تأثیر کود دامی و کمپوست بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و فراهمی کاتیون‌های تبادلی در خاک شور و سدیمی

الناز صباغ تازه[1*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۱۳)

چکیده

استفاده از کودهای آلی در اصلاح و احیای خاک‌های شور و سدیمی می‌تواند از ضرورت استفاده از منابع شیمیایی کلسیم بکاهد. در پژوهش حاضر آزمایش‌های آبشویی خاک در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌صورت فاکتوریل خردشده با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای اصلی: ۱) نوع ماده اصلاح‌گر شامل کود دامی و کمپوست، ۲) سطح ماده اصلاح‌گر شامل یک، سه و پنج درصد وزنی و ۳) مرحله آبشویی در پنج سطح شامل: بدون آبشویی، یک بار، دو بار، سه بار و چهار بار آبشویی هر بار با یک حجم منفذی و با فواصل ۳۰ روزه بود. تمامی ستون‌ها بعد از اضافه‌کردن اصلاح‌گرها به مدت ۳۰ روز تحت انکوباسیون قرار گرفته و سپس آبشویی شدند. صفات در هر ستون، در سه عمق به‌عنوان فاکتور فرعی بررسی شد. بعد از ۱۲۰ روز، شوری و درصد سدیم تبادلی خاک تیمارشده با هر دو اصلاح‌گر به‌ترتیب به کمتر از پنج دسی‌زیمنس بر متر و ۱۵ درصد رسید. بعد از ۱۵۰ روز، غلظت پتاسیم و منیزیم تبادلی توسط هر دو اصلاح‌گر کاهش یافت. کلسیم تبادلی خاک در پایان ماه پنجم توسط هر دو اصلاح‌گر افزایش معنی‌داری پیدا کرد. کارایی سطح یک درصد وزنی از هردو اصلاح‌گر با سطوح دیگر در بهبود ویژگی‌های شور و سدیمی خاک برابر بود و بین آبشویی با سه و چهار حجم منفذی در مورد هیچ‌کدام از اصلاح‌گرها در اکثر صفات، تفاوتی مشاهده نشد. در تیمار آبشویی با سه حجم منفذی با کاربرد سطح یک درصد وزنی کود دامی و کمپوست، EC خاک به‌ترتیب، ۸۰ درصد و ۷۱ درصد وESP خاک به‌ترتیب ۴۴/۵ درصد و ۳۵ درصد کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: اصلاح‌گر آلی، آبشویی، کاتیون‌های تبادلی، خاک شور و سدیمی

۱. گروه علوم خاک، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: elnaz_sabbagh@yahoo.com

مقدمه

شوری و قلیاییت خاک و آب، امروزه به یک معضل جهانی تبدیل شده است (۱۷). ۶/۸ میلیون هکتار از اراضی قابل کشت در ایران دارای محدودیت شوری است (۲۷). وجود مقادیر زیاد سدیم در خاک می‌تواند با کمک به تورم و پراکنش رس‌های خاک، باعث تخریب ویژگی‌های فیزیکی و ساختمان خاک شود (۲). خاک‌های سدیمی همچنین حاوی مقادیر زیادی کربنات هستند که می‌تواند منجر به افزایش pH خاک شود (۴). اصلاح این خاک‌ها در جهت نیل به کشاورزی پایدار امری ضروری است (۲۴). روش قدیمی اصلاح خاک‌های سدیمی شامل آبشویی به‌همراه افزودن یک منبع شیمیایی کلسیم به خاک است (۶)، اما هزینه بالا و خطرات زیست‌محیطی ازجمله آلودگی آب‌های زیرزمینی استفاده از آنها را محدود می‌کند (۲۵). آهک بومی خاک می‌تواند برای اصلاح خاک سدیمی و یا شور و سدیمی مورد استفاده قرار گیرد، اما از آنجایی‌که انحلال آهک بومی خاک کم است، معمولاً از یک ماده اسیدی یا اسیدزا مثل اسیدسولفوریک (۳۷) و یا موادآلی (۲۵) استفاده می‌شود. در خاک‌های سدیمی، ماده آلی به فرایند آزادسازی کلسیم از منابع مختلفی نظیر آهک بومی خاک کمک کرده و از ضرورت استفاده از منابع شیمیایی کلسیم نظیر گچ و کلرید کلسیم می‌کاهد (۲۴). طی تجزیه ماده آلی در خاک، گاز CO_2 آزادشده حل می‌شود و تولید اسیدکربنیک می‌کند. اسیدکربنیک تولید شده باعث انحلال آهک بومی خاک می شود (۳). یزدان پناه و همکاران (۴۷) طی آزمایشی تأثیر اصلاح‌گرهای مختلف شامل تفاله پسته، کود گاوی و گچ و کاربرد اصلاح‌گرهای مذکور را به همراه اسید سولفوریک، بر روند اصلاح خاک شور و سدیمی مقایسه کرده و گزارش کردند که تفاله پسته بدون اسید سولفوریک، بیشترین تأثیر را بر کاهش درصد سدیم تبادلی خاک داشت. در آزمایشی به‌منظور اصلاح ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی یک خاک آهکی و سدیمی از بقایای ذرت استفاده شد. نتایج نشان داد که افزودن بقایای گیاهی درصد سدیم تبادلی خاک را به‌میزان ۷۸ درصد کاهش داد (۱۵). در پژوهشی پنج درصد وزنی از کود دامی برای اصلاح خاک سدیمی استفاده شد. نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار کاربرد کود آلی در کاهش درصد سدیم تبادلی خاک بود (۱۹). محمودآبادی و همکاران (۲۶) در پژوهشی بیان کردند که کاربرد کود مرغی، بقایای پسته، گچ و ترکیب گچ با مواد آلی در یک خاک شور و سدیمی توانست هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم را نسبت به خاک شاهد به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد. تژادا و همکاران (۴۲) با بررسی اثر کاربرد مواد آلی، شامل کمپوست حاصل از ضایعات کتان و کود ماکیان، گزارش کردند که در تیمارهای حاوی مواد آلی درصد سدیم تبادلی خاک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. ال شاراوی و همکاران (۱۱) طی یک مطالعه تأثیر کمپوست وگچ بر اصلاح ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی یک خاک شور و سدیمی را بررسی کرده و اعلام کردند کاربرد کمپوست به میزان ۱۰ گرم بر کیلوگرم خاک خشک باعث کاهش معنی‌داری در نسبت جذب سدیم خاک شد. ساهین و همکاران (۳۸) گزارش کردند کاربرد آب و فاضلاب در اصلاح یک نمونه خاک شور و سدیمی توانست درصد سدیم تبادلی خاک را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد. دوس سانتوس و همکاران (۹) تأثیر سه نوع اصلاح‌گر آلی شامل کود دامی، شلتوک برنج و ضایعات نارگیل را در کاهش درصد سدیم تبادلی خاک شور و سدیمی آهکی مثبت ارزیابی کردند. بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های شور و سدیمی با کاربرد مواد آلی و بدون آبشویی طی پژوهش‌های متعددی گزارش شده است (۲۴ و ۳۰). هدف اکثر این مطالعات بررسی تأثیر انواع اصلاح‌گرها بر ویژگی‌های مختلف خاک به‌منظور بهبود وضعیت رشد گیاه بوده است و تاکنون پژوهش‌های کمی درخصوص تأثیر کاربرد اصلاح‌گرها همزمان با عملیات آبشویی بر اصلاح ویژگی‌های شیمیایی خاک و نیز توزیع عمقی املاح تک و دوظرفیتی خاک انجام شده است. هدف از این پژوهش بررسی اثر سطوح مختلف کمپوست شهری و کود دامی بر توزیع کاتیون‌های تبادلی و اصلاح ویژگی‌های شیمیایی یک نمونه خاک شور و سدیمی در طول ۱۵۰ روز انکوباسیون و آبشویی بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه بخشی از اراضی اطراف روستای تازه‌کند واقع در جنوب غربی تبریز بود که در محدوده مختصات عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۹۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۰۱ دقیقه شرقی قرار گرفته است. نمونه‌برداری برای تهیه نمونه مرکب از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر سطحی اراضی شور و سدیمی تحت کشت جو انجام شد. پس از انتقال به آزمایشگاه، خاک در معرض هوا خشک گردیده و از الک دو میلی‌متر عبور داده شده و ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک شامل کربن آلی (۲۹)، pH (۴۳) و EC (۳۵) به‌ترتیب در گل و عصاره اشباع، میزان کربنات کلسیم معادل (CCE) به‌روش تیتراسیون معکوس (۳۶)، سدیم و پتاسیم محلول و قابل‌جذب به‌ترتیب به‌روش عصاره‌گیری با آب و استات‌آمونیوم (۲۲) تعیین شد. کلسیم و منیزیم تبادلی به‌دلیل حل‌شدن کربنات‌ها در استات آمونیوم از تفاضل CEC و سدیم و پتاسیم تبادلی به‌دست آمد (۱۰). بافت خاک به‌روش هیدرومتری (۱۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی به‌دلیل مشکلات ناشی از حضور کربنات‌های کلسیم ومنیزیم در خاک با یکی از روش‌های مخصوص خاک‌های آهکی (۳۱)، جرم مخصوص ظاهری به‌روش استوانه (۵) و درصد رطوبت ظرفیت مزرعه در مکش ۰/۳ بار (۲۱) تعیین شد. کود دامی پوسیده از ایستگاه تحقیقات کشاورزی استان آذربایجان شرقی و کود کمپوست زباله شهری از شرکت کود آلی شهرداری تبریز تهیه شد. برخی از ویژگی‌های شیمیایی کمپوست زباله شهری و کود دامی شامل EC و pH (در عصاره ۱:۲/۵)، پتاسیم کل، سدیم کل، کلسیم و منیزیم کل (۴۶) و کربن آلی (۲۹) اندازه‌گیری شد. در این پژوهش از استوانه‌های پلی‌اتیلنی به طول ۵۰ سانتی‌متر و به قطر ۱۵ سانتی‌متر برای آبشویی استفاده شد. برای پرکردن استوانه‌ها ابتدا مقدار خاک لازم برای هر ستون، با جرم مخصوص ظاهری ۱/۳۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب (برابر با جرم مخصوص ظاهری شرایط مزرعه)، محاسبه و با مقادیر وزن‌شده اصلاح‌گرها مخلوط شد و با استفاده از قیفی فلزی به آرامی داخل استوانه‌ها ریخته شد. در انتهای هر ستون یک قیف جهت خروج زه‌آب و یک لایه سنگ‌ریزه (با قطر متوسط ۰/۵ سانتی‌متر) که روی یک توری قرار داشت، جهت نگه‌داری خاک در ستون در عین حال تسهیل خروج هوا و زهکشی تعبیه شد. سپس ستون‌های خاک به‌مدت یک ماه در درجه حرارت ۵ ± ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ظرفیت مزرعه (مکش معادل ۳۳ کیلو پاسکال) نگه‌داری شد. جهت جلوگیری از تبخیر، بالا و پایین ستون‌ها با نایلون پوشانده شد. این شرایط به‌عنوان رطوبت و دمای بهینه برای معدنی‌شدن مواد آلی در نظر گرفته شد (۱۹). پس از گذشت ۳۰ روز آبشویی ستون‌ها آغاز شد. برای آبشویی ستون‌ها از آب آبیاری مصرفی در مزرعه استفاده شد. آبشویی ستون‌ها به‌صورت متناوب و برای مدت چهار ماه انجام شد، به‌طوری که با احتساب یک ماه انکوباسیون اولیه، کل دوره عملیات انکوباسیون و آبشویی پنج ماه (۱۵۰ روز) به طول انجامید. برای هر یک از شش تیمار (دو تیمار کود آلی هرکدام با سه سطح)، پنج نوع ستون آبشویی هر کدام در سه تکرار تهیه شد. ستون‌های نوع اول یک ماه انکوباسیون شدند و فاقد آبشویی بودند (شاهد)، ستون‌های نوع دوم یک ماه انکوباسیون و یک بار آبشویی، ستون‌های نوع سوم یک ماه انکوباسیون و دوبار آبشویی، ستون‌های نوع چهارم یک ماه انکوباسیون و سه بار آبشویی و ستون‌های نوع پنجم یک ماه انکوباسیون و چهار بار آبشویی شدند. آبشویی ستون‌ها با فواصل ۳۰ روزه و هر بار با یک حجم منفذی آب انجام می‌شد. یک حجم منفذی (Pore Volume (PV، مقدار آبی است که یک نمونه خاک اشباع در منافذ خود نگه می دارد (۱۴). روش کار به این صورت بود که آب با ارتفاع ثابت دو سانتی‌متر به سطح خاک اعمال می‌شد. زمانی که نصف یک حجم منفذی که تقریباً برابر با ۱۳۲۵ سانتی متر مکعب بود در ظرف جمع‌آوری زه‌آب جمع می‌شد اعمال آب قطع شده و آب اضافی از سطح خاک با سرنگ جمع می‌شد. در فواصل بین آبشویی‌ها رطوبت ستون‌های خاک در حد ظرفیت مزرعه‌ای و درجه حرارت ۲۵ درجه سلسیوس نگه‌داری شد. در فواصل بین آبشویی ها برای جلوگیری از تبخیر آب از سطح خاک دهانه ستون‌های خاک با

نایلون پوشانده شد. اگرچه زمان خروج زه‌آب در هیچ ستونی بیشتر از ۲۰ روز طول نمی‌کشید ولی زمان شروع آبشویی نوبت بعد ۳۰ روز بعد از شروع آبشویی نوبت قبل در نظر گرفته شد. مدت زمان ۳۰ روز برای توزیع املاح از منافذ ریز (درون خاکدانه‌ها) به منافذ درشت و برای افزایش کارایی آبشویی درنظرگرفته شد (۷). بعد از اتمام هر مرحله آبشویی، ستون‌های خاک مربوط به آن مرحله برش داده می‌شدند و نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری کاتیون‌های تبادلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، EC و محاسبه ESP در سه عمق ۱۰-۰، ۲۰-۱۰ و ۳۰- ۲۰ سانتی‌متری انجام می‌شد و تیمار مربوط به آن از دور آزمایشات خارج می‌شد و آزمایش با تیمارهای دیگر ادامه می‌یافت. برای محاسبه ESP از سدیم تبادلی ($cmol_c/Kg$) و ظرفیت تبادل کاتیونی ($cmol_c/Kg$) و فرمول زیر استفاده شد (۳۴).

$$ESP=Na/CECx100 \quad (1)$$

تجزیه و تحلیل نتایج ستون‌های خاک

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌صورت فاکتوریل خردشده با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای اصلی ۱) نوع اصلاح‌گر شامل کود دامی و کمپوست، ۲) مقدار مصرف اصلاح‌گر شامل یک درصد، سه درصد و پنج درصد وزنی و ۳) مرحله آبشویی شامل الف) بدون آبشویی (شاهد)، ب) یک بار آبشویی، ج) دو بار آبشویی، د) سه بار آبشویی و هـ) چهار بار آبشویی بود. صفات در هر ستون، در سه عمق (۱۰-۰، ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰سانتی‌متری) به‌عنوان فاکتور فرعی‌مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تجزیه داده ها، با استفاده از نرم افزار SPSS و مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن انجام گرفت.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک و اصلاح‌گرهای آلی در جدول‌های ۱ و ۲ ویژگی‌های شیمیایی آب مورد استفاده، در جدول ۳ آورده شده است. خاک مورد مطالعه در پژوهش حاضر یک خاک شور و سدیمی بود که قبل از انجام آزمایش‌های آبشویی، دارای هدایت الکتریکی برابر با ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر و درصد سدیم تبادلی برابر با ۲۱/۵ بود. همچنین، نتایج تجزیه خاک نشان داد که درصد شن، سیلت و رس به‌ترتیب برابر با ۲۶، ۳۸ و ۳۶ درصد و دارای کلاس بافت لوم‌رسی است (جدول۱). نتایج آنالیز ویژگی‌های مواد آلی مورد مطالعه نشان داد که هر چند میزان شوری هر دو قابل توجه بود ولی میزان EC کمپوست (۱۹/۶ دسی‌زیمنس بر متر) بیشتر از کود دامی (۱۶/۱ دسی‌زیمنس بر متر) بود. از بین کاتیون‌های کل، میزان پتاسیم در کود دامی بیشتر و سدیم، کلسیم و منیزیم کمتر از کمپوست بود.

نتایج تجزیه واریانس غلظت کاتیون‌های تبادلی و EC و ESP خاک در جدول (۴) نشان داده شده است.

سدیم تبادلی

تأثیر دو اصلاح‌گر بر میزان سدیم تبادلی خاک (میانگین سه عمق) در طول پنج ماه عملیات اصلاحی در شکل ۱ نشان داده شده است. مقدار سدیم تبادلی خاک بعد از چهار ماه انکوباسیون و آبشویی به حدود ۲/۶ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم توسط هر دو اصلاح‌گر کاهش یافت. اصلاح‌گرهای آلی با افزایش فشار گاز دی‌اکسید کربن، حلالیت آهک موجود در خاک را افزایش داده و شرایط را برای آزادسازی کلسیم و جایگزینی با سدیم تبادلی فراهم می‌کنند (۳۳). از طرفی افزایش حلالیت آهک باعث افزایش غلظت الکترولیت‌های محلول شده و در نتیجه رهاسازی سدیم از مکان‌های تبادلی را افزایش می‌دهد (۲۰). کلسیم حاصل از انحلال آهک جایگزین سدیم تبادلی شده و عملیات آبشویی باعث خروج سدیم از خاک می‌شود. ساهین و همکاران (۳۸)، طی مطالعه‌ای تأثیر مقادیر مختلف فاضلاب را بر روند اصلاح خاک شور و سدیمی در ستون‌های آبشویی بررسی کرده و نتیجه گرفتند با افزایش مقدار مصرف فاضلاب میزان سدیم خروجی از خاک نیز افزایش یافت. به‌طوری که کاربرد تیمارهای فاضلاب، باعث کاهش سدیم تبادلی خاک به میزان ۴۰/۹ درصد شد. تامانینی و

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در پژوهش

هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (dS/m)	pH	پتاسیم تبادلی (mg/kg)	کلسیم تبادلی	منیزیم تبادلی	سدیم تبادلی	ظرفیت تبادل کاتیونی
			($cmol_c/kg$)			
۱۵	۷/۸	۶۳۰	۲۱/۸	۴/۵	۵/۲	۱۰/۱

ادامه جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در پژوهش

جرم مخصوص ظاهری	SAR	$CaCO_3$	کربن آلی	شن	سیلت	رس	رطوبت ظرفیت مزرعه (درصد وزنی)	ESP
(g/cm^3)	($mmol_c/l)^{0.5}$	(%)						
۱/۳۶	۲۵/۲۵	۱۶/۷۵	۰/۹۹	۲۶	۳۸	۳۶	۲۶/۹	۲۱/۵

جدول ۲. برخی ویژگی‌های شیمیایی اصلاح‌کننده‌های آلی مورد استفاده در پژوهش

نوع نمونه	کلسیم کل	پتاسیم کل	منیزیم کل	کربن آلی	سدیم	pH 1:2.5	EC 1:2.5 dS/m
	درصد						
کود حیوانی	۳/۶	۲/۱۵	۲/۱	۱۷/۶	۰/۰۵	۸/۴۵	۱۶/۱
کمپوست	۵/۴	۱/۸۴	۲/۴	۱۵/۵	۰/۰۶	۷/۶۱	۱۹/۶

جدول ۳. برخی ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده در آزمایش‌های آبشویی

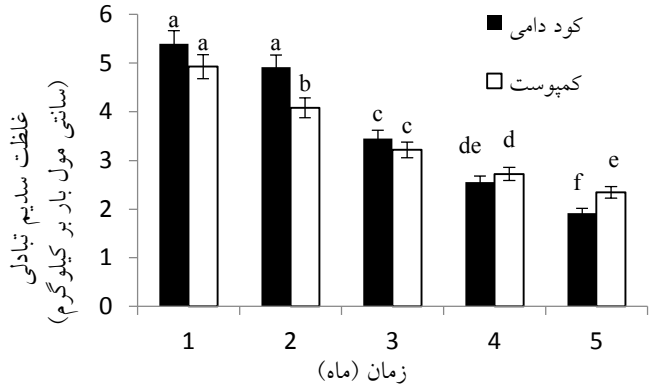
EC	pH	کاتیون‌های محلول ($mmol_c/l$)			آنیون‌های محلول ($mmol_c/l$)		SAR
µS /cm		سدیم	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	بی کربنات	کلراید	($mmol_c/l)^{0.5}$
۴۱۰	۸/۱	۰/۲۵	۰/۰۶۴	۲/۴۰	۱/۶۰	۲	۱/۲۰	۰/۱۷۷

جدول ۴. تجزیه واریانس غلظت کاتیون‌های تبادلی، EC، CEC و ESP خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		Na تبادلی	k تبادلی	Ca تبادلی	Mg تبادلی	EC	CEC	ESP
نوع کود	۱	۰/۰۰۷^{ns}	۴۷۶۲۸۰/۰۰۰**	۰/۰۰۵**	۲۳/۴۶۷**	۰/۳۸۴**	۱۹/۹۵۴**	۶۵/۰۲۳**
سطح کود	۲	۰/۰۳۱**	۱۳۴۷۱۷۷/۴۳۷**	۰/۰۰۴**	۲۷/۳۶۵**	۰/۰۲۴**	۵/۹۳۱*	۴۹/۰۱۴**
سطح آبشویی	۴	۱/۳۵۳**	۵۶۱۲۱۰/۶۲۴**	۰/۰۷۱**	۴۴/۶۸۲**	۳/۵۲۳**	۱۷/۱۵۸**	۱۶۳۰/۵۵۵**
نوع کود × سطح کود	۲	۰/۰۲۹*	۲۰۲۸۱۶/۱۳۳**	۰/۰۰۵**	۴/۷۱۷**	۰/۰۱۳*	۰/۳۲۳^{ns}	۳۴/۲۴۷**
نوع کود × سطح آبشویی	۴	۰/۰۶۱**	۱۱۵۱۱۹/۶۰۲**	۰/۰۰۹**	۷/۰۰۴**	۰/۰۵۳**	۱/۶۹۴^{ns}	۴۹/۶۹۶**
سطح کود × سطح آبشویی	۸	۰/۰۲۲**	۸۵۳۵۹/۷۲۴**	۰/۰۰۱*	۲/۵۴۳**	۰/۰۳۶**	۰/۵۴۴^{ns}	۲۳/۹۳۹**
نوع کود × سطح کود × سطح آبشویی	۸	۰/۰۱۹**	۲۲۵۱۰/۹۳۰**	۰/۰۰۱*	۱/۶۶۵*	۰/۰۳۰**	۱/۶۱۰^{ns}	۱۸/۹۸۲**
خطای اصلی	۶۰	۰/۰۰۵	۷۱۶۵/۴۸۱	۰/۰۰۰۴۲	۰/۵۹۲	۰/۰۰۴	۱/۴۵۷	۵/۸۵۱
عمق	۲	۰/۰۳۳**	۲۰۲۵۱۹/۹۱۵**	۰/۰۰۲*	۰/۴۹۴^{ns}	۰/۳۹۸**	۰/۰۱۳^{ns}	۴۴/۴۳۷**
عمق × نوع کود	۲	۰/۰۰۵^{ns}	۱۷۴۶/۴۳۳^{ns}	۰/۰۰۴**	۰/۱۴۴^{ns}	۰/۰۰۷*	۰/۱۸۱^{ns}	۷/۱۶۶^{ns}
عمق × سطح کود	۴	۰/۰۰۱^{ns}	۱۷۴۱/۳۹۸^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۶۴۲^{ns}	۰/۰۰۶**	۰/۲۷۴^{ns}	۱/۲۱۳^{ns}
عمق × سطح آبشویی	۸	۰/۰۱۱**	۱۱۸۲۸/۲۰۲**	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۴۲۱^{ns}	۰/۰۵۱**	۰/۳۲۶^{ns}	۱۳/۴۰۹**
عمق × نوع کود × سطح کود	۴	۰/۰۰۲^{ns}	۱۶۶۳۱/۸۸۳**	۰/۰۰۰۵^{ns}	۰/۰۵۲^{ns}	۰/۰۲۳**	۰/۵۷۷^{ns}	۳/۱۸۸^{ns}
عمق × نوع کود × سطح آبشویی	۸	۰/۰۰۴^{ns}	۱۱۷۰۷/۴۵۲**	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۱۷۲^{ns}	۰/۰۱۷**	۰/۲۴۷^{ns}	۶/۶۷۰*
عمق × سطح کود × سطح آبشویی	۱۶	۰/۰۰۳^{ns}	۴۳۵۳/۴۱۴^{ns}	۰/۰۰۰۴^{ns}	۰/۴۱۴^{ns}	۰/۰۰۵**	۰/۷۲۶^{ns}	۲/۳۵۰^{ns}
عمق × نوع کود × سطح کود × سطح آبشویی	۱۶	۰/۰۰۵*	۴۱۹۵/۵۷۵^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۲۹۶^{ns}	۰/۰۱۳**	۰/۲۳۶^{ns}	۶/۴۲۸**
خطای فرعی	۱۲۰	۰/۰۰۳	۳۱۴۰/۶۳۷	۰/۰۰۱	۰/۳۱۱	۰/۰۰۱	۰/۶۵۸	۲/۷۴۴
ضریب تغییرات (٪)[1]		۱/۵۴۱	۹/۶۶۱	۰/۲۲۳	۹/۲۹۹	۰/۳۴۹	۳/۷۰۰	۱۰/۲۶۹

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد هستند.

۱. ضریب تغییرات (٪) مربوط به داده‌های اصلی (داده‌های تبدیل نشده) است.



شکل ۱. تغییرات غلظت سدیم تبادلی خاک در طول پنج ماه انکوباسیون و آبشویی برای تیمارهای آلی

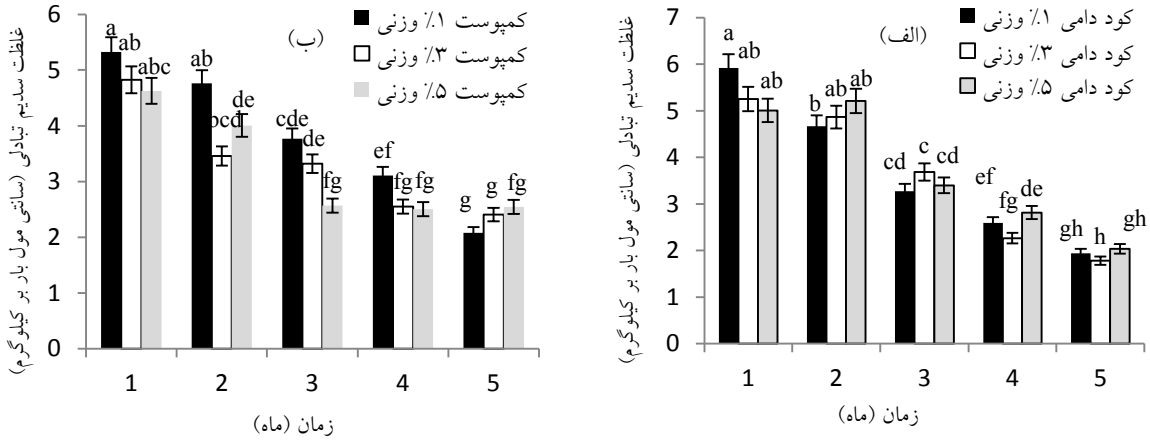
همکاران (۴۱)، گزارش کردند اعمال فاضلاب به خاک شور و سدیمی جایگزینی کلسیم به جای سدیم را افزایش داد. در مطالعه‌ای گزارش شد که میزان سدیم خروجی از خاک به همراه شستشو با میزان کلسیم ورودی به محلول خاک همبستگی مستقیم دارد (۲).

تأثیر سطوح مختلف دو اصلاح‌گر بر میزان سدیم تبادلی در کل ستون خاک در طی پنج ماه عملیات اصلاحی در دو شکل (۲- الف) و (۲- ب) نشان داده شده است. سطوح کود دامی و کمپوست در اکثر ماه‌های انکوباسیون تفاوت چندانی با یکدیگر نداشتند. به‌نظر می‌رسد افزایش سطح اصلاح‌گرهای آلی با افزایش شوری خاک باعث تحت تأثیر قرار گرفتن ریزجانداران مؤثر در معدنی‌شدن مواد آلی شده و تأثیر منفی بر میزان معدنی‌شدن آن گذاشته است (۳۹). از طرفی می‌توان استنباط کرد که کارایی سطح یک درصد وزنی از هر دو اصلاح‌گر با سطوح دیگر یکسان است.

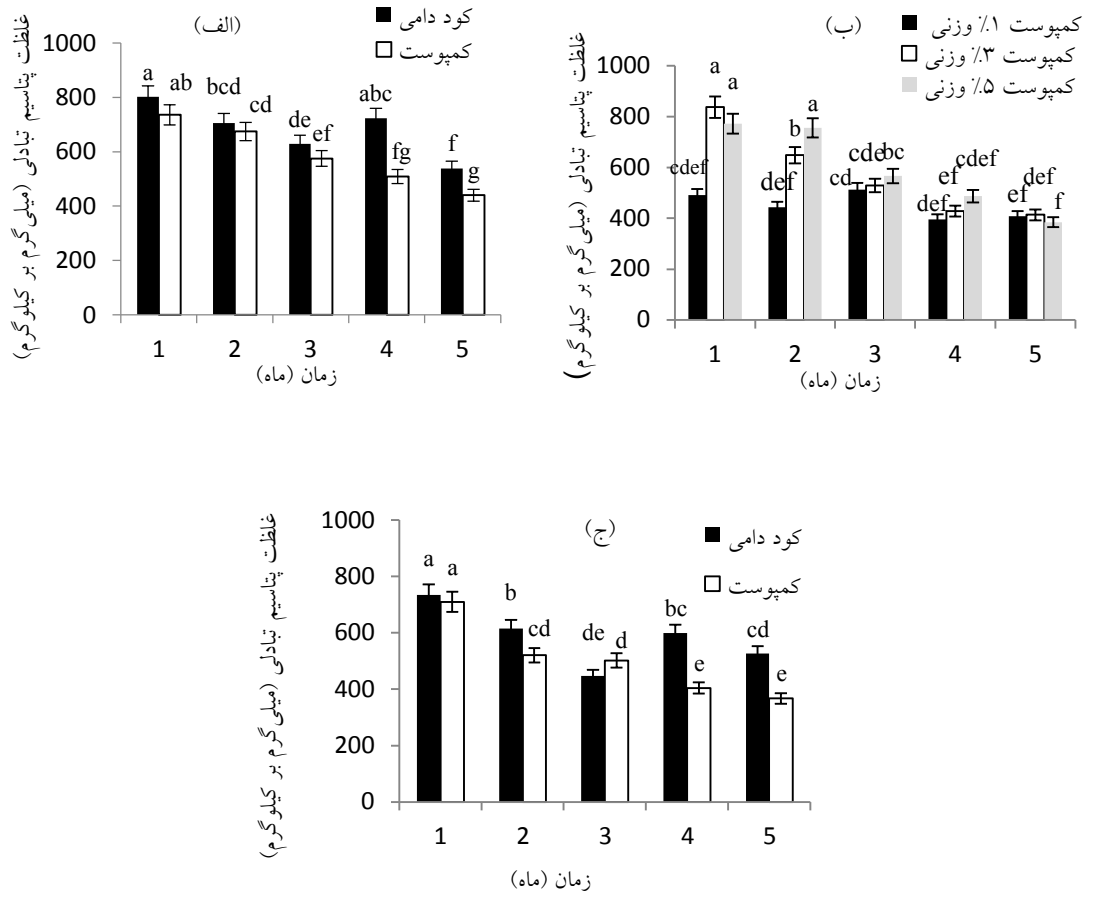
پتاسیم تبادلی

تأثیر دو نوع اصلاح‌گر بر میزان پتاسیم تبادلی خاک در سه عمق مختلف در طول پنج ماه عملیات انکوباسیون و آبشویی در شکل‌های ۳- الف، ۳- ب و ۳- ج نشان داده شده است.

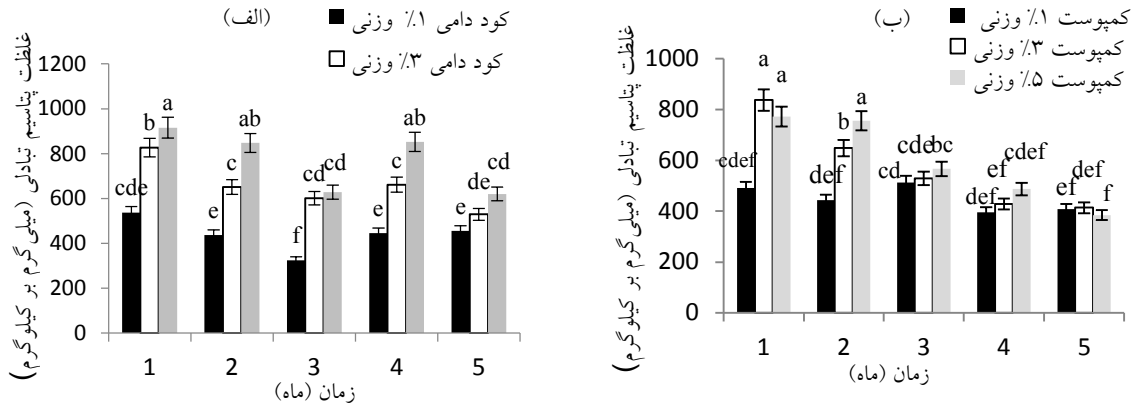
با ادامه عملیات انکوباسیون و آبشویی، هر دو نوع اصلاح‌کننده، پتاسیم تبادلی را کاهش دادند. اما کود دامی به‌دلیل دارابودن مقدار پتاسیم بیشتر (جدول ۲)، پتاسیم تبادلی زیادتری نسبت به کمپوست در خاک به‌جای گذارد. طی مطالعه‌ای گزارش شد آهک تأثیر مثبتی بر افزایش آبشویی پتاسیم از خاک دارد (۱۸). نجفی قیری و همکاران (۲۸)، گزارش کردند خاک‌های حاوی آهک پتاسیم زیادی دارند ولی در عین حال حضور آهک در این نوع خاک‌ها به آبشویی بیشتر پتاسیم از خاک کمک می‌کند. تأثیرسطوح مختلف کودی دو اصلاح‌گر بر میزان پتاسیم تبادلی در کل ستون خاک در شکل‌های ۴- الف و ۴- ب نشان داده شده است. مطابق شکل ۴، بیشترین پتاسیم تبادلی باقی‌مانده در خاک به سطح کودی پنج درصد در مورد هر دو اصلاحگر مربوط است. هر چند که در اکثر موارد تفاوت معنی‌دار بین این سطح و سطح سه درصد مشاهده نشد. طی مطالعه‌ای در خصوص کاربرد فاضلاب به همراه آبشویی به‌منظور اصلاح خاک شور و سدیمی مشخص شد که کمترین میزان پتاسیم تبادلی باقی‌مانده در خاک بعد از اتمام عملیات اصلاحی، به کمترین سطح مصرف فاضلاب مربوط بود و با افزایش سطح مصرف فاضلاب مقدار پتاسیم تبادلی خاک نیز افزایش یافت. هرچند در تمام تیمارهای آلی مقدار پتاسیم تبادلی باقی‌مانده در خاک کمتر از مقدار پتاسیم اولیه خاک بود (با وجود مقدار پتاسیم زیاد در فاضلاب). علت این امر به آبشویی و خروج پتاسیم آزادشده از مواد آلی در حین آبشویی ربط داده شد (۳۸). والکر و برنال (۴۵) طی مطالعه خود تأثیر کمپوست زیتون و



شکل ۲. تأثیر سطوح مختلف الف) کود دامی و ب) کمپوست برغلظت سدیم تبادلی خاک در طول پنج ماه انکوباسیون و آبشویی



شکل ۳. تغییرات غلظت پتاسیم تبادلی خاک در سه لایه الف) ۱۰-۰، ب) ۲۰-۱۰ وج) ۳۰-۲۰ سانتی‌متری خاک در طول پنج ماه انکوباسیون و آبشویی برای تیمارهای آلی



شکل ۴. تأثیر سطوح مختلف الف) کود دامی و ب) کمپوست برغلظت پتاسیم تبادلی خاک در طول پنج ماه انکوباسیون و آبشویی

کود ماکیان را با سطوح ۲۰ و ۳۰ گرم بر کیلوگرم خاک بر قابلیت جذب عناصر در یک خاک شور بررسی کردند و نتیجه گرفتند که پتاسیم محلول و پتاسیم تبادلی در همه تیمارهای آلی به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است. بدیهی است این اختلاف به آبشویی خاک مربوط است که در پژوهش مذکور انجام نشده است.س

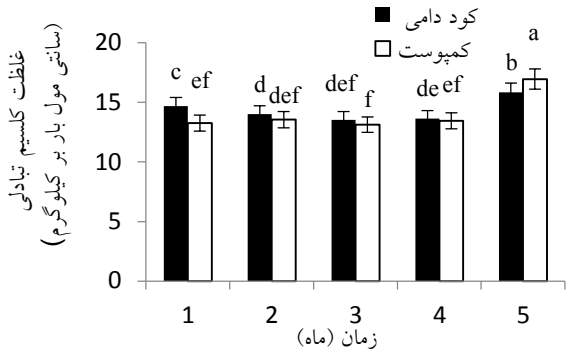
کلسیم تبادلی

روند تغییرات میزان کلسیم تبادلی خاک توسط دو ماده آلی در طی پنج ماه انکوباسیون و آبشویی در شکل ۵ نشان داده شده است. انکوباسیون و آبشویی در پایان ماه پنجم، باعث افزایش معنی‌دار کلسیم تبادلی شد. کلسیم نسبت به کاتیون‌های تک ظرفیتی تمایل بیشتری به قرار گرفتن در مکان‌های تبادلی دارد (۲۰). عبدل فتاح (۱)، گزارش کرد علاوه بر تأثیر مواد آلی بر حل شدن آهک بومی خاک، افزایش کلسیم و منیزیم خاک به علت تجزیه مواد آلی نیز اتفاق می‌افتد. غدیر و همکاران (۳۲) نیز تأثیر مواد آلی را بر کاهش میزان آهک و افزایش کلسیم تبادلی خاک گزارش کرده‌اند. افزایش در میزان جذب کلسیم در فاز تبادلی خاک به دنبال افزایش مواد آلی به خاک‌های شور و سدیمی حاوی آهک، در مطالعات جلالی و رنجبر (۱۹) و لیوگرانده و ویتی (۲۴) نیز گزارش شده است.

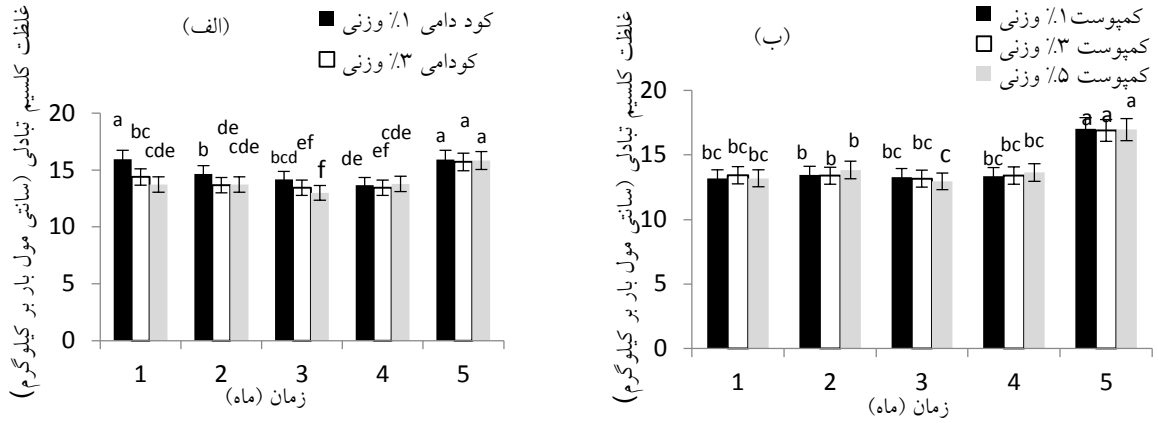
شکل ۶- الف و ۶- ب تأثیر سطوح مختلف دو اصلاح‌کننده را بر میزان کلسیم تبادلی در کل ستون خاک در طول پنج ماه انکوباسیون و آبشویی نشان می‌دهد. سطح یک درصد کود دامی بیشترین میزان کلسیم تبادلی را نسبت به سطوح دیگر از خود برجای گذاشت. بین سطوح کود کمپوست از لحاظ تأثیر بر میزان کلسیم تبادلی خاک تفاوتی مشاهده نشد (شکل ۶- ب). در آزمایشی تغییرات شیمیایی و بیولوژیکی یک خاک سدیمی با افزودن کود طیور، کود دامی و چند نوع بقایای گیاهی با سطح یک درصد وزنی در طول ۱۷۴ روز انکوباسیون بررسی شد و نتیجه‌گیری شد که میزان هیچ کدام از کاتیون‌های تبادلی در طول مدت انکوباسیون تغییری پیدا نکرد (۶). تأثیر کود ماکیان و کود گوسفندی و گچ (هر سه با سطح پنج درصد وزنی) بر ویژگی‌های خاک سدیمی بررسی شد و ستون‌های خاک با سه نوع محلول با SAR معادل صفر، ۱۰ و ۴۰ آبشویی شد. نتایج نشان داد که کاربرد هر دو نوع کود آلی جذب سطحی کاتیون‌های کلسیم، منیزیم و پتاسیم را نسبت به سدیم افزایش داد (۱۹).

منیزیم تبادلی

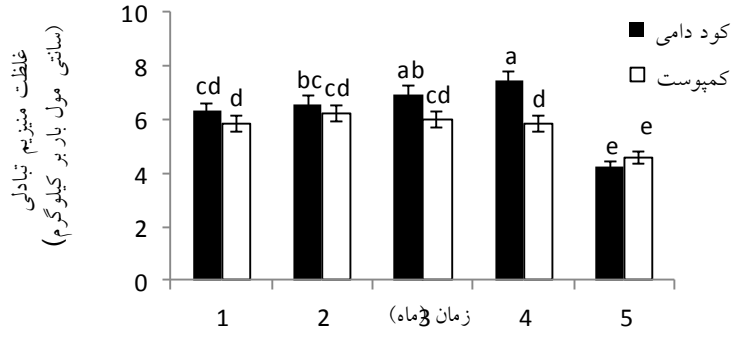
روند تغییرات منیزیم تبادلی خاک در طول پنج ماه انکوباسیون و آبشویی در شکل ۷ نشان داده شده است. منیزیم تبادلی خاک تغییر محسوسی در طول چهار ماه ابتدایی عملیات آبشویی نداشت. عدم تغییرات معنی‌دار منیزیم تبادلی در طول عملیات اصلاحی با مواد آلی در مطالعات کلارک و همکاران (۶) در یک خاک شور و سدیمی نیز مشاهده شده است. درحالی که جلالی



شکل ۵. تغییرات غلظت کلسیم تبادلی خاک در طول پنج ماه انکوباسیون و آبشویی برای تیمارهای آلی



شکل ۶. تأثیر سطوح مختلف الف) کود دامی و ب) کمپوست بر غلظت کلسیم تبادلی خاک در طول پنج ماه انکوباسیون و آبشویی



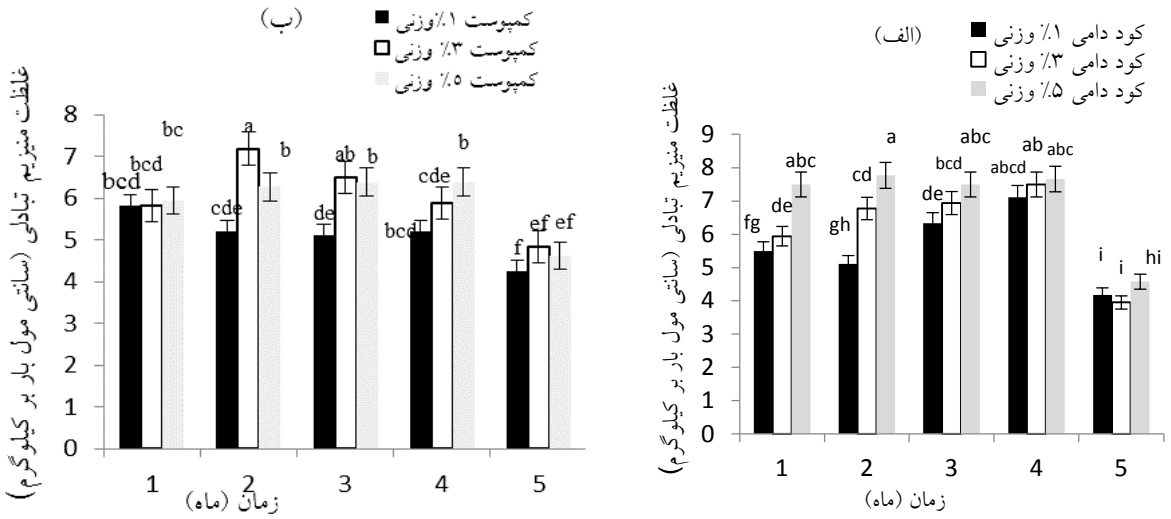
شکل ۷. تغییرات غلظت منیزیم تبادلی خاک در طول پنج ماه انکوباسیون و آبشویی برای تیمارهای آلی

و رنجبر (۱۹) و لیوگرانده و ویتی (۲۴)، افزایش در میزان جذب منیزیم در فاز تبادلی خاک را به دنبال افزایش مواد آلی به خاک‌های شور و سدیمی گزارش کرده‌اند. این محققان افزایش در منیزیم تبادلی را به تجزیه مواد آلی و آزادسازی منیزیم و سپس جایگزینی منیزیم با سدیم تبادلی خاک مربوط دانسته‌اند. در پژوهش حاضر به احتمال زیاد تأثیر اصلاح‌کننده‌های آلی بر انحلال کلسیت خاک و ورود مقدار زیادی کلسیم محلول به خاک باعث جایگزینی کلسیم به جای سدیم و تا حدودی پتاسیم تبادلی در طول چهار ماه ابتدایی عملیات اصلاحی شده است و در این مدت مقدار منیزیم تبادلی تغییر محسوسی نکرده است. با وجود دو ظرفیتی بودن هر دو یون کلسیم و منیزیم، کلسیم تمایل بیشتری به جذب شدن در فاز تبادلی از خود نشان می‌دهد. این امر بیشتر به شعاع هیدراته کوچکتر کلسیم در مقایسه با منیزیم نسبت داده شده است (۲۰). ادامه آبشویی از ماه چهارم به ماه پنجم باعث کاهش در منیزیم تبادلی شد. به نظر می‌رسد با ادامه آبشویی منیزیم‌های تبادلی خاک تمایل به ورود به فاز محلول پیدا کرده اند. علت این امر احتمالاً کاهش شدت تجزیه اصلاح‌گرها در ماه‌های پایانی عملیات اصلاحی و کاهش ورود منیزیم حاصل از تجزیه اصلاح‌گرها به خاک و نیز کاهش غلظت سدیم و پتاسیم تبادلی و در نتیجه شروع جایگزینی منیزیم با کلسیم باشد. در مورد هر دو اصلاح‌گر سطح یک درصد وزنی کمترین منیزیم تبادلی را در خاک به جای گذارد. ما بین سطوح سه و پنج درصد در هیچ‌کدام از اصلاح‌گرها، به‌خصوص در ماه‌های پایانی عملیات اصلاحی تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد.

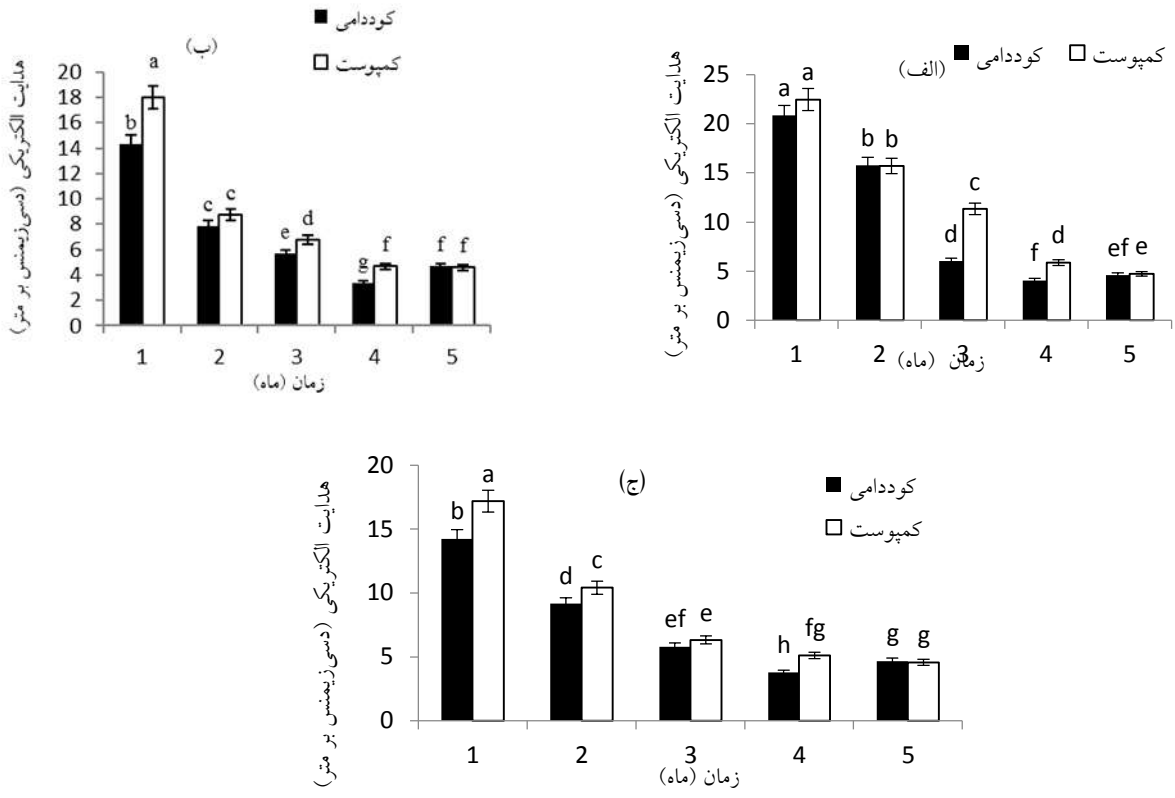
EC خاک

تأثیر کاربرد دو اصلاح‌کننده همراه با عملیات آبشویی برEC خاک در سه عمق در شکل‌های ۹ – الف، ۹– ب و۹– ج نشان داده شده است. کاربرد هر دو اصلاح‌گر همراه با عملیات آبشویی توانست EC خاک را به حدود پنج دسی‌زیمنس بر متر در دو ماه پایانی عملیات اصلاحی برساند. در اکثر موارد بین آبشویی با سه و چهار حجم منفذی تفاوت معنی‌داری در هیچ کدام از اصلاح‌گرها مشاهده نشد. در هر سه عمق کود دامی در کاهش EC خاک در طول پنج ماه عملیات انکوباسیون و آبشویی، مؤثرتر از کمپوست عمل کرد که می‌توان علت آن را به EC بیشتر کود کمپوست نسبت به کود حیوانی مورد استفاده در این پژوهش مرتبط دانست. کود دامی همراه با آبشویی با سه حجم منفذی، EC خاک را ۷۳ درصد در عمق اول، ۷۷/۵ درصد در عمق دوم و ۷۴/۸ درصد در عمق سوم کاهش داد. کمپوست همراه با آبشویی با سه حجم منفذی، EC خاک را ۶۱ درصد در عمق اول، ۶۸/۸ درصد در عمق دوم و ۶۵/۸ درصد در عمق سوم کاهش داد.

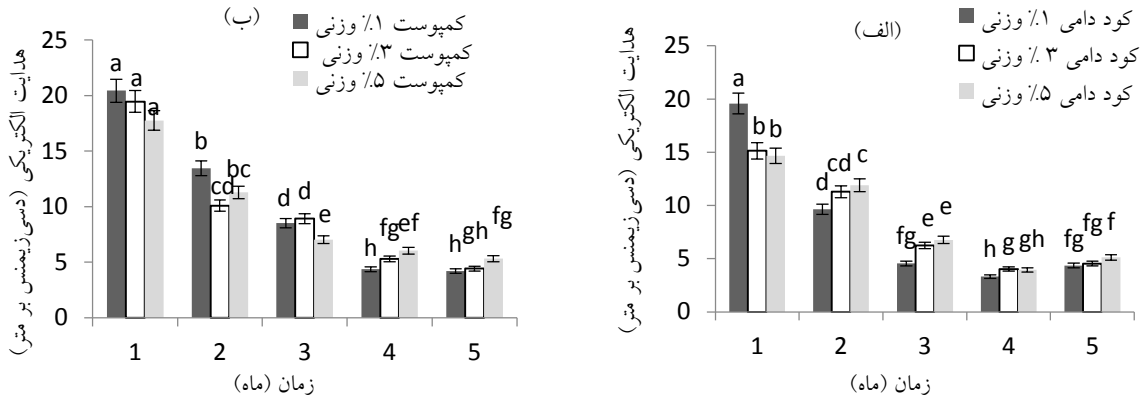
در شکل ۱۰– الف و ۱۰– ب تأثیر سه سطح کود دامی و کمپوست بر تغییرات EC کل ستون خاک در طی پنج ماه انکوباسیون و آبشویی نشان داده شده است. در اکثر ماه‌های انکوباسیون، EC خاک تیمارشده با یک درصد وزنی از هر دو نوع کود، کمتر از بقیه سطوح بود. EC خاک در تیمار آبشویی با سه حجم منفذی با کاربرد سطح یک درصد وزنی کود دامی و کمپوست به‌ترتیب، ۸۰ و ۷۱ درصد، با کاربرد سطح سه درصد وزنی کود دامی و کمپوست به‌ترتیب،۷۳ و ۶۴/۸ درصد و با کاربرد سطح پنج درصد وزنی کود دامی و کمپوست به‌ترتیب، ۷۴ و ۵۹/۸ درصد کاهش یافت. در پژوهشی تأثیر آب غیر شور و آب فاضلاب در اصلاح خاک شور و سدیمی مقایسه و گزارش شد با افزایش سطح مصرف فاضلاب و افزایش شوری آب آبشویی، کارایی آبشویی در کاهش نمکهای محلول کاهش می‌یابد (۳۸). گزارش شده است در آبشویی‌های کوتاه مدت کیفیت آب آبشویی و در کل شوری محلول خاک، تأثیر زیادی بر کارایی آبشویی دارد. علت این موضوع را می‌توان به حلالیت بالا و قابلیت شستشوی بالای یون‌هایی نظیر سدیم و کلر به خصوص در دفعات اول آبشویی نسبت داد (۱). نتایج مشابهی در پژوهش‌های ذیل به‌دست آمده است (۸، ۱۶، ۲۳ و۳۰). الشاراوی و همکاران (۱۱) نشان دادند که کاربرد کود کمپوست به‌میزان یک درصد وزنی در طول ۱۲۰ روز انکوباسیون



شکل ۸. تأثیر سطوح مختلف الف) کود دامی و ب) کمپوست بر غلظت منیزیم تبادلی خاک در طول پنج ماه انکوباسیون و آبشویی



شکل ۹. تغییرات EC خاک در سه لایه الف) ۱۰-۰، ب) ۲۰-۱۰ و ج) ۳۰-۲۰ سانتی‌متری خاک در طول پنج ماه انکوباسیون و آبشویی برای تیمارهای آلی



شکل ۱۰. تأثیر سطوح مختلف الف) کود دامی و ب) کمپوست بر EC خاک در طول پنج ماه انکوباسیون و آبشویی

و آبشویی خاک در فواصل ۳۰ روزه، EC یک نوع خاک رسی را از ۹/۴ به ۷/۴ دسی‌زیمنس بر متر کاهش داد. هایو و چانگ (۱۳) مطالعه‌ای را با کاربرد کود گاوی در مقادیرصفر، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ تن بر هکتار در سال همراه با آبیاری انجام دادند. تنها سطح ۶۰ تن بر هکتار از لحاظ شوری مطلوب ارزیابی شد.

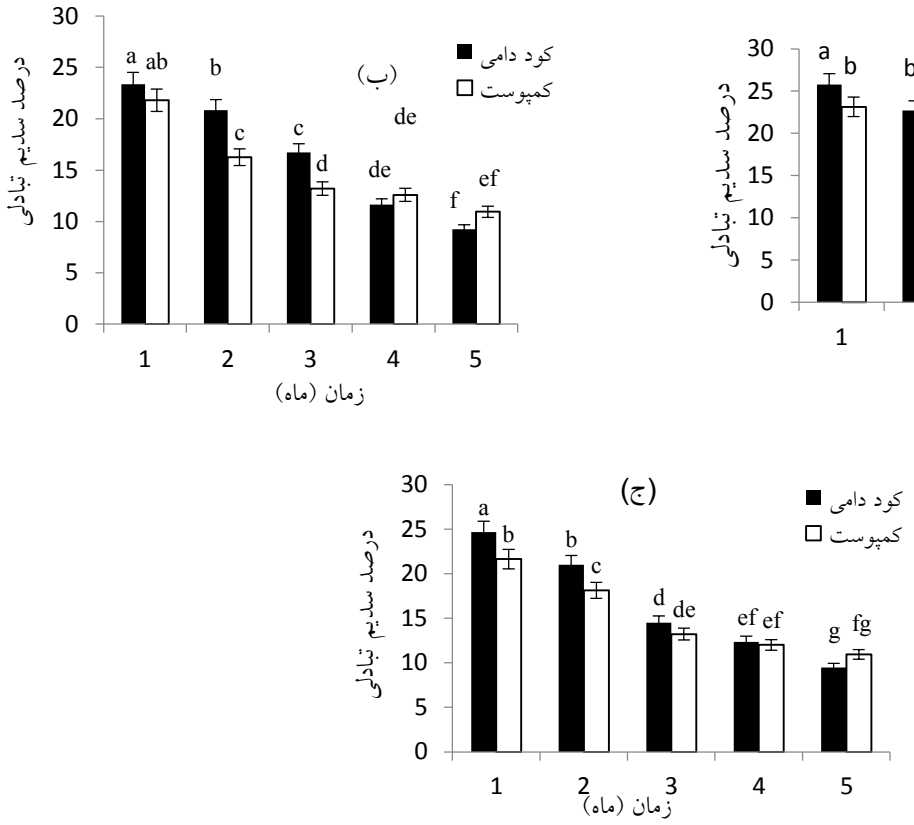
ظرفیت تبادل کاتیونی

مطابق جدول ۴ اثرات متقابل هیچ کدام از تیمارها بر ظرفیت تبادلی خاک معنی‌دار نشد. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک اولیه مورد استفاده در این پژوهش ۲۱/۸ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم خاک بوده است و در طول پنج ماه انکوباسیون و آبشویی تغییر چندانی نکرد. پژوهشگران مختلفی افزایش CEC خاک‌های شور را با کاربرد مواد آلی گزارش کرده‌اند (۴۴). در این پژوهش خاک مورد مطالعه شور و سدیمی بوده و هدف اساسی کاهش شوری و سدیمی بودن خاک با حفظ حاصلخیزی خاک بود. همانطور که در مباحث قبل عنوان شد عملیات اصلاحی یعنی انکوباسیون و به دنبال آن آبشویی توانست میزان سدیم تبادلی را کاهش دهد و به جای آن میزان کلسیم تبادلی را افزایش دهد. این یافته گویای این حقیقت است که در فاز جذبی خاک، سدیم با کلسیم جایگزین شده است. منشأ این کلسیم، کلسیم‌های آزاد شده از تجزیه کودهای آلی و نیز انحلال کلسیت می‌باشد. کلارک و همکاران (۶)، نیز عدم تغییرات معنی‌دار در CEC یک نوع خاک سدیمی تیمار شده با انواع اصلاح گرهای آلی از جمله کود دامی با سطح یک درصد وزنی در طول ۱۷۴ روز انکوباسیون را گزارش کردند. ساهین و همکاران (۳۸) عدم تغییرات معنی‌دار ظرفیت تبادلی خاک را با افزایش مقادیر فاضلاب در حین آبشویی خاک شور و سدیمی گزارش کردند. در مطالعه مذکور علت عدم تغییر معنی‌دار ظرفیت تبادلی خاک کافی‌نبودن مقدار ماده آلی برای افزایش ظرفیت تبادلی خاک ذکر شد.

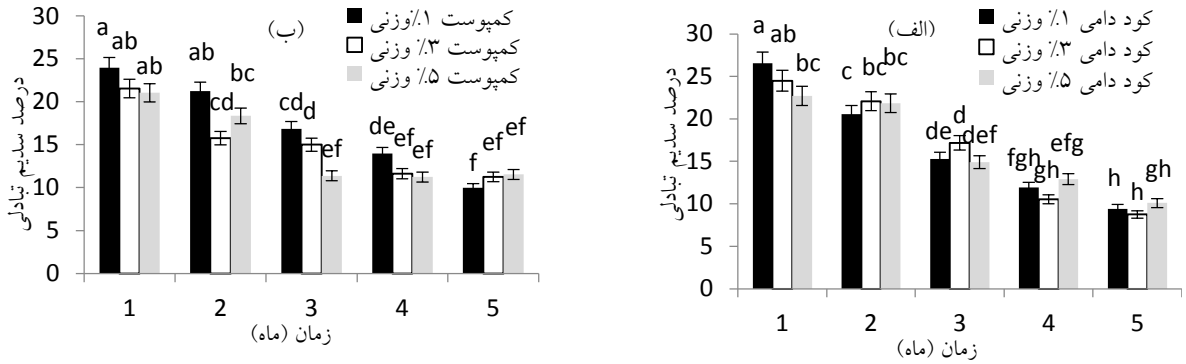
درصد سدیم تبادلی خاک

تأثیر دو نوع اصلاح‌کننده بر میزان درصد سدیم تبادلی در سه عمق مختلف در طول پنج ماه انکوباسیون و آبشویی در اشکال ۱۱- الف، ۱۱- ب و ۱۱- ج نشان داده شده است. کاهش سدیم تبادلی خاک با هر دو اصلاح‌گر (شکل ۱) و عدم تغییرات معنی‌دار ظرفیت تبادلی خاک باعث کاهش معنی‌دار درصد سدیم تبادلی شده است. در این مطالعه میزان کاهش درصد سدیم تبادلی خاک در تیمار آبشویی با سه حجم منفذی با کاربرد کود دامی در عمق اول، ۴۷/۲ درصد، در عمق دوم ۴۶ درصد و در عمق سوم ۴۲/۵ درصد

بود. آبشویی با سه حجم منفذی با کاربرد کمپوست توانست ESP خاک را در عمق اول ۴۳/۳۴ درصد، در عمق دوم ۴۱/۴ درصد و در عمق سوم ۴۴/۱۳ درصد نسبت به خاک اولیه کاهش دهد. آزادسازی کلسیم و منیزیم در حین تجزیه مواد آلی و نیز انحلال آهک بومی خاک و جانشینی کلسیم و سدیم در فاز تبادلی علت اصلی کاهش درصد سدیم تبادلی خاک بوده است. کاهش در درصد سدیم تبادلی خاک به میزان ۵۴/۵ درصد در حین آبشویی خاک‌های شور و سدیمی و همراه با کاربرد مواد آلی در مطالعات ساهین و همکاران (۳۸) نیز گزارش شده است. در مطالعه‌ای دیگر تأثیر مثبت کاربرد همزمان گچ و مواد آلی در اصلاح خاک‌های سدیمی و کاهش درصد سدیم تبادلی نشان داده شده است (۹). کاهش درصد سدیم تبادلی در خاک‌های سدیمی با کاربرد مواد آلی در مطالعات متعددی گزارش شده است (۱۹، ۲۴ و ۳۰). در هر سه عمق کارایی کود کمپوست در کاهش ESP خاک در ماه‌های ابتدایی انکوباسیون از کود دامی بیشتر بود. تا پایان ماه سوم عملیات اصلاحی، کمپوست با وجود سدیم بیشتری که داشته در اصلاح خاک موفق‌تر بوده است زیرا به‌دلیل تجزیه کندتر، کاتیون‌های آزاد شده از کمپوست و نیز منبع کلسیم‌های بومی خاک فرصت بیشتری برای جایگزینی با سدیم داشته‌اند. در پژوهش‌های دیگر نیز سرعت تجزیه مواد آلی که فرایند کمپوست‌شدن را طی کرده‌اند، از جمله کمپوست زباله‌های شهری، نسبت به کود دامی کمتر گزارش شده است (۳۹). ولی از ماه چهارم به بعد کود دامی باعث کاهش بشتری در ESP خاک شد. آنچه که در این پژوهش مورد نظر بوده است، کاهش ESP خاک به زیر



شکل ۱۱. تغییرات ESP خاک در سه لایه الف) ۱۰-۰، ب) ۲۰-۱۰ وج) ۳۰-۲۰ سانتی‌متری خاک در طول پنج ماه انکوباسیون



شکل ۱۲. تأثیر سطوح مختلف الف) کود دامی و ب) کمپوست بر ESP خاک در طول پنج ماه انکوباسیون و آبشویی

حد مجاز (۱۵ درصد) بود که به‌عنوان حد مرزی خاک‌های سدیمی شناخته می‌شود (۴۰). در مورد کود دامی تفاوتی بین سطوح کودی، در هیچ‌کدام از مراحل انکوباسیون و آبشویی مشاهده نشد (شکل‌های ۱۲- الف و ۱۲- ب). در مورد کود کمپوست به‌خصوص در مراحل پایانی عملیات اصلاحی، سطح کود پنج درصد وزنی کمترین ESP را در خاک ایجاد کرد. ولی در ماه‌های چهارم و پنجم تفاوتی میان این سطح با سطوح دیگر مشاهده نشد. ESP خاک در تیمار آبشویی با سه حجم منفذی همراه با سطح یک درصد وزنی از کود دامی و کمپوست به‌ترتیب ۴۴/۵ و ۳۵ درصد، همراه با سطح سه درصد وزنی از کود دامی و کمپوست به‌ترتیب ۵۱/۰۲ و ۴۶ درصد و همراه با سطح پنج درصد وزنی کود دامی و کمپوست به‌ترتیب ۴۰ و ۴۷/۸۱ درصد کاهش یافت.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش حاکی از تأثیر معنی‌دار اصلاح‌کننده‌ها و آبشویی بر کاهش ESP و EC به زیر حد مجاز (درصد سدیم تبادلی به زیر ۱۵ و شوری به زیر ۵ دسی‌زیمنس بر متر) بود. کود کمپوست در کاهش ESP خاک در هر سه عمق، در همه ماه‌های انکوباسیون، کارایی بیشتری نسبت به کود دامی داشت. غلظت سدیم و پتاسیم و منیزیم تبادلی در خاک با کاربرد هردو اصلاح‌کننده و تداوم آبشویی کاهش یافت. مقدار کلسیم تبادلی خاک با افزایش تعداد آبشویی، افزایش یافت. در کل می‌توان اذعان داشت که کارایی کمپوست در کاهش درصد سدیم تبادلی بیشتر از کود دامی بود اما در مورد اصلاح شوری خاک، کارایی کمپوست به‌دلیل شوری اولیه بیشتر، کمتر از کود دامی بود. کارایی سطح یک درصد وزنی از هر دو اصلاح‌کننده نسبت به سطوح دیگر در بهبود ویژگی‌های شور و سدیمی بودن خاک بیشتر بود. بین آبشویی با سه و چهار حجم منفذی در مورد هیچ‌کدام از اصلاح‌کننده‌ها در اکثر صفات مورد اندازه‌گیری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بنابراین، می‌توان اذعان داشت که کاربرد سطح یک درصد وزنی از هر دو نوع اصلاح‌کننده و آبشویی با سه حجم منفذی از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه‌تر است.

منابع مورد استفاده

1. Abdel-Fattah, M. K. 2012. Role of gypsum and compost in reclaiming saline-sodic soils. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science* 1: 30-38.
2. Alcivar, M., A. Zurita Silva, M. Sandoval, C. Munoz and M. Schoebitz. 2018. Reclamation of saline-sodic soils with combined amendments: impact on quinoa performans and biological soil quality. Sustainability 10: 3083.

3. Amer, M. M. and I. M. Hashem. 2018. Impact of some soil amendments on properties and productivity of salt affected soils at Kafr El-Sheikh Governorate. *Egyptian Journal of Soil Science* 58: 177-191.
4. Batarseh, M. 2017. Sustainable management of calcareous saline-sodic soil in arid environments: the leaching process in the Jordan valley. *Applied Environmental Soil Science* 1092838
5. Blake, G. R. and K. H. Hartge .1986. Bulk density. PP. 363-382. *In:* A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (eds). Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd Edition, ASA and SSSA, Madison, USA.
6. Clark, G., J. Dodgshun, P.W.G. Sale, and C. Tang. 2007. Changes in chemical and biological properties of a sodic clay subsoil with addition of organic amendments. *Soil Biology and Biochemistry* 39: 2806-2817.
7. Cote, C. M., K. Bristow and P. J. Ross. 2000. Increasing the efficiency of solute leaching: Impacts of flow interruption with drainage of the preferential flow paths. *Journal of Contaminated Hydrology* 43: 191-209.
8. Domene, X., J. Col´on, M. V. Uras, R. Izquierdo, A. `Avila and J. M. Alca˜niz. 2010. Role of soil properties in sewage sludge toxicity to soil collembolans. *Soil Biology and Biochemistry* 42: 1982-1990.
9. Dos Santos, P. D., L. F. Cavalcante, H. R., Ghazi, G. S. De Lima, E. M. Gomes and F. T. C. Bezerra. 2019. Saline-sodic soil treated with gypsum, organic sources and leaching for successive cultivation of sunflower and rice. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 23: 891-898.
10. Dufey, J. E. and B. Delvauy. 1989. Modelling potassium-calcium exchange isotherms in soils. *Soil Science Society of American Journal* 53: 1297-1299.
11. Elsharawy, M. A. O., M. M. Elbording and A. A. Sedeka. 2008. Improvement of a salt affected soil on Bahr EL-Bakar Area using certain industrial by products. *Journal of Applied Science and Research* 47: 839-846
12. Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle Size Analysis. PP: 383-411. *In:* A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (eds). Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical Properties. 2nd Edition, ASA and SSSA, Madison, USA.
13. Hao, X. and C. Chang. 2003. Does long-term heavy cattle manure application increase salinity of a clay loam soil in semi-arid southern Alberta. *Agricultural Ecosystems and Environment* 94: 89-103.
14. Hoseini, E. S. and M. Delbari. 2015. Column leaching experiments on saline soil of different textures in Sistsn plain. *Desert* 20(2): 207-215.
15. Hu, K., B. Li, D. Chen, Y. Zhang and R. Edis. 2008. Simulation of nitrate leaching under irrigated maize on sandy soil in desert oasis in Inner Mongolia, China. *Agricultural Water Management* 95: 1180-1188.
16. Hussein, A. H. A. 2009. Impact of sewage sludge as organic manure on some soil properties, growth, yield and nutrient contents of cucumber crop. *Journal of Applied Science* 9: 1401-1411.
17. Imadi, S. R., S. W. Shah, A. G. Kazi, M. M. Azooz and P. Ahmad. 2016. Phytoremediation of saline soils for sustainable agricultural productivity. *Plant Metal Interaction* 18: 455-468.
18. Jalali, M. and D. L. Rowell. 2003. The role of calcite and gypsum in the leaching of potassium in a sandy soil. *Experimental Agriculture* 39: 379-394.
19. Jalali, M. and F. Ranjbar. 2009. Effects of sodic water on soil sodicity and nutrient leaching in poultry and sheep manure amended soils. *Geoderma* 153(1): 194-204.
20. Keren, R. 1996. Reclamation of sodic-affected soils. PP. 353-374. *In:* M. Agassi (Ed.), Soil Erosion, Conservation and Rehabilitation. Marcel Dekker Inc., New York.
21. Klute, A. 1986. Water retention: laboratory methods. PP. 635-662. *In:* A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (eds). Methods of Soil Analysis, Part I, Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph No. 9. ASA and Soil Science Society of America, Madison, WI.
22. Knudsen, D., G. A. Paterson and P. F. Pratt. 1982. Lithium, sodium and potasium. PP. 225-246. *In:* A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (eds). Methods of Soil Analysis, Part 2. ASA, SSSA, Madison, USA.
23. Lakhdar, A., R. Scelza, R. Scotti, M. A. Rao, N. Jedidi, L. Gianfreda and C. Abdelly. 2010. The effect of compost and sewage sludge on soil biologic activities in salt affected soil. *Soil Science and Plant Nutrition* 10: 40-47.
24. Leogrande, R. and C. Vitti. 2018. Use of organic amendments to reclaim saline and sodic soils: a review. *Arid Land Research and Management* 33(1): 1-21.
25. Li, H. and R. Keren. 2009. Calcareous sodic soil reclamation as affected by corn stalk application and incubation: A laboratory study. *Pedosphere* 19: 465-675.
26. Mahmoodabadi, M., N. Yazdanpanah, L. R. Sinobas, E. Pazira, and A. Neshat. 2013. Reclamation of calcareous saline- sodic soil with different amendments: Redistribution of soluble cations within the soil profile. *Agricultural Water Management* 120: 30-38.
27. Moameni, A. 2010. Geographical distribution and salinity levels of soil resources of Iran. *Soil Researches* 24: 203-215 (In Farsi).

28. Najafi Ghiri, M. N., A. Abtahi, F. Jaberian and H. R. Owliaie. 2010. Relationship between soil potassium forms and mineralogy in highly calcareous soils of Southern Iran. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 4: 434-441.
29. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1986. Total carbon, organic carbon and organic matter. PP. 539-579. *In:* A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (eds). Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. ASA, SSSA, Madison, USA.
30. Ors, S., U. Sahin and R. Khadra. 2015. Reclamation of saline sodic soils with the use of mixed fly ash and sewage sludge. *Arid Land Research and Management* 29: 41-54.
31. Polemio, M. and J. D. Rhoades. 1977. Determining cation exchange capacity: A new procedure for calcareous and gypsiferous soils. *Soil Science Society of American Journal* 41: 524-527.
32. Qadir, M., D. Steffens, F. Yan and S. Schubert. 2003. Sodium removal from a calcareous saline– sodic soil through leaching and plant uptake during phytoremediation. *Land Degradation and Development* 14: 301-307.
33. Qadir, M. and J. D. Oster. 2004. Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture. *Science of the Total Environment* 323: 1-19.
34. Qadir, M., S. Schubert, D. Badia, B. R. Sharma, A. S. Qureshi and G. Murtaza. 2007. Amelioration and nutrient management strategies for sodic and alkali soils. CAB Reviews: CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, *Nutrition and Natural Resources* 2: 1-13.
35. Rhoades, J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. PP. 417-435. *In:* A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (eds). Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monograph No. 9. ASA and Soil Science Society of America, Madison, WI.
36. Richards, L. A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Handbook 60 USDA, US Gov. Print. Office, Washington, DC.
37. Sadiq, M., G. Hassan, S. M. Mehdi, N. Hussain and M. Jamil. 2007. Amelioration of saline-sodic soils with tillage implements and sulfuric acid application. *Pedosphere* 17: 182-190.
38. Sahin, U., F. Kiziloglu, A. Abdallh, A. Dan Badao, H. Sabtow and M. Canbolat. 2020. Use of a stabilized sewage sludge in combination with gypsum to improve saline-sodic soil properties leached by recycled wastewater under freeze-thaw conditions. *Journal of Environmental Management* 274:1171.
39. Shirani, H., M. Abolhasani Zeraatkar, A. Lakzian, and A. Akhgar. 2011. Decomposition rate of municipal wastes compost, vermi compost, manure and pistaco compost in different soil texture and salinity in laboratory condition. *Water and Soil* 25(1): 84-93.
40. Soil Science Society of America, (Terminology Committee). 1997. Glossary of Soil Science Terms. SSSA Madison, WI, USA.
41. Tamanini, C. R., A. C. V., Motta, C. V., Andreoli and B. H. Doetzer. 2008. Land reclamation recovery with the sewage sludge use. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 51: 843-855.
42. Tejada, M., C. Garcia, G. L. Gonzalez and M. T. Hernandez. 2006. Use of organic amendments as a strategy for saline soil remediation: Influence on the physical, chemical and biological properties of soil. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 1413-1421.
43. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. Methods of Soil Analysis. PP. 475-490. *In:* A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (eds). Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monograph No. 9. ASA and Soil Science Society of America, Madison, WI
44. Walker, D. J. and M. P. Bernal. 2004. Plant mineral nutrition and growth in saline Mediterranean soil amended with organic wastes. *Common Soil Science and Plant Analysis* 35: 2495-2514.
45. Walker, D. J. and M. P. Bernal. 2008. The effects of olive mill waste compost and poultry manure on the availability and plant uptake of nutrients in a highly saline soil. *Bio Resource Technology* 99: 396-403.
46. Wolf, A., M. Watson and N. Wolf. 2003. Digestion and dissolution methods for P, K, Ca, Mg, and trace elements. PP. 30-38. *In:* J. Peters, et al. (eds.). Recommended methods of manure analysis. University of Wisconsin Cooperative Extension Publishing, Publication No. A3769. Madison, WI.
47. Yazdanpanah, N., E. Pazira, A. Neshat and M. Mahmoodabadi. 2012. Effect of different amendments on some physical and chemical properties of a saline-sodic soil. *Arid Biome Scientific and Research Journal* 2:83-97 (In Farsi).

Journal of Water and Soil Science
Vol. 26, No. 1, Spring 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

The Effect of Manure and Compost on Soil Chemical Properties and Availability of Exchange Cations in a Saline Sodic Soil

E. Sabbaghtazeh[1*]

(Received: June 21-2020; Accepted: July 4-2021)

Abstract

The utilization of organic amendments in the reclamation of saline-sodic soils can reduce the necessity for the application of chemical Ca^{+2} sources. In this research, soil leaching experiments were conducted in CRD as split factorial. The main factors were 1) amendment type including manure and compost, 2) amendment rate including 1, 3, and 5 percentage w/w, and 3) leaching stage with 5 levels including without leaching, once, twice, three times, and four times leaching, every time with one pore volume and with 30 days' intervals. All columns were incubated for 30 days after the addition of amendments and then were leached. The parameters in each column were studied in three depths as a subplot. After 120 days, EC and ESP of soils amended with both types of conditioners reduced under 5 dS m^{-1} and 15%, respectively. After 150 days, the exchangeable K and Mg were reduced by both conditioners. Exchangeable Ca increased significantly in both amendments at the end of the 5th month. The efficiency of 1% by weight of two conditioners in improving the salinity and sodicity characteristics of soils was the same as other rates. There was not a significant difference between leaching by 3 and 4 pore volume in both conditioners in the most of parameters. In leaching treatment with three pore volumes using 1 percentage w/w of manure and compost, soil EC decreased by 80% and 71% and soil ESP by 44.5% and 35%, respectively.

Keywords: Organic amendment, Leaching, Exchangeable cations, Saline sodic soil

1. Department of Soil Science, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.
*: Corresponding author, Email: elnaz_sabbagh@yahoo.com