

تاثیر آبشویی با شرایط مختلف بر کیفیت زه‌آب خروجی از ستون‌های خاک شور و آهکی

محدثه حسینی‌نیا^۱، فرزاد حسن‌پور^۲، هرمزد نقوی^۳، فریبرز عباسی^۴، شهریار باستانی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۱۲

چکیده

شوری خاک یکی از مهم‌ترین عواملی است که باعث کاهش چشم‌گیر بهره‌وری محصول در باغات پسته در استان کرمان شده است. در این پژوهش، با استفاده از ستون‌های خاک آزمایشگاهی، تاثیر استفاده از مواد اصلاح‌کننده مختلف بر احیای یک خاک شور آهکی بررسی شد. تیمارها شامل: الف) آب آبیاری، ب) آب آبیاری + گچ مخلوط شده با خاک سطحی و ج) گچ محلول در آب و همچنین ج) اسید سولفوریک رقیق شده بود. آبشویی خاک بصورت متناوب و تا ۲ برابر حجم منفذی ستون خاک (PVs) انجام شد. بر اساس نتایج، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف در میزان کاتیون‌ها و EC زهاب خروجی از ستون‌های خاک مشاهده نشد. کاربرد ۱/۵ حجم منفذی از آب آبیاری منجر به آبشویی ۶۰ درصد سدیم، ۷۰ درصد منیزیم و ۷۰ درصد از کل نمک‌های محلول از ستون خاک گردید. میزان کلسیم خارج شده از خاک بسیار اندک بوده و تنها ۴ درصد از کل کلسیم تجمع یافته از خاک توسط ۲ حجم منفذی از آب آبیاری از ستون خاک خارج شد. در مقایسه با تیمار آب آبیاری، استفاده از مواد شیمیایی اصلاح‌کننده در بهبود سرعت نفوذ نیز موثر نبود. بنابراین، در کاربردهای عملی، با توجه به میزان آب مورد نیاز برای خروج املاح از ۱ تا ۱/۵ حجم منفذی، و با در نظر گرفتن کاهش موثر میزان سدیم، منیزیم، EC و هزینه‌های اصلاح و آبشویی، می‌توان کاربرد ۱ حجم منفذی از آب آبیاری را بعنوان استراتژی مناسب برای اصلاح خاک مورد مطالعه توصیه نمود.

واژه‌های کلیدی: آب آبیاری، اسیدسولفوریک، زه‌آب، گچ، گچ محلول.

^۱ دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران_ کرمان، خیابان میرزاآقاخان، ۰۹۱۳۱۹۵۹۹۴۳ (مسئول مکاتبه) m.hosseinyinia@uoz.ac.ir

^۲ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران، ۰۹۱۵۱۴۴۴۷۴ hassanpourir@uoz.ac.ir

^۳ استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، کرمان، ایران، ۰۹۱۳۳۴۱۶۲۹۸ naghavii@yahoo.com

^۴ استادیار پژوهشی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، ۰۹۱۲۵۶۰۳۴۳۸ fariborzabbasi@ymail.com

^۵ استادیار پژوهشی، موسسه پژوهشی آب و توسعه پایدار فلات، کرمان، ایران، ۰۹۱۳۴۴۱۵۵۳۴ bastani1958@gmail.com

مقدمه

شوری یکی از عوامل بسیار مخرب زیست محیطی است که بر میزان بهره‌وری محصولات کشاورزی اثر محدودکننده دارد. سالانه هزینه خسارات ناشی از شوری به بخش کشاورزی به‌طور محافظه‌کارانه حدود ۱۲ میلیارد دلار تخمین زده شده است (Ghassemi et al., 1995). در ایران نیز تقریباً نیمی از کل اراضی قابل کشت متأثر از درصدهای مختلف شوری بوده که تأثیر عمده‌ای بر میزان عملکرد در واحد سطح گذاشته است. این مسئله سالانه منجر به کاهش بیش از ۱ میلیارد دلار درآمد اقتصادی شده است (Qadir et al., 2008).

پسته یکی از مهم‌ترین محصولات باغی کشور است که مسائل مربوط به شوری آب و خاک شدیداً بر تولید این محصول اثر منفی داشته است. در مطالعه انجام شده توسط Ferguson et al. (2010) حد آستانه تحمل شوری برای درخت پسته ۴ دسی زیمنس بر متر گزارش شده است که به ازای هر یک واحد افزایش شوری خاک از حد آستانه، میزان عملکرد ۸/۴ درصد کاهش می‌یابد.

استان کرمان با در اختیار داشتن ۶۶ درصد سطح بارور پسته، مرکز اصلی تولید پسته در ایران می‌باشد. این در حالی است که در سال‌های اخیر، خشکسالی‌ها، مسائل مربوط به بحران آب همراه با برداشت بی‌رویه آب از سفره‌های ذخیره زیرزمینی منجر به کاهش کمی و کیفی منابع آب‌های کشاورزی و شور شدن خاک و متعاقباً کاهش عملکرد بسیاری از باغ‌های پسته در این استان شده است (Nooghi and Mozafari 2012; Mahmoodabadiet al., 2013).

این در حالی است که افزایش عملکرد محصول در خاک‌های شور با کاربرد روش‌های مناسب آبخوبی و اصلاح خاک امکان‌پذیر می‌باشد (Prapagar et al., 2012). بر این اساس، در بسیاری از پژوهش‌ها (Reeve et al., 1957; Van der Molen 1956; Hoffman 1980; Abrol et al., 1988) کاربرد عمیق متفاوت از آب جهت آبخوبی املاح محلول از خاک اشاره شده است که این میزان آب

متناسب با درجه شوری خاک، خصوصیات و عمقی از خاک که نیاز به اصلاح دارد، تعیین می‌گردد.

از سوی دیگر در برخی خاک‌ها آبخوبی بدون کاربرد مواد اصلاح‌کننده منجر به سدیمی شدن خاک شده و متعاقباً ساختار خاک تخریب می‌گردد (Khosla et al., 1979). برای اصلاح این خاک‌ها باید همزمان املاح کلسیم جایگزین سدیم تبادلی شده و سدیم جایگزین شده با آبخوبی از ناحیه ریشه و نیم‌رخ خاک خارج شود.

در اغلب نقاط جهان گچ و اسیدسولفوریک (Overstreet et al. 1951; Chand et al. 1977; Prather et al. 1978; Miyamoto and Stroehlein, 1986; Mace and Amrhein 2001; Amezketa et al., 2005; Mahmoodabadiet al., 2013) بعنوان دو ماده اصلاح‌کننده رایج برای اصلاح خاک می‌باشند. گچ دارای حلالیت متوسط بوده و به دلیل قیمت کم و قابل دسترس بودن، به‌طور گسترده استفاده می‌شود (Gharai beh et al., 2009). 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 و به مجموع کاتیون‌های خاک اضافه می‌شود. استفاده از مواد اصلاح‌کننده اسیدی مانند اسیدسولفوریک نیز می‌تواند برای تسریع حلالیت آهک و اصلاح خاک‌های آهکی مؤثر باشد. در این خاک‌ها کرنات کلسیم به آرامی حل شده و کلسیم را برای فرایند اصلاح این خاک‌ها عرضه می‌کند (Oster et al., 1996).

بنابراین، از آنجاییکه بیشتر منابع آب در دسترس برای آبیاری، شور و دارای کیفیت نامناسب هستند، این احتمال وجود دارد که در آینده مشکلات شوری و سدیمی شدن باغات پسته کرمان افزایش یابد. این در حالی است که تاکنون مطالعات اندکی در خصوص نحوه اصلاح و آبخوبی این خاک‌ها صورت گرفته است. از این‌رو، در این پژوهش با مطالعه کیفیت زهاب خروجی از ستون‌های خاک جمع‌آوری شده از یک باغ پسته در شهر کرمان، تأثیر اصلاح‌کننده‌های گچ پودری، گچ محلول در آب، اسیدسولفوریک رقیق شده

مطابق با اندازه‌گیری‌های انجام شده (جدول ۱) خاک مورد مطالعه در این تحقیق شنی لومی بوده که با توجه به مقدار درجه شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و مقدار ۲۰/۸۵ درصد آهک، شور و آهکی می‌باشد. از سوی دیگر با توجه به حد آستانه تحمل شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر برای درخت پسته، این میزان شوری بر کاهش عملکرد محصول نقش بسزایی داشته است.

تهیه ستون‌های آزمایشگاهی

در تهیه ستون‌های آزمایشگاهی، از استوانه‌های پلی‌اتیلن (PVC) با قطر ۱۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. سلیندرها از بالا باز بوده و از پایین برای تسهیل در خروج زه‌آب و جلوگیری از عبور ذرات خاک، با صفحات سوراخدار پلی‌اتیلن و فیلتر بسته شدند. برای اندازه‌گیری سرعت نفوذ در بدنه خارجی سلیندرها و در ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متری از انتهای سلیندر پی‌زومتر نصب گردید، سپس سلیندرها تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری به فواصل لایه‌های ۲۰ سانتی‌متر متناسب با لایه‌های خاک در مزرعه پر شد. در هر لایه، خاک در مقادیر بسیار کم اضافه شد و سپس متناسب با چگالی ظاهری خاک مزرعه با ضربه‌های یکنواخت کوبیده شد. ستون‌های پر شده از خاک به صورت عمودی بر روی پایه ای فلزی قرار داده شدند و از سطل در زیر هر ستون برای جمع آوری زه‌آب استفاده شد. در فواصل زمانی بین مراحل آبیویی، برای جلوگیری از تبخیر آب از سطح خاک، دهانه ستون‌های خاک با نایلون پلاستیکی مسدود شد و از قیف برای کاهش تبخیر از دهانه سطل‌های جمع‌آوری زه‌آب استفاده شد.

آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی و در چهار تکرار انجام شد. تیمارها شامل:

۱- تیمار آب آبیاری (شاهد): آبیویی با استفاده از منبع آب موجود در مزرعه برای آبیاری و بدون کاربرد ماده اصلاح کننده؛

و آب آبیاری مزرعه بر اصلاح خاک شور و آهکی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

خاک مورد مطالعه

برای انجام آزمایش‌های آبیویی از خاک یک باغ پسته واقع در منطقه فتح‌آباد در حومه شهر کرمان نمونه‌برداری شد. پروفیل‌هایی به عمق ۱۲۰ سانتی‌متر حفر گردید و تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری به صورت لایه‌های ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰، ۸۰-۶۰ و ۱۰۰-۸۰ سانتی‌متر، نمونه‌برداری شد. نمونه خاک مربوط به هر لایه به صورت مجزا به آزمایشگاه منتقل گردید و سپس در معرض هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. بافت خاک به روش هیدرومتری، جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه و پارافین و رطوبت در تنش‌های ۰/۳۳ و ۱/۵ مگاپاسکال با استفاده از دستگاه صفحات فشاری تعیین شد. pH و EC خاک بترتیب در گل و عصاره اشباع، میزان کلیسم و منیزیم نیز با استفاده از روش تیتراسیون و سدیم با استفاده از دستگاه فلیم فوتومتر تعیین گردید.

جدول (۱): برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

مورد مطالعه

| مقدار | واحد | خصوصیات خاک |
|-------|---------------------|------------------|
| ۱۶/۴ | % | رس |
| ۳۲/۸ | % | سیلت |
| ۵۰/۸ | % | شن |
| ۱/۵۸ | g cm ⁻³ | چگالی ظاهری |
| ۳۸ | % | FC |
| ۴/۹ | % | PWP |
| ۱۰ | dS m ⁻¹ | EC |
| ۷/۶۵ | - | pH |
| ۱۴۳۵ | mg kg ⁻¹ | Na ⁺ |
| ۶۲۷۰ | mg kg ⁻¹ | Ca ⁺² |
| ۷۳۵ | mg kg ⁻¹ | Mg ⁺² |
| ۲/۳ | - | SAR |
| ۲۰/۸۵ | % | آهک |
| ۲/۸۸ | % | گچ |

جدول (۲): برخی خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده در آزمایش

| مقدار | واحد | خصوصیات آب |
|--------|--------------------|------------------|
| ۲/۵ | dS m^{-1} | EC |
| ۷/۴۲ | - | pH |
| ۳۱۷/۰۱ | mg l^{-1} | Na^+ |
| ۱۱۱/۷ | mg l^{-1} | Ca^{+2} |
| ۸/۱ | mg l^{-1} | Mg^{+2} |
| ۷/۸ | - | SAR |
| ۳۴۹/۱۷ | mg l^{-1} | بیکربنات |
| - | mg l^{-1} | کربنات |

زهاب خروجی از ستون‌ها در چهار بازه زمانی مشخص در طول روز با استفاده از بطری‌های شیشه‌ای با درب پلاستیکی برای اندازه‌گیری EC، میزان کاتیون‌های کلسیم، منیزیم و سدیم جمع‌آوری شد. مقدار آب خارج شده از انتهای هر ستون نیز اندازه‌گیری و بر مبنای حجم آب محاسبه گردید.

تاثیر آبخوبی بر میزان نفوذپذیری

بعد از اتمام آزمایش‌های اصلاح و آبخوبی، تاثیر آبخوبی و کاربرد مواد اصلاح‌کننده مختلف بر میزان نفوذپذیری خاک نیز مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه دوره آبیاری باغ هر ۴۰ روز یکبار می‌باشد. تست میزان نفوذپذیری خاک نیز بعد از ۴۰ روز از اتمام آزمایش‌های آبخوبی انجام شد. بدین منظور مطابق با عمق آب کاربردی برای آبیاری باغ، ۲۰ سانتی‌متر آب بر سطح ستون‌های خاک ریخته شد و سطح آب در بازه‌های زمانی مشخص از طریق پیزومترهای متصل به دیواره سیلندرهای قرائت گردید.

آنالیز داده‌ها

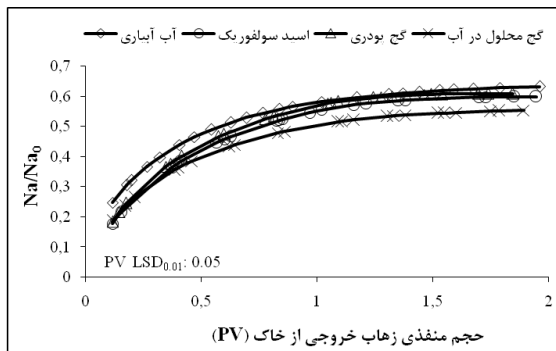
داده‌های بدست آمده در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SPSS20 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) بین تیمارها و پس از آن آزمون LSD برای مقایسه میانگین‌ها در سطح معنی‌داری یک درصد انجام شد.

۲- تیمار گچ مخلوط با سطح خاک: گچ پودری (خلوص ۸۸/۳۸ درصد) به میزان ۲۹/۵۸ تن در هکتار که با ۱۰ سانتی‌متر خاک سطحی داخل سیلندرهای کاملاً مخلوط و سپس آبخوبی با آب آبیاری مزرعه انجام شد؛

۳- تیمار گچ محلول در آب: همانند تیمار گچ پودری که قبل از کاربرد در آب آبیاری حل شده است؛
۴- تیمار اسیدسولفوریک رقیق شده: اسید سولفوریک با خلوص ۹۸ درصد به میزان ۱۷/۷۵ تن در هکتار که از ضرب میزان گچ در فاکتور ۰/۶ بدست آمد. این ضریب بیانگر مقدار اسیدسولفوریک معادل با ۱ تن گچ خالص است. قبل از انجام آبخوبی اسیدسولفوریک با آب مخلوط شد و سپس برای آبخوبی استفاده گردید.

انجام آزمایش‌های آبخوبی

برای آبخوبی ستون‌های خاک از آب آبیاری مزرعه استفاده شد زیرا این آب تنها منبع آب موجود برای انجام عملیات آبخوبی بود. در جدول ۲ برخی ویژگی‌های شیمیایی آب مورد استفاده ذکر شده است. آبخوبی خاک به صورت متناوب به میزان ۱۰۰ میلی‌متر در هر روز انجام شد؛ بگونه‌ای که در طول روز ۵ مرحله و در هر مرحله ۲۰ میلی‌متر آب یا محلول آب و گچ، و یا اسیدسولفوریک رقیق شده به ستون‌ها اضافه شد. بطور کلی مقدار ۱۲۵۰ میلی‌متر آب برای آبخوبی ستون‌های خاک استفاده شد که با کسر ۳۸۰ میلی‌متر ارتفاع آب مورد نیاز برای رسیدن خاک به حالت ظرفیت مزرعه، معادل با ۲ حجم منفذی آب می‌باشد. این میزان آب بر مبنای نتایج بدست آمده از آزمایش‌های اولیه در قالب ستون‌های کوچک ۲۵ سانتی‌متری در شرایط آزمایشگاه تخمین زده شد.



شکل (۱) تاثیر اصلاح کننده‌های مختلف و حجم‌های متفاوت از آب آیشویی (PV) بر خروج نسبی سدیم از خاک (Na/Na_0).

تاثیر اصلاح کننده‌ها بر خروج منیزیم و کلسیم

مشابه با نتایج بدست آمده از سدیم، مواد اصلاح کننده تاثیر معنی‌داری بر خروج کلسیم و منیزیم از خاک نداشتند. اما در مقایسه با میزان سدیم خروجی، با کاربرد حجم بیشتر آب مقدار کاتیون‌های دو ظرفیتی (Ca^{2+} و Mg^{2+}) بیشتری از خاک خارج شده و این تفاوت به ازای حجم‌های خروجی متفاوت همچنان معنی‌دار بود (شکل ۲ و ۳).

بر اساس داده‌های گزارش شده در شکل ۲، بیشترین میزان منیزیم به ازای تیمار آب آبیاری از خاک خارج شده است. با کاربرد $1/5$ حجم منغذی آب آیشویی، حدود ۷۰ درصد از منیزیم موجود در خاک آیشویی شده که با ادامه روند آیشویی تا $PV=2$ میزان منیزیم آیشویی شده ۱۰ درصد افزایش یافت. این نتایج با نتایج آزمایشگاهی ارایه شده توسط Mahmoodabadi et al. (2013) مطابقت داشت. وی عنوان کرد که در مقایسه بین تیمارهای گچ، اسیدسولفوریک و آب در آیشویی املاح محلول، کمترین میزان منیزیم مانده در خاک مربوط به تیمار آب بدون کاربرد مواد اصلاح کننده می‌باشد. منیزیم می‌تواند برای ثبات خاکدانه‌ها، سرعت نفوذپذیری (Keren, 1996) و برخی خصوصیات شیمیایی و بیولوژیک خاک مخرب باشد (Clark et al., 2007).

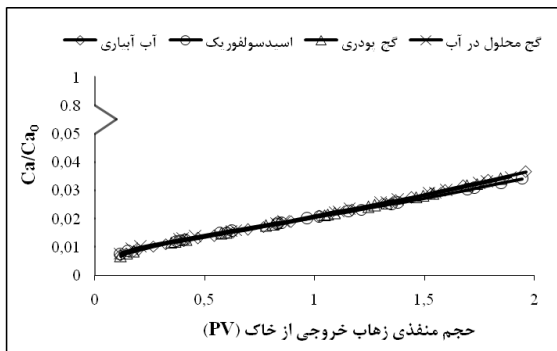
در مقایسه با میزان سدیم و منیزیم خروجی از خاک، میزان کلسیم تجمعی از خاک بسیار اندک بوده

نتایج و بحث

تاثیر اصلاح کننده‌ها بر خروج سدیم

در شکل ۱ منحنی رخنه سدیم برای مواد اصلاح کننده مختلف و آب آبیاری به عنوان تیمار شاهد نشان داده شده است. برای هر چهار تیمار روند مشابهی در تغییرات نسبت سدیم خروجی (Na/Na_0) به حجم‌های منغذی متفاوت (PV) دیده شد. همچنین آنالیزهای آماری نشان داد که بین مواد اصلاح کننده مختلف و آب آبیاری در خروج نسبی سدیم از خاک تفاوت معنی‌داری وجود نداشت در حالیکه بین حجم‌های منغذی کمتر از $1/5$ در تمام تیمارها تفاوت معنی‌دار بود. در تمام تیمارها، نسبت Na/Na_0 با افزایش حجم منغذی تدریجاً افزایش یافته و به ازای حجم‌های منغذی بیشتر از $1/5$ ، تغییرات تقریباً ثابت شده است. علیرغم خروج ۲ حجم منغذی آب آیشویی از ستون خاک، در تمام تیمارها حدود ۶۰ درصد سدیم اولیه در همان ابتدای آزمایش و به ازای حجم منغذی ۱ تا $1/5$ از خاک خارج شده است (شکل ۱). Koo et al. (1990) بیان کردند که بیشترین میزان خروج سدیم از سه بافت خاک متفاوت لومی شنی، شنی لوم و سیلتی لوم بترتیب ۳۲، ۴۲ و ۶۳ درصد می‌باشد. لذا با توجه به بافت خاک منطقه مورد مطالعه، نتیجه بدست آمده از این تحقیق با نتایج بدست آمده توسط Koo et al. (1990) مطابقت دارد.

در مقایسه بین تیمارهای مختلف، بیشترین کمترین میزان سدیم خروجی از خاک بترتیب به ازای تیمار آب آبیاری و گچ محلول در آب بدست آمد. بنابراین، استفاده از آب آبیاری بدون کاربرد مواد اصلاح کننده می‌تواند منجر به کاهش معنی‌دار سدیم خاک گردد. Mace and Amrhein (2001) و Mahmoodabadi et al. (2013) نیز نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند. در آزمایش آنها تاثیر مواد اصلاح کننده مختلف چون اسیدسولفوریک، گچ، مواد آلی و آب بعنوان تیمار شاهد بر اصلاح یک خاک شور و آهکی مورد بررسی قرار گرفت.



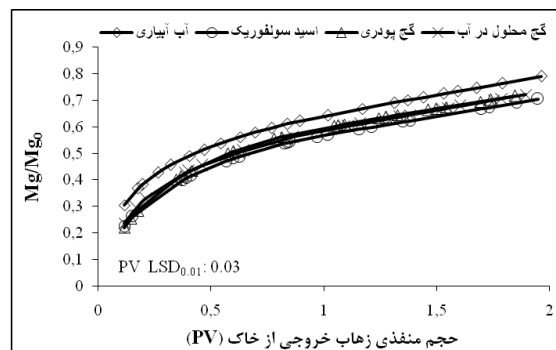
شکل (۳): تاثیر اصلاح‌کننده‌های مختلف و حجم‌های متفاوت از آب آیشویی (PV) بر خروج نسبی کلسیم از خاک (Ca/Ca_0).

خاک منطقه مورد مطالعه با $20/85$ درصد آهک و مقادیر بالای کلسیم محلول (جدول ۱) حاوی مقدار زیاد کلسیم بوده که احتمالاً به‌همراه آب آبیاری مورد استفاده قرار گرفته و با سدیم تبادلی جایگزین شده است. محققین بسیاری (Rhoades et al., 1968; Oster and Shainberg, 1979; Shainberg et al., 1982) دریافتند که خاک‌های آهکی پتانسیل بالایی در آزاد کردن مقادیر قابل ملاحظه‌ای کلسیم از کانی‌های اولیه و آهک موجود در خاک در حین فرایند آیشویی دارند تا با سدیم تبادلی جایگزین شود. در این حالت، آیشویی خاک بدون کاربرد مواد اصلاح‌کننده موثرترین روش خواهد بود. بر طبق مطالعات انجام شده توسط Amezketta et al. (2005) و Mahmoodabadi et al. (2013)، با اضافه کردن گچ و اسیدسولفوریک به خاک آهکی، تاثیر کاربرد مواد اصلاح‌کننده به دلیل اثر یون مشترک Ca^{2+} و غلظت بالای SO_4^{2-} ، کاهش می‌یابد. لذا در این شرایط آیشویی بدون کاربرد مواد اصلاح‌کننده بدلیل سادگی و کم هزینه بودن توصیه می‌گردد.

تاثیر تیمار آب آبیاری بر آیشویی کاتیون‌ها

شکل ۴ غلظت کاتیون‌های موجود در زهاب خروجی را به ازای حجم‌های منفذی متفاوت از آب آبیاری نشان می‌دهد. مطابق با این شکل، بیشترین غلظت کاتیون خروجی مربوط به سدیم بوده بطوریکه بعد از کاربرد $1/5$ حجم منفذی از آب آبیاری، غلظت

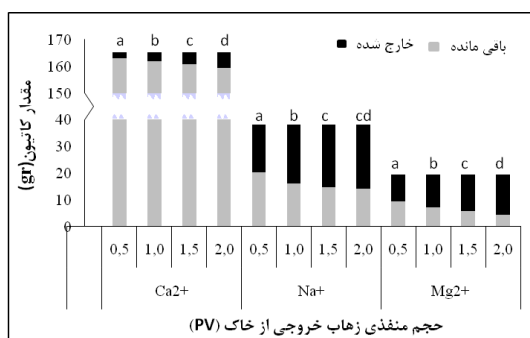
و فقط ۴ درصد از کل کلسیم موجود در خاک تا حجم منفذی ۲ از خاک خارج شده است (شکل ۳). این مسئله ممکن است به دلیل جانشینی بیشتر کلسیم با سدیم تبادلی و آیشویی بیشتر سدیم از خاک در طی فرایند آیشویی باشد (شکل ۱). نتایج همچنین نشان داد که بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری در آیشویی کلسیم از خاک وجود ندارد و مواد اصلاح‌کننده تاثیری مشابه با آب آبیاری در خروج کلسیم از خاک داشته‌اند (شکل ۳). این نتیجه متفاوت از نتایج بدست آمده در اصلاح خاک‌های سدیمی آهکی می‌باشد. مطابق با نتایج تحقیقات انجام شده، در این خاک‌ها اسید سولفوریک بسیار موثرتر از گچ بوده است (Overstreet et al., 1951; Prather et al., 1978). این در حالی است که در مطالعات انجام شده توسط Miyamoto and Stroehlein و Chand et al. (1977) هیچ تفاوت معنی‌داری بین اسیدسولفوریک و گچ در آیشویی کلسیم از خاک گزارش نشده است.



شکل (۴): تاثیر اصلاح‌کننده‌های مختلف و حجم‌های متفاوت از آب آیشویی (PV) بر خروج نسبی منیزیم از خاک (Mg/Mg_0).

سال ششم • شماره بیست و چهارم • تابستان ۱۳۹۵

از آب آشوبی، با توجه به مسئله کمبود آب در منطقه و کارایی اندک در آشوبی املاح باقی مانده توصیه نمی‌گردد. زیرا افزایش میزان آب از ۱ به ۲ حجم منفذی، تنها ۱۵ درصد بر آشوبی منیزیم از خاک تاثیر گذاشته و بر آشوبی کلسیم و سدیم از خاک تاثیر اندکی داشته است. لذا بر طبق نتایج بدست آمده، خروج یک حجم منفذی از آب آبیاری می‌تواند برای کاهش کاتیون‌های مضر از خاک منطقه مورد مطالعه، موثر باشد.

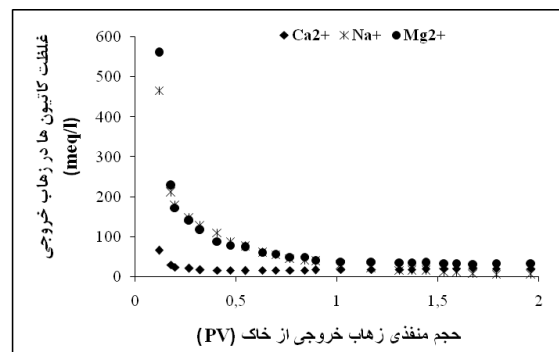


شکل (۵): مقدار تجمعی کاتیون‌های خارج شده از خاک و باقی مانده در خاک بعد از کاربرد چهار حجم منفذی از آب آشوبی.

تاثیر اصلاح‌کننده‌ها بر آشوبی نمک‌های محلول

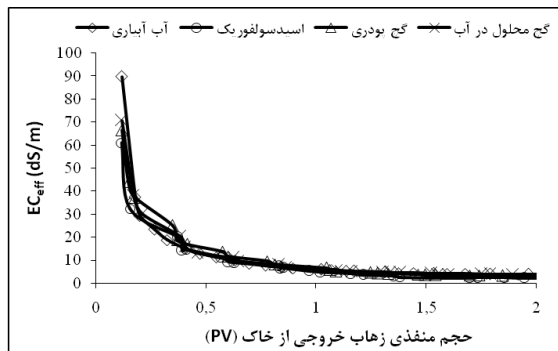
ارتباط بین هدایت الکتریکی زهاب خروجی از ستون‌های خاک (EC_{eff}) در حجم‌های منفذی متفاوت برای تیمارهای مختلف، در شکل ۶ نشان داده شده است. بیشترین میزان املاح در همان ابتدای آزمایش از خاک خارج شده و با ادامه روند آشوبی میزان خروج املاح تقریباً ثابت مانده است. این در حالی است که تیمارهای مختلف بر خروج املاح از خاک تاثیر معنی‌داری نداشته‌اند. با این وجود، تیمار آب آبیاری در مقایسه با تیمارهای گچ پودری، محلول در آب و اسیدسولفوریک رقیق شده، بیشترین میزان املاح محلول را از خاک خارج کرده است. بعد از کاربرد ۱/۵ حجم منفذی از آب آشوبی، میزان هدایت الکتریکی زهاب برای تیمار آب آبیاری از ۹۰ به ۴/۱ و برای سایر تیمارها از حدود ۷۰ به تقریباً ۳ دسی‌زیمنس بر متر، کاهش یافت. این مسئله ممکن است به دلیل خروج

سدیم به ۱۱ میلی‌اکی‌والان در لیتر کاهش یافته است. در حالی‌که با کاربرد این حجم از آب، غلظت کاتیون‌های منیزیم و کلسیم بترتیب به ۳۲ و ۱۹ میلی‌اکی‌والان در لیتر رسیده و با ادامه فرایند آشوبی، مقدار خروج املاح از خاک بشدت کاهش یافت است.

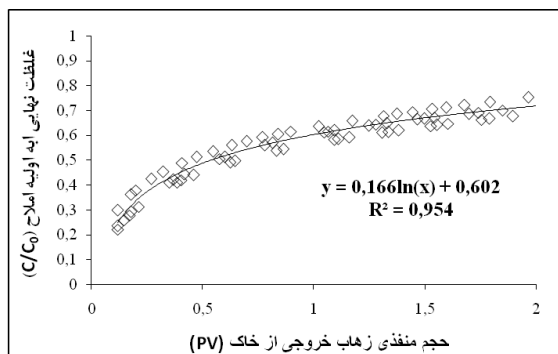


شکل (۴): تاثیر کاربرد حجم‌های متفاوت آب آشوبی (PV) بر خروج کاتیون‌ها از خاک برای تیمار آب آبیاری

مقدار تجمعی کاتیون‌های خارج شده از انتهای ستون‌ها و باقی مانده در خاک (بر حسب گرم) بعد از کاربرد چهار حجم منفذی از آب آشوبی (۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲) در شکل ۵ نشان داده شده است. قبل و بعد از اجرای آشوبی کلسیم، کاتیون غالب در خاک بوده و با ادامه روند آشوبی مقدار خروج این کاتیون بسیار اندک و حدود ۴/۵ گرم بوده است. خروج کمتر کلسیم از خاک به ثبات و پایداری خاکدانه‌ها بعد از فرایند آشوبی کمک خواهد کرد. بعد از کلسیم، سدیم و سپس منیزیم کاتیون غالب در خاک بوده که فرایند آشوبی منجر به کاهش قابل ملاحظه‌ای در میزان خروج این کاتیون‌ها از خاک شده است. مقدار تجمعی سدیم آشوبی شده تا حجم منفذی یک، حدود ۲۲ گرم بوده که ادامه روند آشوبی بر میزان سدیم خروجی از خاک معنی‌داری نبود. این در حالی است که، تغییرات مقدار منیزیم خروجی از خاک در حجم‌های منفذی متفاوت همچنان معنی‌داری بوده و در حجم منفذی ۱، حدود ۱۳ گرم و برای حجم منفذی ۲، حدود ۱۵ گرم منیزیم از خاک خارج شده است. از سوی دیگر کاربرد بیشتر از یک حجم منفذی



شکل (۶): تاثیر تیمارهای مختلف بر هدایت الکتریکی زهاب خروجی از خاک (EC_{eff}) در حجم منفذی‌های متفاوت



شکل (۷): تاثیر حجم‌های متفاوت از آب آبیاری (PV) بر حذف نمک‌های محلول از خاک (C/C_0)

تاثیر کاربرد اصلاح‌کننده‌ها بر سرعت نفوذپذیری خاک

شکل ۸ سرعت نفوذ (mmhr^{-1}) را بصورت تابعی از زمان تجمعی (hr) برای خاک تیمار شده با تیمارهای آب آبیاری، گچ پودری و محلول در آب و اسیدسولفوریک رقیق شده نشان می‌دهد. سرعت نفوذ پس از یک ساعت از شروع آزمایش، به شدت کاهش یافت و حدوداً بعد از ۱۰ ساعت به مقدار نهایی ثابتی رسید. سرعت نفوذ خاک برای تیمار اسیدسولفوریک از ۱۴ به ۳/۳، برای تیمار گچ پودری و محلول در آب بترتیب از ۱۲ و ۲۴ به ۲/۹ و برای تیمار آب آبیاری از ۲۳/۳ به ۶ میلی‌متر در ساعت کاهش یافت. بنابراین، میانگین سرعت نفوذ برای خاک تیمار شده بصورت، آب آبیاری < گچ محلول در آب < اسیدسولفوریک رقیق شده < گچ پودری بود. کاربرد مواد اصلاح‌کننده اسیدسولفوریک، گچ پودری و محلول در آب در

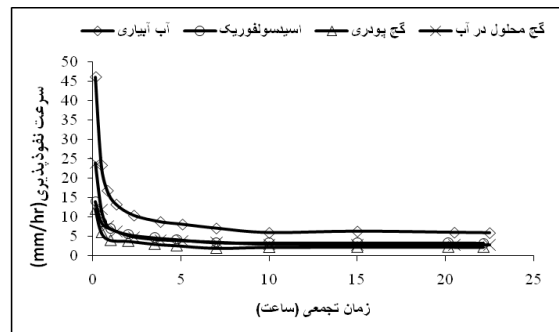
بیشتر سدیم و منیزیم به ازای کاربرد تیمار آب آبیاری نسبت به سایر تیمارها باشد که به نوبه خود بر میزان هدایت الکتریکی زهاب نیز تاثیر گذاشته است.

برای تعیین میزان حجم آب موردنیاز برای آبیاری موثر املاح از خاک، نسبت غلظت نهایی املاح به غلظت اولیه املاح (C/C_0) بعنوان تابعی از حجم منفذی در شکل ۷ نشان داده شده است. تابع آبیاری خاک مورد مطالعه، تابع لگاریتمی با معادله $[C/C_0 = 0.66 \ln(PV) + 0.602]$ بوده که با ضریب همبستگی بالای $R^2 = 0.954$ بهترین برازش را با داده‌های بدست آمده داشت. بنابراین بر اساس شکل و یا معادله مستخرج، برای آبیاری ۶۵ درصد املاح از ۱۰۰ سانتی‌متر خاک به ۱ حجم منفذی آب نیاز می‌باشد و با ادامه روند آبیاری، درصد املاح خروجی از خاک بشدت کاهش می‌یابد. بنابراین، با توجه به مقدار آب موردنیاز برای آبیاری و مقدار باقی‌مانده املاح، ادامه روند آبیاری توصیه نمی‌گردد. Hendrikus Barnard et al. (2010) بیان کردند که در اهداف عملی با توجه به ماهیت پویای خاک، آبیاری ۱۰۰ درصد نمک‌های محلول از خاک ممکن نیست. این نتیجه با نتایج گزارش شده توسط بسیاری از محققین مشابه است. Hoffman (1980)، Abrol et al. (1988) و Reeve et al. (1957) عنوان کردند که برای حذف ۷۰-۸۰ درصد املاح از خاک، به عمق آبی معادل با عمق خاک نیاز می‌باشد. همچنین Van der Molen (1956) گزارش کرد که با کاربرد یک حجم منفذی آب آبیاری می‌توان ۵۰ درصد کلرید را از خاک خارج نمود.

اصلاح‌کننده بعنوان موثرترین روش عنوان گردید. استفاده از حجم‌های مختلف آب، منجر به آشوبی مقادیر زیاد سدیم و منیزیم از خاک گردید. با کاربرد ۱/۵ حجم منفذی از آب آبیاری بترتیب حدود ۶۰ و ۷۰ درصد از سدیم و منیزیم محلول از ستون خاک خارج شد و با افزایش میزان آب تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای در خروج این کاتیون‌ها مشاهده نشد. این در حالی است که، با ادامه روند آشوبی، کلسیم همچنان کاتیون غالب در خاک بوده و لذا منجر به ثبات خاکدانه‌ها خواهد شد. معادله آشوبی خاک نیز بصورت

تابع لگاریتمی $[C/C_0 = 0.66 \ln(PV) + 0.602]$ بوده که بر مبنای آن جهت آشوبی ۶۵ درصد از نمک‌های محلول از ۱۰۰ سانتی‌متری خاک به ۱ حجم منفذی آب نیاز می‌باشد. ادامه روند آشوبی با توجه به مقادیر آب موردنیاز برای شستشوی نمک‌های باقی‌مانده، توصیه نمی‌گردد. میانگین سرعت نفوذ برای خاک تیمار شده با آب آبیاری < گچ محلول در آب > اسیدسولفوریک رقیق شده < گچ پودری بود. استفاده از اسیدسولفوریک، گچ پودری و محلول در آب نسبت به تیمار آب آبیاری منجر به افزایش میزان نفوذپذیری نگردید. این نتایج می‌تواند به دلیلی اثر آنتاگونیستی بین کلسیت موجود در خاک و مواد اصلاح‌کننده باشد. از سوی دیگر، افزایش میزان آب از ۱ به ۱/۵ حجم منفذی تاثیر جزئی در خروج کاتیون‌های مضر سدیم و منیزیم داشته و تنها منجر به خروج ۶ و ۱۲ درصدی بیشتر این کاتیون‌ها از خاک گردید. لذا، با توجه به پتانسیل بالای آب آبیاری در کاهش میزان سدیم، منیزیم و کل نمک‌های محلول و همچنین با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی و بحران آب موجود در منطقه، کاربرد ۱ حجم منفذی از آب آبیاری بدون استفاده از هر ماده اصلاح‌کننده‌ای، می‌تواند به عنوان یک روش اصلاح موثر برای این منطقه توصیه گردد. پژوهش‌های بیشتری نیز برای مقایسه نتایج به دست آمده تحت شرایط مزرعه مورد نیاز می‌باشد.

مقایسه با آب آبیاری موجب کاهش نفوذپذیری خاک گردید. این مسئله شاید به دلیل اثرات کمتر تیمارهای آب آبیاری و گچ محلول در آب بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در مقایسه با تیمارهای گچ پودری و اسیدسولفوریک باشد. اسیدسولفوریک احتمالا موجب تخریب ساختار خاک شده و گچ پودری هم با مسدود کردن برخی از منافذ خاک موجب کاهش نفوذپذیری گردیده است که در این زمینه نتایج مشابهی نیز توسط Miyamoto and Stroehlein (1986) گزارش شده است.



شکل (۸): تاثیر آشوبی با آب و مواد اصلاح‌کننده بر سرعت نفوذ

بنابراین نرخ کاهش سرعت نفوذ آب در خاک تیمار شده با گچ پودری و اسیدسولفوریک کمتر از دو تیمار دیگر بود. احتمالا همین فرایند در طول زمان برای خاک تیمار شده با گچ محلول در آب رخ داده که منجر به کاهش نفوذپذیری آن نسبت به خاک تیمار شده با آب آبیاری بدون کاربرد مواد اصلاح‌کننده گردیده است.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، تاثیر اصلاح‌کننده‌های گچ پودری، گچ محلول در آب، اسیدسولفوریک رقیق شده و آب آبیاری مزرعه بر اصلاح خاک شور و آهکی مورد ارزیابی قرار گرفت. تفاوت معنی‌داری بین مواد اصلاح‌کننده و تیمار آب آبیاری در خروج سدیم، کلسیم و منیزیم از ستون‌های خاک مشاهده نشد. در این حالت، آشوبی به تنهایی و بدون کاربرد مواد

تقدیر و تشکر

این پژوهش با پشتیبانی و حمایت موسسه پژوهشی آب و توسعه پایدار فلات به انجام رسیده است که بدین وسیله تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

منابع

Abrol, I. P., J. S. P. Yadav, and F. I. Massoud. 1988. Salt-affected soils and their management. Soil resources management and conservation services FAO land and water development division. FAO Soils Bulletin 39.

Amezketta, E., R. Aragues and R. Gazol. 2005. Efficiency of sulfuric acid, mined gypsum and two gypsum by-products in soil crusting prevention and sodic soil reclamation. *Agronomy Journal* 97: 983-989.

Barnard, J. H., L. D. van Rensburg and A. T. P. Bennie. 2010. Leaching irrigated saline sandy to sandy loam apedal soils with water of a constant salinity. *Irrigation Science* 28: 191-201.

Chand, M., I. P. Abrol and D.R. Bhumbla. 1977. A comparison of the effect of eight amendments on soil properties and crop growth in a highly sodic soil. *Indian Journal of Agricultural Science* 47: 348-354.

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 18-20 March 2001, Dubai, United Arab Emirates. In: Taha, F.K, S. Ismail and A. Jaradat. (ed) Amherst Scientific Publishers. Amherst, MA, pp 399-412.

Clark, G. J., N. 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.

Ferguson, L., Sanden, B., and Grattan, G. 2010. Understanding the effects of salinity on pistachios. Annual statewide pistachio day presentation. Fruit & nut research and information center.

Gharaibeh, M. A., N. I. Eltaif and O. F. Shunnar. 2009. Leaching and reclamation of calcareous saline-sodic soil by moderately saline and moderate SAR water using gypsum and calcium chloride. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(5): 713-719.

Ghassemi, F., A. J. Jakeman and H. A. Nix. 1995. Salinisation of land and water resources: human causes, extent, management and case studies, 544 p. Australia: University of New South Wales Press, Ltd., Canberra, Australia, 544 p.

Hendrikus Barnard, J., L. D. van Rensburg and a. I. Peter Bennie. 2010. Leaching irrigated saline sandy to sandy loam apedal soils with water of a constant salinity. *Irrig Science*. 28: 191-201.

Hoffman, G. J. 1980. Irrigation management-salinity control. American Society Agricultural Engineering Proceeding 2nd Natl. Irrigation Symposium, Lincoln, Nebraska Center for Continuing Education, 166-174.

Keren, R. 1996. Reclamation of sodic-affected soils. In: Agassi M (ed) Soil erosion, conservation and rehabilitation. Marcel Dekker Inc, New York, pp 353-374.

Khosla, B. K., R. K. Gupta and I. P. Abrol. 1979. Salt leaching and the effect of gypsum application in a Saline-sodic soil. *Agricultural Water Management* 2: 193-202.

Koo, J. W., R. J. Edling and V. Taylor. 1990. A laboratory reclamation study for sodic soils used for rice production. *Agricultural Water Management* 18: 243-252.

Mace, J.E. and C. Amrhein. 2001. Leaching and reclamation of a soil irrigated with moderate SAR waters. *Soil Science Society of America Journal* 65: 199-204.

Mahmoodabadi, M., N. Yazdanpanah, R. L. Sinobasc, E. Pazirad and A. Neshat. 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.

Miyamoto, S. and J. L. Stroehlein. 1986. Sulfuric acid effects on water in infiltration and chemical properties of alkaline soils and water. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 29:1288- 1296.

Nooghi, F. H. and V. Mozafari. 2012. Effects of calcium on eliminating the negative effects of salinity in pistachio (*Pistacia vera* L.) seedlings. *Australian journal of crop science* 6(4): 711-716.

Oster, J. D. and I. Shainberg. 1979. Exchangeable cation hydrolysis and soil weathering as affected by exchangeable sodium. *Soil Science Society of America Journal* 43: 70-75.

Oster, J. D., I. Shainberg and I. P. Abrol. 1996. Reclamation of salt-affected soil. In: Agassi, M. (ed), *Soil erosion, Conservation and Rehabilitation*. Marcel Dekker Inc, New York, pp 315-352.

Overstreet, R., J. C. Martin and H. M. King. 1951. Gypsum, sulfur and sulfuric acid for reclaiming an alkali soil of the Fresno series. *Hilgardia* 21: 113.

Prapagar, K., S. P. Indraratne and P. Premanandharajah. 2012. Effect of soil amendments on reclamation of saline-sodic soil. *Tropical Agricultural Research* 23 (2): 168-176.

Prather, R. J., J. O. Goertzen, J. D. Rhoades and H. Frenkel. 1978. Efficient amendment use in sodic soil reclamation. *Soil Science Society of America Journal* 42: 782.

Qadir, M., A. S. Qureshi and S. A. M. Cheraghi. 2008. Extent and characterization of salt-affected soils in Iran and strategies for their amelioration and management. *Land degradation development*, 19: 214-227.

Reeve, R. C. 1957. The relation to salinity to irrigation and drainage requirements. In: 3rd Congress on irrigation and drainage 5: 175-187.

Rhoades, J. D., D. B. Krueger and M. J. Reed. 1968. The effect of soil-mineral weathering on the sodium hazard of irrigation waters. *Soil Science Society of America Proceedings* 32: 643-647.

Shainberg, I., R. Keren and H. Frenke. 1982. Response of sodic soils to gypsum and calcium chloride application. *Soil Science Society of America Journal* 46: 113-117.

Van der Molen, W. H. 1956. Desalinization of saline soils as a column process. *Soil Science* 81:19-27.

The effect of leaching with different condition on effluent quality removed from calcareous saline soil columns

Mohadeseh Hosseininia¹, Farzad Hassanpour², Hormazd Naghavi³, Fariborz Abbasi⁴, Shahryar Bastani⁵

Abstract

Soil salinity is one of the most important factor which causing a considerable decrease in crop productivity of pistachio orchards in Kerman. In this research, the effects of applying different amendments on reclamation of a saline calcareous soil was investigated by using experimental soil columns. Treatments included: a) irrigation water, b) irrigation water + gypsum mixed with soil surface, and c) dissolved gypsum as well as d) sulfuric acid application. Leaching was done intermittently and 2 pore volumes (PVs) were allowed to pass through the soil columns. Based on the results, no significant difference was observed in the concentration of cations as well as EC among different treatments. Application of 1.5 PVs of irrigation water, removed 60% of the total sodium, 70% of magnesium and 70% of soluble salts from the soil column. The cumulative leached Ca^{2+} caused by 2 PVs was very small, accounted for about 4 percentage of total content of Ca^{2+} . Application of chemical amendments was not significant on infiltration rate as compared to irrigation water. In terms of water requirement for salt removal from 1 to 1.5 pore volumes, it is recommended that 1 pore volume of irrigation water which efficiently reduced soil sodium and magnesium concentration, soil EC and costs, is the suitable strategy for practical reclamation of the studied soil.

Keywords: Dissolved gypsum, Effluent, Gypsum, Irrigation water, Sulfuric acid.

¹ PhD student, Department of Water Engineering, Faculty of water and soil, Zabol University, Zabol, Iran; Email: m.hosseinynia@uoz.ac.ir.

² Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of water and soil, Zabol University, Zabol, Iran; Email: hassanpourir@uoz.ac.ir

³ Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Kerman, Iran; Email: naghavii@yahoo.com

⁴ Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and extension Organization, Karaj, Iran; Email: fariborzabbasi@ymail.com

⁵ Assistant Professor, Research Institute for Water and Sustainable Development of Plateau, Kerman, Iran; Email: bastani1958@gmail.com