

مقایسه اثر مواد اصلاح کننده مختلف بر آبشویی املاح از یک خاک شور و قلیا در کرمان به روش آزمایشگاهی

محدثه حسینی نیا^۱، فرزاد حسن پور^۲، *هرمزد نقوی^۳ و فریبرز عباسی^۴

^۱دانش آموخته دکتری گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران،
^۲مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۲۴

چکیده

سابقه و هدف: وجود مقادیر زیاد املاح در بسیاری از منابع آب کشاورزی منجر به شور و سدیمی شدن بیش تر اراضی در استان کرمان شده است. این مسأله از جمله محدودیت های عمده سال های اخیر در تولید محصولات باغی به خصوص پسته به حساب می آید. این پژوهش به بررسی نقش مواد اصلاح کننده مختلف، بر روند اصلاح یک خاک شور و سدیمی در باغ پسته در کرمان می پردازد.

مواد و روش ها: در این پژوهش، تأثیر چهار تیمار آب آبیاری (شاهد)، گچ پودری، گچ محلول در آب و اسیدسولفوریک در چهار تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از ستون خاک مورد بررسی قرار گرفت. آبشویی ستون ها به صورت متناوب و تا دو برابر عمق خاک انجام شد. برای تیمار گچ پودری، قبل از آبشویی گچ با چند سانتی متر سطحی خاک سیلندرها مخلوط شد. در تیمارهای اسیدسولفوریک و گچ محلول، اسید و گچ در مخزن های جداگانه با آب آبیاری مخلوط شدند.

یافته ها: بررسی تغییرات غلظت املاح در زهاب خروجی از ستون های خاک نشان داد که بیش ترین میزان املاح در اولین مرحله آبشویی از ستون های خاک خارج شد و با تکرار عملیات آبشویی در مراحل بعد، غلظت آن به صورت غیرخطی کاهش یافت و به مقدار تقریباً ثابتی رسید. گچ پودری و محلول در آب نه تنها تفاوت معنی داری در آبشویی سدیم از خاک نداشتند، بلکه نسبت به تیمار شاهد باعث کاهش کارایی آبشویی سدیم به میزان ۳۰ تا ۴۰ درصد گردیدند. در مقابل، میزان سدیم تخلیه شده از خاک با مصرف اسیدسولفوریک تقریباً معادل با تیمار شاهد بود. در مقایسه بین تیمارها کم ترین میزان کلسیم به ازای تیمار شاهد از خاک آبشویی شد و بنابراین مقدار کلسیم باقی مانده در خاک به ازای تیمار شاهد بیش تر از سایر تیمارها بود. این در حالی است که میزان کل املاح خروجی از تیمار شاهد نیز بیش تر از سایر تیمارها بود. تغییرات SAR زهاب برای تیمارهای مورد مطالعه تا حد زیادی بیانگر درصد تغییر سدیم در طی مراحل آبشویی بوده و بنابراین تیمار آب آبیاری به عنوان شاهد با بیش ترین میزان خروج سدیم، بیش ترین میزان SAR را نسبت به سایر تیمارها داشت.

* مسئول مکاتبه: naghavii@gmail.com

نتیجه‌گیری: با توجه به کاهش بیش‌تر املاح، تخلیه سدیم و عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین pH تیمار شاهد با سایر تیمارها می‌توان ادعا داشت که بدون استفاده از هر ماده اصلاح‌کننده‌ای و تنها از طریق آبشویی می‌توان به هر دو هدف کاهش شوری و تخلیه سدیم دست یافت. از سوی دیگر با توجه به مسأله بحران آب در منطقه و خروج حدود ۷۵ و ۵۰ درصد املاح و سدیم در ابتدای آبشویی، می‌توان کاربرد عمق آب معادل با ۱/۱ برابر عمق خاک را برای آبشویی خاک مورد مطالعه توصیه نمود.

واژه‌های کلیدی: خاک شور و سدیمی، زهاب، اسیدسولفوریک، گچ

مقدمه

برای اصلاح خاک‌های شور و سدیمی، روش‌های متفاوتی توسط پژوهشگران پیشنهاد شده است. از عملیات اولیه بهسازی خاک‌های شور آبشویی به روش انباشتن آب در سطح خاک است. در این روش‌ها مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای آب برای آبشویی به روش‌های غرقاب دائم و یا متناوب استفاده می‌شود. (هافمن، ۱۹۸۰)، ریو (۱۹۵۷) و خوسلا (۱۹۷۹) مقدار آب موردنیاز برای آبشویی املاح از خاک را معادل با عمق خاکی که نیاز به اصلاح دارد، بیان کردند. با کاربرد این مقدار آب حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد املاح آبشویی می‌شوند (۱۴، ۲۰ و ۲۹). در مقایسه صورت گرفته بین آبشویی متناوب و پیوسته توسط میلر و همکاران (۱۹۶۵) آبشویی پیوسته تقریباً به ۵۰ درصد آب بیش‌تر برای آبشویی ۸۰ درصد املاح نیاز دارد (۲۲). بنابراین بسیاری از پژوهشگران در آزمایش‌های صحرائی و آزمایشگاهی معتقدند که آبشویی نمک‌ها تحت شرایط غیراشباع مؤثرتر است (۳، ۸، ۱۲، ۲۲، ۲۴ و ۲۶).

از سوی دیگر در برخی خاک‌ها آبشویی بدون کاربرد مواد اصلاح‌کننده منجر به سدیمی‌شدن خاک شده و متعاقباً ساختار خاک تخریب می‌گردد. برای اصلاح این خاک‌ها باید هم‌زمان املاح کلسیم جایگزین سدیم تبادلی شود. سدیم جایگزین شده با آبشویی از ناحیه ریشه و نیم‌رخ خاک خارج می‌شود.

کشور ایران با چالش‌های فراوانی از گسترش زمین‌های شور و سدیمی و تخریب اراضی کشاورزی مواجه است (۷). بر اساس گزارش جعفری (۱۹۹۴) بیش‌ترین میزان گسترش خاک‌های شور پس از کشورهای شوروی سابق، هند و پاکستان در ایران وجود دارد (۱۶). تقریباً نیمی از کل اراضی قابل کشت ایران به‌نحوی متأثر از عامل شوری می‌باشند (۲۸).

استان کرمان با وسعتی بالغ بر ۱۸۱۰۰۰ کیلومترمربع و میانگین بارش و تبخیر بالقوه سالانه به‌ترتیب ۱۳۸ و ۳۰۵۰ میلی‌متر در سال در منطقه خشک و نیمه‌خشک کشور قرار دارد. وجود مقادیر زیاد املاح در بسیاری از منابع آب کشاورزی و مقدار ناکافی آب آبیاری در بیش‌تر مناطق این استان ازجمله محدودیت‌های عمده سال‌های اخیر در تولید محصولات کشاورزی و باغی به‌حساب می‌آید. یکی از مهم‌ترین محصولات باغی این استان پسته است که مسائل مربوط به شوری آب و خاک در سال‌های اخیر شدیداً بر تولید این محصول اثر منفی داشته است. طی سال‌های اخیر، برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی موجب کاهش کیفیت آب‌های کشاورزی در استان شده است. افزایش شوری آب آبیاری منجر به تشدید شور و سدیمی‌شدن خاک و متعاقباً کاهش چشمگیر رشد و عملکرد باغات پسته منطقه گردیده است (۳۷).

محصول، تاکنون مطالعات اندکی در خصوص نحوه اصلاح و آبشویی این خاک‌ها صورت گرفته است. از این‌رو، در این پژوهش با مطالعه کیفیت زهاب خروجی از ستون‌های خاک تأثیر اصلاح‌کننده‌های گچ پودری، گچ محلول در آب آبیاری و اسیدسولفوریک به همراه آب آبیاری بر اصلاح خاک شور و سدیمی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

خاک مورد مطالعه: برای انجام آزمایش‌های آبشویی از خاک یک باغ پسته واقع در منطقه فتح‌آباد در حومه شهر کرمان نمونه‌برداری شد. نمونه خاک پس از انتقال به آزمایشگاه، در معرض هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. در آزمایشگاه برخی خصوصیات خاک مانند pH، EC، میزان کاتیون‌های محلول شامل کلسیم (Ca^{++})، منیزیم (Mg^{++})، سدیم (Na^+) و همچنین آنیون‌های کلر، کربنات و بی‌کربنات تعیین گردید (جدول ۱). مقادیر pH و EC به ترتیب در گل و عصاره اشباع، سدیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتر (Flame Photometer)، کلسیم، منیزیم و آنیون‌ها با روش تیتراسیون تعیین شد (۱۲). نسبت جذبی سدیم (SAR) نیز از رابطه ذیل تعیین گردید (۳۴):

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

که در آن، کاتیون‌های محلول خاک بر حسب meq/L می‌باشند.

به‌سی‌سی (۲۰۰۹) به نقل از کلی (۱۹۵۱) گزارش کرده است که شدت نفوذ در خاک با بهبود آبشویی نمک‌ها کاهش می‌یابد (۴). با آبشویی نمک‌ها اثر هماوری کاتیون‌های دوظرفیتی کاهش و تبادل سدیم افزایش یافته و بنابراین سرعت نفوذ کاهش می‌یابد. این خاک‌ها را می‌توان با استفاده از مواد اصلاح‌کننده شیمیایی اصلاح کرد (۱۱). مطالعات متعددی در زمینه کاربرد مواد اصلاح‌کننده برای اصلاح شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک‌های شور و سدیمی انجام شده است. نوع و مقدار مواد اصلاح‌کننده مورد نیاز بستگی به خصوصیات خاک، مدت زمان مطلوب جهت اصلاح و قیمت مواد اصلاح‌کننده دارد. گچ (۴، ۸ و ۳۱)، گوگرد (۱) و اسیدسولفوریک (۲ و ۲۷) رایج‌ترین مواد اصلاح‌کننده هستند. گچ دارای حلالیت متوسط بوده و به دلیل قیمت کم و قابل دسترس بودن، به‌طور گسترده استفاده می‌شود (۱۱). در استان کرمان نیز گچ معمولاً به‌صورت پودری و از معادن متعدد در منطقه قابل تهیه می‌باشد. پس از کاربرد گچ، کلسیم موجود در آن به تدریج رها شده به مجموع کاتیون‌های خاک اضافه می‌شود. استفاده از مواد اصلاح‌کننده اسیدی مانند اسیدسولفوریک و یا مواد اسیدزا مانند گوگرد می‌تواند برای تسریع حلالیت آهک و اصلاح خاک‌های آهکی مؤثر باشد. در این خاک‌ها $CaCO_3$ به آرامی حل شده و کلسیم را برای فرایند اصلاح این خاک‌ها عرضه می‌کند (۱۵).

اگرچه در دهه‌های اخیر روش‌های متعددی در کشورهای مختلف دنیا در زمینه اصلاح اراضی شور و سدیمی توصیه شده است، اما با وجود وسعت زیاد باغ‌های پسته در استان کرمان و اهمیت اقتصادی این

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

Table 1. Some physical and chemical properties of experimental soil.

مقدار Unit	ویژگی (واحد) Property	مقدار Unit	ویژگی (واحد) Property
7.65	pH	157.5	سدیم (Sodium) (meq ⁻¹)
38	شن (Sand) (%)	19.4	کلسیم (Calcium) (meq ⁻¹)
60	سیلت (Silt) (%)	59.3	منیزیم (Magnesium) (meq ⁻¹)
2	رس (Clay) (%)	16.5	هدایت الکتریکی (EC) (dSm ⁻¹)
1.4	چگالی ظاهری (Bulk density) (gcm ⁻³)	25.1	نسبت جذبی سدیم (SAR) (meq ^{-0.5})
9.1	ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) (meq100 g ⁻¹)	20.85	آهک (Lime) (%)
		2.88	گچ (Gypsum) (%)

خاک مورد مطالعه بر اساس رابطه ذیل محاسبه می‌شود (۵):

$$GR = \frac{(ESP_i - ESP_f) \times ECE \times \rho_s \times D_s \times 8.61}{F} \quad (2)$$

که در آن، GR مقدار گچ مورد نیاز برای لایه‌ای به عمق D_s بر حسب تن در هکتار، D_s عمق خاک بر حسب سانتی‌متر، ρ_s جرم مخصوص ظاهری بر حسب کیلوگرم بر مترمربع، ESP_i درصد سدیم تبدالی اولیه خاک، ESP_f درصد سدیم تبدالی نهایی خاک، ECE ظرفیت تبادل کاتیونی بر حسب سانتی‌مول بر کیلوگرم (میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خاک)، F بازده کاربرد گچ بر حسب درصد است.

تیمارها عبارتند از: ۱- آب آبیاری به‌عنوان شاهد؛ ۲- کاربرد گچ مطابق با نیاز گچی به مقدار ۱۰ تن در هکتار؛ به‌صورت پودری؛ ۳- کاربرد گچ مطابق با نیاز گچی به مقدار ۱۰ تن در هکتار؛ به‌صورت محلول در آب آبیاری؛ ۴- اسیدسولفوریک معادل با نیاز گچی به مقدار ۵/۷ تن در هکتار (پنج هزار هفتصد کیلوگرم در هکتار) (۱۰).

تهیه ستون‌های آزمایشگاهی: در تهیه ستون‌های

آزمایشگاهی، از ۱۶ استوانه پلی‌اتیلن (PVC) با قطر ۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر استفاده شد. برای تسهیل در خروج زهاب و جلوگیری از عبور ذرات خاک از انتهای هر ستون، از فیلتر استفاده گردید. دیواره سیلندرها با چسب و شن زبر گردید تا از عبور جریان ترجیحی از دیواره سیلندرها جلوگیری شود. میزان نرمال بودن داده‌های مربوط به حجم زهاب خروجی از ستون‌ها نیز در انتهای آزمایش بررسی شد و اعدادی که از میانگین انحراف قابل‌توجه داشتند حذف گردید. برای پر کردن سیلندرها از خاک مزرعه مورد مطالعه تا عمق ۵۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. پس از انتقال نمونه خاک به آزمایشگاه، در معرض هوا خشک گردیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سیلندرها متناسب با چگالی ظاهری خاک در مزرعه پر شدند و سپس بر روی پایه‌ای فلزی جهت تثبیت و جمع‌آوری نمونه‌های زهاب قرار گرفتند.

آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی و در چهار تکرار انجام شد. از دو نوع ماده اصلاح‌کننده گچ و اسیدسولفوریک در این آزمایش استفاده گردید. میزان گچ مورد نیاز برای آزمایش مطابق با نیاز گچی

آن‌جایی که آب آبیاری در مزرعه تنها منبع آب موجود در مزرعه بود، برای آیشویی ستون‌ها از آب آبیاری مزرعه استفاده شد. برخی ویژگی‌های شیمیایی آب مورد استفاده در جدول ۲ نشان داده شده است.

نحوه اعمال تیمارها و آزمایش‌های آیشویی: برای تیمار گچ پودری، قبل از آیشویی گچ با چند سانتی‌متر سطحی خاک سیلندرهای مخلوط شد. در تیمارهای اسیدسولفوریک و گچ محلول، اسید و گچ در مخزن‌های جداگانه با آب آبیاری مخلوط شدند. از

جدول ۲- برخی خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده در آزمایش.

Table 2. Chemical properties of water used in this experiment.

EC (dSm ⁻¹)	pH	سدیم Sodium	کلسیم Calcium	منیزیم Magnesium	کلر Chlorine	بی‌کربنات Bicarbonate	کربنات Carbonate	SAR meq ^l ^{-0.5}
2.5	7.42	11.1	6.04	14.15	15.15	5.63	ناچیز	3.5

تیمارهای مورد مطالعه، از طریق رابطه زیر محاسبه گردید:

$$FC = \left[\frac{X_{ti}}{X_{ci}} \right] \quad (3)$$

که در آن، FC میزان تغییر متغیر موردنظر نسبت به شاهد، X متغیر مورد مطالعه (غلظت کاتیون در زهاب)، t تیمار (نوع ماده افزودنی به خاک)، c تیمار شاهد و i مرحله آیشویی است. متغیرها شامل غلظت هر یک از کاتیون‌ها، میزان کل املاح خروجی از خاک، SAR و pH زهاب می‌باشد. میزان FC می‌تواند بیشتر، کم‌تر و یا برابر یک باشد. مقادیر کم‌تر و بیشتر از یک به ترتیب بیانگر مقادیر کم‌تر و بیشتر متغیر در زهاب خروجی ناشی از اعمال تیمار موردنظر نسبت به شاهد است.

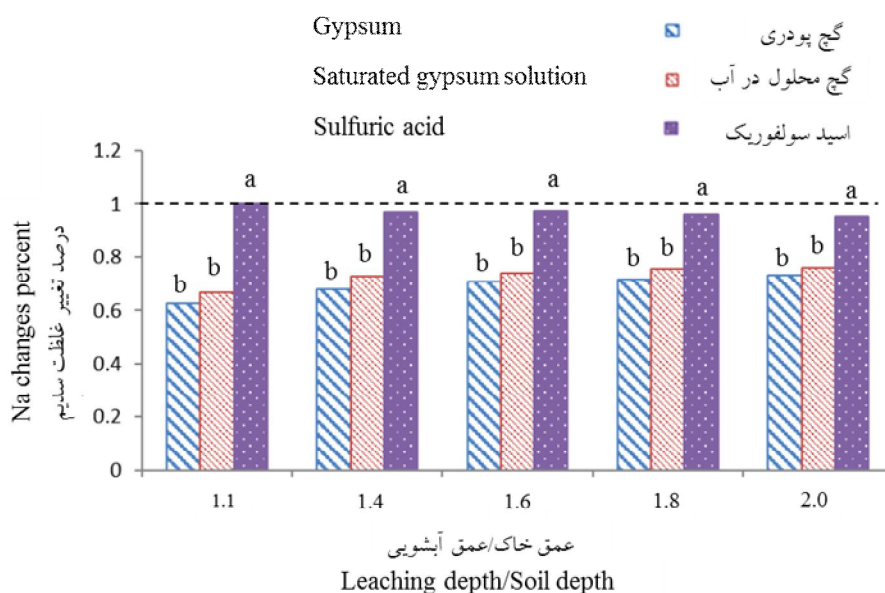
مقایسه بین میانگین پارامترهای مورد بررسی در تیمارهای مختلف، با آزمون دانکن در سطح معنی‌داری پنج درصد و با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام شد.

ستون‌های خاک به صورت متناوب و به میزان ۲ برابر عمق خاک آیشویی شدند. به گونه‌ای که روزانه ۲ سانتی‌متر آب به ستون‌ها داده می‌شد تا زمانی که عمق آب داده شده معادل ۱/۱ برابر عمق خاک گردد. سپس چند روز صبر کرده تا تمامی آب از ستون خاک خارج گردد. بعد از آن مجدد روند آیشویی ادامه می‌یافت. در فواصل زمانی بین مراحل آیشویی، برای جلوگیری از تبخیر آب از سطح خاک، دهانه ستون‌های خاک با نایلون پلاستیکی مسدود شد. پس از هر مرحله آزمایش آیشویی، با استفاده از ظروف درب‌دار، از زهاب‌های خروجی ستون‌های خاک نمونه‌برداری شد و خصوصیات زه آب از نظر pH، EC، Na⁺، Ca⁺⁺، Mg⁺⁺ و SAR مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش تأثیر اصلاح‌کننده‌های مختلف در مقایسه با تیمار شاهد ارزیابی شد. به این منظور از پارامتر "میزان تغییر نسبت به شاهد"^۱ استفاده شد. این پارامتر در هر مرحله از آیشویی برای هر یک از

نتایج و بحث

سدیم محلول: شکل ۱ مقادیر FC مربوط به سدیم محلول را برای تیمارهای مورد مطالعه نشان می‌دهد. بررسی تغییرات غلظت سدیم در زهاب خروجی از ستون‌های خاک نشان داد که بیش‌ترین میزان سدیم در اولین مرحله آبخویی از ستون‌های خاک خارج شد و با تکرار عملیات آبخویی در مراحل بعد، غلظت آن به صورت غیرخطی کاهش یافت و به مقدار تقریباً ثابتی رسید. مواد اصلاح‌کننده مورد مطالعه، اثرات متفاوتی بر غلظت سدیم در زهاب خروجی داشتند (شکل ۱). در اولین مرحله آبخویی همه تیمارها به جز اسیدسولفوریک، کم‌ترین مقادیر FC را داشتند؛ زیرا در این مرحله، مقدار قابل توجهی سدیم از خاک شاهد نیز شسته شده است. با ادامه روند آبخویی میزان سدیم خروجی در تیمارهای گچ پودری و محلول در آب آبیاری، حدود ۱۰ درصد افزایش یافت اما FC آن‌ها همچنان کم‌تر از یک بوده و بنابراین نسبت به تیمار شاهد کارایی کم‌تری در تخلیه سدیم از خاک داشته‌اند. در بین تیمارهای مورد بررسی تیمار گچ پودری در تمام مراحل آزمایش دارای کم‌ترین میزان FC بوده که به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار گچ محلول در آب نداشته و بنابراین این دو تیمار در آبخویی سدیم از ستون خاک کم‌ترین کارایی را داشته‌اند. والزان و همکاران (۲۰۰۱) دریافتند که مصرف گچ، غلظت سدیم در فاز تبادلی و محلول را کاهش داده و در نتیجه پس از پایان آزمایش‌های آبخویی، میزان سدیم محلول کاهش محسوسی پیدا کرد (۳۶). بر اساس نظر آمزکتا و همکاران (۲۰۰۵)

نیز، کاربرد گچ در خاک‌های آهکی به دلیل اثر یون مشترک کلسیم موجود در گچ و آهک، کلسیم کم‌تری جایگزین سدیم بر روی مکان‌های تبادلی شده که نتیجه آن کاهش غلظت سدیم در زهاب نسبت به تیمار شاهد شد (۲). نتایج همچنین بیانگر آن است که تیمار اسیدسولفوریک بعد از شاهد، بیش‌ترین مقدار سدیم را از ستون خاک خارج کرده و نسبت به دیگر تیمارهای مورد بررسی تأثیر معنی‌داری در خروج سدیم از خاک داشت. مصرف اسیدسولفوریک در خاک‌های آهکی باعث افزایش انحلال آهک و رهاسازی بیش‌تر سدیم به فاز محلول می‌شود (۲۵). وادیانینا و ریو (۱۹۷۴) و پراتر و همکاران (۱۹۷۸)، گزارش کردند که اسیدسولفوریک در اصلاح درصد سدیم تبادلی خاک بیش از گچ مؤثر است (۲۷ و ۳۵). در حالی که میاموتو و انریکویز (۱۹۹۰) عنوان داشتند که گچ و اسیدسولفوریک تأثیر مشابه‌ای در خروج سدیم از خاک داشته‌اند (۲۳)؛ بنابراین با توجه به مقادیر FC تیمارهای مختلف در تمام مراحل آبخویی، تیمار استفاده از آب آبیاری به عنوان شاهد به لحاظ آماری بیش‌ترین کارایی را در تخلیه سدیم از خاک داشته است. بنابراین مواد اصلاح‌کننده گچ و اسیدسولفوریک نتوانسته‌اند به اندازه تیمار شاهد سبب کاهش سدیم محلول گردند. وادیانینا و ریو (۱۹۷۴) و جری و همکاران (۱۹۷۹) به نتایج مشابهی دست یافتند که غلظت سدیم تنها از طریق آبخویی و بدون استفاده از هر گونه ماده اصلاح‌کننده کاهش پیدا کرده است (۱۸ و ۳۵).



شکل ۱- مقادیر FC مربوط به سدیم محلول خروجی از خاک برای تیمارهای گچ پودری، گچ محلول در آب و اسید سولفوریک پس از آیشویی (مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد انجام شده است).

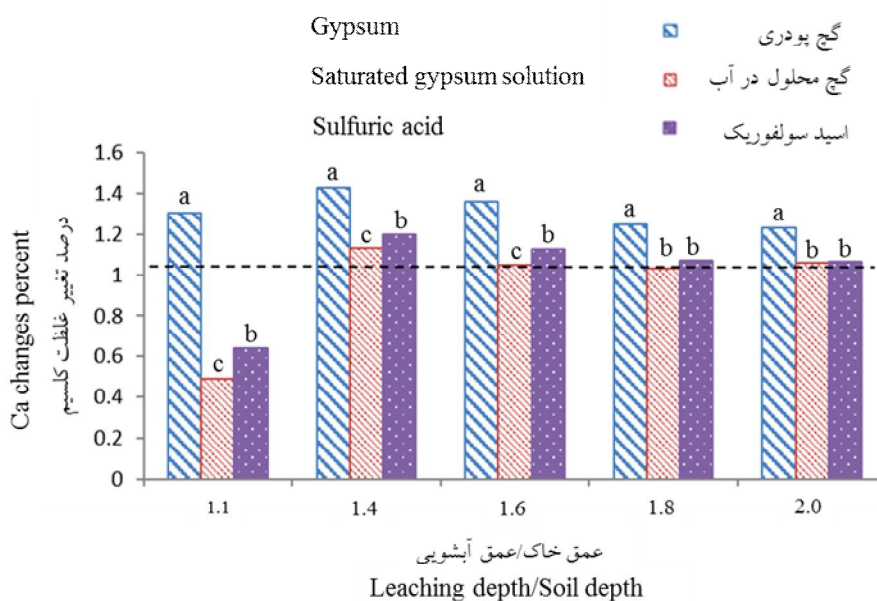
Figure 1. FC value for soluble sodium removed from the soil for gypsum powder, dissolved gypsum and sulfuric acid treatments after leaching (Mean comparison was conducted by Duncan test at 0.05 significant level).

مطابق با نتایج شکل ۱ میزان سدیم خروجی از خاک با تداوم آیشویی اندکی افزایش یافته است. بنابراین با افزایش زمان آیشویی کلسیم بیشتری بر مکان‌های تبدالی جانشین شده و سدیم آیشویی گردید. تیمارهای گچ و اسیدسولفوریک به همراه آب آبیاری در اولین مرحله آیشویی کم‌ترین میزان کلسیم را از خاک تخلیه کردند که اسیدسولفوریک با تخلیه بیش‌تر کلسیم تفاوت معنی‌داری را با گچ محلول در آب نشان داد. در مرحله دوم آیشویی، غلظت کلسیم موجود در زهاب برای گچ محلول در آب و اسیدسولفوریک به ترتیب به میزان ۰/۶۴ و ۰/۵۵ نسبت به مرحله اول افزایش یافت و به بیش‌ترین مقدار در طی مراحل آیشویی رسید. از مرحله دوم به بعد میزان خروج کلسیم در این دو تیمار مشابه تیمار گچ پودری، به صورت تدریجی کاهش یافت که با تداوم روند آیشویی تفاوت دو تیمار در خروج کلسیم معنی‌دار نبوده در حالی که اختلاف آن‌ها با گچ پودری

کلسیم محلول: شکل ۲ میزان تغییر غلظت کلسیم محلول را در زهاب خروجی از ستون‌های خاک نشان می‌دهد. دامنه تغییرات FC برای اولین مرحله آیشویی بین ۰/۴۸ تا ۱/۳ متغیر بوده در حالی که در آخرین مرحله آیشویی، این مقادیر به ۱/۰۶ تا ۱/۲۳ کاهش یافت. در تمام مراحل آزمایش، تیمار گچ پودری با FC بزرگ‌تر از یک، بیش‌ترین میزان غلظت کلسیم محلول را نسبت به تیمار شاهد داشت. گچ با حلالیت بیش‌تر نسبت به آهک موجود در خاک شاهد، وارد فاز محلول و تخلیه شده است. در حالی که آهک به مدت زمان بیش‌تری برای حل شدن نیاز دارد (۳۶). نتایج آنالیزهای آماری نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌دار بین این تیمار و سایر تیمارهای مورد مطالعه در خروج کلسیم از خاک وجود دارد. به طور کلی روند تغییرات FC برای تیمار گچ پودری بعد از مرحله دوم آزمایش (نسبت عمق خاک/ عمق آب = ۱/۴) در مورد کلسیم کاهشی بوده است. این در حالی است که

می‌تواند موجب بهبود ساختار خاک گردد. این یافته با نتایج کلی (۱۹۵۱) مطابقت دارد که با آبخویی بیش‌تر کاتیون‌های دو ظرفیتی از خاک، سرعت نفوذ کاهش می‌یابد زیرا اثر هم‌آوری کاتیون‌های دو ظرفیتی کاهش یافته و اثر سدیم تبدلی در تخریب ساختار خاک افزایش می‌یابد (۱۹).

معنی‌دار بوده است. بنابراین برای تیمار گچ محلول در آب نسبت به اسیدسولفوریک و گچ پودری کلسیم کم‌تری از خاک تخلیه گردید. از سوی دیگر، با ادامه روند آبخویی، تیمار شاهد بر خلاف سایر تیمارها تمایل کم‌تری به آبخویی کلسیم از خاک داشته است و با توجه به آبخویی بیش‌تر سدیم (شکل ۱)،



شکل ۲- مقادیر FC مربوط به کلسیم محلول خروجی از خاک برای تیمارهای گچ پودری، گچ محلول در آب و اسیدسولفوریک پس از آبخویی (مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد انجام شده است).

Figure 2. FC value for soluble Calcium removed from the soil for gypsum powder, dissolved gypsum and sulfuric acid treatments after leaching (Mean comparison was conducted by Duncan test at 0.05 significant level).

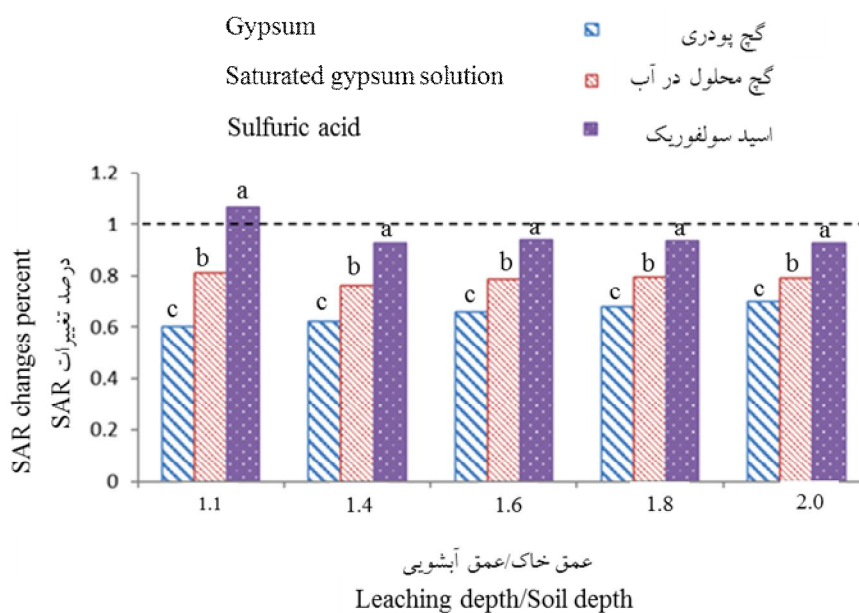
اسیدسولفوریک، مقدار FC کم‌تر از یک داشته‌اند. در این مرحله، میزان سدیم خروجی در تیمار اسیدسولفوریک بیش‌تر از سایر تیمارها بوده است. در بین تیمارهای مورد مطالعه، مقدار FC گچ کم‌ترین مقدار بوده که این تیمار به لحاظ آماری نیز تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. مراجعه به شکل‌های ۱ و ۲ دلالت بر این دارد که زهاب خروجی تیمار گچ نسبت به سایر تیمارها، دارای کم‌ترین مقدار سدیم و بیش‌ترین مقدار کلسیم بوده که همین مسأله

از آنجایی که روند تغییرات غلظت منیزیم در زهاب برای تیمارهای مورد مطالعه مشابه کلسیم بود، از ارائه شکل‌ها صرف‌نظر شده است.

نسبت جذب سدیم (SAR): بررسی تغییرات SAR در زهاب خروجی نشان داد که بیش‌ترین SAR زهاب در اولین مرحله آبخویی مشاهده شده و با تکرار آبخویی مقدار آن کاهش یافته است. مطابق شکل ۳، تغییرات FC برای SAR نشان داد که در اولین مرحله آبخویی همه تیمارها به‌جز

بهبودی سی (۲۰۰۹) نتایج متفاوتی را گزارش کرده است، بر این اساس که می‌توان با کاربرد ۶۰ تن در هکتار گچ میزان SAR خاک را بیش‌تر از آب آبیاری کاهش داد. این در حالی است در مقادیر پایین گچ (۲۰ تن در هکتار) میزان کاهش SAR نسبت به شاهد حدود ۱۰ درصد بوده است (۴). در مطالعات انجام شده توسط جلالی و سخایی‌راد (۲۰۱۱) بیان شده است که با اعمال آبشویی بدون کاربرد مواد اصلاح‌کننده مقادیر زیادی سدیم از خاک شسته شده و SAR خاک کاهش یافته است و به دلیل وجود منابع کافی کلسیم در خاک، بعد از شستشو مشکل سدیمی شدن خاک ایجاد نشده و نیاز به استفاده از مواد اصلاح‌کننده نمی‌باشد (۱۷).

سبب کاهش بیش‌تر SAR نسبت به دیگر تیمارها و حتی تیمار شاهد شده است. این در حالی است که تیمار گچ محلول در آب آبیاری و تیمار اسیدسولفوریک به ترتیب با ۲۰ و ۱۰ درصد تغییر نسبت به شاهد دومین و سومین اصلاح‌کننده در کاهش SAR محلول خروجی از خاک می‌باشند. به‌طورکلی بررسی تغییرات SAR در زهاب خروجی روندی مشابه میزان سدیم از خاک داشته است. زیرا از یک‌سو، تیمار شاهد با بیش‌ترین درصد آبشویی سدیم از خاک، بیش‌ترین میزان SAR زهاب خروجی از خاک را داشته و از سوی دیگر، میزان FC سایر تیمارها نسبت به تیمار شاهد در طی مراحل آبشویی مقدار تقریباً ثابتی بوده که بیانگر درصد تغییر سدیم در طی مراحل آبشویی (شکل ۱) بوده است.

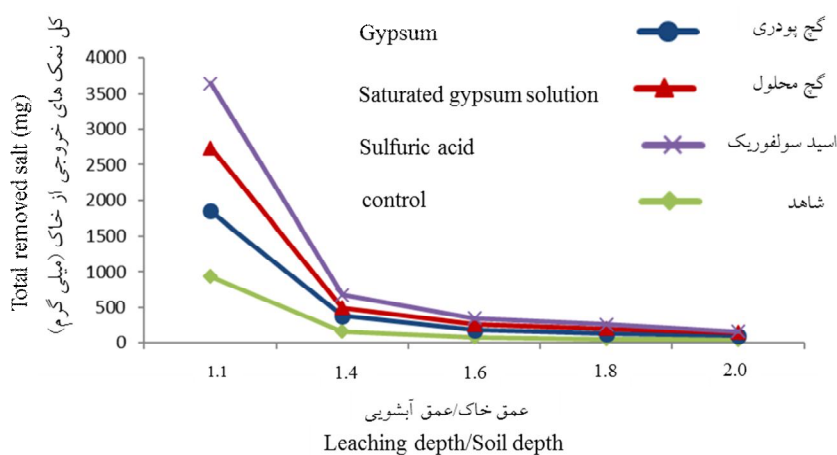


شکل ۳- مقادیر FC مربوط به SAR زهاب خروجی برای تیمارهای گچ پودری، گچ محلول در آب و اسید سولفوریک پس از آبشویی (مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد انجام شده است).

Figure 3. FC value of SAR effluent for gypsum powder, dissolved gypsum and sulfuric acid treatments after leaching (Mean comparison was conducted by Duncan test at 0.05 significant level).

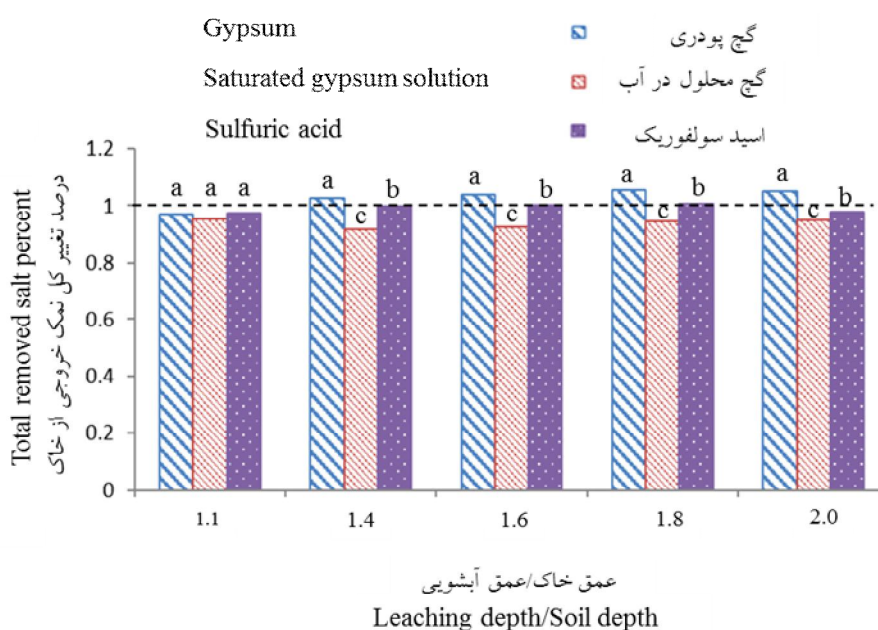
به تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نسبت به سایر تیمارهای مورد بررسی داشت. در حالی‌که کاربرد گچ محلول در آب آبیاری کم‌ترین میزان املاح را از خاک خارج نموده است (شکل ۵). افزایش غلظت املاح خروجی برای تیمار گچ پودری ناشی از افزایش کلسیم محلول در زهاب خروجی از خاک بود. بنابراین مطابق با نتایج در شکل ۱ بین روند تغییرات سدیم زهاب و میزان کل املاح خروجی از خاک روند مشابهی وجود داشت. بنابراین به‌نظر می‌رسد، با کاربرد عمق آبتوی معادل با ۱/۱ برابر عمق خاک و بدون کاربرد مواد اصلاح‌کننده، هر دو هدف کاهش شوری و تخلیه سدیم به‌عنوان کاتیون مضر دست‌یافتنی باشد. این نتایج با نتایج گزارش شده در بسیاری از پژوهش‌ها همخوانی دارد (۹، ۱۸ و ۲۱).

میزان کل نمک خروجی از خاک: بررسی میزان کل املاح خارج شده از خاک نشان داد که در اولین مرحله آبتوی (عمق خاک / عمق آبتوی = ۱/۱) حدود ۷۵ درصد املاح از خاک تخلیه شده است و با ادامه آبتوی میزان املاح به‌صورت غیرخطی کاهش یافته و از مرحله سوم آبتوی (عمق خاک / عمق آبتوی = ۱/۶) تغییرات محسوسی نداشته است (شکل ۴). در مطالعات انجام شده توسط ریو (۱۹۵۷) و خوسلا (۱۹۷۹) نتایج مشابهی گزارش شده است که برای آبتوی ۷۰ تا ۸۰ درصد املاح به عمق آبی معادل ۱۰۰ درصد عمق خاک نیاز می‌باشد (۲۰ و ۲۹). در مرحله اول آبتوی، تفاوت معنی‌داری در خروج املاح توسط تیمارهای مختلف مشاهده نشد (شکل ۵). با ادامه روند آبتوی میزان املاح خروجی توسط تیمار گچ پودری با افزایش ۵ درصدی نسبت



شکل ۴- روند تغییرات میزان نمک خروجی از خاک بر حسب عمق آبتوی معادل با عمق خاک برای تیمارهای شاهد، گچ پودری، گچ محلول در آب و اسید سولفوریک.

Figure 4. Changes of soluble salt from the soil in terms of leaching depth to soil depth for control, gypsum powder, dissolved gypsum and sulfuric acid treatments.

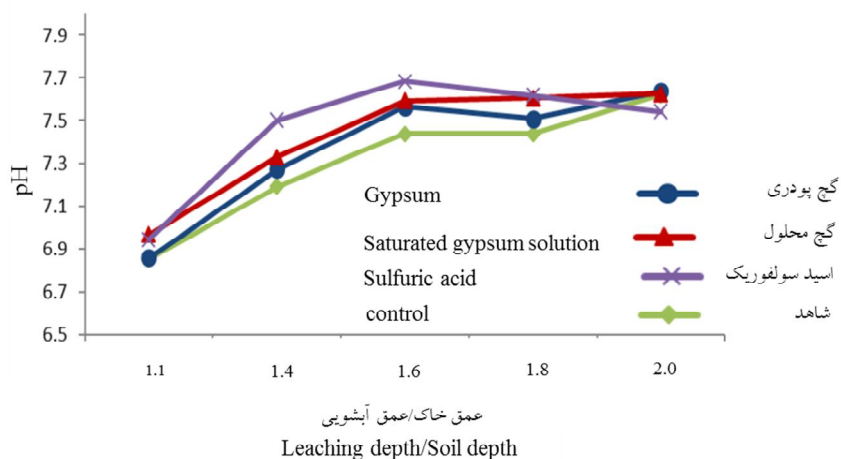


شکل ۵- مقادیر FC مربوط به کل املاح خروجی از خاک برای تیمارهای گچ پودری، گچ محلول در آب و اسید سولفوریک پس از آیشویی (مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد انجام شده است).

Figure 5. FC value of total removed salt from the soil for gypsum powder, dissolved gypsum and sulfuric acid treatments after leaching (Mean comparison was conducted by Duncan test at 0.05 significant level).

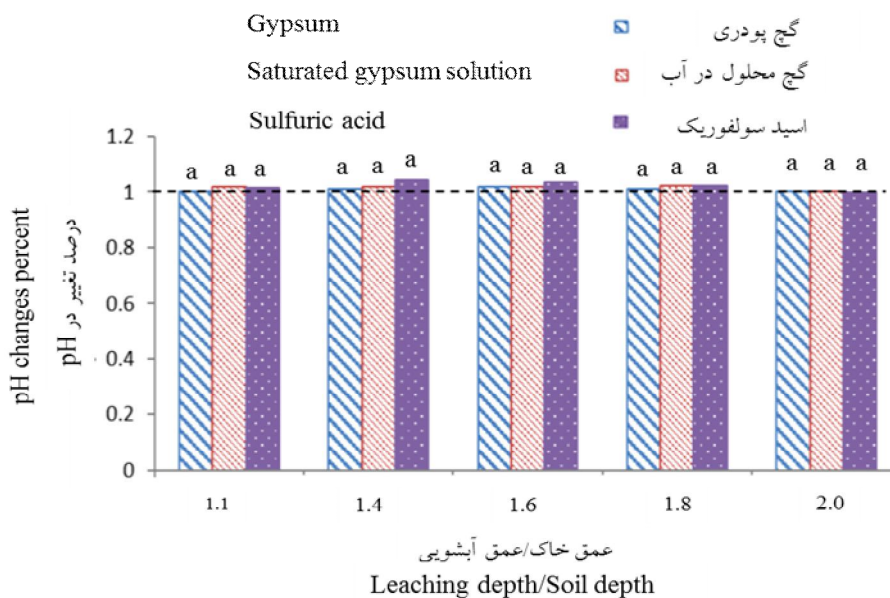
و اکنش (pH): شکل ۶ روند تغییر pH زهاب خروجی از ستون‌های خاک برای تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. در مرحله اول آیشویی و به‌ازای عمق آیشویی ۱/۱ برابر عمق خاک pH زهاب برای تمام تیمارها کم‌تر از ۷ بود. نتایج FC مربوط به تیمارهای مختلف نیز تقریباً مشابه با تیمار شاهد (آب آبیاری) بوده و کاربرد آن‌ها به‌عنوان اصلاح‌کننده در طول دوره مورد مطالعه تأثیر معنی‌داری بر pH خاک نداشته است (شکل ۷). این در حالی است که بر اساس مطالعات انجام‌شده کاربرد گچ (۳۲) و اسیدسولفوریک (۳۰، ۳۳) خاک را کاهش داده است.

شکل ۶ روند تغییر pH زهاب خروجی از ستون‌های خاک برای تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. در مرحله اول آیشویی و به‌ازای عمق آیشویی ۱/۱ برابر عمق خاک pH زهاب برای تمام تیمارها کم‌تر از ۷ بود. نتایج FC مربوط به تیمارهای مختلف نیز تقریباً مشابه با تیمار شاهد



شکل ۶- روند تغییرات pH در زهاب خروجی بر حسب عمق آبشویی معادل با عمق خاک برای تیمارهای شاهد، گچ پودری، گچ محلول در آب و اسید سولفوریک.

Figure 6. Changes in pH of effluent in terms of leaching depth to soil depth for control, gypsum powder, dissolved gypsum and sulfuric acid treatments.



شکل ۷- مقادیر FC مربوط به pH زهاب خروجی برای تیمارهای گچ پودری، گچ محلول در آب و اسید سولفوریک پس از آبشویی (مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد انجام شده است).

Figure 7. FC value of pH for effluent removed from the soil for gypsum powder, dissolved gypsum and sulfuric acid treatments after leaching (Mean comparison was conducted by Duncan test at 0.05 significant level).

نتیجه‌گیری

روند تغییر pH برای همه تیمارها و از جمله تیمار شاهد این واقعیت را نشان می‌دهد که بدون استفاده از هر ماده اصلاح‌کننده‌ای و تنها از طریق آبشویی می‌توان به هر دو هدف کاهش شوری و تخلیه سدیم دست یافت. بنابراین با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی می‌توان تیمار آب آبیاری را به‌عنوان تیمار برتر در این پژوهش معرفی نموده و از آنجایی که به ترتیب حدود ۷۵ و ۵۰ درصد املاح و سدیم در ابتدای آبشویی از خاک خارج می‌شوند و ادامه روند آبشویی موجب افزایش pH خاک گردید، می‌توان کاربرد عمق آب معادل با ۱/۱ برابر عمق خاک را برای آبشویی خاک مورد مطالعه توصیه نمود.

سپاسگزاری

این پژوهش با پشتیبانی و حمایت دانشگاه زابل و مؤسسه پژوهشی آب و توسعه پایدار فلات به انجام رسیده است که بدین‌وسیله تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر نشان داد گچ پودری و محلول در آب نه‌تنها تفاوت معنی‌داری در آبشویی سدیم از خاک ندارند، بلکه نسبت به تیمار شاهد کارایی کم‌تری داشته‌اند. در مقابل، میزان سدیم تخلیه‌شده از خاک با مصرف اسیدسولفوریک تقریباً معادل با تیمار شاهد بوده است. از مرحله دوم آبشویی اگرچه که روند تغییرات FC در مورد کلسیم برای تیمارهای مورد مطالعه کاهش یافته بود اما از ابتدای این مرحله مقادیر کلسیم خارج شده از تیمارهای مختلف بیش‌تر از تیمار شاهد بود. تغییرات FC مربوط به SAR زهاب برای تیمارهای مورد مطالعه تا حد زیادی بیانگر درصد تغییر سدیم در طی مراحل آبشویی بوده و بنابراین تیمار آب آبیاری به‌عنوان شاهد با بیش‌ترین میزان خروج سدیم، بیش‌ترین میزان SAR و املاح خروجی را نسبت به سایر تیمارها داشت؛ بنابراین برتری تیمار شاهد در کاهش میزان سدیم و املاح خروجی از خاک و همچنین

منابع

1. Abdelhamid, M., Eldardiry, E., and Abd El-Hady, M. 2013. Ameliorate salinity effect through sulphur application and its effect on some soil and plant characters under different water quantities. *J. Agric. Sci.* 4: 39-47.
2. Amezketa, E., Aragues, R., and Gazol, R. 2005. Efficiency of sulfuric acid, mined gypsum and two gypsum by-products in soil crusting prevention and sodic soil reclamation. *Agron. J.* 97: 983-989.
3. AsadiKapourchal, S., Homae, M., and Pazira, E. 2013. A parametric desalinization model for large scale saline soil reclamation. *J. Basic. Appl. Sci. Res.* 3: 774-783.
4. Bahceci, I. 2009. Determination of salt leaching and gypsum requirements with field tests of saline-sodic soils in central turkey. *J. Irrig. Drain.* 58: 332-345.
5. Barzegar, A.R. 2012. Salt-affected soils: Diagnosis and productivity. Shahid Chamran Uni. Press, 186p.
6. Cheraghi, S.A.M. 2004. Institutional and scientific profiles of organizations working on saline agriculture in Iran. In *Prospects of Saline Agriculture in the Arabian Peninsula: Proceedings of the International Seminar on Prospects of Saline Agriculture in the GCC Countries*, Dubai, United Arab Emirates, Pp: 399-412.
7. Dahiya, I.S., Malik, R.S., and Singh, M. 1981. Field studies on leaching behavior of a highly saline-sodic soil under two modes of water application in the presence of crops. *J. Agric. Sci. Camb.* 97: 383-389.

8. Diamantis, V.I., and Voudrias, E.A. 2008. Laboratory and pilot studies on reclamation of a salt-affected alluvial soil. *J. Environ. Geol.* 54: 643-651.
9. Dieleman, P.J. 1963. Reclamation of Salt Affected Soils in Iraq. Veenman, Wageningen, 175p.
10. Friedrich, J. 1981. Basics of nutrient tropical soil. GDR Press, 50p.
11. Gharaibeh, M.A., Eltaif, N.I., and Shunnar, O.F. 2011. Leaching and reclamation of calcareous saline-sodic soil by moderately saline and moderate-SAR water using gypsum and calcium chloride. *J. Plant Nutr. J. Soil Sci.* 172: 713-719.
12. Heald, W.R. 1965. Calcium and Magnesium. P 999-1010, In: *Methods of Soil Analysis, Part II.* Am. Soc. Agron. Inc. Madison, Wis. USA.
13. Hendrikus Barnard, J., Van Rensburg, L.D., and Peter Bennie, A.L. 2010. Leaching irrigated saline sandy to sandy loam apedal soils with water of a constant salinity. *J. Irrig. Sci.* 28: 191-201.
14. Hoffman, G.J. 1980. Guidelines for reclamation of salt-affected soils. Proceedings of International American Salinity and Water Management, Technical Conference. Mexico, Pp: 49-64.
15. Horneck, D.A., Ellsworth, J.W., Hopkins, B.G., Sullivan, D.M., and Stevens, R.G. 2007. Managing salt-affected soils for crop production. Northwest Extension publication Oregon State University, University of Idaho, Washington State University, 13p.
16. Jafari, M. 1994. Salt features. Research Institute of Forests and Rangelands Press, 55p.
17. Jalali, A.A., and Sakhairad, H. 2011. Comparing continuous and intermittent leaching methods in saline-sodic soil in south of Khuzestan. *J. Water Sci. Engin.* 1: 3. 17-30.
18. Jury, W.A., Jarrell, W.M., and Devitt, D. 1979. Reclamation of saline-sodic soil by leaching. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 1100-1106.
19. Kelley, W.P. 1951. Alkaline Soils, their Formation, Properties and Reclamation. Reinhold Publishing: New York, 176p.
20. Khosla, B.K., Gupta, R.K., and Abrol, I.P. 1979. Salt leaching and the effect of gypsum application in a saline-sodic soil. *Agricultural water management.* 2: 193-202.
21. Leffelaar, P.A., and Sharma, R.P. 1977. Leaching of a highly saline-sodic soil. *J. Hydrol.* 32: 203-218.
22. Miller, R.J., Nielsen, D.R., and Biggar, J.W. 1965. Chloride displacement in Panoche clay loam in relation to water movement and distribution. *J. Water Resour. Res.* 1: 63-73.
23. Miyamoto, S., and Enriquez, C. 1990. Comparative effects of chemical amendments on salt and NA leaching. *J. Irrig. Sci.* 11: 83-92.
24. Nielsen, D.R., and Biggar, J.W. 1961. Miscible displacement in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 25: 1-5.
25. Oster, J.D., and Frenkel, H. 1980. The chemistry of the reclamation of sodic soil with gypsum and lime. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 41-45.
26. Öztürk, H.Z., and Özkan, I. 2002. Solute movement in large soil columns under different water flow velocities. *J. Die Bodenkultur.* 53: 183-189.
27. Prather, R.J., Goertzen, J.O., Rhoades, D., and Frenkel, H. 1978. Efficient amendment use insodic soil reclamation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 782-786.
28. Qadir, M., Qureshi, A.S., and Cheraghi, S.A.M. 2008. Extent and characterization of salt-affected soils in Iran and strategies for their amelioration and management. *J. Land Degrad. Dev.* 19: 214-227.
29. Reeve, R.C. 1957. The relation of salinity to irrigation and drainage requirements. Third Congress of International Commission on Irrigation and Drainage, Transactions. 5: 175-187.
30. Sadiq, M., Hassan, G., Mehdi, S. M., Hussain, N., and Jamil, M. 2007. Amelioration of saline-sodic soils with tillage implements and sulfuric acid application. *J. Pedosphere.* 17: 182-190.

31. Sahin, U., and Anapali, O. 2005. A laboratory study of the effects of water dissolved gypsum application on hydraulic conductivity of saline-sodic soil under intermittent ponding conditions. *Irish J. Agric. Food Res.* 44: 297-303.
32. Singh, H., and Bajwa, M.S. 1991. Effect of sodic irrigation and gypsum on thereclamation of sodic soil and growth of rice and wheat plants. *J. Agric. Water Manage.* 20: 163-171.
33. Smart, M.K. 2003. Effect of long term irrigation with reclaimed water on soils of the northern Adelaide plains. *Aust. J. Soil Res.* Pp: 1-16.
34. Sposito, G., and Mattigod, S.V. 1977. On the chemical foundation of the sodium adsorption ratio. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 2. 323-329.
35. Vadyaniana, A.F., and Rio, P.K. 1974. Changes in aggregates status of saline sodic soil after their reclamation by different methods. *Vest. Mask. Univ. Ser. 6 Boil. Pochroned.* 29: 111-117.
36. Valzano, F.P., Greene, R.S.B., Murphy, B.W., Rengasamy, P., and Jarwal, S.D. 2001. Effects of gypsum and stubble retention on the chemical and physical properties of asodic grey Vertosol in western Victoria. *Aust. J. Soil Res.* 39: 1333-134.
37. Yazdanpanah, N., and Mahmoodabadi, M. 2011. Time monitoring of leachate quality during reclamation process of saline-sodic soil using soil column. *J. Soil Manage. Sust. Prod.* 1: 1-22.



Comparative effects of chemical amendments on salt leaching from a saline-sodic soil in Kerman under laboratory condition

M. Hosseini Nia¹, F. Hassan Pour², *H. Naghavi³ and F. Abbasi⁴

¹Ph.D. Graduate, Dept. of Water Engineering, University of Zabol, ²Associate Prof., Dept. of Water Engineering, University of Zabol, ³Soil and Water Research Department, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agriculture Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran, ⁴Agricultural Engineering Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Received: 11/16/2014; Accepted: 11/15/2015

Abstract

Background and Objectives: Most of lands in Kerman province are become saline and sodic, due to large amounts of salts in irrigation water sources. This is considered as one of the major limitations in the production of horticultural crops especially pistachio in recent years. The target of this study was investigation of the effect of different amendments of saline-sodic soil amelioration.

Materials and Methods: The effect of four treatments consist of irrigation water (control), gypsum, saturated gypsum and sulfuric acid was conducted four times in the laboratory condition based on CRD, using the soil column. Columns leaching was carried out intermittently and twice as much as the depth of the soil. Gypsum powder was completely mixed with the surface soil before starting leaching. Sulfuric acid and saturated gypsum were solved in irrigation water in separate containers.

Results: Changes in solute salt in drainage water from soil columns showed that the maximum amount of salts were removed from soil columns in the beginning of leaching and by continuing leaching process, reduced nonlinear to the constant concentration. There was no significant difference between gypsum and saturated gypsum treatments in sodium leaching and these methods reduced the efficiency of leaching up to 30-40 percent. In the contrary, in presence of sulfuric acid the amount of sodium leached out of soil profile almost equaled that of the control treatment. Among all treatments, control treatment removed less amount of calcium and there for its remaining amount of calcium in the soil was more than other treatments. While in control treatment the amount of total removed salt was the highest. During leaching process, SAR changes in drainage water largely reflected the sodium changes and irrigation water compared to other treatments, as a control treatment with the highest amount of sodium removal, had the highest drainage water of SAR.

Conclusion: Due to the great reduction in total salt, sodium leaching and no significant difference between control treatment's pH and others treatment's pH, it could be concluded that using irrigation water without application of amendments, plus considering economic issues, was a suitable strategy in successfully reducing both salinity and sodicity of the soil profile. On the other hand, due to the problem of water crisis in this region and removal of about 75% and 50% salts and sodium respectively at the beginning of leaching, irrigation water up to 1.1 times of soil depth can be recommended for the leaching of soluble salt from soil profile in this study area.

Keywords: Saline-sodic soil, Leachate, Sulfuric acid, Gypsum

* Corresponding Author; Email: naghavii@gmail.com