استفاده از مدل Watsuit برای پیش بینی ترکیب شیمیایی محلول خاک اصلاح شده با گچ

فاطمه رسولی[۱*] و علی کیانی پویا

کارشناس ارشد مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس؛ rasouli@farsagres.ir

عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس؛ ali.kiani@farsagres.ir

چکیده

مدیریت صحیح بهره برداری از منابع آب و خاک سدیمی نقش تعیین کننده ای در افزایش محصولات کشاورزی ایفا می‌نماید. در این راستا استفاده از مدلهای یارانه ای برای بررسی اثرات مصرف آبهای سدیمی و مواد اصلاح کننده بر خاک و گیاه می‌توانند بسیار سودمند واقع شود. در این تحقیق تأثیر استفاده از ازگچ در اصلاح خاکهای سدیمی در دشت درودزن- مرودشت در استان فارس مورد بررسی قرار گرفت. همچنین از مدل watsuit برای پیش بینی ترکیب شیمیایی محلول خاک ناشی از استفاده از آب سدیمی (SAR =۱۷/۱ و ECe = ۲/۱۷). و ماده اصلاح کننده گچ استفاده گردید. تیمارها شامل ۴ سطح گچ معدنی (۰، ۳، ۶ و ۲۴ میلی اکی والان در لیتر) در سه تکرار در کرتهای ۲۰ متر مربعی بود. داده‌های پیش بینی شده نشان داد که با افزایش میزان گچ یونهای کلسیم و سولفات افزایش و قلیائیت خاک کاهش یافته است. در کرتهای آزمایشی غلظت هر یک از عناصر، شوری و نسبت جذبی سدیم مقدار بیشتری نسبت به میزان پیش بینی شده توسط مدل نشان داد. دلیل آن احتمالاً مربوط به راندمان پایین آبشویی املاح در شرایط مزرعه می باشد. در رابطه با اصلاح خاکهای سدیمی، شوری آستانه پایداری خاک، نسبت منیزیم به کلسیم و حذف عوامل قلیاییت (کربنات و بی کربناتها) تا سطحی که برای گیاه زیان آور نباشد، در نظر گرفته می‌شود. پیش بینی مدل برای ارزیابی هر یک از این موارد از اعتبار کافی برخورداراست. با مصرف ۳ میلی‌اکی والان گچ در لیتر نسبت متعادلی از شوری و نسبت جذبی سدیم جهت پایداری ساختمان خاک فراهم گردید. در حالیکه پیش بینی مدل حاکی از لزوم مصرف بیشتر گچ برای حصول به آستانه پایداری است. علت آن را می‌توان به درجه خلوص گچ معدنی مصرف شده در کرتهای آزمایشی نسبت داد. هم پیش بینی مدل و هم مقادیر اندازه گیری شده نشان می‌دهد که حتی با مصرف مقادیر زیاد گچ غلظت کربنات به محدوده بی‌ضرر برای مصرف آب آبیاری تنزل نیافته است. به طور کلی همانطور که مدل Watsuit پیش‌بینی می‌نماید، سطح ۲۴ میلی اکی‌والان در لیتر به عنوان مناسب‌ترین میزان گچ برای اصلاح خاک در شرایط آزمایش توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: خاک سدیمی، اصلاح خاک، گچ معدنی، مدل Watsuit، استان فارس

مقدمه

خاک‌های سدیمی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان گسترده‌اند و تا ۳۰٪ کل اراضی را تشکیل می‌دهند. در ایران نیز مساحت خاک‌های سدیمی ۸۶۸ هزار هکتار برآورد شده است (رنگاسمی، ۲۰۰۲)[۲]. با این حال

۱- نویسنده مسئول، آدرس: فارس، زرقان، بلوار شهید بخشنده، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس، بخش تحقیقات شوری

* دریافت: ۸۸/۶/۳۱ و پذیرش: ۸۹/۳/۱۷

2- Regasamy (2002)

Archive of SID

www.SID.ir

مشکلاتی در زمینه تخمین میزان خاک‌های سدیمی وجود دارد و علت آن را می‌توان به متفاوت بودن معیارها برای شناسائی خاک‌های سدیمی نسبت داد (مورفی، ۲۰۰۲)[1]. مدیریت صحیح بهره‌برداری از اراضی سدیمی نقش تعیین کننده در افزایش تولید ایفا می‌نماید. سطوح بالای سدیم همراه با هدایت الکتریکی پایین محلول خاک، ضریب آبگذری خاک و ظرفیت نفوذ خاک را به دلیل پدیده انبساط و پراکنش ذرات و ورقه‌ای شدن خاکدانه‌ها کاهش می‌دهد. پدیده انبساط ذرات رس از طریق کوچک نمودن اندازه حفره‌های هدایت کننده آب و هوا در خاک (مکنیل و کلمن، ۱۹۶۶)[2] و پدیده پراکنش از طریق منتشر نمودن ذرات و ته‌نشست آنها در مسیر حفره‌های هدایت کننده می‌تواند ضریب آبگذری خاک را کاهش دهند (شینبرگ و همکاران،۱۹۸۱)[3] در خاکهای شور و سدیمی با غلظت الکترولیت بالا تورم خاک حداقل و پراکندگی ذرات رس اصولا رخ نمی‌دهد. تاجیک و همکاران (۱۳۸۱) نیز نشان دادند افزایش غلظت املاح در یک خاک سدیمی سبب افزایش مقاومت خاکدانه‌ها می‌گردد.

زمانی که برای آبیاری یا اصلاح خاکهای شور- سدیمی، ازآب باران یا EC پایین استفاده می‌شود به محض کاهش املاح محلول به میزان کمتر از حد آستانه پایداری خاک، ابتدا انبساط و سپس پراکنش ذرات آغاز می‌شود. لذا بایستی از ترکیبات حاوی کلسیم در خاک یا آب آبیاری استفاده نمود (مقیمی و مهاجر میلانی،۱۳۸۰). چرچمن (۲۰۰۲)۴ گزارش نمود برای حفظ پایداری ساختمان خاک، کلسیم بایستی حداقل ۳۰ درصد کل کاتیونهای محلول را تشکیل دهد ($Ca/\ Total\ Cation \geq 0.3$). گچ در اصلاح خاکهای سدیمی به دو دلیل در افزایش نفوذپذیری سطحی و آبگذری پروفیل خاک موثر است: ۱- افزایش غلظت الکترولیت محلول خاک۲- خروج یونهای Na از سطوح ذرات رس از طریق تبادل با Ca (کرن و شینبرگ،۱۹۸۱)[5].

در بررسی کیفیت آب جهت مصارف آبیاری و یا ارزیابی خاک، علاوه بر غلظت و نوع املاح و ماهیت یونها به نسبتهای یونی بایستی توجه گردد که در اغلب خاکهای متأثر از نمک نسبت یونها معمولاً از تعادل مناسب و قابل قبول بر خوردار نمی باشد. غالب بودن یون منیزیم نسبت به کلسیم در بسیاری از خاکهای متأثر از نمک مشاهده می‌گردد، در صورتی که نسبت کلسیم به منیزیم کمتر از یک شود پتانسیل خاک در برابر تخریب افزایش می‌یابد و ساختمان خاک از پایداری کمتری برخوردار است (فائو- یونسکو، ۱۹۷۳)[6]. گزارش شده است که در خاکهای دارای منیزیم زیاد و یا خاکهایی که با آب دارای منیزیم بالا آبیاری می‌شوند در مواردی حتی اگر مسئله نفوذ هم مطرح نبوده است، باز قدرت تولید خاک پایین آمده است که این مربوط به کمبود کلسیم در تغذیه گیاه است. بنابراین مصرف گچ نه تنها در خاکهای سدیمی و پ هاش بالا، بلکه در خاکهای شور و شور - سدیمی در صورت نا متوازن بودن ترکیب یونی از لحاظ کلسیم و منیزیم ضروری است.

مدل Watsuit غلظت آنیونها و کاتیونهایی خاک در منطقه فعالیت ریشه را در حالت ماندگار پیش بینی می‌کند. مقدار پیش‌بینی شده تابعی از ترکیب شیمیایی آب آبیاری و اشباع یا عدم اشباع محلول خاک از کربنات کلسیم می‌باشد . تأثیر برخی از مدیریتهای اعمال شده در مزرعه نیز نظیر جز آبشویی، روش آبیاری و استفاده از مواد بهساز (اسید سولفوریک و گچ) را می‌توان با استفاده از این مدل پیش بینی نمود. علاوه بر غلظت یونهای مثبت و منفی، هدایت الکتریکی محلول خاک، SAR، pH خاک نیز با استفاده از این مدل شبیه سازی می‌گردد. این مدل توسط رودز (۱۹۷۷)[7] توسعه یافته و در وب سایت آزمایشگاه شوری آمریکا به صورت رایگان در دسترس می‌باشد. مدل Watsuit، برداشت نسبی آب را بر اساس مدل خطی جذب آب انجام می دهد. بدین ترتیب که ۴۰ درصد جذب آب از یک چهارم اول منطقه ریشه صورت می‌گیرد، ۳۰ درصد از یک چهارم دوم، ۲۰ درصد از یک چهارم سوم و یک چهارم انتهایی منطقه ریشه ۱۰ درصد آب را جذب می نماید. این مدل جذب آب، مدل ۴۰-۳۰-۲۰-۱۰ نیز نامیده می‌شود. از مدلWatsuit استفاده‌های متعددی شده است. به عنوان مثال رودز (۱۹۷۷) جهت ارزیابی تناسب آبهای غرب ایالت متحده آمریکا از این مدل استفاده نمود و بر اساس پیش بینی مدل تناسب آبهای مورد استفاده از فرایند کشت و کار را مشخص نمود. کوروین و همکاران (۲۰۰۶)[8] نیز از این مدل برای برآورد نیاز آبشویی ۳ محصول گندم، یونجه و کاهو استفاده نمودند این محققان از سایر مدل‌های ماندگار از جمله مدل آزمایشگاه شوری آمریکا (مدل قدیم)، تابع تولید آب، و مدلهای غیر ماندگار نظیر TETRANS و UNSATCHEM برای پیش بینی نیاز آبشویی استفاده نمودند. نتایج تحقیق این محققان

1- Murphy (20020
2- Mc-Neal and Coleman (1966)
3- Shainberg *et al.*(1981)
4- Cherchman (2002)
5- keren and shainberg (1981)
6- FAO,UNESCO (1973)
7- Rhoades (1977)
8- Corwin (2006)

Archive of SID

www.SID.ir

نشان داد کـه مـدل WATSUIT بـه دلیـل در نظـر گـرفتن فرایندهای ترسیب و انحلال در خاک، نیاز واقعی آبـشویی گیاه را بهتر از سایر مدلها پیش بینی می‌کند. به طور کلی در اصلاح آب و خاک سدیمی چند شـاخص در نظـر گرفتـه می‌شود و با مقایسه مقدار این شاخص ها با حـدود مجـاز، اثر کاربرد آب سدیمی بر خاک و یا میزان تأثیر مواد بهـساز بـر مناسـب شـدن آب را مـی‌تـوان ارزیـابی نمـود. ایـن شاخص‌ها عبارتنـد از غلظـت آسـتانه امـلاح بـرای حفـظ پایداری ساختمان خاک، حفظ غلظت کلسیم به بـیش از ۲ میلی اکی والان در لیتر، نسبت منیـزیم بـه کلـسیم متـوازن (Mg/Ca<1) و کاهش غلظت بی‌کربنات‌ها تا سـطح مجـاز طبق اطلاعات بدست آمده از گزارشات خاکشناسی حـدود ۱۰ درصد خاکهای متأثر از نمک در استان فارس سدیمی و ۴۷ درصد شور و سدیمی است و استفاده از مواد بهساز در این اراضی با مدیریت صحیح ضروری می‌نماید. لذا تحقیق حاضر به منظور اهداف ذیل صورت گرفت ۱- اثـر مقـادیر مختلف گـچ در اصـلاح خاکهـای قلیـایی ۲- پـیش بینـی ترکیب شیمیایی محلـول خـاک قبـل و پـس از اصـلاح بـا مقادیر مختلف گچ با استفاده از مدل Watsuit.

مواد و روشها

آزمایش، در جنوب دشت "مرودشـت- درودزن " در بخش شمال غرب استان فارس انجام گرفت. بارندگی متوسط ۲۹۵ میلی‌متر در سال، درجه حرارت متوسط ۱۵/۵ درجه سانتیگراد، و ارتفاع تبخیـر ۲۲۰۰ میلـی‌متـر در سـال می باشد. منبع تأمین آب در منطقه، شاخه‌های فرعی کانـال سد درودزن، زه آبهـای سـطحی و زیـر سـطحی و آبهـای زیرزمینی است. مزرعه مورد نظر دارای سابقه الگوی کشت گندم- آیش بوده و با آب سدیمی آبیاری می‌شـود. جهـت اجرای آزمایش، جمعاً ۱۲ کرت ۲۰ متر مربعی آماده سازی گردید. تیمارها شامل سـطوح مختلـف گـچ ۰، ۳، ۶ و ۲۴ میلی اکی والان در لیتر بود. مقدار ۳ میلی اکی‌والان در لیتـر با انحلال گچ در آبیاری حاصل گردید. ۶ و ۲۴ میلـی اکـی والان در لیتر با افزودن ۱۰ و ۴۰ تن گچ به خاک در عصاره اشباع محلول خاک اندازه‌گیری شد. گچ معدنی از کارخانـه گچ ماشینی فارس تهیه گردید. پس از مخلـوط کـردن گـچ با خاک اقدام به کشت گندم گردید. در طول فصل کـشت، در فواصل بارندگی یا آبیاری، از عمق ۰ تـا ۹۰ سـانتیمتری به فواصل ۳۰ سانتیمتری از خاک نمونـه‌بـرداری گردیـد و ترکیب یونی محلول خـاک (کـاتیون هـا و آنیـون‌هـا)، EC عصاره اشباع و SAR محلول خاک اندازه‌گیری شـد. کلیـه تجزیـه هـای شـیمیایی آب و محلـول خـاک بـه روش آزمایشگاه شوری آمریکا (ریچاردز،۱۹۵۴)[1] و در آزمایشگاه مرکز ملی تحقیقات شوری صورت گرفت. ترکیب شیمیایی آب در جدول ۱ و خاک مورد نظر در جدول ۲ ارائه شـده است.

دبی آب ورودی به کرت و زمان آبیـاری جهـت احتساب حجم آب مصرفی در هرکرت اندازه‌گیری شد. از آنجایی که مدل Watsuit، برای شرایط ماندگار و استفاده از یـک منبـع آب طراحـی شـده اسـت، لـذا در منـاطقی کـه بارندگی صـورت مـی‌گیـرد، جهـت اسـتفاده از ایـن مـدل بایستی اقدام بـه تـصحیح شـوری و ترکیـب شـیمیایی آب آبیاری نمود. بدین ترتیب که با توجه به حجم آب مصرفی در مزرعه و مقدار بارندگی از هر یـک از یونهـا و شـوری آب، میانگین وزنی گرفته شود و سپس از این داده به عنوان اطلاعات ورودی مدل استفاده گردد. در سال مطالعه، میزان بارندگی این منطقه ۱۳۲ میلیمتر و میزان آب مـصرفی ۷۵۰ میلیمتر اندازه‌گیری شد. جهت ارزیابی پـیش بینـی ترکیـب شیمیایی خاک پس از افزودن ماده بهساز، مقدار گچ افزوده شده به خاک به عنوان داده ورودی در نظر گرفته می‌شـود. مقدار آب مصرفی گیاه که مـازاد بـر نیـاز گیـاه در مزرعـه مصرف شده است نسبت آبشویی می‌باشد که جهت اجرای مدل مورد نیاز می باشد. برای این منظور از دستگاه تعیینگر جبهه رطوبتی خـاک (WFD) اسـتفاده گردیـد (تامـسون و استیرزاکر، ۲۰۰۴)[2]. این دستگاه از یک قیف تـشکیل شـده که در پایین عمق ریشه به کار گذاشته می‌شـود. آب مـازاد بر نیاز گیاه از طریق قیف جمع آوری و در مخزن زیر قیف ذخیره می‌گردد. نمونه برداری از آب جمع شـده در مخـزن از طریق لوله‌ای که به مخـزن متـصل اسـت بـه وسـیله سـرنگ صـورت مـی‌گیـرد. در آزمـایش حاضـر بـا نمونه‌برداری مکرر از آب مخزن و اندازه‌گیری شـوری عصاره خاک، نسبت آبشویی در مزرعـه از معادلـه (۱) بدست آمـد. در قـسمت‌هـای مختلـف مزرعـه مقـادیر متفاوتی از ۳۰/۵ درصد تا ۴۰ بدست آمد که بـه طـور میانگین ۳۵ درصد در نظر گرفته شد.

$$LF = \frac{EC_i}{EC_d} \qquad \text{معادله (۱)}$$

LF: نسبت آبشویی، EC_i: شوری آب مصرفی، EC_d: شوری آب زهکش (آب تجمع یافته در مخزن).

مدل watsuit شـوری محلـول خـاک را محاسـبه می‌نماید. جهت تبدیل شـوری محلـول خـاک بـه شـوری عصاره اشباع از نسبت رطوبـت اشـباع خـاک بـه رطوبـت خاک در ظرفیت مزرعه (θ_{SP}/θ_{FC}) استفاده گردید. رطوبـت

1- Richards (1954)
2- Stirzaker and Thomson (2004)

Archive of SID

www.SID.ir

اشباع خاک در آزمایشگاه تعیین گردید و رطوبت ظرفیت مزرعه به روش مزرعه‌ای اندازه‌گیری شد. بدین ترتیب که یک قسمت از مزرعه به ابعاد ۲× ۲ مرزبندی و با حدود ۱۰ سانتیمتر آب آبیاری شد. پس از فروکش کردن آب، سطح خاک توسط پوشش پلاستیکی پوشانده شد. روزانه از خاک زیر پلاستیک نمونه‌برداری گردید و زمانیکه سرعت نفوذ عمقی آهسته گردید، رطوبت خاک به عنوان رطوبت ظرفیت مزرعه در نظر گرفته شد. از آنجایی که که شوری محلول خاک، شوری در رطوبت ظرفیت مزرعه در نظر گرفته می‌شود لذا می‌توان از معادله ۲ شوری عصاره اشباع خاک بدست آورد.

$$ECsw = \frac{\theta_{sp}}{\theta_{fc}} \times ECe$$ معادله (۲)

EC_{sw}: شوری محلول خاک، EC_e: شوری محلول خاک، θ_{sp}: رطوبت اشباع خاک، θ_{fc}: رطوبت ظرفیت مزرعه.
در آزمایش حاضر این نسبت معادل ۲/۰۵ بدست آمد.

نتایج و بحث

۱- تغییرات شوری با عمق

مدل Watsuit، ترکیب آب خاک برای پنج عمق نسبی شامل سطح خاک، $\frac{1}{4}$، $\frac{1}{2}$، $\frac{3}{4}$ و تمامی عمق ریشه را پیش بینی می‌نماید. شکل (۱) پیش بینی غلظت املاح محلول خاک در هر یک از اعماق را نشان می دهد. در شرایط ماندگار با افزایش عمق، غلظت املاح افزایش می‌یابد. به طوری که بیشترین غلظت در یک چهارم پایین منطقه ریشه رخ می دهد. زمانی که جز آبشویی‌های تخصیص یافته، کم باشد تغییرات غلظت با عمق از شیب بیشتری برخوردار است. در جز آبشویی ۵ درصد، شوری لایه پایین منطقه ریشه ۱۶ برابر لایه فوقانی است در حالی که با افزایش نسبت آبشویی این اختلاف کم شده و در نسبت آبشویی ۴۰ درصد این افزایش به ۲/۵ برابر می رسد. نتیجه تحقیقات متعددی نشان داده است که در روش آبیاری سطحی، گیاه به توزیع نمک در منطقه ریشه واکنش نشان نمی‌دهد بلکه رشد گیاه همبستگی بیشتری با میانگین غلظت املاح در محیط ریشه نشان داده است (احتشامی و همکاران، ۱۳۷۸). در مطالعه حاضر میانگین خطی غلظت یون‌ها در اعماق نسبی به عنوان مقادیر پیش بینی شده در نظر گرفته شد.

۲- تأثیر بارندگی در مقادیر پیش بینی شده

مدل Watsuit، در شرایط استفاده مداوم از یک منبع آب منفرد، غلظت املاح در خاک را پیش بینی می‌نماید. در حالیکه وقایع بارندگی و یا استفاده از چندین منبع آب با کیفیتهای مختلف غلظت املاح در خاک را تغییر می‌دهد. در مطالعه حاضر میزان بارندگی، ۱۵ درصد کل آب مصرف شده در طول رشد گندم بود. بنابراین ترکیب اولیه آب آبیاری ۱۵ درصد رقیق گردید و به عنوان اطلاعات ورودی مدل استفاده گردید. نتایج مربوط به شوری پیش بینی شده خاک در دو حالت "در نظر گرفتن بارندگی" و "صرفنظر از بارندگی" در شکل ۲ ارائه شده است. بارندگی، هم شوری و هم SAR خاک را کاهش داده است. شوری خاک ۱۵ درصد و نسبت جذبی سدیم ۱۰ تا ۱۳ درصد نسبت به شرایط بدون بارندگی کاهش یافته است. کمتر شدن شاخصهای فوق بدین مفهوم است که بارندگی یا استفاده تناوبی از آب مطلوب‌تر همراه با آب های نامرغوب، پتانسیل استفاده از آب شور یا سدیمی را افزایش می‌دهد. در این منطقه میانگین طولانی مدت بارندگی ۲۹۵ میلیمتر است. در حالیکه در سال‌های مورد مطالعه میزان بارندگی ۵۵ درصد، از میانگین طولانی مدت ایستگاه هواشناسی دشت، کمتر بود. بر این اساس در سال‌های نرمال حتی می‌توان از آبهای سدیمی و شور به نحو مؤثرتری بهره برداری نمود.

۳- مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده یونهای محلول خاک

غلظت یونی محلول خاک در منطقه ریشه در شکل (۳) ارائه شده است. داده‌های پیش بینی شده نشان می‌دهد که با افزایش میزان گچ، یونهای کلسیم و سولفات افزایش و قلیائیت خاک که در برگیرنده مجموع آنیونهای کربنات و بی‌کربنات است، کاهش یافته است. غلظت کلسیم از ۰/۹در شاهد به ۱/۶، ۳ و ۱۴/۵ میلی‌اکی‌والان در لیتر با مصرف ۳، ۶، و ۲۴ میلی‌اکی والان در لیتر گچ تغییر نموده است. میانگین یون سولفات نیز در تیمارهای گچ به ترتیب معادل ۵، ۸/۱ و ۲۲ و در کرت شاهد ۱/۸ میلی‌اکی والان در لیتر پیش بینی شده است.

مقادیر اندازه‌گیری شده نیز حاکی از افزایش غلظت کلسیم، منیزیم و سولفات در عصاره اشباع خاک است. افزایش یون منیزیم در سطوح مختلف گچ را می توان به وجود ناخالصی‌های حاوی این عنصر در ترکیب گچ مصرفی نسبت داد. به طور کلی در کرت‌های آزمایشی غلظت عناصر مقدار بیشتری نسبت به میزان پیش بینی شده توسط مدل نشان می‌دهد. دلیل آن احتمالاً مربوط به راندمان پایین آبشویی املاح در شرایط واقعی می باشد. آبشویی در خاکهای سدیمی بویژه خاک‌های بافت ریز به دلیل نفوذپذیری کم و حرکت کند آب در خاک و جریانهای ترجیحی آب از محل شکافهای ایجاد شده در سطح خاک، به طور مؤثر صورت نمی‌گیرد لذا تجمع املاح در مقادیری بیش از پیش بینی مدل دور از انتظار نمی‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

از مشخصه منابع آب و خاکهای سدیمی وجود مقادیر زیاد یونهای کربنات و بی‌کربنات در ترکیب شیمیایی آنهاست. با افزودن آب‌های سدیم که حاوی مقادیر زیادی از این یونها می باشند، کلسیم بومی خاک به صورت املاح نامحلول کربنات کلسیم ترسیب می نماید. نسبت سدیم به کلسیم محلول خاک را افزایش می دهد. گچ در حین فرایند انحلال، یونهای کلسیم و سولفات را در خاک آزاد می‌نماید و بخشی از یونهای کلسیم با کربنات و بی‌کربناتهای موجود در محلول خاک واکنش نموده و طبق واکنش ۱ به کربنات کلسیم تبدیل می‌گردد.

$$Ca+2HCO_3 \Leftrightarrow Ca(HCO_3)_2 \Leftrightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O$$

کربنات و بی‌کربنات زیاد در محلول خاک سبب بروز ناهنجاری‌های تغذیه‌ای در گیاه نیز می‌شود. بر اساس طبقه‌بندی فائو غلظتهای ۱/۵ تا ۸/۵ میلی اکی والان یون بی‌کربنات محدودیت متوسط تا شدید و غلظت بیش از ۸/۵ محدودیت شدید برای مصارف آبیاری ایجاد می‌نماید (آیرز و وستکات، ۱۹۸۴)[1] بدین ترتیب، هم پیش بینی مدل و هم داده‌های اندازه‌گیری شده نشان می‌دهند که به موازات افزایش گچ غلظت عوامل قلیایی خاک روند کاهشی نشان می دهند و غلظت این یونها از محدودیت شدید در تیمار شاهد به محدودیت کم تغییر نموده اند.

از معیارهایی که در حین فرایند اصلاح یک خاک سدیمی بایستی در نظر گرفته شود میزان مطلق کلسیم و نسبت یون منیزیم به کلسیم در محلول خاک است. شرایط سدیمی ممکن است موجب کاهش کلسیم شود. غلظتهای کمتر از ۲ میلی اکی والان کلسیم در لیتر در محلول برای گیاهان بحرانی محسوب می شود (رودز و همکاران، ۱۹۹۲)[2]. مقدار محاسبه شده توسط مدل نشان می دهد که در سطح صفر و ۳ میلی اکی والان گچ در لیتر، کلسیم محلول خاک به ترتیب ۰/۹و ۱/۶ میلی‌اکی‌والان در لیتر است و با افزودن سطوح دوم و سوم گچ غلظت کلسیم به ۳ و ۱۴/۵ افزایش یافته است. مقادیر اندازه گیری شده بیانگر کافی بودن میزان کلسیم در کلیه سطوح گچ مصرفی است. در آبهایی که منیزیم به صورت یون غالب حضور دارد به طوری که نسبت کلسیم به منیزیم کمتر از یک است، صدمات ناشی از منیزیم بارز می‌گردد. در چنین شرایطی احتمال پراکنش ذرات افزایش می‌یابد. زیرا منیزیم نسبت به کلسیم با انرژی کمتری توسط مواضع تبادلی نگهداری می‌شود، لذا یون سدیم با سهولت بیشتری قادر به جایگزین شدن بر روی ذرات خاک است. منیزیم زیاد همچنین رشد گیاه را کاهش می‌دهد و اثر آن اغلب به طور غیر مستقیم و مربوط به اختلال در جذب کلسیم و کمبود این عنصر در گیاه است. به جز در تیمار شاهد که غلظت منیزیم ۱/۵ برابر کلسیم است در سایر تیمارها، غلظت منیزیم از غلظت کلسیم مقدار کمتری را نشان می دهد. لذا حتی با افزودن مقادیر کم گچ (۳ میلی اکی والا ن در لیتر)، در شرایط ماندگار این نسبت تعدیل شده و به حد بی ضرر برای خاک و گیاه می‌رسد. نتایج داده های اندازه گیری شده نیز با نتایج پیش بینی شده مطابقت دارد.

۴- تغیرات شوری و نسبت جذب سدیم

با افزودن گچ، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک افزایش یافت، به نحوی که شوری خاک از ۲/۳ در شاهد به ۳/۲، ۴/۲ و ۵/۳ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب با مصرف ۳، ۶ و ۲۴ میلی‌اکی والان گچ در لیتر تغییر نمود (شکل۴). روند افزایشی شوری توسط مدل Watsuit نیز پیش بینی گردید. اما این روند از شیب کمتری برخوردار بود. به طوری که متوسط شوری در منطقه ریشه از ۱/۹ در تیمار شاهد به ۲/۹ دسی‌زیمنس بر متر در بالاترین سطح گچ افزایش یافت. بدین ترتیب شوری پیش بینی شده با شوری اندازه‌گیری شده در کرت‌های آزمایش چندان مطابقت ندارد و در کلیه موارد، شوری پیش بینی شده مقدار کمتری را نشان می‌دهد.

در مطالعه حاضر از گچ معدنی که از خرد و ریز کردن سنگ گچ بدست آمده در کرت‌های آزمایشی استفاده شده است. درجه خلوص گچ در معدن متغیر و از کمتر از ۶۰ تا بیش از ۸۰ درصد در نمونه‌های مختلف تغییر می‌نمود. نمونه گچ استفاده شده در کرت‌های آزمایش از درجه خلوص ۸۱ درصد برخوردار بود. این درصد خلوص بیانگر این مطلب است که به همراه رسوب گچ در معدن، مقداری املاح محلول هم یافت می شود که در ضمن انحلال موجبات افزایش غلظت املاح را فراهم می آوردند. این املاح در خاک‌های سدیمی یک مزیت محسوب می‌شود. اما بایستی توجه داشت درجه خلوص گچ به حدی پایین نباشد که شوری محلول خاک را به بیش از آستانه تحمل گیاه افزایش دهد. در مطالعه حاضر بالاترین مقدار شوری ایجاد شده، مربوط به بالاترین سطح گچ و معادل ۵/۳ دسی زیمنس برمتر بود که از آستانه تحمل به شوری گندم کمتر است. بنابراین کاهش عملکرد ناشی از افزایش شوری در هیچک از تیمارهای گچ محتمل نمی‌باشد.

پیش بینی مدل در شرایط ماندگار و استفاده طولانی مدت از یک منبع آب است. در این شرایط در تیمار شاهد (بدون

1- Ayers and Westcot (1985)
2- Rhoades *et al.* (1992)

Archive of SID

www.SID.ir

استفاده از مواد بهساز)، SAR خاک معادل ۱۶/۵ پیش‌بینی می‌شود. در حالیکه داده‌های اندازه گیری شده در کرت‌های آزمایش رقم ۲۳ را نشان می دهد. متناسب با افزودن گچ، SAR خاک در کرتهای آزمایش کاهش یافته است. به طوری که در سطح اول تا سوم گچ به ترتیب معادل ۱۷، ۱۲/۸ و ۶/۳ شده است. در کلیه سطوح گچ SAR پیش بینی شده توسط مدل مقدار کمتری نسبت به داده های اندازه گیری نشان می‌دهد. در مدل Watsuit راندمان آبشویی املاح، صد درصد فرض شده است در حالیکه در شرایط واقعی عوامل متعدد از جمله وجود جریانهای فرعی در خاک راندمان آبشویی املاح را کاهش می‌دهد. بعلاوه در کرت‌های آزمایشی، زمین در طول تابستان از برداشت گندم تا کشت گندم در سال زراعی بعد، بدون کشت باقی ماند. این الگوی کشت، در اغلب مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند و یا منبع آب موجود، از شوری بالایی برخوردار است، به طوری که امکان بهره‌برداری در فصل بدون باران وجود ندارد، امری متداول است و این خود به بر هم زدن شرایط ماندگار که از پیش فرضهای مدل Watsuit است کمک می‌نماید. همبستگی بالایی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش بینی شده برای پارامترهای شوری و نسبت جذبی سدیم بدست آمده است (معادله ۳ و ۴). این موضوع بیانگر این است که می‌توان به کمک مدل Watsuit تغییرات شوری یا نسبت جذبی سدیم واقعی را برآورد نمود.

معادله (۳)
$$EC_m = 2.57EC_p - 1.91 \qquad R^2 = 0.80$$

معادله(۴)
$$SAR_m = 1.58SAR_P - 4.8 \qquad R^2 = 0.95$$

ECm و SARm: به ترتیب شوری و نسبت جذبی سدیم اندازه گیری شده،ECp و SARp: شوری و نسبت جذب سدیم پیش‌بینی شده. EC برحسب (ds/m)، و SAR بر حسب (mmol-1)1/2 است.

نفوذپذیری خاک

درجه تناسب آب برای آبیاری براساس نفوذپذیری و خطرات سله بندی ارزیابی می‌گردد. جهت ارزیابی تخریب ساختمان خاک، اثرات توأم شوری و سدیمی بایستی در نظر گرفته شود. در هر SAR مشخص حضور مقدارکافی از املاح محلول جهت حفظ پایداری خاک ضروری است. وقتی غلظت نمک در آب مصرفی کم باشد حتی SAR=5 کافی است تا کاهش شدید در آبگذری خاک حاصل شود. حداقل غلظت الکترولیت که سبب هم آور شدن ذرات می‌شود را حد آستانه پایداری ساختمان خاک گفته می‌شود. سطوح بالای سدیم همراه با هدایت الکتریکی پایین محلول خاک، ضریب آبگذری خاک و ظرفیت نفوذ خاک را به دلیل پدیده انبساط و پراکنش ذرات و ورقه‌ای شدن خاکدانه‌ها کاهش می‌دهد.

محققان جهت ارزیابی تأثیر توأم EC و SAR در هدایت هیدرولیکی ازشاخص های مختلفی استفاده نموده اند (کوارک و اسکوفیلد، ۱۱۹۵۵، آیرز و وستکات، ۲۱۹۸۵، رودز و همکاران، ۳۱۹۹۲؛ مینهاس و همکاران، ۴۱۹۹۸ و چرچمن،۵۲۰۰۲). با اتکا به جدول راهنمای فائو (آیرز و وستکات، ۱۹۸۵)، و با توجه به نسبت جذبی سدیم ایجاد شده در محلول خاک، حداقل غلظت املاح لازم برای ممانعت ازبروز پدیده پراکنش ذرات (شوری آستانه پایداری) مطابق با جدول ۳ بدست آمد. در صورتی که غلظت املاح محلول از حد آستانه پایداری خاک کمتر شود مشکلات مربوط به حرکت آب در خاک ظاهر می‌شود.

در تیمار شاهد، جهت حفظ ساختمان خاک از اثرات سدیم لازم است تا شوری خاک به بیش از ۵ دسی زیمنس بر متر افزایش یابد. مدلWatsuit به این دلیل که نسبت جذبی سدیم را در تیمار شاهد کمتر از مقدار واقعی برآورد نموده است، لذا شوری لازم برای هم‌آوری ذرات نیز کمتر پیش بینی شده است. با مقایسه این شوری (۲/۹ دسی زیمنس برمتر) با شوری که توسط مدل پیش بینی شده (۱/۹ دسی زیمنس بر متر) چنین استنباط می شود که املاح موجود در خاک برای پایداری خاک کافی نمی باشد. با افزودن گچ، به دلیل کاهش نسبت جذبی سدیم، شوری آستانه هم‌آوری ذرات کاهش می‌یابد. در سطح اول گچ، بایستی شوری خاک حداقل تا سطح ۲/۹ افزایش یابد تا نفوذپذیری خاک ثابت باقی بماند. شوری خاک در این تیمار ۳/۲ دسی زیمنس بر متر اندازه گیری و ۲ دسی زیمنس بر متر پیش بینی شده است. بر این اساس می‌توان نتیجه‌گیری نمود که افزودن ۳ میلی اکی والان گچ در لیتر، برای اصلاح آب و خاک مورد نظر کافی می باشد. در حالیکه بر طبق پیش بینی مدل احتمال پراکنش ذرات در این سطح گچ وجود دارد. در سطح دوم و سوم گچ، غلظت املاح برای هم‌آوری ذرات و ممانعت از اثرات سوء سدیمی فراهم می‌باشد.

1- Quirk and Schofield (1955)
2- Ayers and Westcot (1985)
3- Rhoades *et al.*(1992)
4- Minhas et al.(1998)
5- Churchman et al.(2002)

Archive of SID

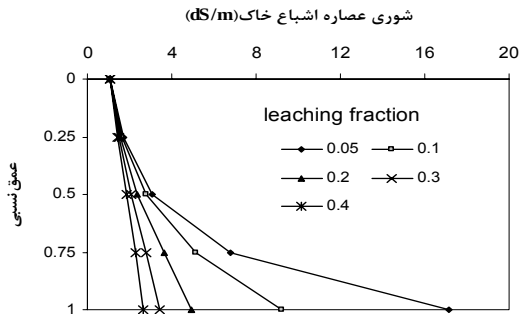
www.SID.ir

نتیجه گیری

مدل‌های شیمیایی جهت بررسی دقیق اثر آب‌های نامتعارف و مواد اصلاح کننده بر خاک می‌توانند بسیار سودمند واقع شوند. مدل Watsuit جهت ارزیابی تناسب آب آبیاری توسط آزمایشگاه شوری آمریکا طراحی شده است. داده‌های به دست آمده در شرایط واقعی آزمایش، اغلب با روند پیش‌بینی شده بوسیله مدل مطابقت دارد. شوری خاک کمتر از مقدار واقعی پیش بینی شده است در حالیکه نسبت جذبی سدیم به ویژه در سطوح بالای گچ، با مقادیر مدل مطابقت دارد. در رابطه با اصلاح خاک‌های سدیمی، شوری آستانه پایداری خاک، نسبت منیزیم به کلسیم و حذف عوامل قلیاییت (کربنات و بی‌کربناتها) تا سطحی که برای خاک و گیاه زیان آور نباشد، در نظر گرفته می‌شود. در کرت‌های آزمایشی با مصرف ۳ میلی اکی والان در لیتر نسبت متعادلی از شوری و نسبت جذبی سدیم جهت پایداری ساختمان خاک فراهم گردید. در حالی‌که پیش بینی مدل حاکی از لزوم مصرف بیشتر گچ برای حصول به آستانه پایداری است. علت آن احتمالاً مربوط به درجه خلوص گچ معدنی مصرف شده در کرتهای آزمایشی می باشد. ترکیب گچ مورد استفاده حاوی مقداری املاح محلول می‌باشد که در ضمن انحلال، افزایش غلظت املاح خاک را سبب می‌گردد و شوری لازم برای غلبه بر شرایط سدیمی فراهم می شود. در حالی‌که در مدل درجه خلوص گچ، صد درصد فرض شده است. با اندازه‌گیری هدایت الکتریکی محلول گچ قبل از کاربرد آن در خاک، می‌توان نسبت به تصحیح شوری خاک اقدام نمود. غلظت کلسیم در مقادیر کمتر از ۶ میلی اکی والان گچ در لیتر، در محدوده بحرانی پیش بینی گردید. در حالیکه در کلیه سطوح گچ اندازه‌گیری شده، کلسیم محلول خاک کافی بود. هم پیش بینی مدل و هم مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که حتی با مصرف مقادیر زیاد گچ (۲۴ میلی اکی والان در لیتر) غلظت کربنات به کمتر از ۱/۵ میلی‌اکی والان در لیتر که محدوده بی ضرر برای مصرف آب آبیاری (به روش بارانی) می‌باشد، تنزل نیافته است. اطلاعات خروجی مدل و مقادیر اندازه گیری شده نشان می دهند که با مصرف ۳ میلی اکی والان در لیتر گچ، نسبت منیزیم به کلسیم برای گیاه و خاک در سطح مناسبی حفظ گردیده است. به طور کلی همانطور که مدل Watsuit پیش بینی می‌نماید، سطح ۲۴ میلی‌اکی‌والان در لیتر به عنوان مناسب‌ترین میزان گچ برای اصلاح خاک در شرایط آزمایش توصیه می‌شود.

جدول ۱- تجزیه شیمیایی آب آبیاری

خصوصیت	میزان
قابلیت هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۲/۱۷
کلسیم(میلی اکی والان در لیتر)	۱/۱
منیزیم(میلی اکی والان در لیتر)	۱/۵۵
سدیم(میلی اکی والان در لیتر)	۱۹/۸۱
پتاسیم(میلی اکی والان در لیتر)	۰/۱
کلر(میلی اکی والان در لیتر)	۱۰/۷
بی کربنات(میلی اکی والان در لیتر)	۹/۵
کربنات(میلی اکی والان در لیتر)	۱/۲
نسبت جذبی سدیم $(mmoll^{-1})^{1/2}$	۱۷/۲



شکل ۱- تغییرات شوری در اعماق مختلف ریشه با استفاده از مدل Watsuit

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- ویژگیهای فیزیکو- شیمیایی خاک مورد مطالعه

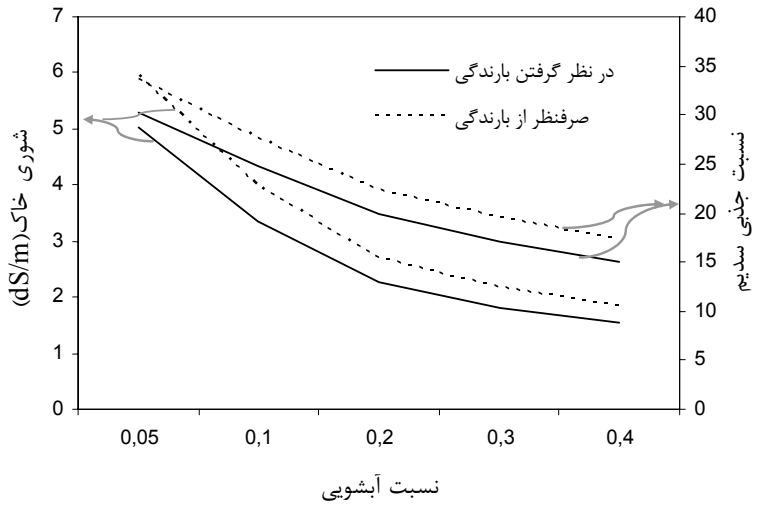
خصوصیت	میزان
رس(درصد)	۳۴/۴
سیلت(درصد)	۴۹/۳
شن(درصد)	۱۶/۳
بافت خاک	سیلتی کلی لوم
ماده آلی(درصد)	۰/۴
کربنات کلسیم معادل(درصد)	۵۲
گچ(درصد)	۰/۱
چگالی ظاهری (گرم بر سانتیمتر مکعب)	۱/۴۱
رطوبت اشباع (درصد)	۵۵
ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول بار بر کیلوگرم خاک)	۱۹/۵
قابلیت هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۵/۵
نسبت جذبی سدیم $(mmolI^{-1})^{1/2}$	۲۴/۲
درصد سدیم تبادلی (درصد)	۲۵/۵

جدول ۳- شوری آستانه پایداری خاک (دسی زیمنس بر متر)

تیمار	پیش بینی مدل	اندازه گیری شده
شاهد	$۲/۹^{+}$	۵^{+}
۳meq گچ	$۲/۹^{+}$	$۱/۹^{-}$
۶meq گچ	$۱/۹^{-}$	$۱/۹^{-}$
۲۴meq گچ	$۱/۲^{-}$	$۱/۲^{-}$

علامت + : احتمال پراکنش ذرات وجود دارد،

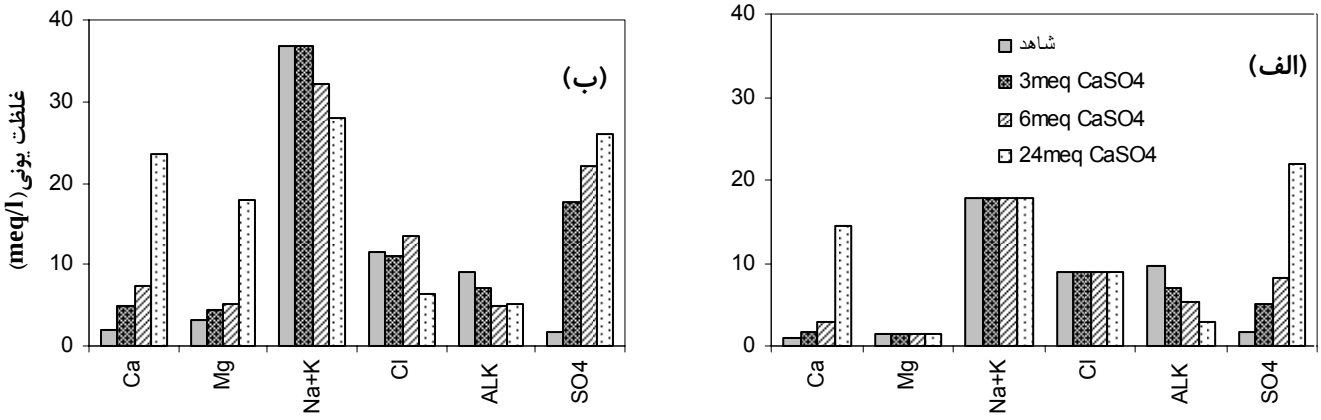
علامت- احتمال پراکنش ذرات وجود ندارد



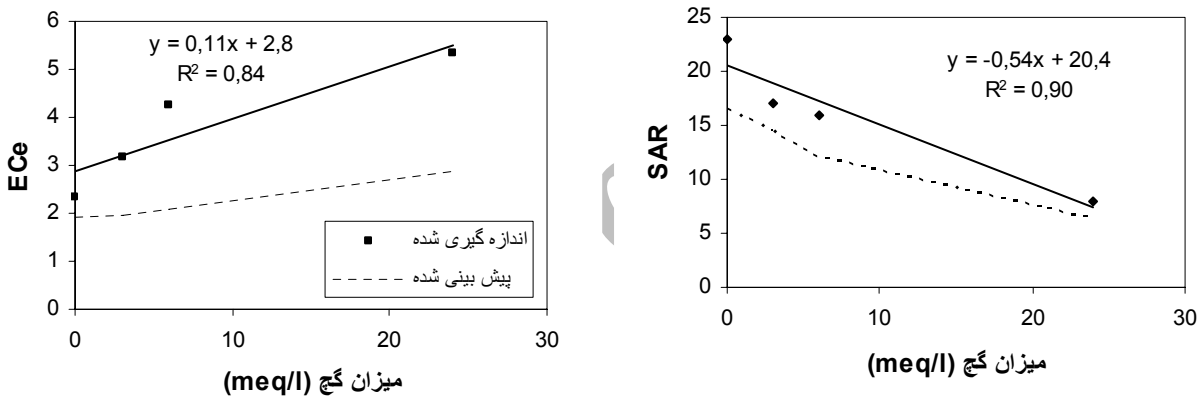
شکل ۲- تأثیر بارندگی بر شوری و نسبت جذبی سدیم در نسبتهای مختلف آبشویی با استفاده از مدل Watsuit

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳- ترکیب شیمیایی خاک در سطوح مختلف گچ (الف):پیش‌بینی شده با مدل Watsuit .(ب): اندازه‌گیری شده



شکل ۴- تأثیرگچ بر هدایت الکتریکی خاک و نسبت جذبی سدیم

فهرست منابع:

۱. احتشامی، م، ح. اشک تراب، م. ک. سیاهی. ۱۳۷۸. مفاهیم زهکشی و شوری آب و خاک. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

۲. تاجیک، ف.، ح. رحیمی و ا. پذیرا. ۱۳۸۱. اثر ماده آلی خاک، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم بر مقاومت کششی خاکدانه‌ها. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ششم، شماره سوم. ۱۵۱-۱۶۰.

۳. مقیمی، ا و پ، مهاجر میلانی.۱۳۸۲ بررسی منحنی شوری و سدیم زدایی میناب. هشتمین کنگره علوم خاک ایران.۸۰۲-۸۰۴.

4. Ayers, R. S. and D. W. Westcot. 1984. Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Pape.FAO. Rome. Italy.
5. Churchman, G. J. 2002. Sodic soil, reclamation.In: Encyclopedia of Soil Science. Marcel Dekker INC. New York.1224-1228.
6. Corwin, D. L., J. D. Rhoades, J. Simunek.2006. Leaching requirement for soil salinity control: Steady- state versus transient models. Agric. Water Manag. 90: 165-180.
7. FAO,UNESCO.1973. Irrigation,Drainage and Salinity. An International Source Book.

Archive of SID

www.SID.ir

8. Keren, R., and I. Shainberg. 1981. The efficiency of industrial and mined gypsum in reclamation of a sodic soil-rate of dissolution. Soil Sci. Soc. Am. J.45:103-107.
9. Mc-Neal, B.L., and N.T. Coleman. 1966.Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30:308-312.
10. Minhas ,P.S,O.P.Sharma and S.G.Patil.(Eds)1998. 25 years of research management of salt- affected soils and use of saline water in agriculture. Centeral Soil Salinity Research Institute, Karnal, India.
11. Murphy. B. 2002. sodic soils, formation and global distribution. In: Encyclopedia of Soil Science. Marcel Dekker INC. New York.1213-1217.
12. Quirk, J.P. and Schofield 1955. The effect of electrolyte concentration on soil permability. *J. Soil Sci*., 6, 163-173.
13. Rengasamy, P. 2002. Sodic soils. Encyclopedia of soil science: Marcel Dekker. 1210-1212.
14. Rhoades, J . D. Kandiah, A., Mashali A. M.(1992). The use of saline waters for crop production.Rome: Food Agriculture Organization of the United Nations (FAO).NO.48.
15. Rhoades, J. D.1977. Potential for using saline agricultural drainage waters for irrigation. P: 85-116. *In*: proc. Water manage. Irrig. Drain. Vol.177.ASCE,Reno, Nevada, July.17785-116.
16. Richardes. L. A. Editor.1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils USDA Agri Handbook NO.60.
17. Shainberg, I., J.D. Rhoades, R.J. Prather. 1981. Effect of low electrolyte concentration on clay dispersion and hydraulic conductivity of a sodic soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:273-277.
18. Stirzaker, R. and Thomson,T. 2004. Fullstop at Ages Bremner: A report on the 2002-3 data to the Angas Bremer water management committee Inc. CSIRO,Land and Water.

Archive of SID

www.SID.ir