

## Saline-Sodic Soil Leaching Assessment Using Different Amendments under Laboratory Condition

ALI KOULAIAN<sup>1\*</sup>, MOJTABA KHOSHRAVESH<sup>2</sup>

1. M.Sc. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran  
(Received: Nov. 21, 2017- Revised: March. 14, 2018- Accepted: Apr. 18, 2018)

### ABSTRACT

One of the common problems in arid and semi-arid regions of the country is the presence of saline and sodic soils. Therefore, water and soil management is one of the key issues in supplying the food for growing population of the country. In this study, the effect of different treatments on chemical properties of the soil was investigated to reclaim the saline and sodic soils in Azaranegin, Tabriz. Treatments included sulfuric acid, iron sulfate, sulfur and irrigation water as a control. Also, the amount of amendment materials was investigated. The amendment materials were added to the soil with the rate of 10% and 20%, separately. The results showed that the application of sulfuric acid reduced the amount of Exchangeable Sodium Percentage (ESP) and the Sodium Adsorption Ratio (SAR) to less than 60% and 45%, respectively. On the other hand, the results showed that the application of sulfuric acid and iron sulfate reduced the ESP, SAR and EC<sub>e</sub> values significantly. However, in the case of sulfur application, the mean parameters did not indicate any significant differences with control treatment. Finally, the findings showed that there was a significant difference between 10% and 20% levels of amendment materials, so that the most reduction of these parameters were related to the sulfuric acid with application of 20% level.

**Keywords:** Leaching, Iron sulfate(II), Soil reclamation, Sulfur

## ارزیابی آبشویی خاک شور و سدیمی با استفاده از مواد اصلاحی در شرایط آزمایشگاهی

علی کولائیان<sup>۱</sup> و مجتبی خوش روش<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

ساری، ساری، ایران

۲. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۸/۳۰ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۱۲/۲۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱/۲۹)

### چکیده

یکی از مشکلات رایج در مناطق خشک و نیمه خشک کشور، وجود خاک‌های شور و سدیمی است. از این رو مدیریت آب و خاک یکی از مباحث کلیدی در تامین نیاز غذایی جمعیت در حال رشد کشور می‌باشد. در این پژوهش به بهسازی خاک شور و سدیمی در منطقه آذرنگین تبریز پرداخته شد تا اثر تیمارهای مختلف مواد اصلاحی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک مورد ارزیابی قرار گیرد. تیمارها شامل اسید سولفوریک، سولفات آهن فرو، گوگرد و آب آبیاری (شاهد) بودند. علاوه بر تعیین نوع ماده اصلاحی، مقدار ماده اصلاح‌کننده نیز مورد بررسی قرار گرفت. مواد اصلاحی با دو سطح ۱۰ و ۲۰ درصد به طور جداگانه به خاک اضافه شدند. نتایج نشان داد که کاربرد اسید سولفوریک، مقدار درصد سدیم تبدالی و نسبت جذب سدیم را نسبت به حالت اولیه به ترتیب به کمتر از ۶۰ درصد و ۴۵ کاهش می‌دهد. از سوی دیگر نتایج نشان داد که کاربرد اسید سولفوریک و سولفات آهن فرو مقادیر  $ESP$ ،  $SAR$  و  $ECE_c$  را به طور معنی‌داری کاهش داد. این در حالی است که برای تیمار گوگرد، میانگین پارامترها هیچ گونه تفاوت معنی‌داری را با تیمار شاهد نشان نداد. در نهایت یافته‌ها نشان داد که بین سطوح ۱۰ و ۲۰ درصد مواد اصلاحی، اختلاف معنی‌داری وجود دارد، به طوری که بیشترین کاهش این پارامترها مربوط به کاربرد ۲۰ درصد ماده اصلاح‌کننده اسید سولفوریک بود.

واژه‌های کلیدی: آبشویی، اسید سولفوریک، سولفات آهن فرو، اصلاح خاک، گوگرد

### مقدمه

رشد سریع جمعیت در جهان باعث شده تا متخصصان و کشاورزان جهت استفاده از اراضی کشاورزی با محدودیت زیاد روبه‌رو باشند. از بین عوامل محدود کننده، معضل شور و سدیمی بودن خاک‌ها یکی از مهمترین عوامل برای عدم بهره‌برداری از اراضی در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. به طوری که حدود نیمی از اراضی زیر کشت آبی توسط شوری و یا سدیم مورد تهدید قرار گرفته‌اند (Bohn et al., 2002). در ایران خاک‌های شور و سدیمی، وسعتی در حدود ۲۳/۵ میلیون هکتار را دارند که این مساحت برابر ۱۴/۲ درصد کل اراضی کشور می‌باشد. این خاک‌ها در ایران به طور گسترده‌ای در جلگه‌ها و دشت‌های رسوبی و به طور عمده در دشت‌های آبرفتی رودخانه‌ها پراکنده می‌باشند که در این واحد، فیزیوگرافی انواع گروه بزرگ خاک‌ها نیز یافت می‌شوند.

تجمع نمک در سطح خاک موجب تخریب، کاهش باروری

خاک و کاهش محصول می‌شود. در چنین شرایطی حرکت آب و هوا در خاک، ظرفیت نگهداری آب قابل دسترس گیاه، نفوذ ریشه، جوانه‌زنی بذر، فرسایش، شخم و عملیات کشت و کار تحت تاثیر قرار می‌گیرد. به علاوه، عدم تعادل مواد مغذی قابل دسترس گیاه در خاک‌ها تحت تاثیر نمک، رشد گیاهان را محدود می‌نماید (Qadir and Schubert, 2002; Qadir and Oster, 2004). بنابراین بهسازی این خاک‌ها هم از لحاظ حفاظت منابع آب و هم بهره‌برداری پایدار خاک‌های شور و سدیمی حائز اهمیت می‌باشد (Tanji, 1990).

برای اصلاح خاک‌های شور و سدیمی روش‌های متفاوتی توسط محققین ارائه گردیده است (Qadir et al., 2001; Valzano et al., 2001). مبنای اصلاح خاک‌های سدیمی جایگزین نمودن سدیم تبدالی توسط کلسیم است. سدیم جایگزین شده با آبشویی از ناحیه ریشه و یا پروفیل خاک خارج می‌شود. منبع مرسوم کلسیم، ماده‌ای است که خود دارای کلسیم باشد و یا اینکه پس از مصرف باعث انحلال آن در محلول خاک گردد. بنابراین، دو روش در اصلاح چنین خاک-

این روش را همراه با کاربرد گچ نسبت به آبشویی عمودی و گچ و سایر تیمارها، یک روش بهتر معرفی کردند. Hanay *et al.* (2004) به اصلاح خاک‌های شور و سدیمی در ترکیه پرداختند. نتایج نشان داد که کاربرد گچ همراه با کمپوست، فضولات شهری به طور مؤثری این خاک‌ها را اصلاح می‌کند. Murtaza *et al.* (2006) در یک خاک شور و سدیمی در پاکستان از دو ماده اصلاح کننده کود حیوانی و گچ استفاده کردند و نتیجه گرفتند که گچ نسبت به کود حیوانی تاثیر بیشتری دارد. Sadiq *et al.* (2007) در بررسی اصلاح خاک شور و سدیمی در پاکستان با استفاده از ادوات خاک‌ورزی و کاربرد اسید سولفوریک، نشان دادند که کاربرد اسید سولفوریک به مقدار ۲۰ درصد نیاز گچی روند اصلاح خاک را تسریع می‌نماید.

به‌طور کلی آبشویی در شرایط مزرعه‌ای، به علت دشوار بودن بررسی تغییرات زمانی و مکانی حرکت املاح همواره با خطا همراه بوده و از سوی دیگر این آزمایش‌ها با هزینه زیادی انجام می‌شود. ضمن اینکه برای برنامه‌ریزی آبیاری و یا آبشویی نیاز به مدل‌هایی می‌باشد که بتوانند با روابط ارائه شده مقدار آبشویی را برآورد نمایند (LI and Keren, 2009). از این رو برخی از محققین از ستون خاک در شرایط قابل کنترل آزمایشگاهی استفاده نموده‌اند که می‌توان به تحقیقات Mahmooodabadi *et al.* (2013) اشاره نمود. آنها با استفاده از روش آزمایشگاهی به اصلاح خاک‌های شور و سدیمی در استان کرمان پرداختند. در این آزمایش از چهار ماده اصلاحی گچ، تفاله پسته، کود گاوی و اسید سولفوریک با دو نوع آب با کیفیت مختلف به مدت چهار ماه استفاده شد. یافته‌ها نشان داد که حتی برای تیمار آبیاری شده به‌وسیله آب غیر آشامیدنی، مقادیر EC و SAR به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت و در بین مواد اصلاحی، اسید سولفوریک دارای عملکرد بهتر بوده و بعد از آن تفاله پسته در کاهش این دو پارامتر تاثیر بیشتری داشت. Hosseini Nia *et al.* (2017) در تحقیقی تاثیر سه ماده اصلاحی شامل گچ پودری، گچ محلول در آب و اسید سولفوریک را در خاک شور و سدیمی تحت شرایط آزمایشگاهی با استفاده از ستون‌های خاک مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که استفاده از گچ پودری و محلول در آب تفاوت معنی‌داری در آبشویی سدیم از خاک ایجاد نمود و این در حالیست که میزان سدیم تخلیه شده از خاک با مصرف اسید سولفوریک تقریباً معادل با تیمار شاهد بود. اراضی دشت آذرنگین در منطقه آذربایجان شرقی انجام گرفت. این اراضی در فاصله ۲۰ کیلومتری شهرستان خسروشهر واقع شده است به‌طوری‌که از سمت جنوب به اراضی روستای ساتلو، از شرق به دیگر اراضی شرکت آذرنگین و از سمت شمال

هایی وجود دارد که شامل ۱- افزودن منبع حاوی کلسیم در خاک‌های غیرآهکی و ۲- افزایش حل‌پذیری کلسیم موجود به ویژه در خاک‌های آهکی است (Quirk, 2001).

تاکنون مطالعات زیادی در ارتباط با جنبه‌های مختلف شوری و سدیم‌زدایی توسط پژوهشگران مختلف در شرایط مزرعه‌ای انجام شده است. Van Rooyen and Weber (1977) در مطالعه‌ی تأثیر دراز مدت پنج ماده اصلاح‌کننده یعنی گچ، گوگرد، سولفات پتاسیم، کود حیوانی و ملاس نیشکر را روی یک خاک شور و سدیمی باغ‌ها پرتغال مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که کاربرد گچ، درصد سدیم تبادلی خاک را کاهش و مقدار نفوذ و زه آب خروجی را افزایش می‌دهد. Eslami (1995) به مقایسه کارایی استفاده از مواد اصلاح‌کننده گچ، گوگرد و اسید سولفوریک در اصلاح خاک‌های شور و سدیمی گنبد و تأثیر این مواد بر عملکرد محصول جو پرداخت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در تمامی تیمارهای اصلاح‌کننده، مقدار قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و درصد سدیم تبادلی خاک نسبت به تیمار شاهد کاهش یافته است. تیمار گوگرد در سال اول آزمایش اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد نداشته ولی در سال‌های دوم و سوم بیش‌ترین تأثیر بر عملکرد جو را داشته است. تیمار سولفوریک اسید در سال اول آزمایش بیش‌ترین تأثیر را داشته ولی تداوم اثر آن نسبت به تیمارهای گوگرد و گچ کمتر بوده است. تیمار گچ نیز نتیجه مطلوبی داشته است. Tashakori (1997) تأثیر نوع، مقدار و نحوه استفاده از گچ را در استان مازندران مورد مطالعه قرار دادند و بیان نمودند که کاربرد ۲۸/۴ تن در هکتار گچ نسبت جذب سدیم خاک را از ۶۰ به ۱۴ کاهش داده است. Asgari (2001) به تأثیر این سه ماده اصلاحی در خاک‌های شور و سدیمی سقرتپه گرگان پرداخت. نتایج نشان داد که اسید سولفوریک و گچ بیش‌ترین تأثیر را در اصلاح خاک دارد. Ghaneie Motlagh *et al.* (2010) در مطالعه‌ای تأثیر چند ماده اصلاحی روی خصوصیات شیمیایی خاک شور و سدیمی را بررسی نمود. نتایج نشان داد که کاربرد گچ و اسید سولفوریک مقدار نسبت جذب سدیم، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع و واکنش خاک را در ۶۰ سانتی‌متری فوقانی خاک به‌طور معنی‌داری کاهش داد. Sokouti Oskouei *et al.* (2007) در آزمایشی از گچ به‌عنوان ماده اصلاحی جهت باروری خاک بخش جنوبی دشت ارومیه استفاده کردند. نتایج نشان داد که شوری خاک شاهد برابر ۴/۲ دسی‌زیمنس بر متر بود که بر اثر اعمال تیمار گچ به کمتر از ۱/۳ دسی‌زیمنس کاهش یافت و همچنین درصد تبادلی خاک را کاهش می‌دهد. Qadir *et al.* (2001) در بررسی شستشوی افقی خاک‌های سدیمی و شور- سدیمی در پاکستان،

قلیایی باشد. بنابراین در پژوهش حاضر به بررسی تأثیر این مواد شیمیایی در اصلاح اراضی دشت آذرنگین پرداخته شده است.

### مواد و روش‌ها

مراحل مختلف اصلاح خاک شور و سدیمی که در این تحقیق استفاده شد، به این صورت انجام گرفت که در ابتدا با استفاده از منحنی شوری خاک منطقه و همچنین بازدید میدانی یک نقطه به منظور برداشت خاک انتخاب شد. این نقطه تقریباً به لحاظ شوری و سدیمی نماینده کل اراضی بود. بدین صورت چاله‌ای به ابعاد ۵۰×۵۰×۳۰ سانتی‌مترمکعب حفر شد و از یک نقطه و حداکثر تا عمق ۳۰ سانتی‌متر از تمام لایه‌ها نمونه‌برداری خاک انجام شد. انتخاب این عمق به دلیل تأثیر مواد اصلاح‌کننده در این عمق می‌باشد (Sadiq et al., 2007). خاک جمع‌آوری شده کاملاً با چکش پلاستیکی خرد شد، سپس آن را از الک ۲ میلی-متری عبور داده و مجدداً خاک الک شده با هم مخلوط شد.

به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نیمرخ خاک، نمونه‌ای از خاک الک شده به آزمایشگاه منتقل شد. خاک مورد بررسی دارای بافت سیلتی لومی می‌باشد (جدول ۱). همچنین با توجه به مقادیر pH، ESP و ECE که به طور متوسط ۷/۹۷، ۷۸/۱۸ درصد و ۶۴/۳ دسی زیمنس بر متر است، خاک مورد آزمایش جزء خاک‌های شور و سدیمی طبقه‌بندی می‌شود.

و غرب به زهکش حفر شده در منطقه محدود می‌شود. خاک-های این منطقه دارای رنگ قهوه‌ای تیره متمایل به زرد با بافت نسبتاً سنگین و یکنواخت (Silty loam) تا خیلی سنگین (Clay-Silty Clay) می‌باشد. به همین دلیل، قابلیت نفوذ آن‌ها متوسط و گاه آهسته می‌باشد. در نتیجه، هر گونه افزایش آب به آن‌ها ممکن است به رواناب سطحی منجر شود. در این خاک‌ها، به دلیل نامناسب بودن شرایط زهکشی، آب افزوده شده به خاک در نیمرخ آن باقی مانده و به دلیل فزونی تبخیر بر مقدار بارندگی، از طریق تبخیر موجب تغلیظ املاح محلول در نیمرخ خاک می‌شود. این امر یکی از عوامل مهم شور و سدیمی شدن اراضی منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

در این پژوهش با در نظر داشتن کاستی‌ها و مشکلات ناشی از اجرا آبشویی در قالب کرت‌های آزمایشی، با دیدگاه جدید به بررسی اصلاح خاک شور و سدیمی در سیلندر پرداخته شد. به طوری که بتوان با تغییر برخی پارامترهای محیطی و میزان مواد اصلاحی به نتایج کاربردی برای برآورد مواد اصلاحی مورد نیاز و پیش‌بینی حد نهایی شوری دست یافت. بدین منظور از سه ماده اصلاحی مختلف شامل سولفات آهن فرو، اسید سولفوریک و گوگرد استفاده شد. در حال حاضر یکی از موارد مهم مصرفی این مواد در تهیه کودهای شیمیایی است که به نظر می‌رسد یکی دیگر از محل‌های مصرف آن در زمینه بهبود بخشیدن به کیفیت آب آبیاری و اصلاح خاک‌های شور و

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اولیه

Sand %	Clay %	Silt %	CEC Meq.100gr <sup>-1</sup>	Na.sol Meq.l <sup>-1</sup>	کربن آلی %	آهک %	گچ %	Cl meq.l <sup>-1</sup>	Ca meq.l <sup>-1</sup>	Mg meq.l <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> meq.l <sup>-1</sup>	ECe dSm <sup>-1</sup>	ESP %	SAR	pH	عمق خاک (cm)
۲۰	۵۶	۳۴	۳۰/۶	۹۱۳/۲	۷۶	۱۴	۲/۳۱	۲۹/۶	۱۵	۱۳/۱	۱/۲	۶۴/۳	۷۸/۱۸	۲۴۳/۶۶	۷/۹۷	۰-۳۰

(رابطه ۱)

$$(Ca^{2+} + Mg^{2+}) = CEC \times D_z \times \rho_b \times \left( \frac{ESP_{in} - ESP_{fn}}{100} \right)$$

مقدار کل کاتیون‌های دو ظرفیتی که قرار است با آب آبشویی وارد خاک شود، بر حسب  $CEC, Keq.ha^{-1}$  ظرفیت تبادل کاتیونی خاک بر حسب  $meq.100gr^{-1}$  خاک،  $D_z$  عمق خاک بر حسب  $cm$ ،  $\rho_b$  جرم مخصوص ظاهری خاک بر حسب  $gr.cm^{-3}$ ،  $ESP_{in}$ : مقدار اولیه سدیم تبادلی خاک،  $ESP_{fn}$ : مقدار نهایی سدیم تبادلی خاک که باید به دست آید. با توجه به میزان ماده اصلاحی گچ، مقدار مواد اصلاحی سولفات آهن فرو، اسید سولفوریک و گوگرد برای هر یک از سیلندرها طبق جدول زیر به دست آمد.

برای انجام آزمایش، مبادرت به تهیه سیلندرهایی پلاستیکی با حجم مشخص شد. سپس تمامی سیلندرها مدرج شده و انتهای تمام سیلندرها برای خروج آب به شکل منظم سوراخ و برای خارج نشدن خاک هنگام آبشویی با پارچه‌ای متقال پوشانده شد. با داشتن ارقام سدیم تبادلی و ظرفیت کاتیون‌های تبادلی، مقدار درصد سدیم تبادلی اولیه محاسبه شده و با استفاده از رابطه (۱) مقادیر گچ لازم برای کاهش میزان درصد سدیم تبادلی اولیه تا مقدار مورد نظر برآورد شد و با استفاده از ضرایب اصلاحی مقادیر معادل انواع دیگر مواد اصلاح‌کننده برای خارج نمودن سدیم تبادلی در هکتار به دست آمد که در جدول (۲) ارایه شده است (Ghaneie Motlagh et al., 2010).

آمده است) میزان گرم ماده اصلاحی در کل آزمایش برای حالت‌های ۱۰۰، ۱۱۰ و ۱۲۰ درصد محاسبه شد که در جدول (۳) ارائه شده است.

بر این اساس، مقدار ۱۵/۱۳ گرم گچ و ۲۴/۵۱ گرم سولفات آهن فرو، ۸/۶۲ گرم اسید سولفوریک و مقدار ۲/۸۷ گرم گوگرد محاسبه شد. حال با توجه به درصد خلوص مواد اصلاحی (همان‌طور که مراحل محاسباتی آن در جدول (۲)

جدول ۲- تعیین مقدار مواد اصلاحی بر حسب گرم با توجه به ضریب اصلاحی نسبت به گچ

مواد	ضریب اصلاحی	ESP <sub>in</sub> %	ESP <sub>fin</sub> %	$\rho_b$ gr.cm <sup>-3</sup>	CEC meq.100gr <sup>-1</sup>	GR ton.ha <sup>-1</sup>	حجم سیلندر lit	گچ gr
گچ	۱	۷۸/۱۷	۱۵	۱/۳	۳۰/۶	۲۱/۶۱	۷	۱۵/۱۳
اسید سولفوریک	۰/۵۷	۸۷/۱۷	۱۵	۱/۳	۳۰/۶	۳۵	۷	۸/۶۲
سولفات آهن فرو	۱/۶۲	۸۷/۱۷	۱۵	۱/۳	۳۰/۶	۱۲/۵	۷	۲۴/۵۱
گوگرد	۰/۱۹	۷۸/۱۷	۱۵	۱/۳	۳۰/۶	۴/۰۲	۷	۲/۸۷

جدول ۳- تعیین مقدار ماده اصلاحی بر حسب گرم در حالت برابر، ۱۱۰ و ۱۲۰ درصد

مواد	درصد افزایش	ماده اصلاحی	میزان ماده اصلاحی برای هر سیلندر (گرم)	درصد خلوص	میزان ماده اصلاحی برای ۳ سیلندر (گرم)	جمع (گرم)
	برابر	۸/۶۲	۸/۵۳	۰/۹۹	۲۵/۵۹	
اسید سولفوریک	۱۱۰	۸/۶۲	۹/۲۹	۰/۹۸	۲۷/۸۷	۸۳/۸۸
	۱۲۰	۸/۶۲	۱۰/۱۴	۰/۹۸	۳۰/۴۲	
	برابر	۲۴/۵۱	۲۴/۰۲	۰/۹۸	۷۲/۰۶	
آهن دوسولفات	۱۱۰	۲۴/۵۱	۲۶/۴۲	۰/۹۸	۷۹/۲۶	۲۳۷/۷۹
	۱۲۰	۲۴/۵۱	۲۸/۸۲	۰/۹۸	۸۶/۴۷	
	برابر	۲/۸۷	۲/۸۴	۰/۹۹	۸/۵۲	
گوگرد	۱۱۰	۲/۸۷	۳/۱۲	۰/۹۹	۹/۳۶	۲۸/۱۰
	۱۲۰	۲/۸۷	۳/۴۱	۰/۹۹	۱۰/۲۲	

اصلاحی و فقط با آب چاه آبشویی شد. بنابراین تعداد ۳۰ سیلندر و به صورت کاملاً تصادفی چینش شد؛ و در نهایت تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از بسته نرم‌افزاری SAS 9.2 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمالی پنج درصد مورد بررسی قرار گرفت.

### نتایج و بحث

بررسی نتایج تجزیه شیمیایی پس از کاربرد آبشویی در جدول (۴) ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در حالت بدون ماده اصلاحی (شاهد)، میزان کاتیون‌های سدیم، کلسیم و منیزیم کاهش یافته است. دلیل این امر شسته شدن این کاتیون‌ها و خارج شدن آن‌ها به همراه آب ثقلی از عمق مورد نظر می‌باشد. به طوری که با کاهش این کاتیون‌ها مقدار درصد سدیم تبدیلی، نسبت جذب سدیم و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع نیز کاهش یافته است. این نتایج بیانگر تاثیر مثبت هر

پس از انتخاب ماده‌ای اصلاحی و تعیین مقدار آن برای اصلاح مقدار خاک موجود در سیلندر، در سه نوبت پس از حل کردن در آب به خاک اضافه شد. لازم به ذکر است که هر نوبت که از مواد اصلاحی استفاده شد در نوبت بعد، از آب به تنهایی استفاده شد و این عمل به صورت یک در میان تا اتمام مواد اصلاحی انجام شد. آبشویی به روش متناوب به فاصله هر ۱۰ روز به مقدار ۳۰۰ سی سی در هر دفعه، در مجموع مقدار ۴/۵ لیتر در بازه زمانی ۵ ماه به هر سیلندر افزوده شد. آب مورد استفاده از طریق چاه تامین و کیفیت آن به روش آزمایشگاه شوری آمریکا در کلاس CIS1 قرار گرفت که برای کشاورزی مناسب است.

این آزمایش در سه تکرار در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با استفاده از تیمارهای سولفات آهن فرو، اسید سولفوریک و گوگرد برای سه حالت (۱۰۰، ۱۱۰ و ۱۲۰ درصد) انجام شد. سه سیلندر به‌عنوان شاهد بدون اضافه نمودن ماده

چند اندک تیمار شاهد در اصلاح خاک مورد مطالعه در ۱۵۰ روز آبهوشویی می‌باشد که با نتایج Ghaneie Motlagh *et al.* (2010)، Hanay *et al.* (2004)، Murtaza *et al.* (2006) و Sadiq *et al.* (2007) مطابقت دارد.

جدول ۴- نتایج تجزیه شیمیایی تیمار شاهد بعد از آزمایش

نوع مواد	درصد	ECe ( $ds.m^{-1}$ )	Ca+Mg ( $meq.L^{-1}$ )	Na(sol) ( $meq.L^{-1}$ )	SAR	ESP %	pH
شاهد	شاهد	۴۷/۱۳	۱۶/۷	۶۷۸/۱	۲۱۵/۶۳	۷۶	۷/۹
اسید سولفوریک	۱۰۰	۴۰/۹	۳۰/۱	۲۶۶/۸	۷۰/۷	۵۰/۸	۷/۸
	۱۱۰	۳۲/۷	۳۵/۴	۲۱۶/۹	۵۱/۹	۴۲/۹	۷/۸
	۱۲۰	۲۷/۶	۳۷/۴	۱۹۷/۸	۴۵/۶	۳۹/۵	۷/۷
سولفات آهن فرو	۱۰۰	۴۳/۶	۱۸/۱	۳۸۴/۵	۱۴۱/۳	۶۸/۲	۷/۸
	۱۱۰	۳۴/۱	۲۳/۹	۴۱۱/۸	۱۲۱/۲	۷۶/۸	۷/۸
	۱۲۰	۲۹/۸	۲۹/۲	۳۵۷/۲	۹۳/۲	۷۶/۴	۷/۷
گوگرد	۱۰۰	۴۳/۸	۱۶/۷	۴۴۳/۷	۱۵۳	۶۹/۲	۸
	۱۱۰	۴۳/۸	۱۶/۷	۶۶۳/۶	۲۲۶/۳	۷۶/۹	۷/۸
	۱۲۰	۴۳/۷	۱۷/۲	۵۴۵/۹	۱۸۹/۴	۷۳/۶	۷/۸

یون‌های محلول در نتیجه انحلال کانی‌ها است که ناشی از فشار دی‌اکسید کربن می‌باشد. این یافته‌ها با نتایج Ghaneie *et al.* (2010) Motlagh *et al.* (2010) و Qadir *et al.* (2001) همخوانی دارد.

نکته قابل توجه در خصوص کاربرد اسید سولفوریک این است که تاثیر این ماده در کاهش درصد سدیم تبادلی خاک، فقط در خاک‌هایی است که دارای منبع کلسیم می‌باشند. همچنین نتایج تحقیقات انجام شده در مورد تاثیر اسید سولفوریک بر کاهش درصد سدیم تبادلی خاک نشان می‌دهد که اسید سولفوریک بیشترین تاثیر را بر کاهش ESP در مقایسه با سایر مواد اصلاح کننده داشته است که این یافته‌ها همسو با نتایج Asgari *et al.* (2001)، Ghaneie Motlagh *et al.* (2010)، Qadir *et al.* (2001) و Yazdanpanah *et al.* (2013) می‌باشد.

تجزیه واریانس مقادیر ESP، SAR، ECe و pH در جدول (۵) ارائه شده است. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی نمونه‌های خاک پس از کاربرد مواد اصلاحی مورد بررسی آماری قرار گرفت و میانگین پارامترهای شیمیایی با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد بررسی شد که نتایج آن در شکل‌های (۱ تا ۴) ارائه شده است.

همان‌طور که در جدول (۵) ملاحظه می‌شود، نتایج تجزیه واریانس میانگین مقادیر pH خاک در عمق ۳۰ سانتی‌متری فوقانی خاک نشان می‌دهد که هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی وجود ندارد. همچنین براساس شکل (۴) اختلاف مقادیر pH خاک بین تیمارهای اسید سولفوریک،

مطالعه نتایج تجزیه شیمیایی خاک پس از کاربرد اسید سولفوریک بیانگر تاثیر بسیار زیاد این تیمار بر کاهش مقادیر SAR، ESP، ECe خاک مورد مطالعه می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که اسید سولفوریک حتی بیشتر از دیگر مواد اصلاح کننده در این تحقیق، مقدار درصد سدیم تبادلی و نسبت جذب سدیم را به ترتیب به کمتر از ۶۰ درصد و ۴۵ کاهش داده است. دلیل این امر تاثیر زیاد و سریع این ماده در حل شدن آهک خاک و رها شدن یون کلسیم در محلول خاک است. همچنین نتایج نشان داد که مقدار کاتیون‌های کلسیم و منیزیم در این تیمار نسبت به سایر تیمارها افزایش یافته است. از طرف دیگر مقدار یون سدیم محلول در این تیمار نسبت به سایر تیمارها کاهش یافته است. همچنین مقدار هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک پس از اجرای عملیات آبهوشویی ۵۰/۸۶ درصد کاهش داشته است که این مقدار تا حد زیادی به آبهوشویی بیشتر املاح در لایه سطحی مرتبط است. از آن‌جا که نمک‌های محلول انتقال پذیری زیادی دارند، مقدار ECe خاک نه تنها تحت تاثیر نوع اصلاح کننده است، بلکه از حرکت آب در ستون خاک نیز تاثیر می‌پذیرد (Hao and Chang, 2003). نتایج مربوط به تیمار شاهد نشان می‌دهد که بدون استفاده از مواد اصلاحی و تنها با آب آبیاری می‌توان شوری را تا حد مناسبی نسبت به خاک اولیه کاهش داد. همچنین بین تیمارها در حالتی که آب آبیاری همراه با اسید سولفوریک استفاده شود بیشترین تاثیر را در کاهش شوری خاک خواهد داشت که این به دلیل کاهش

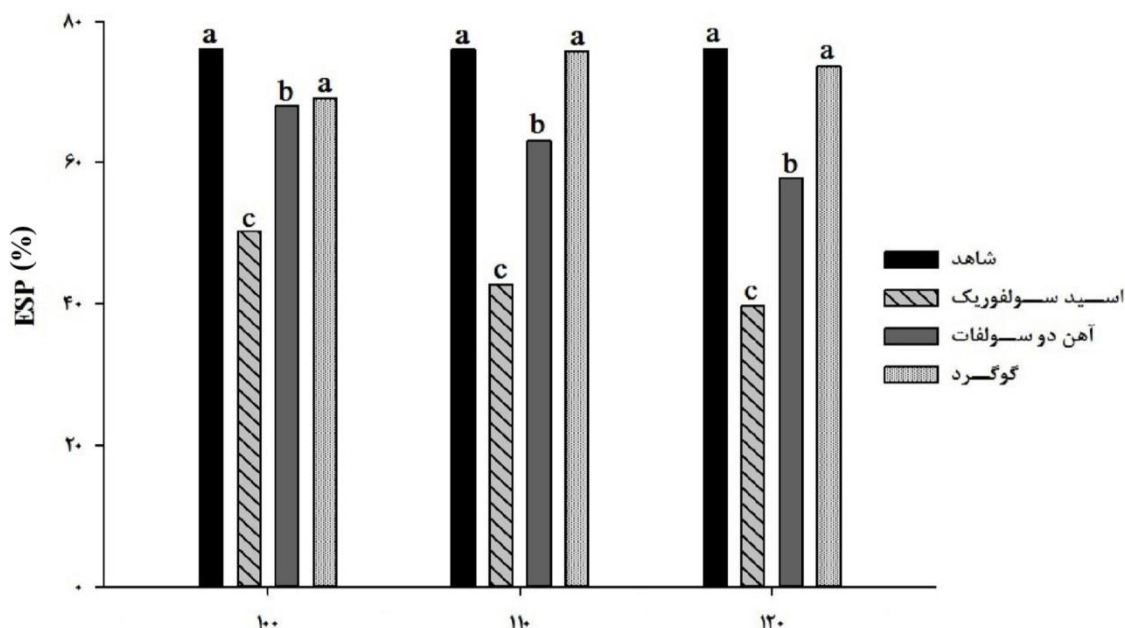
عصاره اشباع خاک در تیمار اسید سولفوریک، کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد در هر سه سطح وجود دارد. این در حالی است که مقادیر این پارامترها در تیمار گوگرد هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری با مقادیر شاهد نشان نداد. در نهایت می‌توان بیان نمود که تیمار اسیدسولفوریک بالاتر از سولفات آهن فرو، تیمار سولفات آهن فرو بالاتر از گوگرد و تیمار گوگرد بالاتر از مقادیر شاهد می‌باشد.

سولفات آهن فرو و گوگرد در هر سه سطح (۱۰۰، ۱۱۰ و ۱۲۰ درصد) معنی‌دار نمی‌باشد، ولی باید به این نکته توجه داشت که میزان pH با افزایش غلظت مواد اصلاحی کاهش می‌یابد. این در حالی است که برای سایر پارامترها شامل ESP، SAR، ECE، نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارها در سطح پنج درصد وجود دارد. بر اساس شکل (۱)، ۲ و ۳) مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که برای پارامترهای درصد سدیم تبادلی، نسبت جذب سدیم و

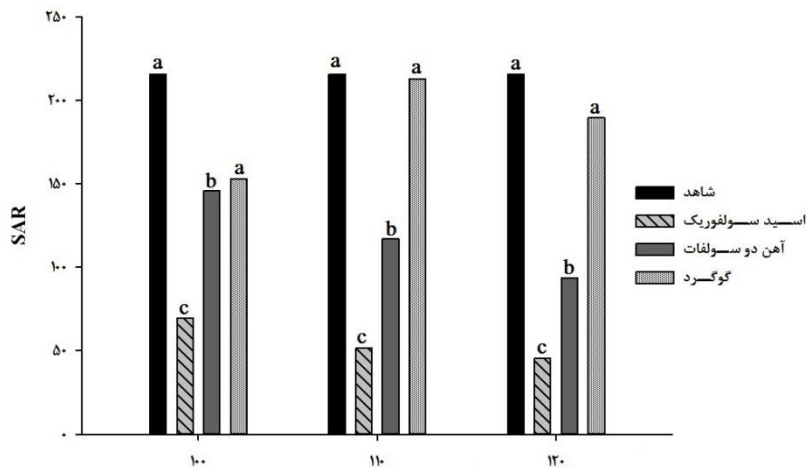
جدول ۵- تجزیه واریانس مقادیر پارامترهای شیمیایی خاک

ویژگی	منبع تغییرات	درجه آزادی	جمع مربعات	میانگین مربعات	ارزش F
ESP	تیمار	۳	۲۵۸۲/۲۹	۸۶۰/۹۷	۷/۷۴ *
	بلوک	۲۶	۳۷۰/۶۹	۱۴/۲۶	۰/۱۳ n.s
	خطا	۲۹	۳۲۲۲/۹۸	۱۱۱/۱۴	
SAR	تیمار	۳	۵۹۵۵/۹۸	۱۹۸۵/۳۳	۰/۸۷ *
	بلوک	۲۶	۶۰۹۷/۱۷	۲۳۴/۵۱	۰/۱ n.s
	خطا	۲۹	۶۵۶۵۳/۶۵	۲۲۶۳/۹۲	
EC <sub>e</sub>	تیمار	۳	۷۶۶/۱۸	۲۵۵/۳۹	۵/۶۹ *
	بلوک	۲۶	۵۳۳/۳۳	۲۰/۵۱	۰/۴۶ n.s
	خطا	۲۹	۱۲۹۹/۵۱	۴۴/۸۱	
pH	تیمار	۳	۰/۰۱۹	۰/۰۰۶	۳ n.s
	بلوک	۲۶	۰/۰۳۸	۰/۰۰۱	۰/۵ n.s
	خطا	۲۹	۰/۰۵۷	۰/۰۰۲	

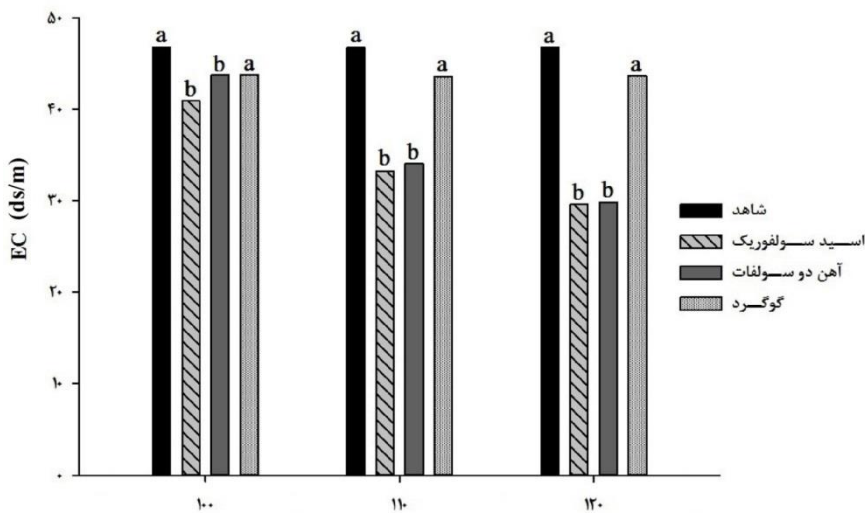
\* نشان‌دهنده اختلاف بین داده‌ها در سطح احتمال پنج درصد n.s نشان‌دهنده اختلاف غیر معنی‌دار بین داده‌ها



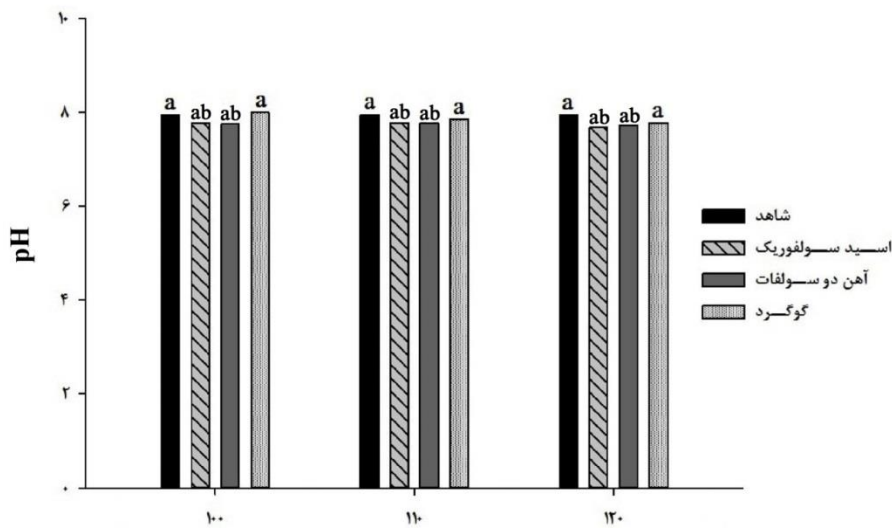
شکل ۱- مقایسه میانگین‌های ESP در طول مرحله آبشویی برای تیمارهای مختلف



شکل ۲- مقایسه میانگین SAR در طول مرحله آیشویی برای تیمارهای مختلف



شکل ۳- مقایسه میانگین EC در طول مرحله آیشویی برای تیمارهای مختلف



شکل ۴- مقایسه میانگین pH در طول مرحله آیشویی برای تیمارهای مختلف

سولفوریک با استفاده از آزمون آماری دانکن در حالت‌های برابر، ۱۰ و ۲۰ درصد افزایش مواد اصلاحی پرداخته شد که نتایج در جدول (۶) ارائه شده است.

نتایج تجزیه شیمیایی خاک نشان داد که کاربرد اسید سولفوریک تاثیر بسیار زیاد بر کاهش واکنش، نسبت جذب سدیم، درصد سدیم تبادلی و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک دارد. به همین دلیل، به بررسی تیمار آزمایشی اسید



تیمارهای مختلف شامل آبشویی بدون استفاده از مواد اصلاح کننده (شاهد)، اسید سولفوریک، سولفات آهن فرو و گوگرد در بررسی مقدار درصد سدیم تبدالی، نسبت جذب سدیم، مقدار اسیدیته و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک‌های شور و سدیمی در شرایط آزمایشگاهی از طریق استفاده از سیلندر بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد که از بین مواد اصلاح کننده مورد استفاده، اسید سولفوریک و سولفات آهن فرو همراه با آبشویی خاک تاثیر معنی‌داری در تغییرات درصد سدیم تبدالی، نسبت جذب سدیم و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک داشت و مصرف آن‌ها مقدار درصد سدیم تبدالی و نسبت جذب سدیم را به‌ترتیب به زیر ۶۰ درصد و ۴۵ کاهش داده است. این نتایج نشان می‌دهد که اسید سولفوریک و سولفات آهن فرو، خاک را از حالت سدیک بودن خارج کرده است. از سوی دیگر قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک پس از اجرای عملیات آبشویی به میزان ۵۰/۸۶ درصد کاهش داشته است. این مقدار تا حد زیادی به آبشویی بیشتر املاح در لایه سطحی مرتبط می‌باشد. همچنین تیمار اسید سولفوریک بیشترین تاثیر را در کاهش ECe داشته است که این به‌دلیل کاهش یون‌های محلول می‌باشد. یافته‌ها نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف کاربرد مواد اصلاحی (۱۰۰، ۱۱۰ و ۱۲۰ درصد) بر پارامترهای ESP، SAR، ECe وجود دارد، به‌طوری‌که بیشترین کاهش این پارامترها مربوط به کاربرد ۲۰ درصد ماده اصلاحی اسید سولفوریک می‌باشد.

نتایج تحقیقات بسیاری نشان داده است که گوگرد نیز می‌تواند درصد سدیم تبدالی خاک را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. اما نتایج این تحقیق خلاف نتایج محققین قبل می‌باشد. به نظر می‌رسد این امر به‌دلیل مساله اکسیداسیون گوگرد در خاک به سبب غیاب میکرو ارگانیزم‌های اکسیدکننده گوگرد در خاک باشد. غیاب این میکروارگانیزم‌ها در خاک خود ناشی از فقدان ماده آلی در خاک، شور و سدیمی بودن خاک و عواملی است که مانع رشد و حیات این میکروارگانیزم‌ها می‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد در خاک مورد مطالعه و به طور کلی در خاک‌های دشت‌های رسوبی آذرنگین، مصرف گوگرد مناسب نباشد. در صورت استفاده از ماده اصلاحی گوگرد، بهتر است از گوگرد با سیلوس‌دار و یا گوگرد همراه با یک ماده آلی (کمپوست) استفاده کرد. در مجموع یافته‌های این پژوهش اهمیت و کارایی مطلوب مواد اصلاحی شیمیایی بخصوص اسید سولفوریک و سولفات آهن فرو در اصلاح خاک شور و سدیمی تحت آبیاری معمولی را روشن ساخته است. از آن‌جا که نتایج این تحقیق حاصل پنج ماه آزمایش است، انتظار می‌رود روند

جدول ۶- آزمون آماری دانکن برای پارامترهای شیمیایی در تیمار اسید سولفوریک

ویژگی	(I)	(II)	p-value
ESP	برابر	۱۰ درصد	۰/۱۹۲
	۱۰ درصد	برابر	۰/۱۹۲
		۲۰ درصد	۰/۸۷
	۲۰ درصد	برابر	۰/۳۹
		۱۰ درصد	۰/۸۷
	SAR	برابر	۱۰ درصد
۱۰ درصد		۲۰ درصد	۰/۲۶
		برابر	۰/۵۱
۲۰ درصد		۲۰ درصد	۰/۶۶
		برابر	۰/۲۶
ECe		برابر	۱۰ درصد
	۱۰ درصد	۲۰ درصد	۰/۰۰
		برابر	۰/۰۰
	۲۰ درصد	۲۰ درصد	۰/۱۳
		برابر	۰/۰۰
	pH	برابر	۱۰ درصد
۱۰ درصد		۱۰ درصد	۰/۳۳
		۲۰ درصد	۰/۸۱
۲۰ درصد		برابر	۰/۳۳
		۲۰ درصد	۰/۵۲
۲۰ درصد		برابر	۰/۴۱
۱۰ درصد	۰/۸۲		

با توجه به نتایج مندرج در جدول (۶) مشاهده می‌شود که تنها در مورد پارامتر pH بین تیمارهای ۱۰۰، ۱۱۰ و ۱۲۰ درصد، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و این در حالی است که در سایر پارامترها بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. همچنین شکل‌های (۱ تا ۳) روند کاهش ESP، SAR، ECe را در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد، به‌طوری‌که بیشترین کاهش این پارامترها در تیمار اسید سولفوریک رخ داده که مربوط به میزان ۲۰ درصد افزایش مواد اصلاحی می‌باشد، در تیمار سولفات آهن فرو نیز همانند اسید سولفوریک در حالت ۱۲۰ درصد بیشترین کاهش در پارامترهای شیمیایی مشاهده می‌شود. این در حالی است که در تیمار گوگرد، کاهش این پارامترها اندک بوده و اختلاف زیادی با مقادیر شاهد مشاهده نمی‌شود.

### نتیجه‌گیری کلی

همان‌طور که اشاره شد، هدف اصلی از پژوهش حاضر بررسی

جا که این ماده تأثیر تدریجی در اصلاح خاک داشته و نیاز به آب در آن زیاد می‌باشد، بدین دلیل برای این منطقه با این خصوصیات توصیه نمی‌شود.

اصلاح در دراز مدت، خاک موردنظر را از حالت شوری و سدیک بودن خارج نماید. یکی از متداولترین روش‌های اصلاح و بهسازی خاک استفاده از سولفات کلسیم (گچ) است، ولی از آن-

## REFERENCES

- Asgari, H. (2001). Investigating the efficiency of chemical modifier to prevent desertification in the saline and sodic soils of the north AqQala. Thesis on desert areas management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 134 pp. (In Farsi)
- Bohn H. L., Myer, R. A., & O'Connor, G. A. (2002). Soil chemistry: John Wiley and Sons, New York.
- Eslami, K. 1995. Investigation and comparison of the effects of modifying substances on the improvement of saline and alkaline soils. Agricultural Research Center of Golestan Province. 83 pp. (In Farsi)
- Ghaneie Motlagh, Gh., Pashae Aval, A., Khormali, F., & Mosaedi, A. (2010). Investigating effect of some amendments on soil chemical properties in a saline-sodic soil. *Watershed Management Research Journal* (Pajouhesh & Sazandegi), 86: 24-31. (In Farsi)
- Hanay, A., Buyuksonez, F., Kiziloglu, F. M., & Conbolat, M. Y. (2004). Reclamation of saline-sodic soils with Gypsum and MSW compost. *Compost science and utilization*, 12: 175-179
- 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 & Environment*, 94: 89-103.
- Hosseini Nia, M., Hassan Pour, F., Naghavi, H., & Abbasi, F. (2017). Comparative effects of chemical amendments on salt leaching from a saline-sodic soil in Kerman under laboratory condition. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 7(2): 119-134. (In Farsi)
- LI, F. H., & Keren, R. (2009). Calcareous sodic soil reclamation as affected by corn stalk application and incubation: a laboratory study. *Pedosphere*, 19(4): 465-475.
- 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.
- Murtaza, G., Ghafoor, A., & Qadir, M. (2006). Irrigation and soil management strategies for using saline-sodic water in a cotton-wheat rotation. *Agricultural Water Management*, 81(1): 98-114.
- Qadir, M., & Oster, J. (2004). Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture. *Science of the Total Environment*, 323(1): 1-19.
- Qadir, M., & Schubert, S. (2002). Degradation processes and nutrient constraints in sodic soils. *Land Deg. Dev.* 13: 275-294.
- Qadir, M., Ghafoor, A., & Murtaza, G. (2001). Use of saline-sodic waters through phytoremediation of calcareous saline-sodic soils. *Agricultural Water Management*, 50(3): 197-210.
- Quirk, J. P. (2001). The significance of the threshold and turbidity concentrations in relation to sodicity and microstructure. *Australian Journal of Soil Research*, 39: 1185-218
- Sadiq, M., Hassan, G., Mehdi, S., Hussain, N., & Jamil, M. (2007). Amelioration of saline-sodic soils with tillage implements and sulfuric acid application. *Pedosphere*, 17(2): 182-190.
- Sokouti Oskouei, R., Mahdian, M., Ghayomian, J., & Mahmoodi, S. (2007). Introducing of cumulative grade index for assessing of sustainable soil management (Case study: Southern section of Urmia plain). Second National Conference on Ecological Agriculture of Iran, Gorgan, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Farsi)
- Tanji, K. K. (1990). Agricultural salinity assessment and management. ASCE, New York.
- Tashakori, A. (1997). Investigation of type, amount and the use of modifier in saline and sodium soils and rice yield in Mazandaran. Technical Journal No. 475. *Soil and Water Research Institute*. (In Farsi)
- Valzano, F., Greene, R., Murphy, B., Rengasamy, P., & Jarwal, S. (2001). Effects of gypsum and stubble retention on the chemical and physical properties of a sodic grey Vertosol in western Victoria. *Soil Research*, 39(6): 1333-1347.
- Van Rooyen, P., & Weber, H. (1977). Long-term effects of five ameliorants on a saline-sodic soil of South Africa. *Geoderma*, 19(3): 213-225.
- Yazdanpanah, N., Pazira, E., Neshat, A., Mahmoodabadi, M., & Rodríguez Sinobas, L. (2013). Reclamation of calcareous saline sodic soil with different amendments (II): Impact on nitrogen, phosphorous and potassium redistribution and on microbial respiration. *Agricultural Water Management*, 120: 39-45.