تعدادی کرم جهت شناسایی جنس و گونه جمع‌آوری و به آزمایشگاه انتقال یافت. به‌طور تصادفی تعداد ۲۰ عدد کرم خاکی بالغ از بین آن‌ها انتخاب و در محلول الکل تثبیت شدند. سپس با استفاده از بانیوکولار، ویژگی‌های مورفولوژیک مورد بررسی قرار گرفت. در مجموع با استفاده از کلیدهای شناسایی (ادواردس و بوهلن، ۱۹۹٦) مشخص شد که کرم‌های خاکی به خانواده *Lumbricidae*، جنس *Lumbricus* و گونه *Terrestris* تعلق دارند. برای تکثیر کرم‌ها از جعبه‌های چوبی پوشیده شده با گونی کنفی استفاده شد. مقداری کود حیوانی (کود گاوی آفتاب خورده الک شده)، خاک برگ، خاک و چند عدد کرم‌خاکی به جعبه‌ها اضافه، و برای مرطوب نگه داشتن بستر کرم‌ها مقداری آب اضافه شد. در پایان جعبه‌های پرورش در محیط تاریک و دمای معمولی قرار داده شدند و هر دو روز یک‌بار بسترهای پرورش با آب معمولی مرطوب گردیدند. طی چند هفته (معمولاً ٦ تا ۹ هفته) کرم‌ها تکثیر یافتند.

گلدان‌ها به‌مدت چهار هفته فقط با آب مقطر آبیاری شدند تا کرم‌ها به محل پرورش سازگاری یابند و در آغاز هفته پنجم آبیاری با آب شور در ۳ سطح شوری مورد نظر (۲، ٤ و ۸) انجام شد.

به‌منظور کنترل EC خاک در طول دوره آزمایش، برای هر تیمار یک گلدان اضافه در نظر گرفته شد. پس از هر مرحله آبیاری، اقدام به نمونه‌برداری از خاک گلدان‌ها و تهیه نسبت ۱:۲ آب به خاک گردید و EC خاک اندازه‌گیری شده و با توجه به درصد اشباع (SP) تبدیل به قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع شد (علیزاده، ۱۹۹۷). تعیین زمان آبیاری از طریق توزین گلدان‌ها و بر اساس حفظ رطوبت در حدود ۸۰-۷۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه و جزء آبشویی (LF=۰/۳) صورت گرفت (افیونی و همکاران، ۱۹۹۷).

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک مورد آزمایش.

ویژگی	واحد	مقدار
شن	درصد	۱۲
سیلت	درصد	٤٥
رس	درصد	٤٣
بافت	-	رسی سیلتی
کربنات کلسیم معادل	میلی‌گرم بر گرم	۳۷۰
pH	-	۷/٦
قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع	دسی‌زیمنس بر متر	۰/٤۹
کربن آلی	میلی‌گرم بر گرم	۸/٥
نیتروژن کل	میلی‌گرم بر گرم	۰/۷
نسبت C/N	-	۱۲
رطوبت ظرفیت مزرعه (F.C)	درصد	۲۳

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی موادآلی مورد آزمایش.

مواد اصلاحی‌آلی	کربن آلی (میلی‌گرم بر گرم)	نیتروژن کل (میلی‌گرم بر گرم)	نسبت C/N	EC (دسی‌زیمنس بر متر)
کودگاوی	۳٤۹	۱٥	۲۳	۰/٥۸
بقایای ذرت	۳۸۳	۲٤	۱٦	۰/۲٥
بقایای یونجه	۳٦٥	۳۲	۱۱	۰/۳۲

در پایان ۵ ماه، به‌منظور اندازه‌گیری پایداری خاک‌دانه‌ها، پس از اتمام آزمایش‌های بیولوژیکی (تنفس میکروبی خاک و فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز، ساکاراز، آریل سولفاتاز و فسفاتاز قلیایی)، کرم‌های خاکی در هر گلدان با دست از خاک جدا شدند و سپس خاک هر تیمار از الک ٤ میلی‌متری عبور داده شد. نمونه‌ها هوا خشک گردیدند. بعد از این مرحله، از هر تیمار یک نمونه ۵۰ گرمی توزین و برای اندازه‌گیری پایداری خاک‌دانه‌ها به روش الک تر به آزمایشگاه منتقل شد و طبق روش زیر آزمایش‌های پایداری خاک‌دانه‌ها، نسبت خاک‌دانه‌سازی، میانگین وزنی قطر ذرات و میانگین هندسی قطر ذرات انجام گرفت.

توزیع اندازه ذرات خاک‌دانه‌ها برای بررسی توزیع خاک‌دانه‌های پایدار باقی‌مانده بر روی هر الک (۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۲۵> میلی‌متر) به‌کار می‌رود، که به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد (هیلل، ۲۰۰٤):

$$\text{درصد پایداری خاک‌دانه‌ها} = \frac{Xi}{Wi} \times ۱۰۰ \qquad (۱)$$

که در این معادله W_i عبارت است از وزن کل خاک (۵۰ گرم) و X_i عبارت است از وزن خاک‌دانه‌های باقی‌مانده بر روی هر الک بر حسب گرم.

AR[1] نسبت خاکدانه‌سازی خاک را نشان می‌دهد که از نسبت درصد خاک‌دانه‌های درشت (۲۵۰ میکرومتر<) به درصد خاک‌دانه‌های ریز (۲۵۰ میکرومتر>) بدست می‌آید (بیکر و همکاران، ۲۰۰٤):

$$AR = \frac{\text{خاک‌دانه درشت (درصد)}}{\text{خاک‌دانه ریز (درصد)}} \qquad (۲)$$

پایداری خاک‌دانه‌ها بر حسب میانگین وزنی قطر ذرات به‌صورت زیر محاسبه شد (مارکوز و همکاران، ۲۰۰٤):

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} XiWi \qquad (۳)$$

که در این معادله MWD عبارت است از میانگین وزنی قطر ذرات بر حسب میلی‌متر؛ W_i عبارت است از وزن خشک خاک‌دانه‌ها در هر الک بر حسب گرم به وزن کل خاک (۵۰ گرم) و X_i عبارت است از میانگین قطر خاک‌دانه‌های باقی مانده بر روی هر الک بر حسب میلی‌متر.

1- Aggregate Ratio

میانگین هندسی قطر خاک‌دانه‌ها یکی دیگر از شاخص‌های پایداری ساختمان خاک است که میانگین هندسی قطر خاک‌دانه‌ها را مشخص می‌کند و مقادیر بزرگ‌تر GMD بیان‌کننده پایداری بیشتر خاک می‌باشد (مارکوز و همکاران، ۲۰۰٤). این شاخص به‌صورت زیر محاسبه گردید:

$$GMD = \exp \frac{\sum_{i=1}^{n} Wi \log Xi}{\sum_{i=1}^{n} Wi} \qquad (٤)$$

که در این معادله GMD عبارت است از میانگین هندسی قطر ذرات برحسب میلی‌متر؛ W_i وزن خشک خاک‌دانه‌ها در هر الک برحسب گرم و X_i میانگین قطر خاک‌دانه‌های باقی‌مانده بر روی هر الک برحسب میلی‌متر می‌باشد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها شامل تجزیه واریانس[1] و مقایسه‌ی میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SigmaStat ۳/۵ به‌منظور بررسی تغییرات ایجاد شده ناشی از شوری و کاربرد مواد آلی بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده پایداری خاک‌دانه‌ها، صورت گرفت. برای استفاده از روش تجزیه واریانس، داده‌های اصلی و باقی‌مانده[2] آن‌ها به‌منظور رعایت پیش فرض‌های اساسی اصول تفکیک واریانس فاکتورها، نرمال بودن و همگنی واریانس تیمارها در سطح احتمال ۹۵ درصد ($P \leq$۰/۰۵) نیز مورد ارزیابی قرار گرفتند. میانگین تیمارها از طریق آزمون Fisher's Protected LSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه و تفکیک شدند. مقادیر انحراف معیار هر تیمار محاسبه و در جدول‌ها در داخل پرانتز در کنار میانگین‌ها گزارش شدند.

نتایج و بحث

توزیع اندازه ذرات خاک‌دانه‌ها: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان می‌دهد که اثر شوری و مواد آلی و اثرات متقابل شوری و مواد آلی بر درصد توزیع اندازه ذرات خاک‌دانه‌ها معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۰۱) است. جدول (٤) نشان می‌دهد خاک‌دانه‌ها با اندازه ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر در تیمارهای یونجه، ذرت و کود گاوی به‌ترتیب ٤۳، ۲۳ و ۳٤ درصد بیشتر از تیمار بدون ماده اصلاحی بوده است. خاک‌دانه‌ها با اندازه ۰/۲۵ تا ۰/۵ میلی‌متر در تیمارهای یونجه، ذرت و کود گاوی در مقایسه با تیمار بدون ماده اصلاحی

1- ANOVA
2- Residuals

به‌ترتیب ۳۵، ۲٤ و ۳٤ درصد افزایش معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۰۱) نشان داد (جدول ٤). درصد خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر در تیمارهای یونجه، ذرت و کودگاوی به‌ترتیب ۲۱، ۱۱ و ۲۱ درصد بیشتر از تیمار بدون ماده اصلاحی بود (جدول ٤). داده‌ها نشان دادند که درصد خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر در تیمار کود گاوی ٤/۳ درصد بیشتر از تیمار شاهد بوده است (جدول ٤). خاک‌دانه‌های کوچک‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر در تیمارهای یونجه، ذرت و کودگاوی به‌ترتیب ٦/٦، ۳/۲ و ٦/۷ درصد کاهش در مقایسه با تیمار بدون ماده اصلاحی نشان دادند (جدول ٤).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات (MS) و میانگین مربعات خطا (MSE)) اثر شوری و مواد اصلاحی آلی و اثرات متقابل آن‌ها بر شاخص‌های پایداری خاک.

		MS								
منبع تغییرات	درجه آزادی	>۲ (mm)	۱-۲ (mm)	۰/۵-۱ (mm)	۰/۲۵-۰/۵ (mm)	<۰/۲۵ (mm)	>۰/۲۵ (mm)	MWD (mm)	GMD (mm)	AR
شوری	۳	۲/۹***	۰/٤**	۷/۳**	۱۹/۰***	٦۱/۹***	٦۱/۹***	۰/۰۰۵***	۰/۰۰۰۲***	۰/۰۲۳***
مواد اصلاحی	۳	٤/٦***	۰/٤*	۵/٤***	۲۹/۸***	۷۰/۳***	۷۰/۳***	۰/۰۰٤***	۰/۰۰۰۱***	۰/۰۲٤***
شوری × مواد صلاحی	۹	۲/۸***	۰/۸***	۳/٤**	۷/۰*	۱٦/٤***	۱٦/٤***	۰/۰۰۳***	۰/۰۰۰٦***	۰/۰۰۵***
MSE	۳۲	۰/۱٦	۰/۰۹	۰/۰۵	۳/۰۳	۲/۷۳	۲/۷۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۸

*** : $P\leq$ ۰/۰۰۱ ; ** : $P\leq$ ۰/۰۱ ; * : $P\leq$۰/۰۵

نتایج جدول ۵ نشان داد که در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر درصد خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر ۱۸ درصد کاهش و درصد خاک‌دانه‌ها با اندازه بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر، بین ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر و ۰/۲۵ تا ۰/۵ میلی‌متر در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۸، ۳۳ و ۲۲ درصد کاهش نشان داد.

جدول ٤- نتایج مقایسه میانگین (n=۱۲) شاخص‌های پایداری خاک بین مواد اصلاحی آلی.

ماده اصلاحی	>۲ mm (٪)	۱-۲ mm (٪)	۰/۵-۱ mm (٪)	۰/۲۵-۰/۵ mm (٪)	<۰/۲۵ mm (٪)	>۰/۲۵ mm (٪)	MWD (mm)	GMD (mm)	AR
فاقد ماده اصلاحی	۷/٤٤AB	۲/۹۹B	۳/٦۸D	۹/۷٦B	۷٦/۱٤A	۲۳/۸٦C	۰/٤۲۷B	۰/٤۵۱B	۰/۳۱C
یونجه	۷/۳۳B	۳/۲۰AB	۵/۲۳A	۱۳/۱٤A	۷۱/۱C	۲۸/۹۰A	۰/٤٤۵A	۰/٤۵۸A	۰/٤۱A
ذرت	٦/۳۲C	۳/٤۳A	٤/۵۲C	۱۲/۱۱A	۷۳/٦۲B	۲٦/۳۸B	۰/٤۱۲C	۰/٤۵۳B	۰/۳۸B
کودگاوی	۷/۷٦A	۳/۲۰AB	٤/۹۱B	۱۳/۰٦A	۷۱/۰۷ C	۲۸/۹۳A	۰/٤۵۵A	۰/٤۵۹A	۰/٤۱A
$LSD_{0.05}$	۰/۳۲۸	۰/۲٦۳	۰/۱۸۹	۱/٤٤۷	۱/۳۷٤	۱/۳۷٤	۰/۰۱۰	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۷

در هر ستون حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار ($P<$۰/۰۵) بین مواد اصلاحی مختلف بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

*** : $P\leq$ ۰/۰۰۱ ; ** : $P\leq$ ۰/۰۱ ; * : $P\leq$۰/۰۵

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین (n=۱۲) شاخص‌های پایداری خاک در هر سطح شوری.

سطح‌شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	>۲ mm (٪)	۱-۲ mm (٪)	۰/۵-۱ mm (٪)	۰/۲۵-۰/۵ mm (٪)	<۰/۲۵ mm (٪)	>۰/۲۵ mm (٪)	MWD (mm)	GMD (mm)	AR
شاهد	۷/۱۲B	۳/۰٤B	۵/۵۳A	۱۳/٤۸A	۷۰/۸۲C	۲۹/۱۸A	۰/٤٤۰A	۰/٤۵۸A	۰/٤۱A
۲	۷/٦٤A	۳/۲۸AB	٤/۸۵ B	۱۱/٦۵CB	۷۲/۵۹B	۲۷/٤۱B	۰/٤٤۹A	۰/٤۵۷A	۰/٤۰B
٤	۷/۵۳A	۳/٤٤A	٤/۲۵ C	۱۲/٤۳AB	۷۲/۳۵B	۲۷/٦۵B	۰/٤٤٦A	۰/٤۵۷A	۰/۳۸C
۸	٦/۵۵C	۳/۰۵B	۳/۷۲D	۱۰/۵۰C	۷٦/۱۸ A	۲۳/۸۲C	۰/٤۰۵B	۰/٤۵۰B	۰/۳۱D
$LSD_{0.05}$	۰/۳۲۸	۰/۲٦۳	۰/۱۸۹	۱/٤٤۷	۱/۳۷٤	۱/۳۷٤	۰/۰۱۰	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۷۷

در هر ستون حروف مختلف نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار ($P<$۰/۰۵) بین سطوح شوری مختلف بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

میانگین وزنی قطر ذرات[1]: نتایج جدول (۳) نشان داد که اثر شوری و مواد آلی و هم‌چنین اثرات متقابل آن‌ها بر MWD معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۰۱) می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان داد که با افزایش سطح شوری از ۰/٤۹ به ۸ دسی‌زیمنس بر متر پایداری خاک‌دانه‌ها ۱۲ درصد کاهش یافته است. مواد اصلاحی اضافه شده در سطوح مختلف شوری دارای اثرات متفاوت بر پایداری خاک‌دانه‌ها می‌باشند (جدول ٦). میانگین وزنی قطر ذرات در سطح شوری ۰/٤۹ دسی‌زیمنس بر متر، در خاک‌هایی با ۵۰ گرم بقایای یونجه، ذرت و کود گاوی در مقایسه با تیمار بدون ماده اصلاحی به‌ترتیب ۵، ٦ و ۲۳ درصد افزایش نشان داده است. میانگین وزنی قطر ذرات در سطح شوری ۲ دسی‌زیمنس

1- Mean Weight Diameter

بر متر، در خاک تیمار شده با یونجه در مقایسه با تیمار بدون ماده اصلاحی ٦ درصد افزایش نشان داد. میانگین وزنی قطر ذرات در سطح ٤ دسی‌زیمنس بر متر، در تیمارهای یونجه، ذرت و کود گاوی به‌ترتیب ۹، ۷ و ١٤ درصد بیشتر از تیمار بدون ماده اصلاحی بود (جدول ٦). به‌طور کلی میانگین وزنی قطر ذرات در تیمارهای یونجه و کود گاوی به‌ترتیب ٤ و ۷ درصد بیشتر از تیمار بدون ماده اصلاحی بوده است. شاخص MWD در سطح ۸ دسی‌زیمنس بر متر در تیمارهای یونجه، ذرت و کود گاوی در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۳ و ١٦ درصد کاهش نشان می‌دهد. در شرایط غیر شور، کود گاوی در افزایش MWD مؤثرتر از سایر مواد اصلاحی مصرفی بوده است، در حالی که در شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر یونجه مؤثرتر بوده است (جدول ٦). در شوری‌های خیلی بالا (٤ و ۸ دسی‌زیمنس) تفاوت معنی‌دار بین اثرات کود گاوی و یونجه مشاهده نمی‌شود. در تمام سطوح شوری، پایداری خاک‌دانه‌های خاک تیمار شده با بقایای ذرت همواره پایین‌تر (۸ درصد) از دو ماده آلی دیگر (یعنی یونجه و کود گاوی) می‌باشد (جدول ٦). هم‌چنین همبستگی معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۵) بین میانگین وزنی قطر ذرات و وزن تر کرم‌ها (*۰/۳۱=r) و طول کرم‌ها (*۰/۳۱=r) وجود داشت (جدول ۷).

جدول ٦- نتایج مقایسه میانگین (n=۳) شاخص "میانگین وزنی قطر ذرات MWD" (میلی‌متر) بین مواد اصلاحی آلی مختلف در هر سطح شوری (اعداد داخل پرانتز مقادیر انحراف معیار را نشان می‌دهند).

ماده اصلاحی	EC (دسی‌زیمنس بر متر)				
	شاهد	۲	٤	۸	میانگین
فاقد ماده اصلاحی	۰/٤۰٦(۰/۰۰۳)C	۰/٤٦۲(۰/۰۲۱)B	۰/٤۱۵(۰/۰۲۱)C	۰/٤۲٦(۰/۰۰۱)A	۰/٤۲۷B
یونجه	۰/٤۲۵(۰/۰۰۵)BC	۰/٤۸۹(۰/۰۱۲)A	۰/٤۵٤(۰/۰۱۸)AB	۰/٤۱۲(۰/۰۰۸)A	۰/٤٤۵A
ذرت	۰/٤۲۹(۰/۰۰۳)B	۰/٤۱٤(۰/۰۰۹)D	۰/٤٤۵(۰/۰۰۹)B	۰/۳٦۲(۰/۰۱٤)B	۰/٤۱۲C
کود گاوی	۰/۵۰۰(۰/۰۰۸)A	۰/٤۳۲(۰/۰۲۰)CD	۰/٤۷۱(۰/۰۰۸)A	۰/٤۱۹(۰/۰۰٦)A	۰/٤۵۵A
$LSD_{0.05}$	۰/۰۲۰				۰/۰۱۰

در هر ستون حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۵) بین مواد اصلاحی مختلف بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

جدول ۷- ضرایب همبستگی (*r*) بین شاخص پایداری خاک‌دانه و وزن تر، وزن خشک، طول و جمعیت کرم‌های خاکی.

شاخص پایداری خاک‌دانه	وزن تر کرم	وزن خشک کرم	طول کرم	جمعیت کرم
MWD	۰/۳۱*	۰/۱۱Ns	۰/۳۱*	۰/۲۸Ns
GMD	۰/۵۷***	۰/۳۵*	۰/٤٥***	۰/٤٨***
AR	۰/۸۲***	۰/٦٤***	۰/٦٤***	۰/۷۳***

*** : $P\leq$ ۰/۰۰۱ ; * : $P\leq$۰/۰۵ ; Ns معنی‌دار نیست.

نتایج پژوهش انجام شده توسط تاجیک و همکاران (۱۹۹۹) در مجموع نشانگر آن است که با افزایش مقدار نسبت جذب سدیم، پایداری خاکدانه‌ها کاهش یافته است. اثرات مفید مواد اصلاح‌کننده آلی شامل کاهش جرم مخصوص ظاهری، افزایش ظرفیت نگهداری آب، پایداری خاک‌دانه‌ها، هدایت هیدرولیکی اشباع، سرعت نفوذ آب و فعالیت بیوشیمیایی است (کاراواکا و همکاران، ۲۰۰۲). نتایج بیشتر مطالعه‌ها در شرایط مزرعه‌ای و کنترل شده نشان می‌دهند که کرم خاکی با عملیات حفاری، فعالیت‌های مصرفی و ترشحی به‌طور قابل ملاحظه‌ای مواد آلی را به‌درون خاک مخلوط می‌کند و تشکیل ماکروخاک‌دانه‌ها را افزایش می‌دهند (پولمان و همکاران، ۲۰۰۵). علاوه بر آن تجزیه بقایای گیاهی، پراکندگی رس، اضافه کردن پلی‌ساکاریدها و مخلوط کردن شدید مواد آلی و معدنی در روده کرم‌های خاکی تشکیل خاک‌دانه‌های کوچک را در فضولات آن‌ها تحریک می‌کند (پولمان و همکاران، ۲۰۰۵).

با افزایش سدیم تبادلی که آب هیدراته زیادی را در اطراف خود جذب می‌کند، فاصله صفحات اجزاء رسی افزایش و موجب پراکندگی آن‌ها و تخریب خاک‌دانه‌ها می‌شود (برزگر، ۲۰۰۱). در پژوهش آزمایشگاهی از دو آبشویه BA دارای واکنش خاک قلیایی بالا (۱۱/۱)، درصد سدیم قابل جذب بالا (۱۸/۳) و هدایت هیدرولیکی به نسبت بالا (۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر) و آبشویه SAPCr دارای واکنش خاک خنثی (۷/٦)، درصد سدیم قابل جذب پایین (۵/٦) و هدایت هیدرولیکی بسیار بالا (۱۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر) استفاده گردید که نتایج نشان داده است هر دو آبشویه SAPCr و BA موجب وارفتگی خاک‌دانه‌های درشت (۱۰۰۰ تا ٤۰۰۰ میکرومتر) شدند که همبستگی بالایی با کاهش میانگین وزنی قطر ذرات دارند (گروس و همکاران، ۲۰۰٦). نتایج پژوهش مزرعه‌ای بردواج و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که در حالت وارفتگی خاک‌دانه‌ها، کاهش درجه مقاومت خاک‌دانه[1] رابطه معکوس با شوری و سدیم (یا قلیائیت) خاک دارد. در خاک مورد مطالعه همبستگی مثبت معنی‌دار

1- Stability ratio

(***۰/۹۳=r) بین هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم خاک وجود دارد که عامل کاهش مقاومت و افزایش پراکندگی خاک‌دانه‌ها شده است (نعمتی، ۲۰۱۰).

میانگین هندسی قطر ذرات[1]: نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که اثرات شوری، مواد آلی و اثرات متقابل آن‌ها بر GMD معنی‌دار (۰/۰۰۱≥P) می‌باشد. با افزایش سطح شوری از ۰/٤۹ به ۸ دسی‌زیمنس بر متر پایداری خاک‌دانه‌ها ۲ درصد کاهش یافته است (جدول ۵). مواد اصلاحی اضافه شده در سطوح مختلف شوری دارای اثرات متفاوت بر پایداری خاک‌دانه‌ها می‌باشند (جدول ۸). میانگین هندسی قطر ذرات در سطح شوری ۰/٤۹ دسی‌زیمنس بر متر، در خاک‌های تیمار شده با یونجه، ذرت و کود گاوی در مقایسه با تیمار بدون ماده اصلاحی به‌ترتیب ۱، ۲/۲ و ۳/٤ درصد افزایش نشان داد. میانگین هندسی قطر ذرات در سطح ۲ دسی‌زیمنس بر متر در تیمار یونجه ۱/۷ درصد بیشتر از تیمار بدون ماده اصلاحی بود. شاخص GMD در سطح شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر در تیمارهای یونجه، ذرت و کود گاوی به‌ترتیب ۲/۲، ۱/٤ و ۲/۱ درصد بیشتر از تیمار بدون ماده اصلاحی بود. میانگین هندسی قطر ذرات در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر در خاک‌های تیمار شده با یونجه و کود گاوی افزایش معنی‌دار (۰/۰۰۱≥P) معادل ۱ درصد در مقایسه با تیمار بدون ماده اصلاحی نشان داد (جدول ۸). شاخص GMD در سطح ۸ دسی‌زیمنس بر متر در تیمارهای بدون ماده اصلاحی، بقایای یونجه، ذرت و کود گاوی به‌ترتیب ۰/۲، ۰/۱، ۳/۷ و ۲/۷ درصد کاهش یافته است. به‌طور خلاصه، در تیمار شاهد (خاک غیر شور) اثر کود گاوی بر شاخص GMD ملموس‌تر بوده است (جدول ۸). با شروع شوری اندک در سطح ۲ دسی‌زیمنس بر متر، بقایای یونجه در افزایش GMD مؤثرتر بودند، در حالی‌که اختلاف بین کودهای آلی یونجه و گاوی در سطوح شوری ٤ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر معنی‌دار نبود. در مجموع و بدون در نظر گرفتن سطح شوری، بقایای یونجه بیشترین تأثیر مثبت را بر میانگین هندسی قطر ذرات داشت (جدول ٤). افزایش شوری از ۰/٤۹ دسی‌زیمنس بر متر (شاهد) به ۸ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش تعداد کرم‌های خاکی (۳۲ درصد)، وزن تر کرم‌ها (٥٤ درصد)، وزن خشک کرم‌ها (٥٤ درصد)، طول کرم‌ها (۲٥ درصد) و تعداد پیله‌ها (۳٥ درصد) شد (نعمتی، ۲۰۱۰). همبستگی معنی‌دار (۰/۰٥≥P) بین این شاخص و وزن تر کرم‌ها (***۰/٥۷=r)، وزن خشک کرم‌ها (*۰/۳٥=r)، طول کرم‌ها (***۰/٤٥=r) و جمعیت کرم‌ها (***۰/٤۸=r) وجود داشت (جدول ۷).

1- Geometric Mean Diameter

جدول ۸- نتایج مقایسه میانگین (n=۳) شاخص "میانگین هندسی قطر ذرات GMD"(میلی‌متر) بین مواد اصلاحی آلی مختلف در هر سطح شوری (اعداد داخل پرانتز مقادیر انحراف معیار را نشان می‌دهند).

ماده اصلاحی	EC (دسی‌زیمنس بر متر)				
	شاهد	۲	٤	۸	میانگین
فاقد ماده اصلاحی	۰/٤٥۰۲(۰/۰۰۱)D	۰/٤٥٥۷(۰/۰۰۳)B	۰/٤٥۰٤(۰/۰۰۲)B	۰/٤٤۹۳(۰/۰۰۱)B	۰/٤٥۱B
یونجه	۰/٤٥۳۸(۰/۰۰۳)C	۰/٤٦۳۷(۰/۰۰۱)A	۰/٤٥۹٥(۰/۰۰۳)A	۰/٤٥۳٤(۰/۰۰۱)A	۰/٤٥۸A
ذرت	۰/٤٦۰٥(۰/۰۰۱)B	۰/٤٥۱٥(۰/۰۰٦)B	۰/٤٥٦۹(۰/۰۰۱)A	۰/٤٤۳٤(۰/۰۰۱)C	۰/٤٥۳B
کودگاوی	۰/٤٦٥٥(۰/۰۰۱)A	۰/٤٥٦٥(۰/۰۰۲)B	۰/٤٦۰۰(۰/۰۰۱)A	۰/٤٥۲۷(۰/۰۰۱)A	۰/٤٥۹A
$LSD_{0.05}$	۰/۰۰۳٦				۰/۰۰۱۸

در هر ستون حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار ($P\leq$۰/۰٥) بین مواد اصلاحی مختلف بر اساس آزمون LSD شوری می‌باشد.

با توجه به این‌که توزیع اندازه خاک‌دانه‌ها لگاریتمی است، GMD به دقت توزیع فراوانی انواع خاک‌دانه‌ها را محاسبه می‌کند (برزگر، ۲۰۰۱). فعالیت کرم خاکی و کاربرد بقایا اثر مهم بر تشکیل خاک‌دانه‌های پایدار در آب دارد (بوسییوت و همکاران، ۲۰۰٦).

در واقع خاک موجود در فضولات کرم خاکی خاک‌دانه‌های پایدار در آب را به‌واسطه مکانیسم‌های متعدد تشکیل می‌دهند. ماکروخاک‌دانه‌های تولید شده در حضور کرم خاکی به‌مدت زمان طولانی پایدار باقی می‌مانند (بوسییوت و همکاران، ۲۰۰٦). نتایج پژوهش آزمایشگاهی گروس و همکاران (۲۰۰٦) نشان داد که تیمارهای حاوی SAPCr با هدایت هیدورلیکی بالا (۱۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر) موجب وارفتگی خاک‌دانه شدندکه همراه با کاهش زیادی در پایداری خاک‌دانه‌ها تا ٤۹ درصد در مقایسه با شاهد بودند.

نسبت خاک‌دانه‌سازی[1]: نتایج این پژوهش (جدول ۳) نشان می‌دهد که اثر شوری و مواد آلی و اثرات متقابل شوری و موادآلی بر نسبت خاکدانه‌سازی معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۰۱) می‌باشد. شوری سبب کاهش نسبت خاک‌دانه‌سازی شده است. این شاخص در سطوح ۲، ٤ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب ٥، ۷ و ۲٤ درصد کمتر از شاهد بود. به‌طورکلی در مقایسه میانگین‌ها نسبت خاکدانه‌سازی در تیمارهای یونجه، ذرت و کود گاوی در مقایسه با تیمار بدون ماده اصلاحی به‌ترتیب ۳۰، ۲۱ و ۳۰ درصد

1- Aggregate Ratio

افزایش نشان داد (جدول ۹). در خاک غیرشور نسبت خاک‌دانه‌سازی در تیمارهای یونجه، ذرت و کود گاوی به‌ترتیب ۲٦، ۵۱ و ۵۳ درصد بیشتر از تیمار بدون ماده اصلاحی بود. در حالی‌که در خاک شور بیشترین تأثیر مواد اصلاحی بر نسبت خاک‌دانه‌سازی در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر در تیمار بقایای یونجه (۳۲ درصد) و در سطح ٤ دسی‌زیمنس بر متر در تیمار بقایای ذرت (۲٤ درصد) و کود گاوی (۳۲ درصد) در مقایسه با تیمار بدون ماده اصلاحی مشاهده شد (جدول ۹). نتایج نشان داد کود گاوی و بقایای یونجه در مقایسه با بقایای ذرت تأثیر بیشتری (حدود ۹ درصد) بر شاخص نسبت خاک‌دانه‌سازی داشتند. همانند سایر شاخص‌های پایداری (MWD و GMD)، بیشترین افزایش مقادیر AR در خاک تیمار شده با کود گاوی مشاهده گردید. بیشترین افزایش AR (حدود ۸ درصد) در سطح شوری بالا (۸ دسی‌زیمنس بر متر) در تیمارهای کود گاوی و بقایای یونجه مشاهده شد (جدول ۵). داده‌ها نشان دادند که همبستگی معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۰۱) بین نسبت خاکدانه‌سازی و وزن تر کرم‌ها (r=۰/۸۲***)، وزن خشک کرم‌ها (r=۰/٦٤***)، طول کرم‌ها (r=۰/٦٤***) و جمعیت کرم‌ها (r=۰/۷۳***) وجود دارد (جدول ۷).

جدول ۹- نتایج مقایسه میانگین (n=۳) "نسبت خاک‌دانه‌سازی خاک AR" بین مواد اصلاحی آلی مختلف در هر سطح شوری.

ماده اصلاحی	EC (دسی‌زیمنس بر متر)				
	شاهد	۲	٤	۸	میانگین
فاقدماده اصلاحی	۰/۳۱٤(۰/۰۰۷)C	۰/۳٤٦(۰/۰۱٦)D	۰/۳۱٤(۰/۰۱۲)C	۰/۲۸۱۰(۰/۰۰۳)C	۰/۳۱٤C
یونجه	۰/۳۹٤(۰/۰۰۲)B	۰/٤٤۹(۰/۰۰۷)A	۰/٤۱٤(۰/۰۲۱)A	۰/۳۷۱(۰/۰۰٤)A	۰/٤۰۷A
ذرت	۰/٤۷٤(۰/۰۰۵)A	۰/۳۸٦(۰/۰۰۳)C	۰/۳۹۱(۰/۰۰٤)B	۰/۲٦٦(۰/۰۰۷)C	۰/۳۷۹B
کودگاوی	۰/٤۷۹(۰/۰۰۳)A	۰/٤۰٤(۰/۰۱٦)B	۰/٤۱۵(۰/۰۰٤)A	۰/۳۳۸(۰/۰۰٤)B	۰/٤۰۹A
$LSD_{0.05}$	۰/۰۱٦				۰/۰۰۷

در هر ستون حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۵) بین مواد اصلاحی مختلف بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

اضافه کردن غلظت‌های مختلف آبشویه SAPCr و BA به خاک به‌طور معنی‌دار پایداری خاک‌دانه را در مقایسه با تیمار شاهد آب مقطر کاهش دادند (گروس و همکاران، ۲۰۰٦). مشخص شده که تحت شرایط آزمایش در محیط مزرعه، سدیمی بودن خاک بیشتر از شوری بر حساسیت خاک‌دانه به وارفتگی مؤثر بوده است (بردواج و همکاران، ۲۰۰۸).

مواد آلی مشتق شده از لاشبرگ به‌عنوان عامل اتصال و تشویق‌کننده فعالیت میکروبی عمل می‌کنند که منجر به تولید عوامل اتصال می‌شوند در واقع ترکیب مواد آلی به‌ویژه ماده آلی ذره‌ای[1] تشکیل خاک‌دانه‌های کوچک پایدار بین خاک‌دانه‌های بزرگ را توسعه می‌دهند (ادواردس، ۲۰۰٤؛ بوسییوت و همکاران، ۲۰۰٦). ماده آلی در خاک می‌تواند اثر تخریبی سدیم تبادلی بر ساختمان خاک را کاهش دهد و با افزایش سطح ویژه پایداری، اندازه خاک‌دانه‌ها را افزایش می‌دهد (علاءالدین و موحدی، ۲۰۰۹). نتایج بررسی‌های بسیاری از محققان همبستگی مثبت بین مقدار کربن آلی فضولات و پایداری خاک‌دانه‌ها نشان داده است (ادواردس، ۲۰۰٤). ژانگ و اسچرادر (۱۹۹۳) برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی را در فضولات با اندازه ۲-۱ میلی‌متر و مواد دیواره کانال‌های حفر شده چندین گونه کرم خاکی بررسی و گزارش دادند مقدار کل پلی‌ساکاریدها در فضولات ۸۷-۳۵ درصد و در مواد دیواره کانال‌ها ٤٦-۳۳ درصد در همه گونه‌های کرم خاکی افزایش یافته است. این ممکن است اثر فوق‌العاده قوی در اتصال ذرات برای تشکیل خاک‌دانه‌های پایدار در آب داشته باشد. کرم‌های خاکی نقش زیادی در خرد کردن لاشبرگ و تبدیل آن‌ها به اجزاء با اندازه خاک‌دانه‌های کوچک ایفاء می‌کنند (ادواردس، ۲۰۰٤).

همان‌طور که نتایج بسیاری از محققان نشان می‌دهد بر اثر فعالیت کرم خاکی خاک‌دانه‌های ماکرو افزایش و میکرو کاهش می‌یابد و مواد آلی نیز در افزایش خاک‌دانه‌های ماکرو موثر عمل می‌کنند. در جدول‌های ۳، ٤ و ۵ می‌توان اثر مواد آلی بر خاک‌دانه‌ها را ملاحظه کرد. در مورد نسبت خاک‌دانه‌سازی ملاحظه می‌شود که در خاک غیرشور در تیمارهای یونجه، ذرت و کود گاوی به‌ترتیب ۲٦، ۵۱ و ۵۳ درصد افزایش در مقایسه با تیمار بدون ماده اصلاحی مشاهده می‌شود. بنابراین، کیفیت مواد آلی و تغذیه ترجیحی آن‌ها توسط کرم‌های خاکی می‌تواند اثر متفاوتی بر پایداری خاک‌دانه‌ها در سطوح مختلف شوری خاک داشته باشد. به‌عبارت دیگر، به‌نظر می‌رسد برهم‌کنش متقابل بین نوع مواد آلی مصرفی و درجه شوری در خاک‌های مبتلا به شوری ثانویه در حضور کرم‌های خاکی دارای اهمیت می‌باشد.

1- Particulate Organic Matter

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کوتاه، نتایج این پژوهش نشان داد که الف) شوری موجب کاهش پایداری خاک‌دانه‌ها می‌گردد، ب) استفاده از بقایای گیاهی و کود حیوانی می‌تواند از طریق تأثیر مثبت بر جامعه میکروبی، تغذیه کرم خاکی و فعالیت آن‌ها، تا حدودی از اثرات منفی شوری بر ساختمان خاک بکاهد و ج) اثر مواد آلی گوناگون بر پایداری خاک‌دانه‌ها در سطوح مختلف شوری متفاوت است. بنابراین، مصرف مواد آلی و استفاده از کرم‌های خاکی، به‌ویژه انواع مقاوم به شوری، در خاک‌های به‌نسبت شور می‌تواند به حفظ حاصل‌خیزی فیزیکی خاک[1]، کاهش فرسایش و در نتیجه پایداری آن کمک نماید. با این وجود، مطالعه و مقایسه اهمیت نسبی سایر انواع کرم‌های خاکی در محیط‌های شور لازم و ضروری به‌نظر می‌رسد.

سپاسگزاری و قدردانی

به این وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه شهرکرد از این پژوهش تقدیر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

1.Abbott, L.K., and Murphy, D.V. 2007. Role of Soil Fauna in Soil Physical Fertility. P 61-80, In: van Vliet, P.C.J., and Hendrix, P.F. (eds.), Soil Biological Fertility-A Key to Sustainable Land Use in Agriculture, Springer.

2.Allaedin, M.M., and Movahedi Nainni, E. 2009. Effect specific soil surface, organic matter, percentage of sodium exchange and salinity on the stability and size of aggregates. P 1542-1543. In: 11th Iranian Soil Science Congress, Soil Management and Food security. Gorgan University. (In Persian)

3.Alizadeh, A. 1997. Land drainage: Modeling and planning drainage systems in agriculture. Mashhhad Ferdowsi University Press, 420p. (In Persian)

4.Baker, B.J., Fausey, N.R., and Islam, K.R. 2004. Comparison of soil physical properties under two different water table management regimes. Soil Science Society of America Journal, 68:1973-1981.

5.Barzegar, E. 2001. Soil Physics. Ahwaz University Press. 591p. (In Persian)

6.Bhardwaj, A.K., Mandal, U.K., Gilboa, A., Bar-Tal, A., and Levy, G.J. 2008. Replacing saline-sodic irrigation water with treated wastewater: effects on saturated hydraulic conductivity, slaking, and swelling. Irrigation Science, 26:139-146.

1- Soil physical fertility

7.Bossuyt, H., Six, J., and Hendrix, P.F. 2006. Interactive effects of functionally different earthworm species on aggregation and incorporation and decomposition of newly added residue carbon. Geoderma, 130: 14-25.
8.Brown, G.G., Barois, I., and Lavelle, P. 2000. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. European J. Soil Biology, 36: 177-198.
9.Bronick, C.J., and Lal, R. 2005. Soil structure and management: a review. Geoderma, 124: 3-22.
10.Caravaca, F., Masciandaro, G., and Ceccanti, B. 2002. Land use in relation to soil chemical and biochemical properties in a semiarid Mediterranean environment. Soil and Tillage Research, 68: 23-30.
11.Edwards, C.A. 2004. Earthworm Ecology. 3rd edition. CRC Press, Boca Raton, FL. 604p.
12.Edwards, C.A., and Bohlen, P.J. 1996. Biology and Ecology of Earthworms. Chapman and Hall, London. 320p.
13.Eefyoni, M., Mojtabapour, R., and Nourbakhsh, F. 1997. Saline and Sodic Soils and improvement. Esfahan Arkan Press, 360p. (In Persian)
14.Gros, R., Poulenard, J., Monrozier L.J., and Faivre, P. 2006. Soil physico-chemical changes following application of municipal solid waste leachates to grass lands. Water, Air, and Soil Pollution, 169:81-100.
15.Hillel, D. 2004. Introduction to Environmental Soil Physics. Academic Press, Sandiego, CA. 256p.
16.Jegou, D., Schrader, S., Diestel, H., and Cluzeau, D. 2001. Morphological, physical and biochemical characteristics of burrow walls formed by earthworms. Applied Soil Ecology, 17: 165-174.
17.Kohler, J., Caravaca, F., and Rolan, A. 2010. An AM fungus and a PGPR intensify the adverse effects of salinity on the stability of rhizosphere soil aggregates of *Lactuca sativa*. Soil Biology and Biochemistry, 42: 429-434.
18.Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P., Heal, O.W., and Dhillion, S. 1997. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. European J. Soil Biology. 33:159-93.
19.Lee, E. 1985. Earthworms: their ecology and relationship with soil and land use. Academic Press, Orlando, Florida. 219p.
20.Marquez, C.O., Garcia, V.J., Cambardella, C.A., Schultz, R.C., and Isenhart, T.M. 2004. Aggregate-size stability distribution and soil stability. Soil Science Society of America Journal, 68: 725-735.
21.Nemati F. 2010. The interactive effect of soil salinity and some organic fertilizers on earthworm (*Lumbricus terrestris* L.) growth and activity. M.Sc. Thesis. Shahrekord University, Iran. 104p. (In Persian)

22.Pulleman, M.M., Six, J., Uyl, A., Marinissen, J.C.Y., and Jongmans, A.G. 2005. Earthworms and management affect organic matter incorporation and microaggregate formation in agricultural soils. Applied Soil Ecology, 29: 1-15.
23.Six, J., Bossuyt H., Degryze S., and Denef K. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. Soil and Tillage Research. 79:7-31.
24.Stevens, D.P., McLaughlm, M.J., and Smart, M.K. 2003. Effects of long-term irrigation with reclaimed water on soils of the Northern Adelaide plains, South Australia. Australian J. Soil Research, 41: 933-948.
25.Tajik, F., Pazira, A., and Rahimmi, H. 1999. Overview of quantitative evaluation methods of aggregate stability. J. Soil and Water. 13:63-74. (In persion)
26.Tisdall, J.M., and Adem, H.H. 1986. Effect of type of seedbed, type of irrigation and of a mulch on seedling emergence, growth and yield of maize (*Zea Mays*). Australian Journal of Experimental Agriculture, 26:197-200.
27.Tisdall, J.M., and Oades, J.M. 1982. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. Australian J. Soil Research, 17:429-441.
28.Winsome, T., and 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, 1677-1687.
29.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.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 19(1), 2012
http://jwfst.gau.ac.ir

Aggregate stability under different treatments of soil salinity and organic materials in the presence of the anecic earthworm *Lumbricus terrestris* L. under greenhouse conditions

***F. Nemati[1], F. Raiesi[2] and A.R. Hosseinpour[2]**

[1]M.Sc. Student of Soil Biology and Biotchnology Major, Agricultural College, Shahrekord University, [2]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Agricultural College, Shahrekord University

Received: 2010/11/14; Accepted: 2011/06/15

Abstract

The influence of organic materials on soil aggregate stability in the presence of earthworms is of great importance for the maintenance of soil fertility and quality, which might be relatively different in saline than non-saline environments. The main objective of this study was to realize the interactive effects between soil salinity and organic materials on aggregate stability in a soil inoculated with an anecic earthworm (*Lumbricus terrestris* L.) The experiment was a 4×4 factorial consisting of three levels of salinity (2, 4, and 8 dSm^{-1}) obtained using NaCl and a control soil, and three organic materials (alfalfa and corn residues, cow manure) with an unamended soil as the control arranged in a completely randomized design replicated three times under controlled greenhouse conditions. The experiment lasted 19 weeks. At the end of 19 weeks, wet aggregate stability was measured. The aggregate stability decreased consistently with increasing salinity levels from 0.1 to 24%. The results showed that organic materials added to saline and non-saline soils improved aggregate stability (1-53%). The influence of various organic materials on soil aggregate stability and subsequent soil structure is largely dependent on the level of soil salinization imposed. Briefly, salinity would reduce aggregate stability, and that the utilization of plant residues and animal manures in saline soils may reduce the negative effects of salinity on soil fauna resulting in enhanced microbial activities, probably through the stimulation of the microbial community and feeding earthworms.

Keywords: Aggregate stability, Earthworm, Organic material and Soil salinity

* Corresponding Author; Email: fatemeh.nemati2010@yahoo.com