



نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار

جلد یازدهم، شماره اول، ۱۴۰۰

۸۳-۱۰۰

<http://ejms.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/ejms.2021.18280.1969

(مقاله کامل علمی - پژوهشی)



دانشگاه ارومیه

تأثیر ماده آلی و کلرید پتاسیم بر شاخص‌های پایداری ساختمان خاک

سمیه غلامی جامی^۱ و حجت امامی^{۲*}

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد، ^۲استاد گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۲

چکیده

سابقه و هدف: اکثر خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران دارای کم‌تر از یک درصد ماده آلی هستند که این مسئله سبب کاهش کیفیت برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله کاهش پایداری خاکدانه‌ها، تخریب ساختمان خاک و کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع می‌شود؛ این شرایط موجب افزایش رواناب و فرسایش می‌گردد. با توجه به اهمیت و نقش مواد آلی در پایداری ساختمان خاک از یک سو و وجود سدیم و پتاسیم در کود گاوی و اثرات مخرب آن‌ها بر ساختمان خاک از سوی دیگر این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کود گاوی، لجن فاضلاب و کاتیون پتاسیم بر شاخص‌های پایداری ساختمان خاک انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش تأثیر کود گاوی و لجن فاضلاب شهری در سه سطح صفر، ۱ و ۲ درصد و شوری محلول‌های حاوی پتاسیم (کلرید پتاسیم) در سه سطح شوری ۱، ۳ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر در سه تکرار به صورت طرح کاملاً تصادفی در قالب آرایش فاکتوریل برای مقایسه تیمارها بر شاخص‌های پایداری ساختمان خاک مطالعه شد. تیمارهای یک و دو درصد کود گاوی و لجن فاضلاب به خاک اعمال شده و خاک تیمار شده در گلدان یک کیلویی ریخته شد. به همه گلدان‌ها در ابتدا ۳۰۰ میلی‌لیتر آب شهری اضافه شد تا به حالت اشباع برسد. سپس، آبیاری با محلول‌های حاوی KCl آغاز شد و هر ۷ روز یکبار ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول KCl به گلدان‌ها افزوده شد. این دوره آبیاری ۸ هفته به طول انجامید و بعد از گذشت ۸ هفته شاخص‌های پایداری ساختمان خاک شامل شاخص پایداری نرمال، میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها و درصد تخریب خاکدانه‌ها اندازه‌گیری شدند. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری JMP8 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD و در سطح یک درصد انجام شد.

یافته‌ها: نتایج شاخص‌های پایداری ساختمان خاک نشان داد که تیمار لجن فاضلاب اثر مثبت بر میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD) و درصد تخریب خاکدانه (PAD) داشت، درحالی‌که تیمار کود گاوی به دلیل بالا بودن سدیم و تا حدودی پتاسیم آن و اثرات مخرب این دو بر پایداری خاکدانه بر اکثر پارامترهای پایداری ساختمان خاک به جز شاخص پایداری نرمال (NSI) اثر منفی داشت. به‌طور کلی میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها در تیمار بدون ماده آلی و شوری سه دسی‌زیمنس بر متر کم‌ترین و در تیمار یک درصد لجن فاضلاب و همین سطح شوری بیش‌ترین مقدار بودند. هم‌چنین شاخص NSI به‌ترتیب در تیمارهای شوری سه دسی‌زیمنس بر متر و بدون ماده آلی کم‌ترین و در

* مسئول مکاتبه: hemami@um.ac.ir

شوری یک دسی‌زیمنس بر متر و یک درصد کود گاوی بیش‌ترین مقدار بود. درصد تخریب خاکدانه‌ها نیز در شوری‌های کم‌تر از سه دسی‌زیمنس بر متر در بیش‌تر تیمارها کاهش معنی‌داری نشان داد، در حالی‌که در شوری پنج دسی‌زیمنس بر متر به‌دلیل افزایش میزان پتاسیم و اثر مخرب آن بر پایداری ساختمان خاک تغییرات آن معنی‌دار نبود.

نتیجه‌گیری: با توجه به اثر مثبت لجن فاضلاب شهری در پایداری خاکدانه در کوتاه‌مدت در این مطالعه و مقرون‌به‌صرفه بودن لجن فاضلاب پیشنهاد می‌شود اثر افزودن لجن فاضلاب به زمین‌های کشاورزی طی دوره‌های چندساله بر شاخص‌های پایداری ساختمان خاک موردبررسی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پایداری خاکدانه، شاخص پایداری نرمال، شوری، ماده آلی

مقدمه

فرسایش خاک به میزان زیادی تحت‌تأثیر پایداری ساختمان و خاکدانه‌ها است (۱۴). واژه پایداری ساختمان خاک به توانایی یک خاک در حفظ آرایش ذرات جامد و فضای بین آن‌ها در هنگام مواجه شدن با تنش‌های مختلف مربوط می‌شود (۲). خاکدانه‌سازی و پایداری ساختمان خاک، نتیجه برهم‌کنش عوامل محیطی، مدیریت، نوع گیاه، ویژگی‌های ذاتی خاک، فرایندهای زیستی و غیر زیستی می‌باشد (۵). به‌طورکلی عوامل تأثیرگذار بر پایداری خاکدانه‌ها را می‌توان به دو گروه فاکتورهای درونی یا ویژگی‌های ذاتی خاک (مانند غلظت یون‌ها، رسانایی الکتریکی، پ‌هاش، نسبت جذب سدیم، میزان ماده آلی، آهک، آلومینیوم و نوع کانی‌های رسی) و فاکتورهای بیرونی (مانند اقلیم، مکان و فصل) تقسیم کرد (۲).

پایداری خاکدانه‌های خاک به‌عنوان شاخص کلیدی برای ارزیابی ساختمان، کیفیت و سلامت خاک در نظر گرفته می‌شود (۱۲). برونیک و لال (۲۰۰۵) معتقدند که ساختمان مطلوب موجب افزایش حاصلخیزی خاک، کاهش فرسایش‌پذیری خاک و بالا بردن مقدار تولید محصولات زراعی می‌گردد؛ به‌طوری‌که با تأثیر بر توزیع اندازه منافذ خاک و در نتیجه مقدار نگه‌داری آب خاک، حرکت آب در

خاک، تهویه و گرمای خاک، رشد ریشه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد؛ بنابراین خاکدانه‌ها علاوه بر این‌که باید متخلخل باشند، باید در برابر خیس شدن (آبیاری و بارندگی) و نیروهای مکانیکی ناشی از ماشین‌های کشاورزی به‌اندازه کافی مقاوم باشند تا تأثیرات مفید آن‌ها تداوم داشته باشد (۵).

ارزیابی وضعیت ساختمان خاک اغلب متکی بر سنجش پایداری واحدهای ساختمانی یعنی خاکدانه‌ها می‌باشد (۱۹). میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت مرطوب (MWD_{wet})^۱ و خشک (MWD_{dry})^۱، میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها^۲ (GMD) شاخص پایداری^۳ (SI)، درصد تخریب خاکدانه‌ها^۴ (PAD)، شاخص پایداری کل خاک^۵ (WSSI)، شاخص پایداری نرمال^۶ (NSI) و پایداری خاکدانه‌ها^۷ (AS) از جمله این شاخص‌هاست که به روش‌های مختلفی تعیین می‌شود (۱۵).

در مورد تأثیر روش‌های مختلف مدیریت بقایای گیاهی بر توزیع اندازه خاکدانه‌ها، پژوهش‌هایی در جهان و ایران انجام شده است. در این زمینه، مشخص

- 1- Mean weight diameter of wet aggregates
- 2- Geometric mean diameter of wet aggregates
- 3- Stability index
- 4- Percent of aggregate destruction
- 5- Whole soil stability index
- 6- Normalized stability index
- 7- Aggregate stability

پتاسیم به عنوان یک کاتیون تک ظرفیتی می‌تواند سبب تورم و پراکنش رس‌ها شود (۲۵). رنگاسمی و اولسن (۱۹۹۱) با مطالعه نیروی هم‌آوری و پراکنشی کاتیون‌ها، دریافته‌اند که اثر پتاسیم در ایجاد پراکنش رس در خاک‌ها، کم‌تر از سدیم است (۲۶). در رابطه با اثر منیزیم بر پراکنش رس، نفوذپذیری و فرسایش خاک، مشخص شده که منیزیم اثر چشمگیری بر پراکنش ذرات رس دارد و سبب کاهش نفوذپذیری، افزایش سله سطحی و فرسایش می‌شود (۸). ساگارو (۲۰۱۴) نیز گزارش کرد که درصد سدیم تبدلی (ESP) آستانه برای پراکنش ذرات رس، در حضور منیزیم کاهش می‌یابد (۳۱). در رابطه با اثر پتاسیم نیز گزارش‌های متفاوتی وجود دارد و تأثیر آن بر ساختمان خاک برابر یا کم‌تر از سدیم گزارش شده است (۷). پژوهش‌های لوی و تورنتو (۱۹۹۵) در رابطه با اثر سدیم و پتاسیم بر تخریب ساختمان خاک نشان داد که با افزایش سدیم قابل تبادل از ۰/۵ به ۵/۵ درصد، پراکنش رس از ۲۲/۲ به ۳۰/۴ درصد رسید، درحالی‌که افزایش پتاسیم قابل تبادل به میزان ۱۰ تا ۱۵ درصد، تأثیر نامطلوبی بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک داشت (۱۷). احمد و همکاران (۲۰۰۶) معتقدند که استفاده بی‌رویه از کودهای پتاسیمی منجر به تخریب ساختمان خاک‌ها می‌شود (۱). اسمایلز (۲۰۰۶) این نظریه را تأیید کرده و عنوان کرد که دلیل این‌که پتاسیم کاتیونی یک ظرفیتی است می‌تواند باعث انبساط و پراکنش رس‌ها شده و اثراتی شبیه سدیم در خاک ایجاد کند، اما به دلیل مقدار کم آن در خاک، اثر آن نادیده گرفته می‌شود، درحالی‌که در خاک‌های متأثر از نمک دارای اهمیت می‌باشد (۳۰). فراهانی و همکاران (۲۰۲۰) دریافته‌اند که با افزایش نسبت پتاسیم به سدیم در دو سطح شوری ۳ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر، باعث افزایش پراکنش ذرات رس و کاهش اندازه منافذ خاک شد (۹). ذاکر و امامی

شده است که در صورت نگه‌داشتن بقایای گیاهی پس از برداشت محصول، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) در دو حالت تر و خشک نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری پیدا می‌کند (۳۳). از سوی دیگر، به دلیل اثرات مثبت افزایش ماده آلی حاصل از عمل مخلوط کردن بقایا با خاکدانه‌ها بر افزایش پایداری خاکدانه در مقایسه با سوزاندن، تشکیل سله سطحی نیز کاهش می‌یابد (۶). اوکیو و همکاران (۲۰۱۱) عنوان کردند که کاشت گیاه وتیور و کودهای آلی-معدنی، پایداری خاکدانه‌ها را به‌طورمشابهی (۶۴ و ۵۴٪) نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند. همچنین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تیمار زیر کشت وتیور ۶/۱۱٪ بیش‌تر از تیمار کود دهی شده و ۱۹٪ بیش‌تر از تیمار شاهد بود (۲۱). بیر و هندریکس (۱۹۹۴) گزارش کردند که باقی گذاشتن بقایای گیاهی در نظام بدون خاک‌ورزی باعث بهبود ساختمان خاک و مقدار کربن آلی می‌شود (۳). افزودن بقایای پوسیده منجر به افزایش فعالیت میکروبی شده که در نهایت افزایش پایداری ساختمان خاک را به دنبال دارد. تقدیسی و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی اثر همزمان ژئولیت و کود گاوی پوسیده دریافته‌اند که کود گاوی اثرات منفی ناشی از ژئولیت در بهبود ویژگی‌های ساختمانی خاک مثل رس قابل پراکنش در آب و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را تعدیل نمود و اضافه نمودن تلفیقی ژئولیت و کود گاوی را توصیه نمود (۳۲). ژائو و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی تأثیر سیستم‌های مختلف کشت بر شاخص‌های پایداری ساختمان خاک در یافتند که تیمارهای تناوب ذرت-سویا و ذرت-آیش، به طور معنی‌داری میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها و نسبت خاکدانه‌های پایدار در آب را به‌طور معنی‌داری نسبت به کشت مداوم ذرت افزایش و درصد تخریب خاکدانه‌ها را کاهش دادند (۳۷).

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری واقع در مزرعه دانشگاه فردوسی مشهد (در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۶ دقیقه و طول شرقی ۵۶ درجه و ۱۵ دقیقه) در سال ۱۳۹۷ انجام شد و بعد از هوا خشک شدن از الک ۴ میلی‌متر عبور داده شد. هم‌چنین برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (جدول ۱) مثل توزیع اندازه ذرات معدنی و بافت خاک به روش جی و بودر (۱۰)، پ‌هاس و قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره گل اشباع (۲۲) و درصد کربن آلی نمونه‌های خاک با روش هضم تر (۳۴) اندازه‌گیری شدند. غلظت سدیم و پتاسیم محلول در عصاره اشباع خاک با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر تعیین شد (۲۲).

کود گاوی نیز از الک ۴ میلی‌متر عبور داده شد. لجن فاضلاب شهری از تصفیه‌خانه پرکندآباد مشهد تهیه و پس از هوا خشک شدن و کوبیدن از الک ۴ میلی‌متر عبور داده شد. سپس تیمارهای یک و ۲ درصد کود گاوی (تازه) اعمال شد و داخل ۹ گلدان یک کیلویی ریخته شد، در مورد لجن فاضلاب هم به همین ترتیب گلدان‌ها آماده شدند. هم‌چنین pH و EC کودهای آلی نیز در عصاره ۱ : ۵، کود : آب و غلظت سدیم و پتاسیم محلول در این عصاره با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر تعیین شد اندازه‌گیری شدند (۲۲). بعضی از ویژگی‌های کود گاوی، لجن فاضلاب و خاک مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است.

تیمارهای آزمایشی شامل کود گاوی و لجن فاضلاب هر یک در سه سطح (صفر، ۱ و ۲ درصد) و آبیاری با آب‌شور حاوی KCl در سه سطح شوری (۵، ۳، ۱ دسی‌زیمنس بر متر) با سه تکرار و در مجموع ۴۵ گلدان بودند. به همه گلدان‌ها در ابتدا ۳۰۰ میلی‌لیتر آب شهری اضافه شد تا به حالت اشباع

(۲۰۱۹) نیز نشان دادند که یون‌های پتاسیم موجود در آب آبیاری به‌طور معنی‌داری، رس قابل پراکنش در آب، هدایت هیدرولیکی اشباع، آب قابل استفاده گیاه و شاخص S دکستر را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش دادند (۳۵).

نعمتی و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که شوری موجب کاهش پایداری خاکدانه‌ها می‌گردد و استفاده از بقایای گیاهی و کود حیوانی می‌تواند از طریق تأثیر مثبت بر جامعه میکروبی، تغذیه کرم‌خاکی و فعالیت آن‌ها، تا حدودی از اثرات منفی شوری بر ساختمان خاک بکاهد و اثر مواد آلی گوناگون بر پایداری خاکدانه‌ها در سطوح مختلف شوری متفاوت است (۲۰). غفاری و نیشابوری (۲۰۱۲) با بررسی سطوح مختلف شوری (۰/۵، ۴ و ۱۰ dS/m) و نسبت جذب سدیم (۱، ۵، ۱۵ و 0.5 mmol/l) دریافتند اثر شوری و سدیم بر مقدار MWD معنی‌دار نبود. طبق نظر آن‌ها علت معنی‌دار نبودن شوری و سدیم بر MWD شاید به این دلیل باشد که شاخص مذکور غیرحساس به شوری و سدیم است (۱۱). با توجه به غلظت‌های مختلف نمک در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک و اثرات متفاوت آن بر ساختمان خاک و اهمیت و نقش مواد آلی در پایداری ساختمان خاک و وجود سدیم و پتاسیم در کود گاوی و اثرات مخرب آن‌ها بر ساختمان خاک، این پژوهش باهدف بررسی تأثیر کود گاوی، لجن فاضلاب و کاتیون پتاسیم بر شاخص‌های پایداری ساختمان خاک انجام شد. بدین منظور در این پژوهش تأثیر سطوح مختلف شوری (یک، سه و پنج دسی‌زیمنس بر متر) حاوی کلرید پتاسیم همراه با مقادیر مختلف ماده آلی (صفر، ۱ و ۲ درصد) شامل لجن فاضلاب و کود گاوی بر شاخص‌های پایداری ساختمان خاک مثل میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها، درصد تخریب خاکدانه‌ها و شاخص پایداری نرمال مورد بررسی قرار گرفت.

$$GMD = \exp \frac{\sum_{i=1}^n w_i \log \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2)$$

که در آن، W_i نسبت جرم خاکدانه‌های مانده روی هر الک به مجموع جرم خاکدانه‌های مانده روی الک‌ها و \bar{x}_i میانگین قطر منافذ دو الک متوالی برحسب میلی‌متر است.

درصد تخریب خاکدانه‌ها: درصد تخریب خاکدانه‌ها یکی از شاخص‌های مناسب جهت ارزیابی ساختمان فیزیکی خاک می‌باشد که بر اساس اندازه‌گیری میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت تر و خشک توسط دستگاه‌های مربوطه به دست می‌آید. برای تعیین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت خشک، ۳۰ گرم خاکدانه‌های هوا خشک بزرگ‌تر از ۸ میلی‌متر بر روی سری الک‌ها (به ترتیب از بالا به پایین ۸، ۴، ۲، ۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر) قرار داده شد. سپس روی دستگاه لرزاننده (تکان‌دهنده) به مدت ۱۰ دقیقه تکان داده شد. انجام شد. بعد از الک نمودن، تعیین جرم خاکدانه‌های باقی‌مانده روی هر الک و تصحیح شن، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های خشک مشابه با روش الک تر بر اساس رابطه ۱ تعیین شد (۱۵). برای تعیین آن جرم خاکدانه‌های بزرگ‌تر از اندازه ۰/۲۵ میلی‌متر برحسب گرم در دو حالت الک خشک (md) و تر (mw) تعیین و تفاضل آن‌ها بر جرم خاکدانه‌های بزرگ‌تر از ۰/۲۵ در حالت الک خشک تقسیم شد و بر اساس رابطه ۳ مقدار PAD محاسبه گردید (۱۵). هرچه میزان آن کم‌تر باشد درصد تخریب خاکدانه‌ها کم‌تر، در نتیجه نشان‌دهنده پایدار بودن بیش‌تر خاکدانه‌ها است.

$$PAD = \frac{md - mw}{md} \times 100 \quad (3)$$

برسد. بعد از آماده‌سازی تیمارها، آبیاری با محلول‌های حاوی KCl آغاز شد و هر ۷ روز یک بار ۲۰۰ میلی‌لیتر از این محلول به گلدان‌ها افزوده شد. این دوره آبیاری ۸ هفته در شرایط گلخانه به طول انجامید و بعد از آن شاخص‌های پایداری ساختمان خاک اندازه‌گیری شدند.

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها: برای تعیین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت الک تر، خاکدانه‌های هوا خشک از الک ۸ میلی‌متری عبور داده شد که در زیر آن، الک ۴ میلی‌متری قرار داشت. ۳۰ گرم از خاکدانه‌های باقی‌مانده بین الک ۴ و ۸ برای اندازه‌گیری میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت تر (MWDwet) بر اساس روش کمپر و رزونا (۱۵) روی سری الک‌ها (به ترتیب از بالا به پایین ۴، ۲، ۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر) به‌طور یکنواخت ریخته شد و در درون آب با نوسان ۳۰ بار در دقیقه به‌صورت رفت و برگشتی به مدت ۵ دقیقه تکان داده شد. از آنجاکه امکان وجود ذرات اولیه درشت (سنگریزه و شن) در اندازه خاکدانه‌ها وجود داشت، تصحیح شن انجام شد. بعد از الک نمودن و تعیین جرم خاکدانه‌های باقی‌مانده روی هر الک، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها بر اساس رابطه ۱ تعیین شد (۱۵).

$$MWD = \sum_{i=1}^k W_i \bar{x}_i \quad (1)$$

که در آن، \bar{x}_i میانگین قطر منافذ دو الک متوالی برحسب میلی‌متر و W_i نسبت جرم توده خاک باقی‌مانده روی هر الک به جرم کل خاک پس از تصحیح شن است.

میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها: برای به‌دست آوردن میانگین هندسی قطر خاکدانه از رابطه ۲ استفاده شد.

جدول ۱- ویژگی‌های خاک، کود و لجن فاضلاب.

Table 1. Characteristics of soil, manure and sewage sludge.

واحد (Unit)	مقدار (Amount)	پارامتر (Parameter)
(%)	54	شن (Sand)
(%)	30	سیلت (Silt)
(%)	16	رس (Clay)
-	لوم (Loam)	بافت (Texture)
-	8.25	pH کود گاوی (pH of Cattle Manure)
-	6.96	pH لجن فاضلاب (pH of Sewage Sludge)
-	7.63	pH خاک (pH of soil)
(dSm ⁻¹)	4.43	EC کود گاوی (EC of Cattle Manure)
(dSm ⁻¹)	2.09	EC لجن فاضلاب (EC of Sewage Sludge)
(dSm ⁻¹)	1.02	EC خاک (EC of soil)
(mg l ⁻¹)	4.2	سدیم خاک (Na)
(mg l ⁻¹)	28.2	پتاسیم لجن فاضلاب (Potassium of Sewage Sludge)
(mg l ⁻¹)	835	پتاسیم کود گاوی (Potassium of Cattle Manure)
(mg l ⁻¹)	242	سدیم لجن فاضلاب (Sodium of sewage Sludge)
(mg l ⁻¹)	780	سدیم کود گاوی (Sodium of Cattle Manure)
(mg l ⁻¹)	15.4	پتاسیم محلول خاک (Soil soluble Potassium)
(%)	14.1	کربن آلی کود گاوی (Organic Carbon of Cattle Manure)
(%)	20.1	کربن آلی لجن فاضلاب (Organic carbon of Sewage Sludge)
(%)	0.07	کربن آلی خاک (Soil Organic Carbon)

نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده طبق روش سیکس و همکاران (۲۰۰۰) بر اساس رابطه‌های زیر تعیین شد (۲۹).

شاخص پایداری نرمال: شاخص پایداری نرمال با مقایسه توزیع خاکدانه‌ها قبل و بعد از گسیختگی از هم اندازه‌گیری می‌شود. شاخص پایداری نرمال در

$$DLS_i = \frac{|(pi_0 - si_0) - (pi - si)| + [(pi_0 - si_0) - (pi - si)]}{2} \times \frac{1}{(pi_0 - si_0)} \quad (4)$$

خاکدانه‌ها در کلاس اندازه I بعد از گسیختگی، Si₀ نسبت جرم ذرات شن با اندازه I در هر کلاس اندازه خاکدانه‌ها قبل از گسیختگی و Si نسبت شن با اندازه

که در آن، DLS_i میزان از هم‌گسیختگی هر کلاس از اندازه خاکدانه‌ها، Pi₀ نسبت جرم خاکدانه‌ها در کلاس اندازه I قبل از گسیختگی، Pi نسبت جرم

$$DL = 1/n \sum_i^n [(n+1) - I] \times DLS_i \quad (5)$$

که در آن، n تعداد کلاس اندازه خاکدانه‌ها است.

حداکثر ازهم‌گسیختگی ($DSL_i(\max)$) بر اساس رابطه ۶ محاسبه گردید.

$$DLS_i(\max) = \frac{[(pi0 - p_p) + |(pi0 - p_p)|]}{2} \times \frac{1}{(pi0 - si0)} \quad (6)$$

نتایج و بحث

اثر تیمارهای ماده آلی و غلظت پتاسیم بر میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده شوری ناشی از پتاسیم و ماده آلی تأثیر معنی‌داری بر میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها نداشت، اما اثر متقابل تیمارهای شوری و ماده آلی بر این ویژگی در سطح آماری ۰/۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار یک درصد لجن فاضلاب در شوری ۳ دسی‌زیمنس بر متر با مقدار (۱/۰۴۹) بیش‌ترین میانگین هندسی قطر خاکدانه را داشت و تیمار شاهد در شوری ۳ دسی‌زیمنس بر متر کم‌ترین میانگین هندسی قطر خاکدانه را داشت (شکل ۱). در شوری یک دسی‌زیمنس بر متر، ماده آلی تأثیر معنی‌داری بر شاخص GMD نداشت. در شوری سه دسی‌زیمنس بر متر، با افزودن ماده آلی، مقدار GMD افزایش یافت و به‌جز تیمار M_1 ، بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان دادند. در شوری پنج دسی‌زیمنس بر متر، تنها تیمار S_1 کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد و افزودن سایر سطوح و نوع ماده آلی تأثیر معنی‌داری بر مقدار GMD نداشت.

I در خاکدانه‌ها بعد از گسیختگی است، همه نسبت‌ها بر اساس جرم کل خاک بیان می‌شوند. (کلاس‌های اندازه خاکدانه‌ها عبارت‌اند از کوچک‌تر از ۵۳ میکرون، ۵۳-۲۵۰ میکرون، ۲۵۰-۲۰۰۰ میکرون و بزرگ‌تر از ۲۰۰۰ میکرون). میزان ازهم‌گسیختگی کل خاک (DL) بر اساس رابطه ۵ تعیین شد.

که در آن، p_p مقدار ذرات اولیه شن در هر کلاس اندازه خاکدانه‌ها بعد ازهم‌گسیختگی کامل کل خاک است. سایر پارامترها قبلاً تعریف شدند. سرانجام شاخص پایداری نرمال (NSI) بر اساس رابطه ۷ محاسبه شد.

$$NSI = 1 - \left[\frac{DL}{DL(\max)} \right] \quad (7)$$

که در آن، $DI(\max)$ حداکثر مقدار ازهم‌گسیختگی کل خاک است.

طرح آماری: این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل چهار سطح ماده آلی (یک (M_1) و دو درصد (M_2) جرمی کود گاوی، یک (S_1) و دو درصد (S_2) جرمی لجن فاضلاب شهری)، سه سطح شوری ناشی از کلرید پتاسیم (۱ (A_1)، ۳ (A_3) و ۵ (A_5) دسی‌زیمنس بر متر) و شاهد بود که هر کدام دارای سه تکرار بودند. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری JMP8 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD و در سطح ۰/۱ درصد انجام شد. برای ترسیم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel 2013 استفاده گردید.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر شاخص‌های پایداری ساختمان خاک.

Table 2. Results of analysis of variance for effect of different treatments on soil structural stability indicators.

درصد تخریب خاکدانه‌ها (PAD)	شاخص پایداری نرمال (NSI)	میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD)	درجه آزادی Df	منابع تغییرات Source of variation
137.8***	0.1***	0.0018 ^{ns}	4	ماده آلی OM
125.4***	0.01 ^{ns}	0.0016 ^{ns}	2	شوری Salinity
394.7***	0.13***	0.0061***	8	ماده آلی*شوری OM*Salinity
70.8	0.15 ^{ns}	0.0083 ^{ns}	30	خطا Error
728.8	0.4	0.0179	44	کل Total

*** و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطوح ۰/۱ و غیرمعنی‌دار درصد هستند

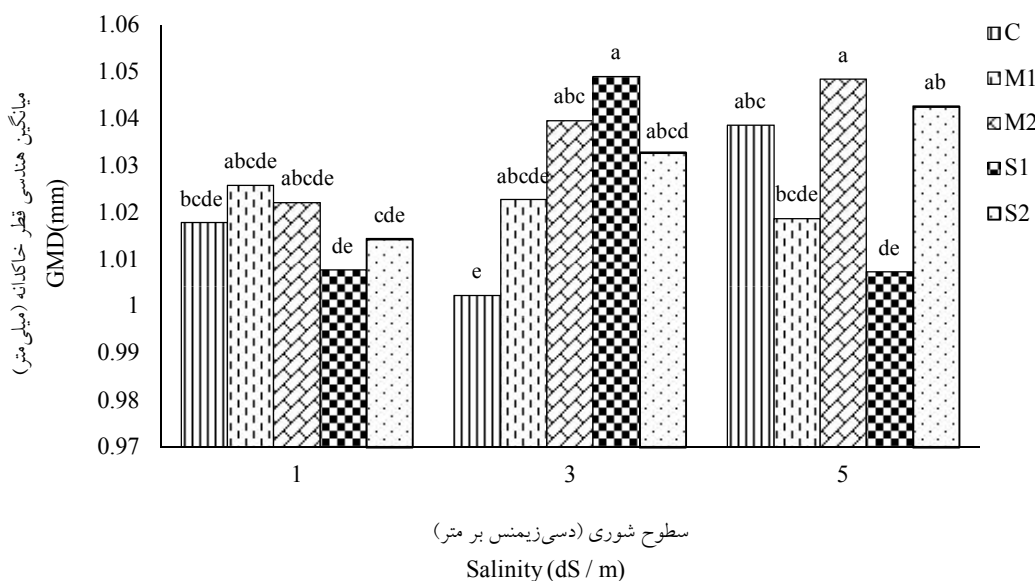
*** and ^{ns} represent significant at P<0.1 and non-significant, respectively

باید به سایر عوامل مؤثر بر ساختمان خاک نیز باید توجه داشت و در واقع اثر ماده آلی بر ساختمان خاک به سایر عوامل نیز بستگی دارد. با توجه به این که در این پژوهش از پتاسیم به عنوان عامل تخریب ساختمان خاک استفاده شد ماده آلی در تمامی سطوح شوری نتوانست اثرات مخرب ناشی از پتاسیم را جبران کند، به طوری که در شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر که غلظت محلول خاک کم است، حتی مقادیر کم پتاسیم و سدیم هم قادر به پراکنش ذرات خاک و کاهش پایداری ساختمان خاک می‌باشند و از آنجا که پتاسیم از طریق آب آبیاری به خاک اضافه شده و کود گاوی و لجن فاضلاب هم حاوی مقدار قابل توجهی سدیم و پتاسیم می‌باشند، اضافه کردن آن‌ها باعث عدم تفاوت معنی‌دار نسبت به شاهد شده است. به طور مشابه لوی و همکاران (۲۰۰۳) نیز بیان کردند با کاهش شوری آب آبیاری، حساسیت خاکدانه‌ها به فروپاشی افزایش

به‌طورکلی مشخص شده که ترکیبات آلی با ایجاد پیوند بین ذرات خاک می‌توانند سبب افزایش پایداری خاکدانه شوند (۱۸). یکی از دلایل افزایش GMD به‌ویژه در شوری ۳ دسی‌زیمنس بر متر که شوری محدودیتی بر فعالیت ریزجانداران خاک ندارد در تیمارهای حاوی ماده آلی، می‌توان به افزایش فعالیت میکروبی در حین عمل تجزیه بقایا اشاره کرد؛ به این صورت که در اثر تجزیه بقایای گیاهی و افزایش فعالیت میکروبی، فشار جزئی دی‌اکسیدکربن در هوای خاک افزایش می‌یابد، از سوی دیگر کاهش pH خاک، سبب انحلال کربنات کلسیم موجود در آن می‌شود (۲۷). هم‌چنین آزادسازی کلسیم ناشی از تجزیه بقایای گیاهی نیز ممکن است از دیگر دلایل احتمالی این افزایش باشد. استفاده طولانی‌مدت از بقایای گیاهی موجب افزایش میانگین قطر خاکدانه‌ها می‌شود (۱۳). هنگام بررسی اثرات ماده آلی بر ساختمان خاک

را جبران کند و در نتیجه مقدار GMD در این سطح ماده آلی کاهش یافته است، اما با بیش تر شدن مقدار ماده آلی، اثرات کربن آلی تا حدودی بر سدیم و پتاسیم غلبه کرده ولی با وجود افزایش مقدار GMD نسبت شاهد مقدار افزایش نیست.

می یابد (۱۶). با افزایش شوری آب آبیاری به ۵ دسی‌زیمنس بر متر، هم غلظت املاح محلول خاک و هم پتاسیم افزایش یافته و اضافه کردن یک درصد ماده آلی نتوانسته اثرات مخرب ناشی از پتاسیم آب آبیاری و سدیم و پتاسیم موجود در این دو ماده آلی

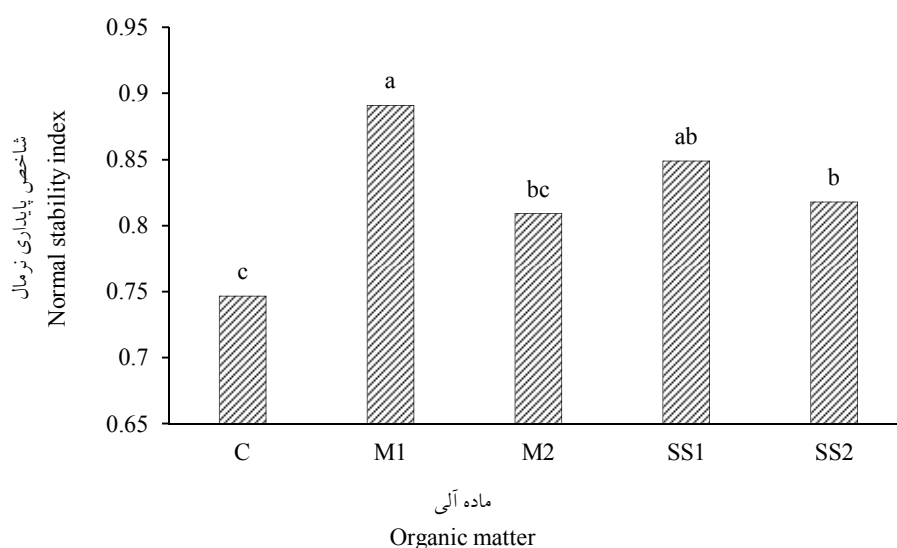


شکل ۱- اثر متقابل تیمارهای ماده آلی و شوری بر میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (M₁ و M₂ کود گاوی یک و دو درصد، S₁ و S₂ لجن فاضلاب یک و دو درصد و C شاهد).

Figure 1. Interaction effect of organic matter and salinity treatments on geometric mean diameter of aggregate (M₁ and M₂ cattle manure 1 and 2%, S₁ and S₂ of 1 and 2% sewage sludge, and C control).

شاهد با مقدار (۰/۷۴) کم‌ترین اثر را بر شاخص پایداری نرمال داشتند و به جز تیمار M₂ بقیه تیمارها تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان دادند (شکل ۲) که با توجه به بالا بودن سدیم و پتاسیم در مقادیر بالای کود گاوی (جدول ۱) می‌توان آن را توجیه نمود.

تأثیر تیمارهای ماده آلی بر شاخص پایداری نرمال: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای ماده آلی بر شاخص پایداری نرمال در سطح آماری ۰/۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). با توجه به شکل ۲، مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار یک درصد کود گاوی با مقدار (۰/۸۹) بیش‌ترین اثر و تیمار



شکل ۲- اثر تیمارهای ماده آلی و شوری بر شاخص پایداری نرمال (M1 و M2 کود گاوی یک و دو درصد، SS1 و SS2 لجن فاضلاب یک و دو درصد و C شاهد).

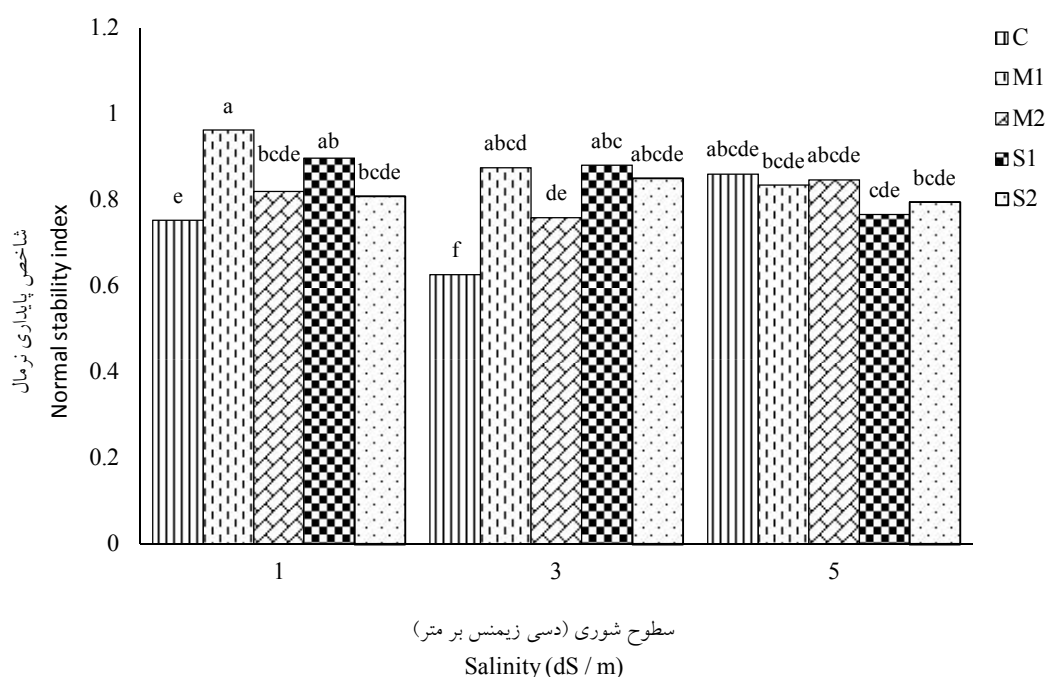
Figure 2. Effect of organic matter and salinity on normalized stability index (M1 and M2, 1% and 2% cattle manure, S1 and S2 of 1 and 2% sewage sludge, and C control).

شاهد داشتند و در شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. با بررسی نتایج شاخص NSI می‌توان گفت در شوری کم افزودن یک درصد ماده آلی برای افزایش شاخص پایداری نرمال کافی بوده است، اما با افزودن دو درصد ماده آلی اگرچه مقدار ماده آلی خاک افزایش یافته است، اما به دلیل سدیم و پتاسیم موجود در منبع کود گاوی هم‌زمان مجموع این دو کاتیون در خاک افزایش یافته و با توجه به این‌که هر دو کاتیون اثر مخرب بر ساختمان خاک دارند (۲۵، ۳۶) در نتیجه احتمالاً اثر تخریبی سدیم و پتاسیم در مقایسه با اثر هم‌آوری ماده آلی بیش‌تر شده در نتیجه مقدار شاخص NSI کاهش یافته است. به‌طور مشابه پیکلو و همکاران (۱۹۹۷) بیان کردند که افزودن اسید هیومیک به خاک تا ۰/۱ گرم بر کیلوگرم موجب افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شود و در مقادیر بیش‌تر از آن پایداری خاکدانه‌ها کاهش می‌یابد (۲۴). علاوه بر این مشابه GMD، شاخص پایداری نرمال در شوری سه

اثر متقابل غلظت پتاسیم و ماده آلی بر شاخص پایداری نرمال: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده شوری ناشی از پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر شاخص پایداری نرمال نداشت، اما اثر متقابل تیمارهای شوری و ماده آلی بر این ویژگی در سطح آماری ۰/۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به شکل ۳، مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار یک درصد کود گاوی در شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر (با مقدار ۰/۹۶) بیش‌ترین اثر را در شاخص پایداری نرمال و تیمار شاهد در شوری ۳ دسی‌زیمنس بر متر (با مقدار ۰/۶۲) کم‌ترین اثر را بر شاخص پایداری نرمال داشت. در شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر، تیمارهای یک درصد کود گاوی و یک درصد لجن فاضلاب (به‌ترتیب با ۲۸ و ۱۸/۶۶ درصد افزایش) اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد داشتند. در شوری ۳ دسی‌زیمنس بر متر تیمارهای یک و دو درصد لجن فاضلاب و کود گاوی به ترتیب با ۴۱/۹۳ و ۳۵/۴۳ و ۱۸/۶۶ و ۴۰/۳۲ درصد اختلاف معنی‌داری نسبت به

آلی تأثیر چندانی بر شاخص NSI نداشت. در اینجا نیز به نظر می‌رسد با افزایش شوری به ۵ دسی‌ریمنس بر متر و کاهش فعالیت ریزجاندارن خاک و بیش‌تر شدن مقدار سدیم و پتاسیم موجود در این ترکیبات آلی و پتاسیم آب آبیاری، ماده آلی نتوانسته اثر مثبت بر شاخص پایداری نرمال نشان دهد.

دسی‌ریمنس بر متر در هر دو سطح ماده آلی نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت، اما دوباره به دلیل سدیم و پتاسیم بیش‌تر کود گاوی، مقدار NSI در تیمار M₂ کاهش معنی‌داری نسبت به تیمارهای M₁ و S₂ نشان داد. در شوری پنج دسی‌ریمنس بر متر نیز همان‌طور که در بخش قبلی اشاره شد، باوجود افزایش مقدار پتاسیم در محلول خاک، افزودن ماده



شکل ۳- اثر متقابل تیمارهای ماده آلی و شوری بر شاخص پایداری نرمال (M₁ و M₂ کود گاوی یک و دو درصد، S₁ و S₂ لجن فاضلاب یک و دو درصد و C شاهد).

Figure 3. Interaction effect of organic matter and salinity treatments on normal stability index (M₁ and M₂, 1% and 2% cattle manure, S₁ and S₂ of 1 and 2% sewage sludge, and C control).

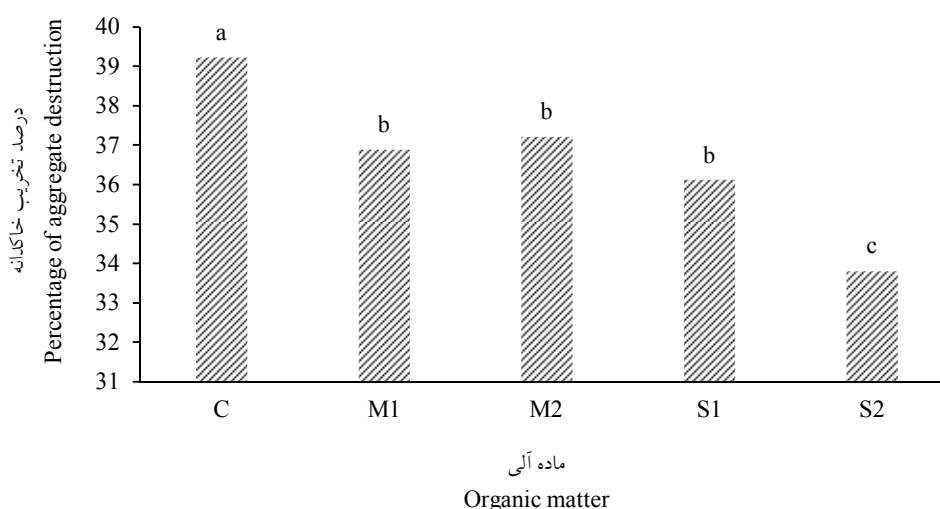
همان‌طور که بیان شد در شوری‌های ۵ dS/m ناشی از پتاسیم، تأثیر ماده آلی بر شاخص پایداری نرمال ناچیز خواهد بود.

تأثیر تیمارهای ماده آلی بر درصد تخریب خاکدانه‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای ماده آلی بر درصد تخریب خاکدانه‌ها در سطح آماری ۰/۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). با توجه به شکل ۴، مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که

پاگلی و همکاران (۱۹۸۱) نیز نشان دادند پایداری خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با ۵۰ و ۱۵۰ تن در هکتار لجن فاضلاب و کود کمپوست افزایش یافت (۲۳). افزودن بقایای گیاهی منجر به افزایش فعالیت میکروبی شده که در نهایت افزایش پایداری ساختمان خاک را به دنبال دارد. همان‌طور که در بخش قبلی اشاره شد تأثیر ماده آلی در حضور سایر عوامل از جمله سدیم و پتاسیم متفاوت خواهد بود و

تیمارهای M_1 ، M_2 و S_1 وجود نداشت (شکل ۴). با توجه به بالا بودن مقدار سدیم و پتاسیم در کود گاوی (جدول ۱) مشخص شد که در بین تیمارهای آلی، درصد تخریب خاکدانه‌ها با افزایش کود گاوی بیش‌تر بود، درحالی‌که در مورد لجن فاضلاب درصد تخریب خاکدانه‌ها با افزایش مقدار آن کاهش زیادی نشان داد.

تیمار دو درصد لجن فاضلاب (با مقدار ۳۳/۸۳ درصد) منجر به کم‌ترین درصد تخریب خاکدانه‌ها شد و تیمار شاهد (با مقدار ۳۹/۲۴) بیش‌ترین درصد تخریب خاکدانه را داشت. تیمارهای یک و دو درصد لجن فاضلاب و کود گاوی به‌ترتیب با ۷/۹۲ و ۱۳/۷۸ و ۵/۹۶ و ۵/۱۲ درصد اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد داشتند. هم‌چنین اختلاف معنی‌داری بین

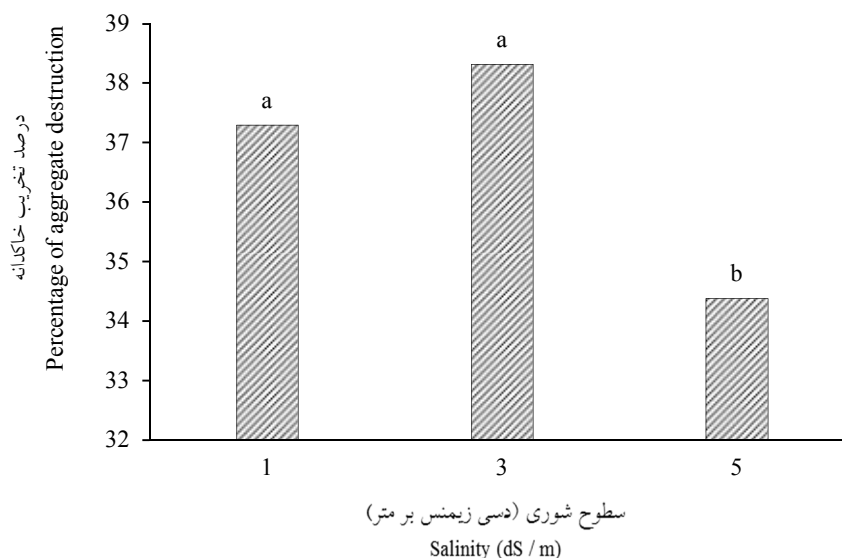


شکل ۴- اثر تیمارهای ماده آلی بر درصد تخریب خاکدانه‌ها (M_1 و M_2 کود گاوی یک و دو درصد، S_1 و S_2 لجن فاضلاب یک و دو درصد و C شاهد).

Figure 4. Effect of organic matter treatments on percent of aggregate destruction (M_1 and M_2 cattle manure 1 and 2%, S_1 and S_2 of 1 and 2% sewage sludge, and C control).

درصد) بیش‌ترین درصد تخریب خاکدانه و تیمار شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر با مقدار (۳۴/۳۸ درصد) کم‌ترین درصد تخریب خاکدانه‌ها را داشتند. می‌توان گفت در شوری‌های متوسط و کم به‌دلیل رقیق بودن محلول، تخریب خاکدانه‌ها بیش‌تر و در شوری زیاد به‌دلیل اثر غلظت، تخریب خاکدانه‌ها کم‌تر است.

اثر تیمارهای شوری ناشی از پتاسیم بر درصد تخریب خاکدانه‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای شوری بر درصد تخریب خاکدانه‌ها در سطح آماری ۰/۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). با توجه به شکل ۵، مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار شوری ۳ دسی‌زیمنس بر متر با مقدار (۳۸/۳۲)

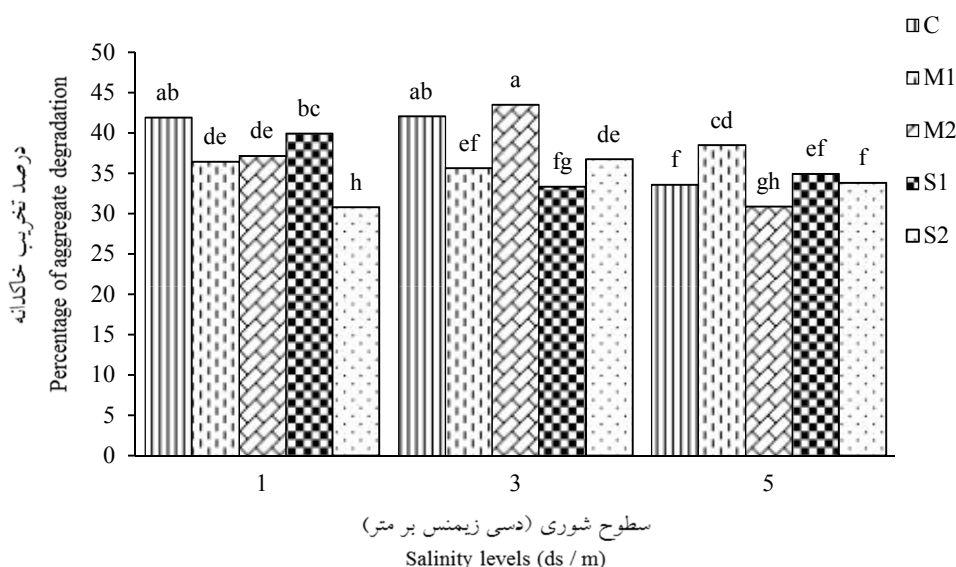


شکل ۵- اثر شوری ناشی از پتاسیم بر درصد تخریب خاکدانه‌ها.

Figure 5. Effect of salinity induced by potassium on the percent of aggregates destruction.

یک دسی‌زیمنس بر متر تیمارهای یک و دو درصد کود گاوی و تیمار دو درصد لجن فاضلاب (به ترتیب با ۱۳/۰۵ و ۱۱/۴۱ و ۲۶/۵۶ درصد کاهش)، اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد داشتند. در شوری سه دسی‌زیمنس بر متر، تیمارهای M_1 ، S_1 و S_2 ، به ترتیب ۱۵/۲۹ و ۲۰/۶۲ و ۱۲/۶۰ درصد کاهش معنی‌دار نسبت به شاهد نشان دادند، ولی تیمار M_2 اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت. در شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر نیز به جز تیمار یک و دو درصد کود گاوی به ترتیب سبب افزایش و کاهش معنی‌دار درصد تخریب خاکدانه‌ها نسبت به شاهد شدند، در حالی که تیمارهای لجن فاضلاب تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشتند.

اثر متقابل تیمارهای شوری و ماده آلی بر درصد تخریب خاکدانه‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تیمارهای شوری ناشی از پتاسیم و ماده آلی بر درصد تخریب خاکدانه‌ها در سطح آماری ۰/۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۶) نشان داد که تیمار دو درصد لجن فاضلاب در شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر با مقدار (۳۰/۸۳ درصد) کم‌ترین درصد تخریب خاکدانه‌ها را داشت و تیمار دو درصد کود گاوی در شوری ۳ دسی‌زیمنس بر متر با مقدار (۴۳/۵۸ درصد) بیش‌ترین درصد تخریب خاکدانه را داشت که با توجه به بالا بودن سدیم و پتاسیم کود گاوی و اثر مخرب این دو بر خاکدانه‌ها و پایین بودن نسبی سدیم و پتاسیم لجن فاضلاب (جدول ۱) قابل توجیه می‌باشد. در شوری



شکل ۶- اثر متقابل تیمارهای ماده آلی و شوری بر درصد تخریب خاکدانه‌ها (M₁ و M₂ کود گاوی یک و دو درصد، S₁ و S₂ لجن فاضلاب یک و دو درصد و C شاهد).

Figure 6. Interaction effect of organic matter and salinity treatments on percent of aggregates destruction (M₁ and M₂, 1% and 2% cattle manure, S₁ and S₂ of 1 and 2% sewage sludge, and C control).

دکستر را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش دادند که مشابه با این پژوهش نشان می‌دهد یون‌های پتاسیم نیز اثر مخرب بر ساختمان خاک دارند (۳۵). با آن‌که در شینبرگ و لتی (۱۹۸۴) عنوان کردند شوری آبیاری می‌تواند باعث بهبود ساختمان خاک شود، اما کاتیون‌های موجود در آب آبیاری اثر بیش‌تری نسبت به غلظت کل نمک‌ها بر پایداری ساختمان خاک دارند (۲۸). به‌طوری‌که ذاکر و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند که اثرات زیان‌بار پتاسیم بر تخریب ویژگی‌های فیزیکی خاک تا حدودی به غلظت کل املاح وابسته است و کاتیون موجود در آب آبیاری اثرات معنی‌داری بر ساختمان خاک اعمال می‌کند؛ به‌طوری‌که با افزایش غلظت کل املاح، اثرات زیان‌بار پتاسیم کم‌تر می‌شود (۳۶). با آن‌که مواد آلی باعث بهبود ساختمان خاک می‌شوند، اما ترکیب کاتیون‌های موجود در آن به ویژه مقادیر پتاسیم و سدیم باید مورد توجه قرار گیرد. زیرا با توجه به

اگرچه بلانکو و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که کربن آلی حاصل از تجزیه بقایای گیاهی به‌عنوان عامل سیمانی‌کننده عمل کرد که به تجمع ذرات اولیه خاک منجر شد و به دلیل نیروهای هم‌چسبی بین ذرات معدنی و پلیمر آلی، درصد تخریب را کاهش و پایداری خاکدانه‌ها را افزایش می‌دهد (۴)، اما به نظر می‌رسد در حضور سدیم و پتاسیم در خاک، اثر ماده آلی در کاهش تخریب به دلیل وجود عوامل پراکنده ساز، افزودن ماده آلی تأثیر چندانی در کاهش تخریب خاکدانه‌ها ندارد. در این راستا فراهانی و همکاران (۲۰۲۰) دریافتند که با افزایش نسبت پتاسیم به سدیم در دو سطح شوری ۳ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر، باعث افزایش پراکنش ذرات رس و کاهش اندازه منافذ خاک شد (۹). ذاکر و امامی (۲۰۱۹) نیز نشان دادند که یون‌های پتاسیم موجود در آب آبیاری به‌طور معنی‌داری، رس قابل پراکنش در آب، هدایت هیدرولیکی اشباع، آب قابل استفاده گیاه و شاخص S

در شوری یک دسی‌زیمنس بر متر بیش‌ترین و تیمار شاهد در شوری سه دسی‌زیمنس بر متر کم‌ترین اثر را بر شاخص پایداری نرمال داشت. با بررسی نتایج هر سه شاخص پایداری ساختمان خاک می‌توان گفت در شوری کم‌تر از سه دسی‌زیمنس بر متر افزودن یک درصد کود گاوی و لجن فاضلاب برای بهبود ساختمان خاک کافی بوده است، اما در شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر، حتی افزودن دو درصد ماده آلی هم تأثیری معنی‌داری بر هیچ کدام از این سه شاخص پایداری ساختمان خاک نداشت، که به دلیل سدیم و پتاسیم موجود در این منابع کودی، از یک سو و افزایش غلظت پتاسیم در آب آبیاری از سوی دیگر مانع بهبود ساختمان خاک شده‌اند. اگرچه لجن فاضلاب شهری تفاوت معنی‌داری با کود گاوی نداشت، اما با توجه مقرون‌به‌صرفه بودن لجن فاضلاب پیشنهاد می‌شود اثر افزودن لجن فاضلاب به زمین‌های کشاورزی طی دوره‌های چندساله بر شاخص‌های پایداری ساختمان خاک موردبررسی قرار گیرد. هم‌چنین به‌طورکلی روند نتایج در مورد هر سه شاخص تقریباً یکسان بود، ولی با توجه به ساده بودن روش درصد تخریب خاکدانه‌ها که فقط خاکدانه‌های بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر را در نظر می‌گیرد، این شاخص مناسب‌تر به نظر می‌رسد و برای ارزیابی پایداری ساختمان خاک این روش پیشنهاد می‌شود.

نتایج این پژوهش به نظر می‌رسد در خاک‌های متأثر از نمک‌های سدیم و پتاسیم، تأثیر مواد آلی مثل کود گاوی و لجن فاضلاب در صورتی که حایل مقادیر قابل‌توجهی کاتیون‌های پراکنده‌ساز (سدیم و پتاسیم) باشند نه تنها تأثیر مثبتی بر ساختمان خاک ندارد، بلکه ممکن است اثر مخرب بر ساختمان خاک داشته باشد.

نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش بررسی اثر توأم ماده آلی و کاتیون پتاسیم بر شاخص‌های پایداری ساختمان خاک بود که در آن شاخص پایداری نرمال، میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها، درصد تخریب خاکدانه‌ها تحت تأثیر تیمارهای کود گاوی، لجن فاضلاب و کاتیون پتاسیم بررسی شدند. بر اساس نتایج، تیمار کود گاوی باعث کاهش درصد تخریب خاکدانه شد. تیمار لجن فاضلاب به دلیل افزودن ماده آلی و کم بودن مقادیر سدیم و پتاسیم آن اثر مثبتی در کاهش درصد تخریب خاکدانه‌ها داشت، اما اثر آن‌ها در حضور پتاسیم در آب آبیاری کاهش یافت. اثر ماده آلی بر میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها و هم‌چنین درصد تخریب خاکدانه مشابه بود؛ به‌طوری‌که تیمار شاهد در شوری سه دسی‌زیمنس بر متر کم‌ترین و تیمار یک درصد لجن فاضلاب نیز در همین سطح شوری بیش‌ترین مقدار میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها را داشت و این تیمار بیش‌ترین اثر را در کاهش درصد تخریب خاکدانه داشت. هم‌چنین تیمار یک درصد کود گاوی

منابع

- Ahmad, S., Swindale, L.D., and El-swaify, S.A. 2006. Effects of adsorbed cations on physical properties of tropical red earths and tropical black earths. *Journal of Soil Science*. 20: 2. 255-268.
- Amezketta, E. 1999. Soil aggregate stability, a review. *Journal of Sustainable Agriculture*. 14: 2/3. 83-151.
- Bear, M.H., and Hendrix, P.F. 1994. Water stable aggregates and organic carbon fractions in conventional and no tillage soils. *Soil Science Society of America Journal*. 58: 777-786.
- Blanco-Canqui, H., Lal, R., Post, W.M., Izurralde, R.C., and Owens, L.B. 2006. Soil structure parameters and organic

- carbon in no till corn with variable stover retention rates. *Soil Science*. 171: 468-482.
5. Bronick, C.J., and Lal, R. 2005. Manuring and rotation effects on soil organic carbon concentration for different aggregate size fractions on two soils in northeastern Ohio, USA. *Soil and Tillage Research*. 81: 2. 239-252.
 6. Chan, K.Y., Heenan, D.P., and Oates, A. 2002. Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management. *Soil and Tillage Research*. 63: 133-139.
 7. Chen, Y., Banin, A., and Borochovitich, A. 1993. Effect of potassium on soil structure in relation to hydraulic conductivity. *Geoderma*. 30: 135-147.
 8. Dontsova, K.M., and Norton, L.D. 2002. Clay dispersion, infiltration, and erosion as influenced by exchangeable Ca and Mg. *Soil Science*. 167: 3. 184-193.
 9. Farahani, E., Emami, H., Fotovat, A., Khorassani, R., and Keller, T. 2020. Soil available water and plant growth in relation to K:Na ratio. *Geoderma*. 263: 114173-114180.
 10. Gee, G.W., and Bauder. J.M. 1986. Partical-size analysis. P 383-411. In: A. Klute (ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph No. 9 (2nd edition), American Society of Agronomy, Madison, WI.
 11. Ghafari, H., and Neyshabouri, M.R. 2012. Salinity and Sodicity Effects of Irrigation Water on Soil Physical Quality Criteria. *Iranian Journal of Water and Soil*, 26: 1. 65-74. (In Persian)
 12. Herrick, J.E., Whitford, W.G., de Soyza, A.G., van Zee, J.W., Havstad, K.M., Seybold, C.A., and Walton, M. 2001. Field soil aggregate stability kit for soil quality and rangeland health evaluations. *Catena*. 44: 27-35.
 13. Karami, A., Homae, M., Afzalnia, S., Ruhipour, H., and Basirat, S. 2012. Organic resource management: impacts on soil aggregate stability and other soil physic-chemical properties. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 148: 22-28.
 14. Kay, B.D. 2000. Soil Structure. P 229-264. In: E.M. Sumner (Ed.). *Handbook of Soil Science*. CRC Press, USA: F.I., Boca Raton.
 15. Kemper, A., and Rosenau, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. P 425-442. In: A. Klute, (ed). *Methods of Soil Analysis. Part 1, second ed. Agronomy Monograph*. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
 16. Levy, G.J., Mamedov, A.I., and Oldstein, D. 2003. Sodicity and water quality effects on slaking of aggregates from semi- arid soils. *Soil Science*. 168: 552-562.
 17. Levy, G.J., and Torrento, J.R. 1995. Clay dispersion and macroaggregate stability as affected by exchangeable potassium and sodium. *Soil Science*. 160: 352-358.
 18. Mamedov, A.I., Levy, G.J., Shainberg, I. and Letey, J. 2001. Wetting rate, sodicity and soil texture effects on infiltration rate and runoff. *Australian Journal of Soil Research*. 39: 1293-1305.
 19. Neyshabouri, M., Alizadeh, R.N., Ustaneh, Sh., and Turchi, M. 2008. Comparison of stability and their effect on soil characteristics. *Journal of Agricultural Science*. 18: 3. 99-112.
 20. Nemati, F., Raiesi, F., and Hosseinpour, A.R. 2012. Aggregate stability under different treatments of soil salinity and organic materials in the presence of the anecic earthworm *Lumbricus terrestris* L. under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Water and Soil Conservation*. 19: 1. 41-60. (In Persian)
 21. Oku, E., Fagbola, O., and Troung, P. 2011. Evaluation of vetiver grass buffer strips and organomineral fertilization for the improvement of soil physical properties. *Kasetsart Journal (Natural Science)*. 45: 824-831.
 22. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. *Methods of soil analysis, part 2 chemical and microbiological properties*. Madison-Wisconsin, USA. 1143p.
 23. Pagliani, M., Guidi, G., La Marca, M., Giachetti, M., and Lucamante, G. 1981. Effects of sewage sludges and composts on soil porosity and aggregation. *Journal of Environmental Quality*. 10: 4. 556-561.

24. Piccolo, A., Picteramellara, G., and Mbagwa, J.S.C. 1997. Use of humic substance as soil conditioners to increase aggregate stability. *Geoderma*. 75: 267-277.
25. Rengasamy, P., and Marchuk, A. 2011. Cation ratio of soil structural stability (CROSS). *Soil Research*. 49: 280-285.
26. Rengasamy, P., and Olsson, K.A. 1991. Sodicity and soil structure. *Australian Journal of Soil Research*. 29: 935-952.
27. Rousta, M.J. 2009. Effect of tillage practices on organic matter content and aggregate stability. *Soil and Water Research*. 23: 61-67. (In Persian)
28. Shainberg, I., and Letey, J. 1984. Response of soils to sodic and saline conditions. *Hilgardia*. 52: 2. 1-57.
29. Six, J., Elliott, E.T., and Paustian, K. 2000. Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. *Soil Science Society of America Journal*. 64: 1042-1049.
30. Smiles, D.E. 2006. Sodium and potassium in soils of the Murray-Darling Basin. *Australian Journal of Soil Research*. 44: 727-730.
31. Suguru, P.M. 2014. Effects of Magnesium on Cation Selectivity and Structural Stability in prominent Vertisols of Karnataka. *Fungal Genome and Biology*. 5: 1. 1-5.
32. Taghdisi Heydarian, Z., Khorasani, R., and Emami, H. 2019. Effect of zeolite and cow manure on some physical properties of soil. *Iranian Journal of Water and Soil Conservation*. 25: 5. 149-166. (In Persian)
33. Verhulst, N., Govaerts, B., Verachtert, E., Kienle, F., Limon-Ortega, A., Deckers, J., Raes, D., and Sayre, K.D. 2009. The importance of crop residue management in maintaining soil quality in zero tillage systems; a comparison between long-term trials in rainfed and irrigated wheat systems. 4th World Congress on Conservation Agriculture. Pp: 71-79.
34. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of Digestion method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37: 29-37.
35. Zaker, M., and Emami, H. 2019. Effect of potassium to bivalent cations ratio in irrigation water on some physical and hydraulic properties of sandy loam soil. *Soil and Environment*. 38: 1. 66-74.
36. Zaker, M., Emami, H., Fotovat, A., and Astaraei, A.R. 2018. Effect of salinity and potassium irrigation water on soil structural properties. *Applied Soil Research*. 6: 1. 51-61 (In Persian)
37. Zhou, M., Liu, C., Wang, J., Meng, Q., Yuan, Y., Ma, X., Liu, X., Zhu, Y., Ding, G., Zeng, J.X., and Du, W. 2020. Soil aggregates stability and storage of soil organic carbon respond to cropping systems on Black Soils of Northeast China. *Scientific Reports*. 10: 265. 1-12.



Effect of organic matter and potassium chloride on soil structure stability indices

S. Gholami Jami¹ and H. Emami^{*2}

¹M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad,

²Professor, Dept. of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 08.18.2020; Accepted: 12.12.2020

Abstract

Background and Objectives: Most of the soils in arid and semi-arid regions of Iran contain less than 1% organic matter, which lead to reduce the quality of some physical properties of the soil, including decreasing the stability of aggregates, destruction the soil structure and reducing saturated hydraulic conductivity. Considering to the importance and role of organic matter and the presence of sodium and potassium in manure and their destructive effects on soil structure, this research was performed to study the effect to investigate the effect cattle manure, sewage sludge and potassium chloride on soil structure stability indices.

Materials and Methods: In this research, the effects of cattle manure and municipal sewage sludge at three rates (0, 1 and 2%) and potassium cation (potassium chloride) at three salinity levels (1, 3 and 5 dS/m) and 3 replications as a completely randomized design and factorial arrangement were studied to compare the treatments on soil structure stability indices. Treatments of 1 and 2% (weight) cattle manure and sewage sludge were applied to soil and treated soil filled in pots (1 kg weight). To saturate the soil, all pots were irrigated with 300 ml of urban water. Then, irrigation was made by KCl solutions and 200 ml of KCl was added to each pot every week for the period of 8 weeks. After then, soil structural stability indices including normalized stability index (NSI), geometric mean diameter of wet aggregates (GMD), and percentage of aggregate destruction (PAD) were measured. The statistical analysis of data was made by JMP8 software and comparison of means based on LSD test at $P < 0.001$ was performed.

Results: The results of structural stability showed that sewage sludge treatment had a positive effect on aggregate stability, percentage of aggregate destruction and geometric mean diameter of wet aggregates, while manure application due to high concentration of sodium and potassium and their destructive effects on aggregate stability had the negative effect on most structural stability, except for the normalized stability index. In general, geometric mean diameter of wet aggregates in treatment with no organic matter and salinity level of 3 dS/m was the lowest value and it showed the highest value in 1% of sewage sludge and salinity level of 3 dS/m. Also, amounts of normalized stability index were the highest and lowest values in salinity of 1 dS/m + 1% of manure, and salinity of 3 dS/m + no organic matter, respectively. Percentage of aggregate destruction significantly decreased at salinity levels less than 3 dS/m, while it was not significantly changed at salinity of 5 dS/m due to increment of potassium and its destructive effect on soil structure.

Conclusion: Considering the positive effect of organic matter on stability of aggregates in short term, and the cost effectiveness of sewage sludge, it is suggested that the application the sewage sludge on soil structure indices in agricultural lands will be studied during several years.

Keywords: Aggregate stability, Normalized stability index, Organic matter, Salinity

* Corresponding Author; Email: hemami@um.ac.ir