بررسی وضعیت نسبت کلسیم به منیزیم در برخی از آب‌های آبیاری کشور

فرهاد دهقانی[۱*]، رسول راهنمایی، محمد جعفر ملکوتی، سعید سعادت

دانشجوی دکتری خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس و مربی پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی یزد؛

dehghany47@gmail.com

استادیار و استاد گروه خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس؛

Rasoul.Rahnemaie@modares.ac.ir

استادیار و استاد گروه خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس؛

mjmalakouti@modares.ac.ir

استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب؛

Saeed_saadat@yahoo.com

چکیده

کلسیم و منیزیم دو عنصر ضروری برای رشد گیاهان و از عناصر اصلی در تمام سامانه‌های طبیعی هستند. نسبت کلسیم به منیزیم یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی کیفیت آب‌های آبیاری است. کاهش این نسبت به مقادیر کوچکتر از یک، بویژه در شرایط شور، بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اثر منفی داشته و با بر هم زدن توازن تغذیه‌ای، باعث کاهش عملکرد گیاهان می‌شود. خشکسالی‌های مکرر و بهره برداری زیاد از منابع آب‌های زیرزمینی موجب افت شدید سطح آب و کیفیت آن، از جمله افزایش شدید شوری و در برخی موارد افزایش نسبی غلظت یون منیزیم شده است. به منظور بررسی پراکنش و تغییرات این نسبت در آب‌های آبیاری مناطق مختلف کشور، نتایج تجزیه بیش از ۶۲۰۰ نمونه از آب‌های آبیاری ۱۱ استان کشور مورد بررسی قرار گرفت. بررسی این داده‌ها نشان داد که حدود ۵۵ درصد از آب‌های مورد بررسی، دارای نسبت کلسیم به منیزیم کوچکتر از یک می‌باشند. همچنین، داده‌ها نشان داد که افزایش شوری با غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم همبستگی دارد، لیکن با نسبت آن‌ها رابطه‌ای ندارد. روابط همبستگی بین داده‌ها نیز نشان داد که بیشترین همبستگی بین شوری و غلظت سدیم (R^2= 0.87) مشاهده می‌شود و ۶۰ درصد از تغییرات غلظت Ca و Mg در آب آبیاری را می‌توان با بررسی تغیرات شوری پیش بینی نمود، ولی بین شوری و نسبت Ca/Mg همبستگی مشاهده نشد. کاربرد این گونه آب‌ها بتدریج موجب افزایش منیزیم تبادلی و در نتیجه کاهش کیفیت (تخریب خاکدانه ها و کاهش نفوذپذیری) خاک‌ها و مشکلات تغذیه‌ای گیاهان می‌شود. از این نظر، ارزیابی دقیقتر این آب‌ها و بررسی اثر آن‌ها روی خاک و گیاهان از نظر اقتصادی و دارای اهمیت بسزایی است.

کلید واژه: تخریب خاک، کلسیم، کیفیت آب آبیاری، شوری، منیزیم

---

۱. تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی، صندوق پستی ۳۳۶-۱۴۱۱۵

* دریافت: بهمن، ۱۳۹۰ و پذیرش: اردیبهشت، ۱۳۹۱

مقدمه

آب از منابع اصلی محدود کننده گسترش بسیاری از بخش‌های اقتصادی و اجتماعی بشر است. برغم اینکه در حدود ۶۹ درصد از آب استحصالی در فعالیت‌های کشاورزی در سطح دنیا مصرف می‌شود، رقابت برای استفاده از آن در مصارف شهری، صنعتی، محیط زیست وکاربردهای تفریحی نیز افزایش یافته و در صورت ادامه روند کنونی در سال ۲۰۲۵ ، حدود ۶۰ درصد از جهان در مرض کم آبی قرار دارد (کسگروف و ریجسبرمن، ۲۰۰۰).

نکته مهم دیگر این که در بسیاری از این مناطق، برداشت بی‌رویه آب از سفره‌های زیرزمینی باعث افت سطح آب شده و مشکلاتی همچون کاهش حجم مخازن آب زیرزمینی، کاهش آبدهی و خشک شدن چاه‌ها و قنوات، نشست سطح زمین و تخریب مخازن آب زیرزمین ، هجوم آب شور، انتشار و پخش آلودگی، افزایش هزینه پمپاژ و استحصال آب و مهمتر از همه تنزل کیفیت آب ها را به دنبال دارد.

در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا مانند اکثر نقاط ایران، از منابع آب با کیفیت‌های مختلف به منظور آبیاری استفاده می‌شود. نگاهی به شش حوضه آبریز اصلی کشور، حاکی از آن است که در تمامی این حوضه‌ها، منابع آب شور و لب شور وجود دارد. براساس نتایج مطالعات دفتر مدیریت کیفی منابع آب، از ۵۲ میلیارد مترمکعب حجم بهره‌برداری از منابع آبی کشور، ۱۳/۷ میلیارد متر مکعب آن شور و لب شور است که بیشترین پهنه‌های آن در حوضه آبریز اصلی فلات مرکزی قرار دارد. در این بررسی، آب‌های با $۲/۵ < EC < ۸$ دسی زیمنس بر متر لب‌شور[1] و با $۸ < EC < ۱۲$ دسی زیمنس بر متر شور در نظر گرفته شده است (دفتر مدیریت کیفی منابع آب، ۱۳۸۴).

ترکیب شیمیایی آب آبیاری و خاک بر یکدیگر اثرات متقابل دارند و در مجموع بر جذب و انتقال آب و عناصر غذائی به وسیله گیاه اثر می‌گذارند. در اکثر آب‌ها کاتیون‌های غالب شامل Na^{+}، Ca^{2+} و Mg^{2+} و آنیون‌های غالب شامل Cl^{-}، SO_4^{2-} و HCO_3^{-} می‌باشد. علاوه بر تغییر در ترکیب شیمیایی، روابط نیز بین شوری و نسبت کاتیون‌ها در آب‌های مختلف جهان وجود دارد. تحقیقات نشان داده است که در منابع آب زیرزمینی استان یزد، افت سطح آب همراه با افزایش شوری و تغییر در نسبت و فراوانی یون‌ها است(دهقانی، ۱۳۸۰). مطالعات انجام شده در منطقه تجرک همدان نیز نشان می‌دهد که ۳۵ درصد از نمونه‌های مورد بررسی دارای نسبت Ca/Mg کوچک‌تر از یک بوده است (جلالی، ۲۰۰۷).

ارزیابی کیفیت منابع آب کشاورزی و اهمیت نسبت کلسیم به منیزیم

با توجه به ضرورت استفاده از منابع آب با کیفیت نامطلوب‌تر، تجزیه آب آبیاری به منظور بررسی کیفیت آب از دیدگاه تولید محصولات کشاورزی اهمیت بسزایی دارد. از لحاظ مفهومی، کیفیت آب به خواصی از منابع آب که بر تناسب آن برای مصارف خاص تاثیر گذار است، اطلاق می‌شود (رودز، ۱۹۹۲). کیفیت آب در کشاورزی به اثرات آن بر خاک، عملکرد محصول و مدیریت مورد نیاز برای مقابله با مشکلات ناشی از کیفیت، وابسته است. آیرز و وستکات تناسب آب برای آبیاری را بر اساس سه معیارکلی، اثرات زیان آور مضر زیادی سدیم و اسیدیته بالا، اثرات عمومی شوری بر تبخیر، تعرق گیاه و رشد آن و اثر اختصاصی یون‌ها و یا نسبت آن‌ها بر رشد گیاه پیش‌بینی کردند (رودز، ۱۹۹۲). افزایش غلظت یونی و به هم خوردن نسبت‌های یونی از مشخصات منابع آب و خاک شور است. نسبت‌های یونی با اثر بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک بر رشد و عملکرد گیاه موثر هستند.

نسبت سدیم به مجموع کلسیم و منیزیم (SAR) در آب آبیاری و یا عصاره خاک از معروف‌ترین و پرکاربردترین این نسبت‌ها می‌باشد. در معرفی این نسبت به وسیله آزمایشگاه شوری خاک آمریکا، یون‌های کلسیم و منیزیم

[1] Brakish

از لحاظ تاثیر بر بهبود و حفظ ساختمان خاک مشابه فرض شده است. لیکن، همواره این حساسیت نیز وجود داشته که منیزیم می‌تواند باعث تخریب ساختمان خاک و ایجاد سولنتزهای منیزیمی شود. مطالعات آزمایشگاهی شینبرگ و لتی (۱۹۸۴) نیز دلالت بر این امر دارد که منیزیم تحت شرایط خاصی می‌تواند مخرب باشد. نسبت کلسیم به منیزیم نیز در منابع مختلف به عنوان شاخصی در بررسی کیفیت آب‌های آبیاری و خاک مورد توجه قرار گرفته است (آیرز و وستکات، ۱۹۸۵). در منابع، نسبت Ca/Mg بالاتر از یک مناسب دانسته شده است، لیکن در مورد حد نامناسب و عوارض ناشی از زیادی منیزیم بر شرایط شیمیایی و فیزیکی خاک و ایجاد ناهنجاری‌های احتمالی تغذیه‌ای بحث زیادی صورت نگرفته است.

برسلر و همکاران (۱۹۸۲) گزارش نمودند که جمع کردن غلظت این دو یون هیچ پایه نظری ندارد، زیرا حداقل فاصله تماس دیبای- هاکل برای منیزیم تقریباً ۳۰ درصد بزرگتر از کلسیم است و ضریب فعالیت منیزیم بزرگتر از کلسیم می‌باشد. نتایج تحقیق آزمایشگاهی دونتسووا و نورتون (۲۰۰۲) نشان داده است که با افزایش غلظت کلسیم نسبت به منیزیم در سوسپانسیون، میزان منعقد شدن افزایش می‌یابد. این اثر با توجه به شعاع یون آبپوشیده منیزیم که بزرگتر از یون آبپوشیده کلسیم و حتی سدیم است، محتمل می‌باشد. بعضی کلوئیدها نیز برای جذب سطحی بعضی از کاتیون‌ها برتری ویژه ای دارند.، نظیر جذب سطحی ترجیحی منیزیم بوسیله ورمیکولیت که در غلظت‌های کم، Ca را به Mg ترجیح می‌دهد. در شرایطی‌که به اندازه کافی(بیش از ۴۰ درصد) منیزیم در محلول موجود باشد، تمایل جذب به طور چشمگیری به سمت منیزیم تغییر جهت می‌دهد(پترسون و همکاران، ۱۹۶۵). در بعضی موارد نیز محلول خاک دارای نسبت Ca:Mg نسبتاً بالایی است چون این شرایط با رسوب سریع کربنات کلسیم از محلول و خاک‌های تشکیل‌یافته از رسوبات دریایی پیشین و یا حاوی میکاهای غنی از منیزیم ناشی از اثر تخریب ورمیکولیت تغییر یافته و باعث ترجیح منیزیم بر کلسیم خواهد شد.

خطر تخریبی سدیم در خاک‌های منیزیمی و یا در صورت استفاده از آب‌های دارای Mg بالا افزایش پیدا می‌کند. به این ترتیب که در یک SAR خاص، آب آبیاری با کاهش نسبت Ca/Mg خاک‌هایی با درصد سدیم تبادلی[1] بالاتر وجود خواهد داشت. مطالعات بکبائف و همکاران (۲۰۰۵) در جنوب قزاقستان نشان داد که بسیاری از آب‌های آبیاری دارای مقادیر زیاد منیزیم هستند. علاوه بر این، نسبت Ca/Mg در آن‌ها کوچکتر از یک است. در بیش از ۳۰ درصد خاک‌های تحت آبیاری با این نوع آب‌ها، درصد منیزیم تبادلی[2] به ۲۵ تا ۴۵ و حتی ۶۰ درصد می‌رسد. این خاک‌ها، معروف به Takyr، دارای سرعت نفوذ کم و هدایت هیدرولیکی آهسته‌ای هستند. در تحقیقی دیگری توسط ویشپولسکی و همکاران (۲۰۰۸) روی این اراضی نشان داده شده است که مصرف ۴/۵ تن در هکتار گچ‌های فسفاته، موجب کاهش ۳۱ درصدی منیزیم تبادلی و افزایش محصول پنبه می‌شود. با توجه به چنین نتایجی، در برخی منابع منیزیم از رابطه محاسبه SAR حذف شده است (سامنر، ۲۰۰۰).

بررسی نرخ رهاسازی پتاسیم در محلول‌های متفاوت توسط جلالی (۲۰۰۸) نشان داد که میزان پتاسیم رها شده با SAR محلول و نسبت Ca/Mg در هر نسبت جذبی سدیم رابطه عکس دارد. در این تحقیقات حداکثر رهاسازی در SAR کمتر و نسبت‌های کوچک‌تر Ca/Mg مشاهده شده است. آلپروویچ و همکاران (۱۹۸۱) اثرات منفی منیزیم تبادلی بر تخریب ساختمان خاک را بررسی کرده و نشان دادند که در خاک‌های آهکی، اثر منیزیم تبادلی، به دلیل انحلال آهک به شدت کاهش می‌یابد.

اثر نسبت Ca/Mg بر گیاهان از چندین دهه پیش شناخته و نشان داده شده است که محلول‌هایی با غلظت‌های

[1] ESP
[2] EMP

کوچک‌تر از یکMg/Ca، مانند آب دریای رقیق شده، باعث کاهش عملکرد گیاهان می‌شود (کی و همکاران، ۱۹۶۲). مارکار و ترمات (۱۹۹۰) گزارش نمودند در اوکالیپتوس، نمک‌های منیزیمی بیشتر از نمک های سدیمی رشد ریشه را محدود می‌کند که این اثر با کاهش غلظت کلسیم ریشه همراه است. در مقابل، کمبود منیزیم ناشی از زیادی کلسیم نیز در برخی گیاهان مشاهده شده است. Ca^{2+} در جذب به وسیله ریشه با Mg^{2+} رقابت زیادی دارد و جایگاه‌های موجود در غشاء پلاسمایی ریشه تمایل کمتری به Mg^{2+} به طور کامل هیدراته نسبت به Ca^{2+} دارند (مارشنر، ۱۹۹۵). در این زمینه مطالعات برنشتاین و هیوارد (۱۹۹۵) نشان داده است که غلظت‌های بالای Ca^{2+} در محیط رشد معمولاً همراه با افزایش Ca^{2+} برگ و کاهش Mg^{2+} آن است.

نتایج آزمایش دیگری توسط فرانکلین و همکاران (۱۹۹۱) نشان داده است که عملکرد دانه گندم در مقایسه با کاه بیشتر تحت تاثیر افزایش نسبت منیزیم به کلسیم قرار می‌گیرد. ما و همکاران (۲۰۰۸) نیز گزارش نمودند زیادی منیزیم با درجات متفاوتی جوانه زنی سویا و ذرت را تحت تاثیر خود قرار می دهد، ولی اثرات منفی آن بر رشد ریشه و ساقه در مراحل اولیه رشد بیشتر است. در خاک آهکی، هرگاه نسبت Mg/(Ca+Mg) بیش از ۵۰-۶۵ درصد باشد، عملکرد به دلیل کمبود Ca ناشی از زیادی Mg ، افزایش می‌یابد. با عنایت به موارد فوق این گونه استنباط می‌شود که استفاده از آب آبیاری دارای نسبت Ca/Mg کوچکتر از یک، به‌ویژه در شرایط شور باید با احتیاط صورت گیرد.

کاهش سطح سفره‌های آب زیر زمینی در اغلب مناطق کشور همراه با کاهش کیفیت آب است. برغم این مساله، استفاده از این آب‌ها، به دلیل کمبود منابع آب، ضروری است. افزایش غلظت منیزیم و کاهش نسبت کلسیم به منیزیم در بسیاری از این آب‌ها، در دراز مدت می‌تواند روی کیفیت خاک‌های کشور و در نهایت تولید محصولات کشاورزی اثر نامطلوبی داشته باشد، از این نظر تحقیق در این زمینه از دیدگاه اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی دارای اهمیت بسیار زیادی است. بر این اساس، در این تحقیق و به عنوان اولین قدم، شناسایی و تعیین پراکندگی منابع آب دارای منیزیم بالا و یا نسبت پایین کلسیم به منیزیم، مورد توجه و بررسی قرار گرفت.

روش تحقیق

به منظور بررسی وضعت نسبت Ca/Mg درآب‌های آبیاری کشور، نتایج تجزیه آب ۱۱ استان کشور، که منابع آب و خاک آنها دارای مشکل شوری است، جمع آوری شد(داده‌ها مربوط به بازه زمانی ۱۳۸۵ الی ۱۳۹۰ می‌باشد). این اطلاعات در برگیرنده بیش از ۶۰۰۰ تجزیه آب آبیاری است. اطلاعات اصلی مورد بررسی شامل EC و غلظت یون‌های Na^{+}، Ca^{2+} و Mg^{2+} است. در برخی از استان‌ها، برای محاسبه SAR مجموع کلسیم و منیزیم اندازه گیری شده بود، بنابراین امکان محاسبه نسبت Ca/Mg برای آب‌های آبیاری این استان‌ها وجود نداشت.

برای هر استان، نتایج به صورت تصادفی از نمونه‌های آب آبیاری ارسالی به آزمایشگاه‌های بخش خاک و آب مراکز تحقیقاتی استخراج شد. در مورد استان‌های سمنان و کرمان از داده‌های شرکت آب منطقه‌ای نیز استفاده شد. پارامترهای آماری با استفاده از نرم افزار SPSS محاسبه شد. برای درک بهتر تغییرات این پارامترها، مشخصات آماری آن‌ها به طور جداگانه برای هر استان نیز محاسبه شد. افزون بر این، تغییرات میانگین Ca/Mg در هر گروه شوری نیز به طور جداگانه بررسی شد. پس از بررسی وجود همبستگی بین پارامترها، روابط رگرسیون خطی نیز محاسبه شد.

نتایج و بحث

داده‌های آزمایشگاهی حاصل از اندازه‌گیری غلظت یون‌های کلسیم، منیزیم و سدیم و همچنین هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در نمونه‌های آب آبیاری به تفکیک

استان‌ها و مناطق مورد بررسی در جدول (۱) ارائه شده است. در کلیه استان‌های مورد بررسی، آب‌های آبیاری با نسبت‌های Ca/Mg کوچکتر از یک با درصدهایی متفاوت، وجود دارد. بیشتر اطلاعات، مربوط به سه استان کرمان، یزد و سمنان، مناطق اصلی کاشت پسته، با غلظت‌های بالای یون‌های کلسیم، منیزیم و سدیم است. در این مناطق، بهره برداری از پسته با استفاده از آب‌های شور و با اعمال آبشویی زیاد ممکن شده است. این امر موجب تأثیرپذیری زیاد ویژگی‌های محلول خاک و فاز تبادلی از ویژگی های آب آبیاری می‌شود. در این استان‌ها، به طور میانگین ۴۶ درصد از منابع آبی مورد استفاده دارای نسبت Ca/Mg کوچکتر از یک می‌باشد. در بیش از ۶۰ درصد نمونه‌های آب آبیاری رفسنجان، به عنوان یکی از مناطق اصلی کاشت پسته کشور، نسبت Ca/Mg کوچکتر از یک است. چنین داده‌هایی نشان می‌دهد که اثر کاربرد دراز مدت این آب‌ها بر خاک و باغات پسته باید به دقت مورد توجه قرار گیرد.

علاوه بر نسبت یونها، نکته مهم دیگری که با توجه به شوری آب آبیاری باید مورد توجه قرار گیرد، غلظت زیادتر یون‌ها و SAR بیشتر در آنهاست. در این شرایط، امکان بروز مشکلات ناشی از زیادی منیزیم بالاتر است. در جدول (۲)، خلاصه‌ای از پارامترهای آماری مربوط به کلیه داده‌های مورد بررسی ارائه شده است. بررسی داده‌ها نشان می‌دهد که غلظت کلسیم و منیزیم در آب‌های آبیاری کشور دارای تغییراتی گسترده است، به طوری که. غلظت یون کلسیم از ۰/۳ تا ۸۵ و غلظت یون منیزیم از ۰/۱ تا ۹۴ میلی اکی والان بر لیتر تغییر می‌کند. برغم دامنه گسترده غلظت این دو یون، میانگین غلظت آن‌ها به یکدیگر بسیار نزدیک می‌باشد (۹/۲۵ برای کلسیم و ۹/۳ برای منیزیم). بر این اساس چنان‌چه شاخص نسبت کلسیم به منیزیم برای میانگین غلظت آن‌ها محاسبه شود، عددی بسیار نزدیک به یک (۰/۹۹۵) می‌شود و مشکل ناشی از زیادی منیزیم در آب‌های آبیاری را نشان نمی‌دهد. از طرف دیگر، محاسبه فراوانی نسبت‌های مختلف Ca/Mg نشان می‌دهد که در حدود ۵۴/۵ درصد از نمونه‌های آب مورد بررسی دارای نسبت مساوی یا کوچکتر از یک هستند، که نیمی از آن‌ها (۲۵/۱ درصد) دارای نسبت کوچکتر از ۰/۷ می‌باشند. محاسبات نشان داد که نسبت Ca/Mg در محدوده ۰/۰۸ تا ۳۰ قرار دارد که نشان‌دهنده پراکندگی بسیار زیاد این پارامتر در آب‌های آبیاری مورد بررسی (۶۲۲۷ داده) است.

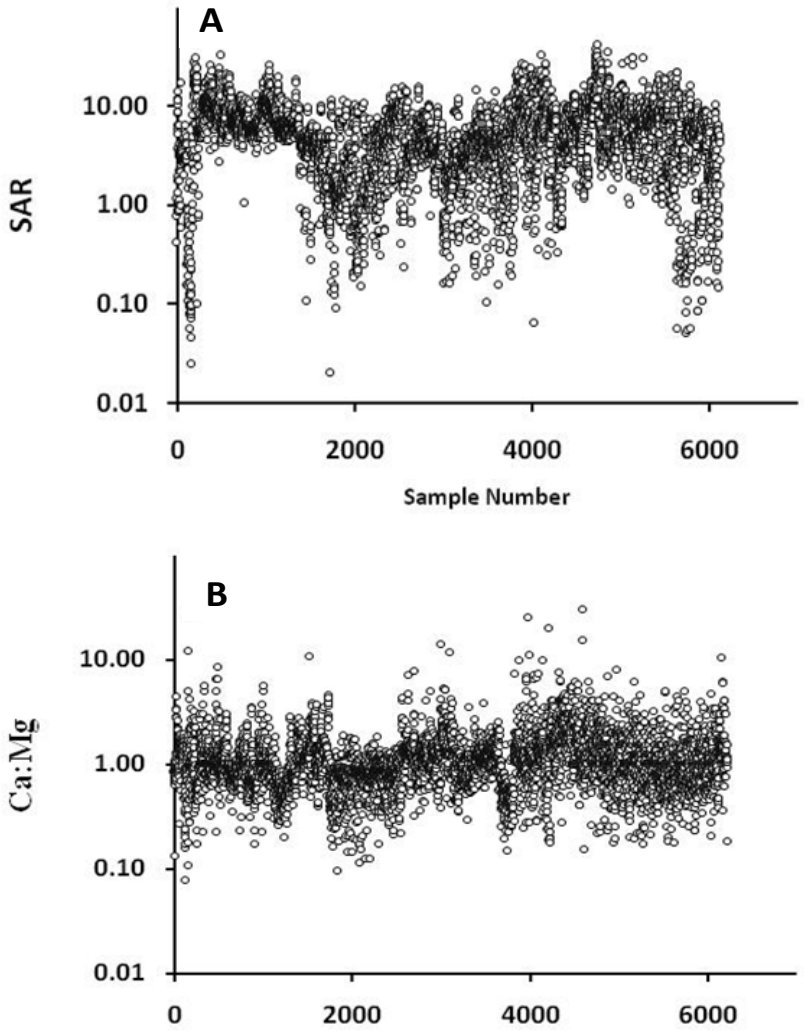
چگونگی تغییرات نسبت کلسیم به منیزیم کلیه نمونه های آب آبیاری (۶۲۲۷ نمونه) در شکل (۱) نشان داده شده است. میانگین این نسبت در نمونه‌ها نزدیک یک (۱/۱۹) و میانگین غلظت کلسیم به مجموع کلسیم و منیزیم نیز ۰/۵ است که نشان می‌دهد غلظت مولی منیزیم در نیمی از داده‌ها بیشتر از کلسیم است. ضریب چولگی و کشیدگی نیز در پارامتر نسبت کلسیم به منیزیم در مقایسه با سایر پارامترهای مورد بررسی زیاد است.

جدول ۲: خلاصه‌ای از پارامترهای آماری مربوط به کلیه داده‌های مورد استفاده

	حداقل	حداکثر	میانگین	مد	میانه	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
EC(dS/m)	۰/۱۲	۲۴/۴۰	۴/۱۳	۱/۹۵	۳/۱۳	۳/۷۱	۲/۰۲	۵/۰۱
Ca(meq/l)	۰/۳۰	۸۵/۰۰	۹/۳۰	۱۰/۰۰	۶/۲۰	۹/۲۰	۲/۴۰	۸/۱۰
Mg(meq/l)	۰/۱۰	۹۴/۰۰	۹/۳۰	۱۰/۰۰	۶/۶۰	۹/۴۰	۲/۷۰	۱۰/۱۰
Ca/Mg	۰/۰۸	۳۰/۰۰	۱/۱۹	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۸	۱۰/۴۹	۲۱۰/۲۵
Ca/(Ca+Mg)	۰/۰۷	۰/۹۷	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۱۳	۰/۱۰۲	۰/۲۱
Na(meq/l)	۰/۰۵	۲۴۳/۰۰	۲۵/۶۰	۲۵/۰۰	۱۶/۸۰	۲۹/۱۰	۲/۸۰	۱۰/۲۰
SAR_1	۰/۰۲	۴۰/۹۰	۵/۷۰	۵/۹۰	۴/۸۰	۴/۴۰	۱/۹۰	۶/۱۰
SAR_2	۰/۰۲	۶۲/۹۰	۸/۳۰			۶/۴۰	۱/۸۹	۶/۷۰

اندیس 1 و 2 در SAR مربوط روابط 1 و 2 است.

سدیم یون مهم دیگری است که غلظت آن در نمونه‌های آب مورد مطالعه (۶۱۲۷ نمونه) بررسی شد (شکل ۱). نتایج نشان می‌دهد میانگین غلظت این یون (۲۵/۶ میلی اکی والان گرم در لیتر) حدود ۲/۸ برابر میانگین غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم است (جدول ۲) و در دامنه بسیار وسیع‌تری قرار دارد (۰/۰۵ تا ۲۴۳ میلی اکی والان گرم در لیتر). به منظور ارزیابی خطر ناشی از غلظت زیاد یون سدیم در آب آبیاری بر روی خصوصیات کیفی خاک نسبت جذب سدیم[1] با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.



شکل ۱-دامنه تغییرات نسبت Ca/Mg و SAR در کلیه نمونه های مورد بررسی

[1] SAR

$$SAR1 = \frac{Na}{\sqrt{Ca+Mg}} \quad (۱)$$

در این رابطه فرض شده است که رفتار یون‌های کلسیم و منیزیم در خاک مشابه یکدیگر است. مقادیر SAR محاسبه شده نشان داد که اگر چه دامنه تغییرات آن در نمونه‌های مورد بررسی بسیار گسترده (۰/۰۲ تا ۴۰/۹) است، اما میانگین آن، ۵/۷، نسبتاً کوچک است (جدول ۲ و شکل ۱). لیکن، با توجه به بزرگ‌تر بودن شعاع هیدراته یون منیزیم (۴/۲۸ انگستروم) نسبت به کلسیم (۴/۱۲) و سدیم (۳/۵۸)، همیشه این نگرانی وجود داشته است که چنانچه غلظت منیزیم در محلول خاک و در نتیجه در فاز تبادلی افزایش یابد، موجب تخریب ساختمان خاک و کاهش نفوذپذیری آن شود (ویشوپسکی و همکاران، ۲۰۰۸ و دونتسوا و نورتون، ۲۰۰۲)، یعنی منیزیم رفتاری شبیه سدیم نشان خواهد داد نه مشابه کلسیم. بدین دلیل، استفاده از آب‌هایی با نسبت کلسیم به منیزیم کوچکتر از یک، بویژه همراه با غلظت زیاد سدیم، می‌تواند موجب کاهش کیفیت خاک شود (ژانگ و نورتون، ۲۰۰۲). بر این اساس، برخی از محققین پیشنهاد کرده‌اند که از معادله ۲ برای بررسی خطر سدیم استفاده شود (ویشوپسکی و همکاران، ۲۰۰۸ و سامنر، ۲۰۰۰).

$$SAR2 = \frac{Na}{\sqrt{Ca}} \quad (۲)$$

استفاده از رابطه (۲) موجب می‌شود که میانگین SAR محاسبه شده از ۵/۷ (محاسبه شده بوسیله رابطه ۱) به ۸/۳ افزایش یابد (جدول ۲). به عبارت دیگر، این معادله خطر ناشی از زیاد بودن یون سدیم در آب آبیاری را بیشتر از رابطه (۱) برآورد می‌کند . بنابراین، محدودیت بیشتری برای استفاده از آب‌های آبیاری قایل می‌شود. اختلاف SAR محاسبه شده با روابط (۱) و(۲) برای نمونه‌های آب مختلف متفاوت بوده و به طور طبیعی تابعی از غلظت یون‌های کلسیم، منیزیم و سدیم است. ولی به طور کلی، متوسط اختلاف برای نمونه‌هایی که Ca/Mg<1 دارند، در حدود دو برابر نمونه‌هایی است که در آن‌ها این نسبت بالاتر از یک است (۳/۳ در مقابل ۱/۶).

پراکنش داده‌ها در گروه‌های مختلف درصدی در جدول (۳) نشان داده شده است. محاسبات نشان می‌دهد که ۵۰ درصد داده‌ها دارای شوری کمتر از ۳/۱۳ دسی زیمنس بر متر و Ca/Mg کوچکتر از یک و SAR کمتر از ۴/۸ است. این جدول تغییرات مشابهی را در مورد مقادیر مطلق کلسیم و منیزیم نشان می‌دهد. بیشترین فراوانی، مربوط به نسبت کلسیم به منیزیم کوچکتر از یک است. ۲۰ درصد داده‌ها شوری بالاتر از شش دسی‌زیمنس بر متر دارند که بیشتر مناطق کاشت پسته در این محدوده شوری قرار می‌گیرند. از طرف دیگر، بیش از ۱۰ درصد نمونه‌ها، نسبت کلسیم به منیزیم کمتر از ۰/۵ دارند که باید از لحاظ اثرات مخرب آن مورد بررسی قرار گیرند.

توزیع نسبت کلسیم به منیزیم، در گروه‌های مختلف شوری نیز مورد بررسی قرار گرفت که نتیجه آن در جدول (۴) آمده است. در این جدول، مشاهده می‌شود که توزیع Ca/Mg در تمام گروه‌های شوری در نظر گرفته شده، نسبتاً یکنواخت است، یعنی بین سطح شوری و این نسبت ارتباطی مشاهده نمی‌شود.

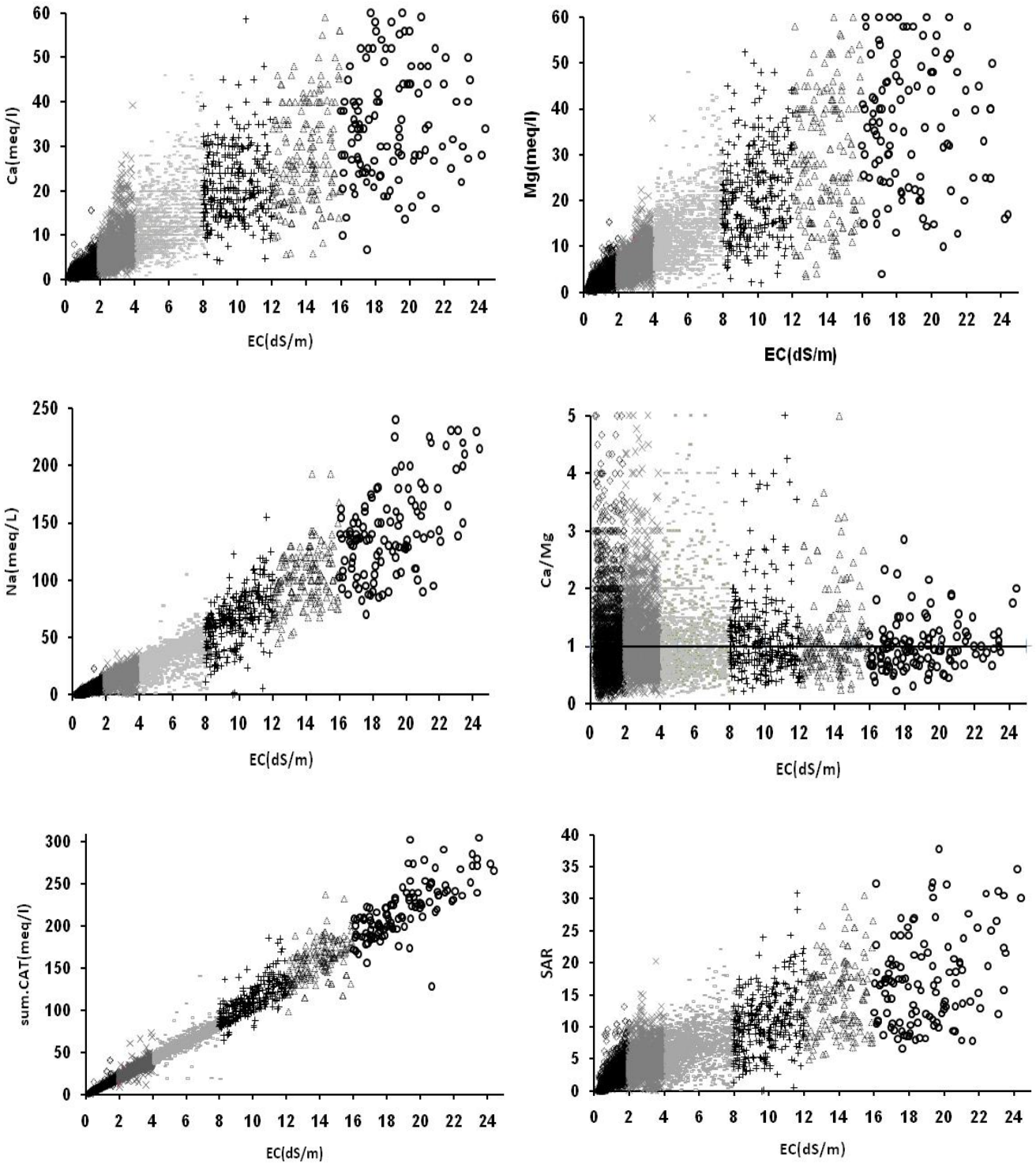
روابط همبستگی بین شوری و پارامترهای اندازه‌گیری شده در نمونه‌های مورد بررسی نشان‌دهنده این موضوع است که در بیشتر نمونه‌ها، یون سدیم فراوان‌ترین کاتیون موجود است. این فراوانی با افزایش شوری بیشتر شده و تا ۹۰ درصد مجموع کاتیون‌ها را یون سدیم تشکیل می‌دهد. همبستگی بین شوری و مجموع کاتیون‌های اندازه‌گیری شده در شکل (۲) آمده است. همان‌گونه که در این شکل آمده است، بین شوری و مجموع کاتیون‌های اندازه‌گیری شده بیشترین همبستگی وجود دارد که با توجه به نقش سدیم در مجموع کاتیون‌ها این همبستگی بین شوری و میزان سدیم نیز تا حدودی مشاهده می‌شود. پراکندگی داده‌ها در شکل (۲) ارتباط ضعیف‌تر بین شوری و میزان یون‌های کلسیم و منیزیم را نشان می‌دهد. یعنی در هر شوری خاص، تنوع مقادیر این دو یون بیشتر است. بیشترین پراکندگی هم مربوط به نسبت Ca/Mg است که روندی خاص را نشان نمی‌دهد و در هر شوری، نسبت‌های Ca:Mg<1 مشاهده شود.

جدول ۳- گروه‌های درصدی و میانگین پارامترهای مورد بررسی

		EC (dS/m)	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)	Ca/Mg	Ca/(Ca+Mg)	Na (meq/l)	SAR
گروههای درصدی	۱۰	۰/۸۳	۱/۸	۱/۹	۰/۵۰	۰/۳۳	۳/۰	۱/۲
	۲۰	۱/۳۴	۲/۵	۲/۷	۰/۶۵	۰/۳۹	۶/۲	۲/۲
	۳۰	۱/۸۸	۳/۵	۳/۸	۰/۷۶	۰/۴۳	۹/۸	۳/۱
	۴۰	۲/۴۷	۴/۸	۵/۰	۰/۸۷	۰/۴۶	۱۲/۸	۳/۹
	۵۰	۳/۱۳	۶/۲	۶/۶	۱/۰۰	۰/۵۰	۱۶/۸	۴/۹
	۶۰	۳/۸۸	۸/۰	۸/۳	۱/۱۱	۰/۵۳	۲۱/۳	۵/۸
	۷۰	۴/۷۳	۱۰/۴	۱۰/۲	۱/۲۶	۰/۵۶	۲۸/۰	۶/۹
	۸۰	۶/۰۰	۱۴/۱	۱۴/۰	۱/۵۰	۰/۶۰	۳۶/۴	۸/۴
	۹۰	۸/۲۹	۲۰/۴	۲۰/۰	۲/۰	۰/۶۷	۵۵/۰	۱۰/۷
میانگین		۴/۱۳	۹/۳	۹/۳	۱/۱۹	۰/۵۰	۲۵/۶	۵/۷

جدول ۴- میانگین نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم در کلاس‌های متفاوت شوری

EC dS/m	۲-۰			۴-۲			۸-۴			۱۲-۸			۱۶-۱۲			>۱۶			کل	
Ca/Mg	میانگین	درصد از کل	درصد از گروه	میانگین	درصد از کل	درصد از گروه	میانگین	درصد از کل	درصد از گروه	میانگین	درصد از کل	درصد از گروه	میانگین	درصد از کل	درصد از گروه	میانگین	درصد از کل	درصد از گروه	میانگین	درصد از کل
<۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۹	۲/۸	۰/۲۲	۰/۳	۱/۰	۰/۲۰	۱/۳	۱/۱	۰/۲۲	۰/۱	۱/۸	۰/۰	۰/۰	۰/۰۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۲۰	۱/۵
۰/۵-۰/۲۵	۰/۳۹	۷	۱۱/۴	۰/۴۲	۲/۲	۷/۵	۰/۴۱	۲/۶	۹/۴	۰/۴۲	۰/۴	۷/۰	۰/۴۳	۰/۳	۱۰/۰	۰/۴۳	۰/۱	۵/۰	۰/۴۱	۹/۴
۰/۷۵-۰/۵	۰/۶۵	۶/۰	۱۸/۵	۰/۶۴	۵/۵	۱۸/۷	۰/۶۴	۵/۷	۲۰/۷	۰/۶۶	۰/۹	۱۵/۸	۰/۶۴	۰/۴	۱۳/۳	۰/۶۵	۰/۴	۲۰/۰	۰/۶۴	۱۸/۹
۱/۰-۰/۷۵	۰/۸۹	۸/۲	۲۵/۳	۰/۸۹	۷/۰	۲۳/۸	۰/۹۰	۶/۸	۲۴/۷	۰/۸۸	۱/۳	۲۲/۸	۰/۸۸	۰/۸	۲۶/۷	۰/۹۰	۰/۶	۳۰/۰	۰/۸۹	۲۴/۷
۱/۵-۱	۱/۲۵	۷/۵	۲۳/۲	۱/۲۳	۸/۰	۲۷/۲	۱/۲۶	۷/۶	۲۷/۶	۱/۲۶	۱/۷	۲۹/۸	۱/۱۹	۰/۹	۳۰/۰	۱/۱۹	۰/۶	۳۰/۰	۱/۲۴	۲۶/۴
۲-۱/۵	۱/۷۸	۳/۱	۹/۶	۱/۷۴	۳/۸	۱۲/۹	۱/۷۷	۲/۱	۷/۶	۱/۷۶	۶/۶	۱۰/۵	۱/۷۷	۰/۲	۶/۷	۱/۷۹	۰/۲	۱۰/۰	۰/۷۶	۹/۹
>۲	۳/۴۲	۳/۱	۹/۶	۳/۲۳	۲/۷	۹/۲	۳/۲۳	۲/۵	۹/۱	۴/۰۲	۰/۵	۸/۸	۳/۱۳	۰/۴	۱۳/۳	۳/۶۲	۰/۱	۵/۰	۳/۳۴	۹/۲
کل	۱/۱۸	۳۲/۴	۱۰۰	۱/۲۲	۲۹/۴	۱۰۰	۱/۱۷	۲۷/۵	۱۰۰	۱/۲۹	۱۱/۵	۱۰۰	۱/۲۲	۳/۰	۱۰۰	۱/۰۸	۲/۰	۱۰۰	۱/۱۹	۱۰۰



شکل ۲- روابط همبستگی بین شوری و پارامترهای مورد بررسی درداده‌های آزمایشگاهی

به منظور بررسی اثر سدیم، کلسیم و منیزیم در تغییرات شوری روابط رگرسیونی بین متغیرها بررسی شد. در مرحله اول، رابطه خطی ساده بین شوری و هر یک از کاتیون‌ها و همچنین مجموع آن‌ها محاسبه شد (جدول ۵). نتایج نشان داد که با استفاده از پارامترهای فوق می‌توان شوری آب آبیاری را تخمین زد و بیشترین همبستگی، به ترتیب بین شوری با مجموع کاتیون‌ها و میزان سدیم است. اگر چه با داشتن میزان کلسیم و یا منیزیم می‌توان حدود ۶۶ درصد از تغییرات شوری آب آبیاری را پیش‌بینی نمود، لیکن استفاده از هر دو پارامتر در یک مدل، این توانایی را به طور معنی‌داری بهبود نبخشید. از طرف دیگر این نتایج نشان می‌دهد که با داشتن میزان شوری خاک نمی‌توان در مورد نسبت کلسیم به منیزیم آب آبیاری اظهار نظر نمود و یا با داشتن میزان کلسیم میزان منیزیم را برآورد کرد. همچنین تفاوتی بین مدل پیش‌بینی شوری بدست آمده با مجموع کاتیون‌ها و مدل چند متغیره (مدل شماره ۵) مشاهده نشد. در مدل خطی چند متغیره، ورود هر کدام از پارامترها به درون مدل به طور معنی‌داری توانایی پیش‌بینی شوری را بهبود بخشید (جدول ۵).

جدول۵- ضرایب حاصل از برازش معادله رگرسیون خطی یک متغیره (مدل‌های ۱ الی ۴) و چند متغیره

مدل	متغیر مستقل	R^2	Durbin-watson	پارامترهای مدل	ضرایب
۱	Ca	۰/۶۷**	۱/۱۷	ثابت Ca	۱/۱۱ ۰/۳۳
۲	Mg	۰/۶۶**	۱/۲۱	ثابت Mg	۱/۱۴ ۰/۳۲
۳	Na	۰/۸۷**	۱/۴۲	ثابت Na	۱/۰۹ ۰/۱۲
۴	Sum.Cat	۰/۹۷**	۱/۴۲	ثابت Cat	۰/۳۹ ۰/۰۸
۵	Ca, Mg, Na	۰/۹۷**	۱/۴۳	ثابت Ca Mg Na	۰/۳۶ ۰/۰۸ ۰/۰۹ ۰/۰۸

**معنی‌دار در سطح یک درصد

نتیجه گیری

۱. داده‌های تجزیه آب‌های آبیاری در ۱۱ استان کشور نشان داد که شوری و غلظت یون‌های سدیم، کلسیم، و منیزیم دامنه گسترده دارد..

۲. نتایج نشان داد که در حدود ۵۵ درصد از نمونه‌های آب مورد بررسی، Ca/Mg مساوی یا کوچکتر از یک است.

۳. نسبت Ca/Mg با گروه‌های شوری رابطه‌ای ندارد. یعنی از روی میزان شوری خاک نمی‌توان در مورد نسبت کلسیم به منیزیم آب آبیاری اظهار نظر نمود و یا با داشتن میزان کلسیم، میزان منیزیم را نمی توان برآورد کرد. پس اندازه گیری هر دو این یون‌ها به منظور تفسیر نتایج تجزیه آب ضروری است.

۴. افزایش غلظت منیزیم در محلول خاک موجب افزایش غلظت آن در فاز تبادلی تبادلی می گردد، افزایش منیزیم تبادلی، بویژه در مقادیر بالای SAR، میتواند موجب تخریب ساختمان خاک و کاهش نفوذپذیری آن از یک طرف و به هم خوردن تعادل تغذیه ای گیاهان از طرف دیگر شود.

منابع

۱. دهقانی ف. ، و م. گلشن. ۱۳۸۰ . مدیریت منابع آب و خاک شور باغات پسته شمال اردکان، ارزیابی وضع موجود. اردکان –

۲. دفتر مدیریت کیفی منابع آب. ۱۳۸۴ . شناخت پتانسیل منابع آب‌های شور، لب شور و غیر متعارف در سطح حوضه‌های آبریز کشور(گزارش شماره ۲). وزارت نیرو، تهران

3. Alperovitch, N., I., Shainberg, and I. Keren. 1981. Specific effect of magnesium on the hydraulic conductivity of sodic soils. J. Soil Sci. 32: 543-554.
4. Ayers, R.S. and D.W. Westcot. 1985. Water Quality for agriculture. In FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29 (Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations).
5. Bekbaev, R., F., Vyshpolsky, S., Ibatullin, K., Mukhamedjanov, and U. Bekbaev. 2005. Influence of application of phosphogypsum on infiltration rate of solonetzic soil. Bull. Agr. Sci. Kazakhstan (in Russian) 7: 18-20.
6. Bresler, E., B.L., McNeal, and D.L. Carter. 1982. Saline and sodic soils: principles, dynamics, modeling. (Springer-Verlag).
7. Bernstein, L., and H. Hayward. 1958. Physiology of salt tolerance. Ann. Rev. Plant Physiol 9: 25-46.
8. Cosgrove, W.J. and F.R. Rijsberman. 2000. World water vision: Making Water Everybody’s Business. London: Earthscan Publications.
9. Dontsova, K.M. and D.L. Norton. 2002. Clay dispersion,infiltration and erosion as influenced by exchangeable Ca and Mg. Soil Sci. 167: 184-193.
10. Franklin, W.T., J.S., Olsen, and P.N. Soltanpour. 1991. effects of excessive magnesium in irrigationwaters on wheat and corn growth. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 22: 49-61.
11. Jalali, M. 2007. Phosphorus status and sorption characteristics of some calcareous soils of Hamadan, western Iran. Environmental Geology, 53: 365-374.
12. Jalali, M. 2008. Effect of sodium and magnesium on kinetics of potassium release in some calcareous soils of western Iran. Geoderma 145: 207-215.
13. Key, I.L., L.T., Kurtz, and P.B. Tucker. 1962. Influence of ratio of exchangeable calcium-magnesium on yield and composition of soybeans and corn. Soil Sci, 93: 265—270.
14. Ma, E., F., ShaSha, and Z.H. Bo. 2008. Effects of excessive Mg2+ on the germination characteristics of crop seeds. Agricultural Science & Technology, 9: 26-29.
15. Marcar, N., and A. Termaat. 1990. Effects of root-zone solutes on Eucalyptus camaldulensis and Eucalyptus bicostata seedlings: Responses to Na+, Mg2+ and Cl. Plant and Soil, 125: 245-254.
16. Marschner, H. 1995. mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press.
17. Peterson, F.F., J., Rhoades, M., Arca, and N.T. Cdeman. 1965. Selective adsorption of magnesium ions by vermiculite. Soil Sci. Soc. Am. Proc, 29: 327-328.
18. Rahman, W.A. and D.L. Rowell. 1979. The influence of magnesium in saline and sodic soils : a specific effect or aproblem of cation exchange? Journal of Soil Science, 30: 535-546.

19. Rhoades, J.D. and S.D. Merrill. 1976. Assessing the suitability of water for irrigation: theoretical and empirical approaches. In: Prognosis of salinity and alkalinity. FAO Soils Bulletin, 31. 69-109.

20. Rhoades, J.D., A., Kandiah, and A.M. Mashali. 1992. The use of saline waters for crop production.FAO Bulletne.

21. Shainberg, I. and J. Letey. 1984. Response of soil to saline and sodic conditions. Hilgardia, 52: 1-53.

22. Sumner, M.E. 2000. Handbook of soil science. CRC Pre.

23. Vyshpolsky, F., M., Qadir, A., Karimov, K., Mukhamedjanov, U., Bekbaev, R., A., Paroda, Aw-Hassan, and F. Karajeh. 2008. Enhancing the productivity of high-magnesium soil and water resources in Central Asia through the application of phosphogypsum. Land Degradation & Development, 19:45-56.

24. Zhang, X.C., and L.D. Norton. 2002. Effect of exchangeable Mg on saturated hydraulic conductivity, disaggregation and clay dispersion of disturbed soils. Journal of Hydrology, 260:194-205.