

بررسی آزمایشگاهی اصلاح یک خاک شور - سدیمی با استفاده از ستون‌های آبشویی

سودابه تیرانداز^۱، وحید رضاوردی نژاد^{۲*}، فرخ اسدزاده^۳، حجت احمدی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۰۹)

چکیده

وجود املاح فراوان و سدیم از معضلات اصلی خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. استفاده از بهسازهای آلی و معدنی به عنوان راهکار اساسی برای تسریع آبشویی و اصلاح این خاک‌ها به شمار می‌رود. این مطالعه به منظور بررسی قابلیت استفاده از مواد آلی (۵ درصد جرمی) و گچ (معادل نیاز گچی، $6/12 \text{ g kg}^{-1}$) برای اصلاح یک نمونه خاک شور - سدیمی در شرایط ستون آبشویی انجام شد. نمونه خاک از اراضی رها شده کشاورزی در حاشیه غربی دریاچه ارومیه انتخاب شد. آبشویی خاک با استفاده از آب معمولی به صورت اضافه نمودن پی در پی حجم آب منفذی انجام شد. غلظت کاتیون‌ها به همراه هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در زه‌آب مربوط به هر حجم آب منفذی، اندازه‌گیری شد. همچنین، مقادیر این پارامترها پس از اتمام آبشویی در طول ستون آبشویی شده تعیین شدند. مطابق نتایج در تیمار شاهد به دلیل وجود سدیم تبدیلی زیاد و تخریب ساختمان خاک، امکان آبشویی برای بیش از ۲ حجم آب منفذی فراهم نشد. نسبت جذب سدیم در نمونه خاک پس از انجام آبشویی در تیمارهای گچ و گچ به همراه ماده آلی (۲۲ حجم آب منفذی)، از $62/5 \text{ (meq l}^{-1}\text{)}^{0.5}$ به ترتیب به $1/0.8 \text{ (meq l}^{-1}\text{)}^{0.5}$ و $1/51 \text{ (meq l}^{-1}\text{)}^{0.5}$ کاهش یافت که نشان دهنده کارآمدی گچ و مواد آلی در اصلاح خاک سدیمی است. تیمار ماده آلی نیز کاهش ۸۵ درصدی در مقدار نسبت جذب سدیم را نشان داد که می‌تواند مربوط به آزاد شدن نسبی کلسیم از آهک موجود در خاک و جایگزینی آن با سدیم تبدیلی باشد. مقدار هدایت الکتریکی نمونه خاک پس از آبشویی صرف‌نظر از نوع تیمار، به زیر حد بحرانی 4 dS m^{-1} رسید که نشان دهنده کارایی آبشویی برای حذف نمک‌های محلول از پروفیل خاک است. در مجموع استفاده از گچ به همراه ماده آلی برای اصلاح موثر خاکهای منطقه توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبشویی، حجم آب منفذی، دریاچه ارومیه، گچ، ماده آلی

تیرانداز س. رضاوردی نژاد و، اسدزاده ف. احمدی ح. ۱۳۹۷. بررسی آزمایشگاهی اصلاح یک خاک شور - سدیمی با استفاده از ستون‌های آبشویی. تحقیقات کاربردی خاک، جلد ۶، شماره ۴، ص: ۱۲۱-۱۳۲.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه (مکاتبه کننده)

۳- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

*پست الکترونیک: v.verdinejad@urmia.ac.ir

مقدمه

که به دلیل صرفه اقتصادی گچ، استفاده از آن دارای اولویت می‌باشد. در کنار استفاده از گچ، کاربرد مواد آلی نیز می‌تواند در بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک و افزایش قابلیت آبشویی و اصلاح خاک‌های سدیمی مؤثر باشد (Wong *et al.*, 2009). اثرات مطلوب استفاده از گچ و مواد آلی در کاهش اثرات سوء خاک‌های سدیمی به اثبات رسیده است. استفاده ترکیبی از گچ و مواد آلی سبب کاهش پراکندگی ذرات خاک و افزایش بازده آبشویی و در نتیجه کاهش شوری خاک سطحی می‌گردد که در مقایسه با کاربرد گچ به تنهایی، تاثیر بیشتری دارد (Vance *et al.*, 1998). در یک آزمایش آبشویی، استفاده ترکیبی از گچ و کمپوست ساقه برنج به شکل مطلوبی سبب کاهش پارامترهای مرتبط با شوری و سدیمی خاک شامل EC، pH، SAR و ESP شده است (Abde-Fattah, 2012). ماکوی و داکیدمی (Makoi & Ndakidemi, 2007) در یک تحقیق مزرعه‌ای اثر استفاده از کود دامی، گچ و ترکیب آنها در اصلاح ویژگی‌های مربوط به خاک سدیمی را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که ترکیب کود دامی و گچ در مقایسه با استفاده از این دو ماده به تنهایی، اثر مطلوب‌تری در کاهش pH، EC و ESP خاک‌های سدیمی دارد. براساس نتایج ماکوی و داکیدمی (Makoi & Ndakidemi, 2007) کاربرد گچ به همراه کود آلی، نفوذپذیری خاک را ۴ برابر افزایش، pH را از ۹/۳ به ۷/۹۳ و ESP را از ۱۹/۴ درصد به ۱۳/۵ درصد کاهش داد. مطالعات متعددی تاکنون به منظور اصلاح خاک‌های شور و سدیمی در مقیاس مزرعه‌ای و آزمایشگاهی صورت گرفته است (Hamza & Anderson, 2003; Wong *et al.*, 2009). با این حال استفاده از ستونهای آبشویی در شرایط آزمایشگاهی روشی مؤثر در کنترل شرایط آبشویی و کاهش اثرات پارامترهای جانبی بر فرآیند آبشویی می‌باشد (Hamlen & Kachenoski, 2004; Akhtar *et al.*, 2003). به رغم تاثیر مثبت ترکیب مواد آلی با گچ در اصلاح خاک‌های سدیمی، تاکنون مطالعات کمتری در زمینه بررسی اثر ترکیبی این دو صورت گرفته است. شور و سدیمی شدن خاک‌ها در مناطقی از اراضی مجاور دریاچه ارومیه سبب شده‌اند که سطح وسیعی از خاک‌های منطقه که پیشتر بخشی از زمینهای زراعی و باغی بوده‌اند، به‌صورت

خاکهای متأثر از نمک و سدیم به عنوان یک مشکل بزرگ در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شوند. برآوردها نشان می‌دهد که حدود ۶۲ درصد اراضی در بیش از ۱۰۰ کشور کره زمین دارای مشکلات مرتبط با شوری و سدیمی می‌باشند (Tanji, 1990; Szabolcs, 1994). گزارش شده است که حدود ۸۳۱ میلیون هکتار از کل اراضی دنیا دارای مشکلات مرتبط با شوری و سدیمی هستند (Martinez & Manzur, 2005). حدود ۹۰ درصد از خاک‌های ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته‌اند و مشکلات شوری و سدیمی بودن این خاک‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد (Qureshi *et al.*, 2007). اصلاح و مدیریت این گونه خاک‌ها نیازمند استفاده از رهیافت‌های مطلوب به منظور حفظ قابلیت تولید آنهاست (McWilliams, 2003). فرآیند اصلاح این خاک‌ها شامل تأمین مقادیر مناسبی از یون کلسیم برای جایگزین کردن سدیم در مکان‌های تبادلی ذرات خاک است. به منظور جلوگیری از سدیمی شدن مجدد خاک، سدیم خارج شده از مکان‌های تبادلی بایستی توسط مقادیر کافی آب از محیط ریشه گیاه خارج شود. تاکنون روش‌ها و مواد مختلفی به منظور اصلاح این گونه خاک‌ها معرفی و مورد استفاده قرار گرفته‌اند که مهمترین آنها کاربرد گچ، کلرید کلسیم و اسید سولفوریک می‌باشند. گچ و کلرید کلسیم به‌صورت مستقیم به عنوان منبع یون کلسیم محسوب می‌شوند. اما اسید سولفوریک به‌صورت غیرمستقیم و از طریق افزایش حلالیت کلسیت (کربنات کلسیم) سبب تأمین یون کلسیم می‌گردد. علی‌رغم اینکه مطالعات مختلف نشان دهنده اثربخشی مطلوب‌تر کلرید کلسیم به دلیل حلالیت بیشتر آن در مقایسه با گچ می‌باشد، اما صرفه اقتصادی و در دسترس بودن گچ سبب شده است که این ماده به عنوان پرکاربردترین ماده مورد استفاده در اصلاح خاک‌های شور و سدیمی باشد (Prapagar *et al.*, 2012). از طرف دیگر، به دلیل انحلال‌پذیری بالای کلرید کلسیم، اثرات این ماده کوتاه مدت بوده و تأثیر آن در افزایش نفوذپذیری خاک‌ها در مقایسه با گچ کمتر است و به همین خاطر تفاوت معنی‌داری بین استفاده از گچ و کلرید کلسیم در خاک‌های آهکی وجود ندارد (Shainberg *et al.*, 1982). براین اساس می‌توان گفت

کاربرد بهسازها و آبشویی: در این تحقیق از کود دامی پوسیده به عنوان بهساز آلی استفاده شد. همچنین گچ به عنوان بهساز معدنی به خاک اضافه گردید. مقدار مورد استفاده کود دامی معادل ۵ درصد جرمی خاک بود. برای گچ نیز نیاز گچی طبق محاسبات، معادل با $6/12 \text{ kg}^{-1}$ به خاک افزوده شد. محاسبه نیاز گچی بر مبنای روش استکیومتری و براساس مقدار گچ لازم برای کاهش مقدار ESP به ۱۰ درصد انجام شد (Barzegar, 2008). همچنین دو تیمار یاد شده به صورت ترکیبی و با همان مقادیر به خاک افزوده شد. بنابراین در مجموع چهار تیمار شامل: شاهد، خاک و گچ، خاک و ماده آلی و خاک به همراه مخلوط گچ و ماده آلی مورد بررسی قرار گرفت. پس از آماده سازی، تیمارها به مدت ۴۰ روز در درجه حرارت 25 ± 2 درجه سانتی گراد و رطوبت نزدیک ظرفیت مزرعه نگه داشته شدند. از لوله های PVC با طول ۳۰ سانتی متر و قطر داخلی پنج سانتی متر به عنوان ستون آبشویی استفاده شد. نمونه های مربوط به هر تیمار به صورت کاملاً یکنواخت و با چگالی تقریبی $1/3$ گرم بر سانتی متر مکعب در داخل ستونها قرار داده شدند. بخش انتهایی ستون با لایه ای به ضخامت سه سانتی متر از سنگریزه پر شد. در قسمت بالایی ستون نیز یک قطعه اسفنجی نازک جهت جلوگیری از به هم خوردگی در هنگام اضافه کردن آب، قرار داده شد. پس از پر شدن، ستونها به تدریج از پایین اشباع شده و با اضافه کردن حجم آب منفذی^۱ (معادل ۳۰۰ میلی لیتر) به صورت پی در پی، مورد شستشو قرار گرفتند. آبشویی ستونها به گونه ای بود که پس از جمع آوری زه آب مربوط به هر حجم آب منفذی، حجم بعدی بلافاصله به خاک افزوده می شد. در تیمارهای شاهد و ماده آلی، به دلیل مسدود شدن ستون، به ترتیب پس از ۲ و ۱۱ حجم آب منفذی، آبشویی متوقف شد. در تیمارهای گچ و گچ به همراه ماده آلی نیز آبشویی تا رسیدن غلظت زه آب خروجی به حالت پایدار ادامه یافت. برای این دو تیمار آبشویی تا ۲۲ حجم آب منفذی ادامه یافت. زه آب خروجی از هر ستون، جمع آوری و مقدار EC، Na، Ca و Mg آن تعیین شد. همچنین پس از نهایی شدن فرآیند آبشویی، نمونه های خاک به آرامی از درون ستونها

زمینهای لم یزرع دریافتند. از سویی دیگر با ادامه روند خشک شدن دریاچه ارومیه و انتقال املاح به طرق مختلف به خاک های پیرامون آن، فرآیند شور و سدیمی شدن خاکها در طول سالهای اخیر تشدید شده و می تواند آسیب های جبران ناپذیری به خاک های کشاورزی منطقه وارد نماید. هدف از این مطالعه بررسی اثر کود دامی و گچ و نیز ترکیب آنها در اصلاح یک خاک آهکی شور و سدیمی و با استفاده از ستون آبشویی بوده که طی آن توزیع کاتیونهای اصلی در پروفیل ستون مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است.

مواد و روش ها

نمونه برداری و آزمایش های اولیه: برای انجام این پژوهش یک نمونه خاک شور - سدیمی (جدول ۱) از زمین های زراعی حاشیه غربی دریاچه ارومیه با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب $36' 15'' 45^{\circ}$ و $44' 32'' 37^{\circ}$ انتخاب شد. نمونه برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی متری انجام گرفت. متوسط بارندگی سالانه منطقه مورد نظر حدود ۳۴۱ میلی متر می باشد و از نظر اقلیمی در کلاس نیمه خشک طبقه بندی می شود. نمونه خاک پس از انتقال به آزمایشگاه، هوا خشک شده و از الک دو میلی متری عبور داده شد. قبل از انجام آزمایش آبشویی، ویژگی های فیزیکی و شیمیایی نمونه با استفاده از روش های آزمایشگاهی به ترتیب زیر تعیین شد. بافت خاک به روش هیدرومتری، EC و pH خاک نیز در عصاره اشباع تعیین شدند. غلظت یونهای کلسیم و منیزیم در عصاره اشباع، با استفاده از روش تیتراسیون و مقدار سدیم و پتاسیم نیز با استفاده از فلیمتومتر تعیین شدند (Rowell, 1994). مقدار نسبت جذبی سدیم (SAR)، پس از اندازه گیری غلظت یونهای سدیم، کلسیم و منیزیم، از رابطه ۱ محاسبه شد. مقادیر درصد سدیم تبادلی اندازه گیری شده برای خاک مورد نظر ۴۷/۶۲ بود. البته بایستی خاطر نشان نمود که به دلیل وجود اثر دفع آنیونی، درصد سدیم تبادلی اندازه گیری شده تا حدودی کمتر از مقدار واقعی است که تصحیح مربوط به اثر دفع آنیونی بر روی درصد سدیم تبادلی ذکر شده صورت نگرفته است.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}} \quad (1)$$

^۱- Pore volume

خارج و طول آن به چهار بخش ۵ سانتی متری تقسیم و در هر بخش غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و EC خاک اندازه گیری شد. به این ترتیب تغییرات این پارامترها در طول ستون پس از فرآیند آبخوبی تعیین شدند.

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک

Table 1. Physical and chemical properties of soil sample

Property	Clay	Sand	Silt	ESP	EC	pH	SAR	Ca	Mg	Na
		%			dS m ⁻¹	-		(meq l ⁻¹) ^{0.5}		
Value	20	56	22	47.62	48.8	8.2	62.5	61.0	95.5	552.5

نتایج و بحث

زه آب خروجی: شکل ۱ تغییرات SAR و EC زهاب خروجی و همچنین مقادیر کاتیون های اصلی را در هر حجم آب منفذی نشان می دهد. نتایج کلی بیانگر تغییرات قابل توجه در مقدار EC و SAR زه آب خروجی در تمامی تیمارها می باشد. با این حال نکته قابل ذکر در این زمینه این است که تغییرات یاد شده به صورت دو مرحله ای بوده و در مراحل اولیه آبخوبی، مقدار تغییرات قابل توجه، و در ادامه از شدت آن کاسته می شود. برای خاک شاهد به علت وجود مقدار قابل توجهی از سدیم تبدالی، امکان آبخوبی برای بیش از دو حجم آب منفذی فراهم نشد. چرا که پراکنده شدن خاک در این تیمار منجر به بسته شدن منافذ خاک و در نتیجه عدم امکان آبخوبی می شود (Mahmoodabadi et al., 2013). تخریب فیزیکی خاک و از بین رفتن ساختمان خاک در اثر وجود سدیم تبدالی از مهمترین ویژگی های خاک های سدیمی است که توسط بسیاری از پژوهشگران نیز گزارش شده است (Hussain et al., 2001; Crescimanno et al., 1995; Crescimanno & De Santis, 2004; Tejada et al., 2006). در رابطه با سایر تیمارها نیز بایستی ذکر کرد که مقدار کاهش EC و SAR در ۳ حجم آب منفذی اول بسیار زیاد بوده و نشان دهنده تاثیر مثبت این تیمارها در حذف شوری و سدیم خاک و در نتیجه اصلاح آن است. با این حال تیمارهای مختلف از نظر کمی تفاوت های قابل توجهی را از خود نشان داده و تیمار ترکیبی گچ و ماده آلی حداکثر کارایی را برای حذف سدیم از خاک داشت. تیمار گچ نیز عملکرد تقریباً مشابهی با تیمار ترکیبی گچ و ماده آلی داشت. تیمار ماده آلی علیرغم تاثیر نسبی در کاهش سدیم در مقایسه با دو تیمار دیگر، کارایی کمتری از خود نشان داد. با این حال با توجه قابلیت انحلال گچ در حین فرآیند آبخوبی، به نظر می رسد که

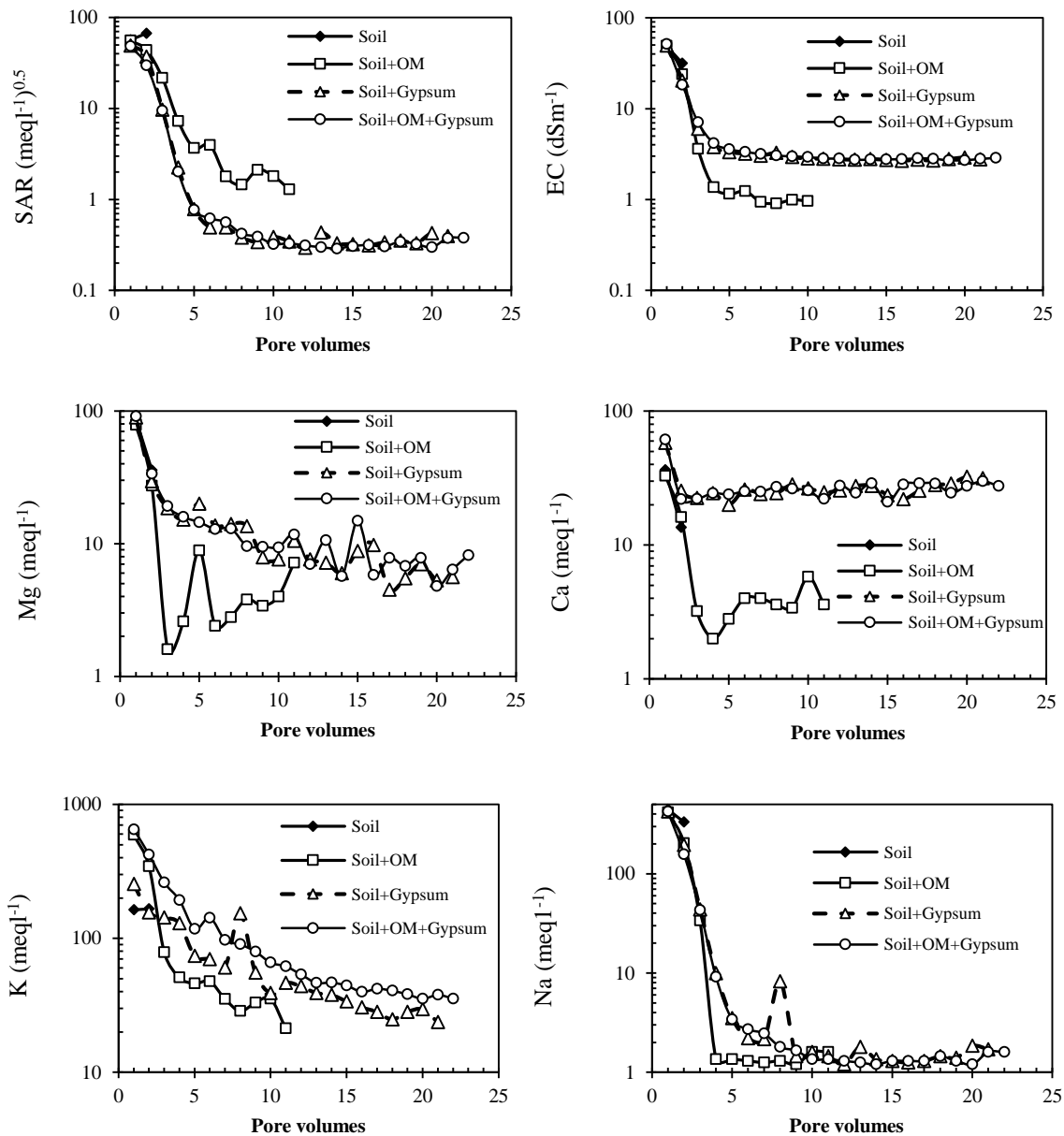
مقدار نمک های محلول و به ویژه کلسیم در زه آب خروجی این تیمار کمتر از تیمارهای حاوی گچ باشد، که در این زمینه می توان به روند مشابه تغییرات EC و Ca برای تیمارهای مورد استفاده اشاره کرد (شکل ۱). انحلال و خروج کلسیم در هنگام فرآیند آبخوبی موجب شده تا به رغم بیشتر بودن Na در زه آب خروجی تیمارهای حاوی گچ، مقدار SAR عصاره آن ها کمتر باشد. به طور کلی مقدار SAR در سومین حجم آب منفذی در تیمارهای گچ و همچنین گچ با ماده آلی، معادل با ۵۰ درصد SAR در تیمار ماده آلی به تنهایی به دست آمد. ولی در ادامه آبخوبی، مقدار این نسبت کاسته شد که نشان دهنده خروج مقدار بیشتری از سدیم در تیمارهای حاوی گچ است. در این زمینه بایستی اشاره نمود که در مراحل اولیه آبخوبی، صرف نظر از نوع تیمار خاک، نمک های محلول و کاتیون هایی که با قدرت کمتری در خاک نگهداری شده اند، از آن خارج می شوند. ولی در ادامه به دلیل فرآیند تبادل Ca با Na موجود در فاز تبدالی خاک سدیمی، تیمارهای حاوی گچ توانایی بیشتری در خارج کردن سدیم از خاک از خود نشان می دهند (Abdel-Fattah, 2012). همچنین در ادامه فرآیند آبخوبی خاک، نمک های با قابلیت انحلال متوسط نظیر CaCO₃ و CaSO₄ نیز تا حدودی در آب منفذی انحلال یافته و می توانند به عنوان منابع تامین کاتیون ها و آنیون ها در زه آب خروجی محسوب شوند. انحلال نمک های حاوی کلسیم مانند گچ سبب ایجاد مقدار قابل توجهی از Ca مازاد در سیستم می شود که این کلسیم مازاد در وهله اول می تواند آبخوبی یافته و یا اینکه با جایگزینی سدیم و پتاسیم در فاز تبدالی منجر به حذف آن ها از محیط شود. با توجه به نتایج ارائه شده در شکل ۱ به نظر می رسد که آبخوبی Ca مازاد در تیمارهای گچ و ماده آلی و گچ قابل توجه باشد. در رابطه با سدیم نیز افزایش اندکی در

میزان کمتری، انجام شده است. افزایش آبشویی سدیم از خاک‌های سدیمی در اثر اضافه شدن ماده آلی توسط پژوهشگران دیگری نظیر جلالی و رنجبر (Jalali & Ranjbar, 2009)، قدیر و همکاران (Qadir *et al.*, 2001) و لاکس و همکاران (Lax *et al.*, 1994) نیز گزارش شده است. البته در این زمینه ذکر این نکته ضروری است که ترکیبات آلی اضافه شده به خاک مانند کودهای دامی، خود نیز می‌توانند حاوی مقادیری از سدیم باشند که در نتیجه آبشویی می‌تواند آزاد گردد. به طوری که یزدان-پناه و محمودآبادی (Yazdanpanah & Mahmoodabadi, 2013) حداکثر مقدار غلظت سدیم در زه‌آب خروجی را در تیمار یک خاک سدیمی با ماده آلی گزارش نمودند. با این حال با توجه به تفاوت ناچیز بین تیمار ترکیبی گچ و مواد آلی با تیمار گچ از نظر مقدار سدیم خروجی در زه‌آب، می‌توان گفت که تاثیر سدیم موجود در ماده آلی در افزایش مقدار سدیم زه‌آب ناچیز خواهد بود.

توزیع پروفیلی غلظت کاتیون‌ها: تغییرات مربوط به غلظت‌های سدیم، کلسیم و منیزیم محلول پس از اتمام فرآیند آبشویی در طول ستون در شکل ۲ ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود پس از اتمام آبشویی، سدیم محلول در تمامی تیمارها در سطح ستون حداقل بوده و با افزایش عمق در ستون، بر غلظت آن افزوده می‌شود. در این زمینه الشرای و همکاران (Elsharawy *et al.*, 2008) نیز مشاهده نمودند که با کاربرد تیمارهای اصلاح کننده در خاک‌های شور و سدیمی، حداکثر کاهش سدیم محلول در نزدیکی سطح خاک اتفاق می‌افتد. در این زمینه یزدان‌پناه و همکاران (Yazdanpanah *et al.*, 2011) نیز نتایج مشابهی را گزارش نمودند. در بین تیمارهای مورد استفاده غلظت سدیم در تیمار ماده آلی در سطح خاک بیشتر بود که این امر می‌تواند در نتیجه اضافه شدن سدیم مازاد از ترکیبات آلی باشد. کمترین مقدار غلظت سدیم در طول پروفیل خاک نیز مربوط به تیمارهای حاوی گچ بود. به نظر می‌رسد که دلیل کاهش قابل توجه سدیم محلول در این تیمارها می‌تواند مربوط به تداوم آبشویی در این خاک‌ها و در نتیجه خروج سدیم بخش تبدالی و محلول خاک در اثر جایگزینی با کلسیم ناشی از انحلال گچ باشد.

میزان آبشویی آن در تیمارهای یاد شده مشاهده شد. برخی از پژوهشگران نظیر هانای و همکاران (Hanay *et al.*, 2004) و تجادا و همکاران (Tejada *et al.*, 2004) نیز بر افزایش آبشویی سدیم تحت شرایط استفاده از گچ و ماده آلی اشاره نموده‌اند.

علاوه بر موارد یاد شده، مشاهده شد که برای تیمارهای حاوی گچ، تقریباً پس از ۷ الی ۱۰ حجم آب منفذی، تغییرات چندانی در ترکیب زه‌آب خروجی ایجاد نمی‌شود که می‌تواند به اثر مطلوب تیمارهای حاوی گچ بر ویژگی‌های فیزیکی و ساختمان خاک مربوط باشد. به رغم تاثیر نسبتاً مشابه تیمار گچ و ماده آلی با تیمار گچ بایستی عنوان کرد که اضافه نمودن مواد آلی همراه گچ در خاک‌های شور و سدیمی مزایای بیشتری دارد که می‌تواند شامل بهبود شرایط ساختمانی خاک با افزایش پایداری خاکدانه‌ها باشد. از سوی دیگر اضافه نمودن ماده آلی از تجمع نمک در سطح خاک جلوگیری کرده و با توجه به قابلیت جذب و نگهداری بالای آب توسط ماده آلی، سبب رقیق‌تر شدن عصاره این خاک‌ها می‌شود. دی‌اکسیدکربن آزاد شده در اثر تجزیه این مواد آلی نیز می‌تواند منجر به کاهش موضعی pH خاک شده و آثار نامطلوب این خاک‌ها را تا حدودی کاهش دهد (Abdel-Fattah, 2012; Wang *et al.*, 1990; Matsumoto *et al.*, 1994). عبدالفتاح (Abdel-Fattah, 2012) گزارش نموده است که اضافه نمودن بقایای کاه و کلش برنج به همراه گچ سبب افزایش قابل توجهی در قابلیت نگهداری آب در خاک شده و از طریق ایجاد منافذ مناسب عبور آب، امکان آبشویی موثرتر را نیز فراهم می‌آورد. همچنین نتایج مشابهی توسط ال‌اشتر و ال‌عتربی (EL-Ashtar & EL-Etreiby, 2006) گزارش شده است. بیشتر بودن مقدار کلسیم در زه‌آب خروجی مربوط به تیمارهای گچ می‌تواند به طور مستقیم ناشی از انحلال گچ اضافه شده به خاک باشد. در این زمینه عبدالفتاح (Abdel-Fattah, 2012) نیز اشاره نموده است که اضافه شدن گچ در خاک‌های سدیمی می‌تواند باعث افزایش قابل توجه کلسیم ناشی از انحلال آن در زه‌آب خروجی گردد. تغییرات مقدار سدیم در زه‌آب خروجی بیانگر اثر مثبت تیمارهای حاوی گچ بر حذف سدیم تبدالی از خاک است. با این حال در تیمار ماده آلی نیز حذف سدیم، هر چند به



شکل ۱- تغییرات ترکیب زه آب خروجی برای تیمارهای مختلف

Figure 1. Variation of leachate properties

است و از این رو به نظر می‌رسد در طول فاصله زمانی بین آبی‌سویی‌ها، تعادل بین سدیم تبادلی و سدیم محلول سبب افزایش مجدد سدیم در فاز محلول خاک و حتی برای شرایطی که تیمار گچ وجود دارد، شده است. از این رو به نظر می‌رسد علاوه بر تیمار مناسب، دقت در انتخاب روش کارآمد آبی‌سویی نیز در فرآیند اصلاح خاک سدیمی اهمیت زیادی داشته باشد. بررسی تغییرات عمقی غلظت کلسیم نشان می‌دهد که کلسیم با الگوی نسبتاً متفاوتی در مقایسه با سدیم توزیع یافته است. به این صورت که در مقایسه با سدیم که روند افزایشی

سینگ و باجوا (Singh & Bajwa., 1991) نیز در پژوهش خود دریافتند که مصرف گچ سرعت تخلیه سدیم از خاک را افزایش داده و در نتیجه مقدار سدیم محلول و تبادلی خاک را کاهش می‌دهد. با این حال نتایج برخی از پژوهشگران نظیر محمودآبادی و همکاران (Mahmoodabadi *et al.*, 2013) نشان می‌دهد که اضافه کردن گچ تاثیر معنی‌داری بر کاهش سدیم محلول در خاک سدیمی ندارد. البته بایستی ذکر کرد که در پژوهش آن‌ها، اصلاح خاک تنها با اضافه نمودن ۴ حجم آب منفذی و با فواصل زمانی ۳۰ روز انجام شده

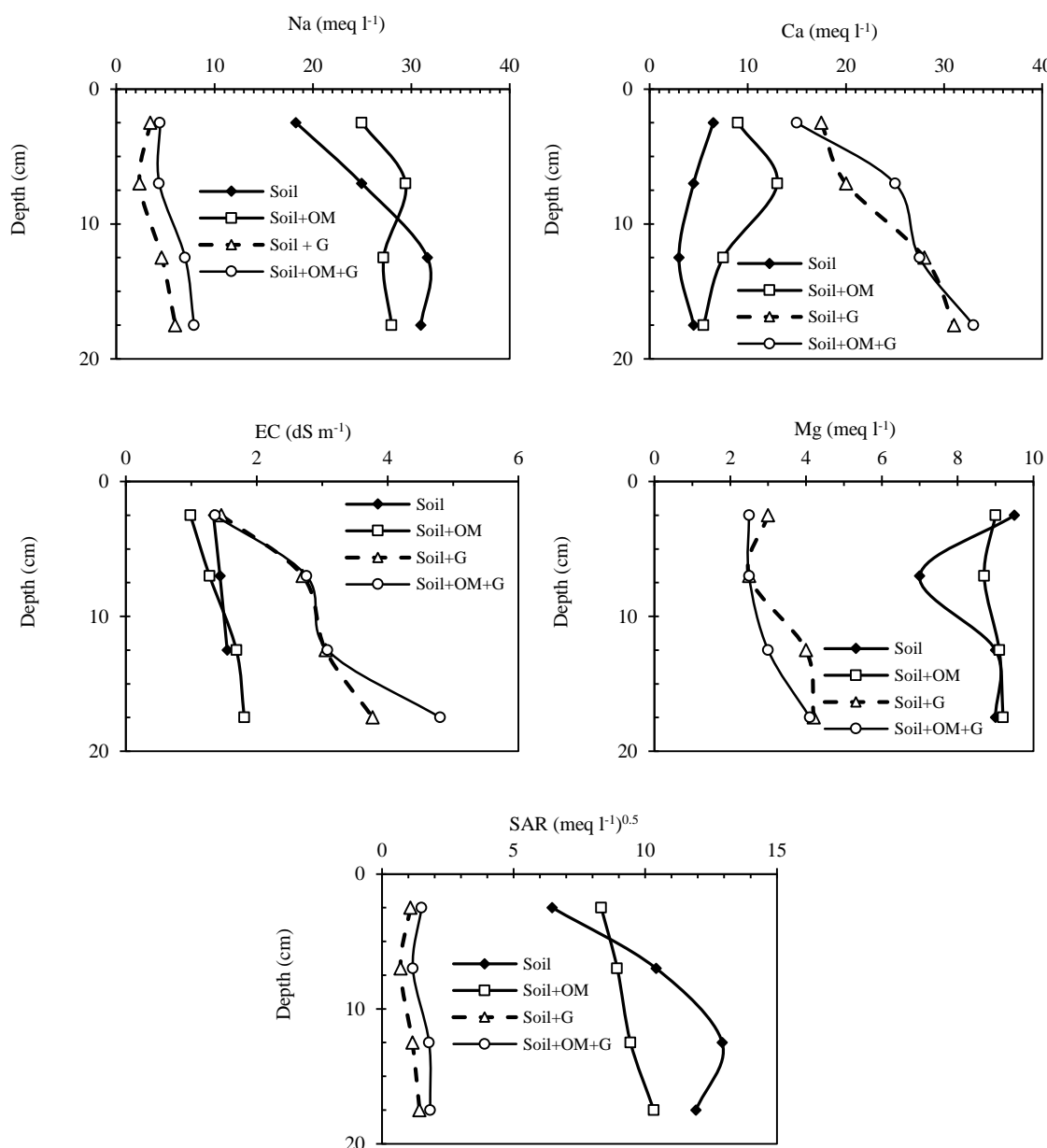
ماده آلی بوده است. این روند می‌تواند به طور عمده مربوط به آبشویی بیشتر املاح محلول در لایه‌های سطحی خاک باشد. با توجه به قابلیت انتقال بالای املاح محلول، می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات EC خاک پس از فرآیند آبشویی، علاوه بر اینکه مربوط به نوع تیمار اعمال شده بر خاک است، به قابلیت حرکت آب در ستون خاک نیز مربوط می‌شود. در واقع اثر تلفیقی منبع یون‌های محلول و میزان و نحوه آبشویی، تعیین کننده روند تغییرات EC در ستون آبشویی خواهد بود (Hao & Chang, 2003). کاهش قابل توجه EC در تیمار شاهد بیانگر این واقعیت است که در صورتی که هدف کاهش شوری خاک باشد، استفاده از آبشویی هر چند به صورت محدود (به اندازه ۲ تا ۳ حجم آب منفذی) می‌تواند به عنوان روشی کارآمد محسوب گردد و در صورتی که ماده آلی نیز به آن افزوده شود، از طریق بهبود در شرایط حرکت آب در درون پروفیل خاک و افزایش قابلیت آبشویی، می‌تواند اثر آبشویی را ارتقاء دهد. با این حال بایستی توجه نموده که در شرایط طبیعی در صورتی که زه‌آب ناشی از آبشویی از مزرعه خارج نشود، امکان بازگشت نمک‌های آبشویی یافته به سطح خاک در اثر صعود موئینگی و تبخیر آب از سطح خاک مجدداً وجود خواهد داشت. با این حال بایستی عنوان نمود که یافته‌های برخی از پژوهشگران نشان می‌دهد که افزایش مداوم مواد آلی و به ویژه کوه‌های دامی به خاک، می‌تواند منجر به افزایش شوری خاک گردد (Walker *et al.*, 2008; Hao & Chang, 2003; Smith *et al.*, 2001). همچنین در شکل ۲ مشاهده می‌شود که افزایش گچ به همراه ماده آلی در مقایسه با ماده آلی به تنهایی، باعث افزایش EC شده است. نتایج مشابهی در این زمینه توسط ونگ و همکاران (Wong *et al.*, 2009) گزارش شده است. در تیمارهای حاوی گچ به رغم افزایش مقدار حجم آبشویی، مقدار EC تا حدودی مشابه هم بیشتر از تیمارهای دیگر است که دلیل آن می‌تواند مربوط به اضافه شدن یون‌های محلول کلسیم از منبع گچ باشد. در این زمینه وانس و همکاران (Vance *et al.*, 1998) در یک آزمایش مزرعه‌ای ۳ ساله نشان دادند که افزودن گچ به خاک سطحی سبب افزایش مقدار هدایت الکتریکی خاک زیرسطحی می‌شود. این پژوهشگران همچنین کاهش pH خاک زیرسطحی و افزایش کلسیم

مشخصی را با عمق نشان می‌داد، تغییرات عمقی کلسیم لزوماً افزایشی نمی‌باشد. این امر می‌تواند مربوط به تمایل بیشتر کلسیم در مقایسه با کاتیون‌های یک ظرفیتی برای قرار گرفتن در مکان‌های تبادل باشد. در تیمارهای حاوی گچ، به دلیل اضافه شدن کلسیم ناشی از انحلال آن، مقدار کلسیم محلول بیش از تیمار شاهد و تیمار ماده آلی بود. به علاوه در تیمارهای حاوی گچ، به دلیل اینکه فرآیند آبشویی به صورت مداوم انجام شده است، بخشی از این کلسیم محلول در بخش‌های پایینی ستون خاک تجمع یافته و در نتیجه با افزایش عمق ستون، مقدار کلسیم محلول این تیمارها نیز افزایش یافته است. والنزو و همکاران (Valenzo *et al.*, 2001) نیز به طور مشابه دریافتند که استفاده از گچ می‌تواند موجب افزایش کلسیم بخش محلول در خاک گردد. آمزکتا و همکاران (Amezka *et al.*, 2005) دریافتند که در فرآیند اصلاح خاک‌های سدیمی، تیمارهای حاوی گچ در مقایسه با تیمارهای ماده آلی و کنترل، کلسیم کمتری دارند که دلیل این تناقض نیز به تفاوت در آب آبشویی مربوط می‌شود. چرا که این پژوهشگران از آب‌های حاوی یون سولفات به منظور انجام آبشویی استفاده نمودند که در این شرایط به دلیل تاثیر پدیده یون مشترک (سولفات)، قابلیت انحلال گچ کاهش می‌یابد. تاثیر یون مشترک سولفات در کاهش انحلال گچ و در نتیجه کاهش مقدار کلسیم محلول توسط یزدان‌پناه و همکاران (Yazdanpanah *et al.*, 2011) نیز مورد تاکید قرار گرفته است. مقدار منیزیم در پروفیل خاک به ویژه برای تیمارهای حاوی گچ، روند مشابهی با کلسیم داشت. این وضعیت می‌تواند در اثر تداوم فرآیند آبشویی با حجم زیادی از آب باشد که طی آن بخشی از منیزیم محلول خاک از سطح خاک شسته شده و در بخش‌های پایینی آن تجمع می‌یابد. تیمار شاهد و تیمار دارای ماده آلی، دارای حداکثر میزان منیزیم محلول بودند. دلیل وقوع این امر می‌تواند در وهله اول به حجم کمتر آب استفاده شده در این تیمارها باشد و در وهله دوم نیز می‌تواند به بخشی از منیزیم مازاد باشد که از طریق ماده آلی وارد خاک شده است، مربوط باشد.

مقدار EC عصاره اشباع خاک، افزایش منظمی را در طول ستون آبشویی از خود نشان داد. به طوری که حداکثر کاهش EC مربوط به سطح خاک و برای تیمار

خاک بسیار قابل توجه بوده است. به طوری که در تیمارهای گچ و گچ به همراه ماده آلی، میانگین مقدار SAR در پروفیل خاک به ترتیب به ۱/۵۱ و ۱/۰۸ رسیده است. کاهش میزان SAR با افزایش گچ توسط برخی دیگر از پژوهشگران نظیر قدیر و همکاران (Qadir *et al.*, 1996) و دوس سانتس و موروکا (Muraoka & Dos Santos, 2001) نیز گزارش شده است.

تبادلی در تیمارهای حاوی گچ را نیز گزارش نموده‌اند. اما در مجموع نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پس از اتمام فرآیند آبشویی، به رغم تفاوت در تیمارهای مختلف، مقدار هدایت الکتریکی خاک در تمامی آن‌ها به زیر حد بحرانی برای مرز خاک‌های شور و غیر شور (4 dS m^{-1}) رسیده است. بررسی مقدار SAR به عنوان شاخصی از خطر سدیم در خاک نشان می‌دهد که تاثیر تیمارهای حاوی گچ بر مقدار SAR در عصاره اشباع



شکل ۲- توزیع عمقی مقادیر پارامترهای مربوط به شوری و سدیمی خاک

Figure 2. Redistribution of soil salinity and sodicity parameters along soil profile

انجام شد. نتایج کلی پژوهش نشان می‌دهد که در خاک‌های شور- سدیمی به دلیل تخریب ساختمان خاک در اثر وجود سدیم امکان انجام آبخوبی مداوم وجود ندارد و براساس یافته‌های این پژوهش، برای بیش از ۲ حجم آب منفذی، امکان عبور آب از ستون آبخوبی فراهم نشد. کاربرد گچ با و یا بدون ماده آلی تاثیر بسیار قابل توجهی بر کاهش آثار منفی خاک شور - سدیمی مورد مطالعه داشته و حداکثر مقدار خروج سدیم و سایر املاح در خاک تیمار شده با گچ در حجمی معادل با ۷ تا ۱۰ آب منفذی رخ داد. بررسی غلظت کاتیون‌ها در پروفیل خاک نشان می‌دهد که گچ به عنوان یک منبع قابل توجه برای یون کلسیم محلول محسوب شده و در تیمارهای حاوی گچ، مقدار کلسیم محلول و همچنین مقدار هدایت الکتریکی در مقایسه با تیمار شاهد و یا تیمار ماده آلی به طور محسوسی افزایش یافت. بررسی تغییرات هدایت الکتریکی نشان می‌دهد که مشکل شوری در خاک‌ها می‌تواند با استفاده از آبخوبی و اضافه کردن مقداری ماده آلی برای تسهیل فرآیند حرکت آب در خاک برطرف شود. هر چند در تیمارهای حاوی گچ وجود ماده آلی تاثیر چندانی بر هدایت الکتریکی و SAR عصاره اشباع خاک نداشت، اما با این حال افزودن ماده آلی به عنوان یک اصلاح کننده عمومی به همراه گچ به عنوان منبع کلسیم، می‌تواند به عنوان روشی کارآمد در مدیریت و اصلاح خاک‌های شور و سدیمی منطقه در نظر گرفته شود.

با توجه به اینکه SAR شاخصی تلفیقی است که نشان دهنده تاثیر توامان سدیم به عنوان یک کاتیون پراکنده کننده و کلسیم و منیزیم به عنوان کاتیون‌های هم‌آوردنده خاک است، می‌توان انتظار داشت که تغییرات SAR نیز تلفیقی از تاثیر توامان سدیم به همراه کلسیم و منیزیم است.

با توجه به افزایش مقدار سدیم با عمق خاک و کاهش نسبی کلسیم در تیمارهای شاهد و ماده آلی، مقدار SAR در این تیمارها با افزایش عمق خاک افزایش یافته است. اما در تیمارهای حاوی گچ به دلیل افزایش قابل توجه کلسیم ناشی از انحلال گچ، مقدار SAR تغییرات چندانی با عمق نشان نمی‌دهد. البته بایستی خاطر نشان کرد که در تیمارهای فاقد گچ نیز مقدار SAR به شکل محسوسی نسبت به خاک شاهد کاهش یافته است که نشان می‌دهد بدون ماده اصلاح کننده و صرفاً از طریق آبخوبی نیز می‌توان SAR خاک را به مقدار قابل توجهی کاهش داد. البته شاید دلیل این امر آهکی بودن خاک مورد مطالعه و در نتیجه آزاد شدن نسبی یون کلسیم از منبع آهک باشد چرا که خاک‌های آهکی این قابلیت را دارند که طول فرآیند آبخوبی مقداری از کلسیم ناشی از انحلال آهک را جایگزین سدیم تبادلی نموده و در نتیجه آبخوبی سدیم را افزایش دهند (Yazdanpanah et al., 2011; Vance et al., 1998).

نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش با هدف بررسی تاثیر مواد آلی و گچ به عنوان مواد مرسوم برای اصلاح خاک‌های شور و سدیمی

References

- Abdel-Fattah M. K. 2012. Role of gypsum and compost in reclaiming saline-sodic soils. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 1: 30-38.
- Akhtar S., Wahid A., Rasul, E. 2003. Emergence, growth and nutrient composition of sugarcane sprouts under NaCl salinity. *Biologia Plantarum*, 46(1): 113-116.
- Amezketta E., Aragüés R., Gazol R. 2005. Efficiency of sulfuric acid, mined gypsum, and two gypsum by-products in soil crusting prevention and sodic soil reclamation. *Agronomy Journal*, 97(3): 983-989.
- Barzegar, A. R. Salt-affected Soils: Diagnosis and Productivity. 2nd Ed. Shahid Chamran University Press, Ahwaz, 355p. (In Persian)
- Crescimanno G., Iovino M., Provenzano G. 1995. Influence of salinity and sodicity on soil structural and hydraulic characteristics. *Soil Science Society of America Journal*, 59(6): 1701-1708.
- Crescimanno G., De Santis A. 2004. Bypass flow, salinization and sodication in a cracking clay soil. *Geoderma*, 121: 307-321.

- EL-Ashtar A., El-Etreiby F. 2006. Influence of leaching with gypsum and compost of rice straw on improvement of salt affected soil and rice growth. *Alexandria Science Exchange Journal*, 27(2): 214-221.
- Elsharawy M. A. O., Elbordiny M. M., Abdelwahed S. A. 2008. Improvement of a salt affected soil on Bahr El-Bakar area using certain industrial byproducts: Effect on physical and chemical characteristics. *Journal of Applied Sciences Research*, 4(7): 839-846.
- Hamlen C. J., Kachanoski R. G. 2004. Influence of initial and boundary conditions on solute transport through undisturbed soil columns. *Soil Science Society of America Journal*, 68(2): 404-416.
- Hamza M. A., Anderson W. K. 2003. Responses of soil properties and grain yields to deep ripping and gypsum application in a compacted loamy sand soil contrasted with a sandy clay loam soil in Western Australia. *Crop and Pasture Science*, 54(3): 273-282.
- Hao X., Chang C. 2003. Does long-term heavy cattle manure application increase salinity of a clay loam soil in semi-arid southern Alberta? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 94: 89-103.
- Hussain N., Hassan G., Arshadullah M., Mujeeb F. 2001. Evaluation of amendments for the improvement of physical properties of sodic soil. *International Journal of Agricultural Biology*, 3 (3): 319-322.
- Jalali M., Ranjbar F. 2009. Effects of sodic water on soil sodicity and nutrient leaching in poultry and sheep manure amended soils. *Geoderma*, 153: 194-204.
- Lax A, Diaz E, Castillo V, Albaladejo J. 1994. Reclamation of physical and chemical properties of a salinized soil by organic amendment. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 8: 9-17.
- Mahmoodabadi M., Yazdanpanah N., Sinobas L. R., Pazira E., Neshat A. 2013. Reclamation of calcareous saline sodic soil with different amendments (I): Redistribution of soluble cations within the soil profile. *Agricultural Water Management*, 120: 30-38.
- Makoi J. H., Ndakidemi P. A. 2007. Reclamation of sodic soils in northern Tanzania, using locally available organic and inorganic resources. *African Journal of Biotechnology*, 6(16): 1926-1931
- Martinez-Beltran J., Manzur C. L. 2005. Overview of salinity problems in the world and FAO strategies to address the problem. *In Proceedings of the international salinity forum, Riverside, California*, pp. 311-313.
- Matsumoto S., Zhao Q., Yang J., Zhu S., Li L. 1994. Salinization and its environmental hazard on sustainable agriculture in East Asia and its neighboring regions. *15th Congress of Soil Sciences, Mexico*, 236-255.
- Mcwilliams, D., 2003. Rio Grande regional soil and water series: Soil salinity and sodicity limits efficient plant growth and water use. Guide A-140. Las Cruces: New Mexico State University.
- Muraoka T., Dos Santos R. V. 2001. Nutrition of vigna plants on a gypsum amended saline-sodic soil. *Developments in Plant and Soil Sciences*, 92: 438-439.
- Prapagar K., Indraratne S. P., Premanandharajah P. 2012. Effect of soil amendments on reclamation of saline-sodic soil. *Tropical Agricultural Research*, 23(2): 3-12.
- Qadir M., Qureshi R. H., Ahmad N. 1996. Reclamation of a saline-sodic soil by gypsum and *Leptochloa fusca*. *Geoderma*, 74(3): 207-217.
- Qadir M., Ghafoor A., Murtaza G. 2001. Use of saline-sodic waters through phytoremediation of calcareous saline-sodic soils. *Agricultural Water Management*, 50:197-210.
- Qureshi A. S., Qadir M., Heydari N., Turrall H., Javadi A. 2007. A review of management strategies for salt-prone land and water resources in Iran, Vol. 125, IWMI.
- Rowell, D.L., 1994. Soil Science: Methods and Applications. Longman Scientific & Technical. Harlow, UK. 350 p.
- Shainberg, I., Sumner, M.E., Miller, W.P., Farina, M.P.W., Pavan, M.A. and Fey, M.V., 1989. Use of gypsum on soils: A review. In *Advances in soil science*. Springer, New York (pp. 1-111).
- Singh H., Bajwa M. S. 1991. Effect of sodic irrigation and gypsum on the reclamation of sodic soil and growth of rice and wheat plants. *Agricultural Water Management*, 20(2): 163-171.
- Smith D. C., Beharee V., Hughes J. C. 2001. The effects of composts produced by a simple composting procedure on the yields of Swiss chard (*Beta vulgaris* L. var. *flavescens*) and common bean (*Phaseolus vulgaris* L. var. *nanus*). *Scientia Horticulturae*, 91(3): 393-406.
- Szabolcs I. 1994. Soils and salinization. Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker, New York, pp. 3-11.

- Tanji K. K. 1990. Nature and extent of agricultural salinity. ASCE, New York, NY, USA, 1990., pp. 1-17.
- Tejada M., Garcia C., Gonzalez J.L., Hernandez M.T. 2006. Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: influence on the physical, chemical and biological properties of soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 38: 1413-1421.
- Valzano F. P., Murphy B. W., Greene R. S. B. 2001. The long-term effects of lime (CaCO_3), gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), and tillage on the physical and chemical properties of a sodic red-brown earth. *Soil Research*, 39(6): 1307-1331.
- Vance W. H., Tisdell J. M., McKenzie B. M. 1998. Residual effects of surface application of organic matter and calcium salts on the sub-soil of a red-brown earth. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 38: 595-600.
- Walker D. J., Bernal M. P. 2008. The effects of olive mill waste compost and poultry manure on the availability and plant uptake of nutrients in a highly saline soil. *Bioresource Technology*, 99: 396-403.
- Wang Z. Q., Li L. Q., 1990. Salinization in China and its Prevention, Studies on the Prevention of Land Degradation in China. Agricultural Science and Technology Press of China, Beijing.
- Wong V. N. L., Dalal R. C., Greene R. S. B. 2009. Carbon dynamics of sodic and saline soils following gypsum and organic material additions: A laboratory incubation. *Applied Soil Ecology*, 41: 29-40.
- Yazdanpanah N., Pazira E., Neshat A., Mahmoodabadi M. 2011. Effect of some methods of saline-sodic soil reclamation on depth distribution of soluble cations. *Watershed Management Research (Research and Development)*, 91: 88-96.

Laboratory Investigation of a Saline-Sodic Soil Reclamation Using Leaching Columns

Soodabeh Tirandaz¹, Vahid Rezaverdinejad^{2*}, Farrokh Asadzadeh³, Hojjat Ahmadi²

(Received: January 2017

Accepted: October 2017)

Abstract

Soluble salts and sodium are the main problems of the soils in arid and semi-arid regions. Application of organic and mineral conditioners is a basic strategy to accelerate the leaching and reclamation of these soils. This study was conducted to evaluate the efficiency of organic matter and gypsum in the reclamation of a saline and sodic soil using leaching columns. Soil sample was selected from abandoned agricultural lands in the western edge of Urmia lake. Soil leaching was conducted continuously based on the pore volume. The cations, electrical conductivity and sodium adsorption ratio in each pore volume of drain water were measured. In addition, these parameters were determined after the completion of leaching throughout leaching columns. The results indicated that in the control treatment, leaching couldn't be continued for more than two pore volumes which may be attributed to effect of the high exchangeable sodium on destruction of soil structure and blocking of the soil pores. The sodium adsorption ratio of soil sample after leaching in gypsum and gypsum with organic matter treatments, decreased from $62.5 \text{ (meq l}^{-1}\text{)}^{0.5}$ to 1.08 and $1.51 \text{ (meq l}^{-1}\text{)}^{0.5}$, respectively, which reflects the effectiveness of gypsum and organic materials in sodic soil reclamation. The organic matter treatment also decreased the sodium adsorption ratio by 85 percent which may be related to the release of calcium from the lime in the soil and replacing of the exchangeable sodium. After leaching, the electrical conductivity of the soil samples was below the critical level, 4 dSm^{-1} , regardless of the applied treatment type which represents the leaching efficiency to remove soluble salts from the soil profile. In general, application of the gypsum, equal to gypsum requirement, and organic matter in the leaching process, is recommended for effective reclamation of soils in the study area.

Keywords: Gypsum, Leaching, Organic matter, Pore volume, Urmia lake

Tirandaz S., Verdinejad V.R., Asadzadeh F., and Ahmadi H. 2019. Laboratory investigation of a saline-sodic soil reclamation using leaching columns. *Applied Soil Research*, 6(4): 121-132.

1- MSc Student, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

3- Associate Professor, Department of Soil Science, Urmia University, Urmia, Iran

* Corresponding Author Email: v.verdinejad@urmia.ac.ir