

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 می نماید. در این راستا استفاده از مدل های یارانه ای برای بررسی اثرات مصرف آب های سدیمی و مواد اصلاح کننده بر خاک و گیاه می تواند بسیار سودمند واقع شود. در این تحقیق تأثیر استفاده از ازگچ در اصلاح خاک های 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 ($SAR = 17/1$ و $ECe = 2/17$) 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 کرت های ۲۰ متر مربعی بود. داده های پیش بینی شده نشان داد که با افزایش میزان گچ یونهای کلسیم و سولفات افزایش و قلیائیت خاک کاهش یافته است. در کرت های 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 خاک های سدیمی، شوری آستانه پایداری خاک، نسبت منیزیم به کلسیم و حذف عوامل قلیائیت (کربنات و بی کربناتها) تا سطحی که برای گیاه زیان آور نباشد، در نظر گرفته می شود. پیش بینی مدل برای ارزیابی هر یک از این موارد از اعتبار کافی برخوردار است. با مصرف ۳ میلی اکی 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 می توان به درجه خلوص گچ معدنی مصرف شده در کرت های آزمایشی نسبت داد. هم پیش بینی مدل و هم مقادیر اندازه گیری شده نشان می دهد که حتی با مصرف مقادیر زیاد گچ غلظت کربنات به محدوده بی ضرر برای مصرف آب آبیاری تنزل نیافته است. به طور کلی همانطور که مدل Watsuit پیش بینی می نماید، سطح ۲۴ میلی اکی والان در لیتر به عنوان مناسب ترین میزان گچ برای اصلاح خاک در شرایط آزمایش توصیه می شود.

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

مقدمه

خاک های سدیمی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان گسترده اند و تا ۳۰٪ کل اراضی را تشکیل می دهند. در ایران نیز مساحت خاک های سدیمی ۸۶۸ هزار هکتار برآورد شده است (رنگاسمی، ۲۰۰۲). 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

یک شود پتانسیل خاک در برابر تخریب افزایش می‌یابد و ساختمان خاک از پایداری کمتری برخوردار است (فائو-یونسکو، ۱۹۷۳).^۶ 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 کاتیونهای 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 مدیریتی‌های اعمال شده در مزرعه نیز نظیر جز آشنویی، 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)^۷ 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 می‌دهد. 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 می‌نماید. این مدل جذب آب، مدل ۲۰-۳۰-۴۰-۱۰ نیز نامیده می‌شود. از مدل Watsuit 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)^۸ نیز از این مدل برای برآورد نیاز آشنویی 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 آشنویی استفاده نمودند. نتایج تحقیق این محققان

مشکلاتی در زمینه تخمین میزان خاک‌های سدیمی وجود دارد و علت آن را می‌توان به متفاوت بودن معیارها برای شناسایی خاک‌های سدیمی نسبت داد (مورفی، ۲۰۰۲).^۱ 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 کلن، ۱۹۶۶)^۲ 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)^۳ در خاکهای شور و سدیمی با غلظت الکترولیت بالا تورم خاک حداقل و پراکندگی ذرات رس اصولاً 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، از آب 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).^۴ چرچمن (۲۰۰۲)^۵ 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 خاک ۲- خروج یونهای Na از سطوح ذرات رس از طریق تبادل با Ca (کرن و شینبرگ، ۱۹۸۱).^۵

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 نمی‌باشد. 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

6- FAO, UNESCO (1973)
7- Rhoades (1977)
8- Corwin (2006)

1- Murphy (2002)
2- Mc-Neal and Coleman (1966)
3- Shainberg *et al.* (1981)
4- Charchman (2002)
5- keren and shainberg (1981)

آزمایشگاه شوری آمریکا (ریچاردز، ۱۹۵۴)^۱ و در آزمایشگاه مرکز ملی تحقیقات شوری صورت گرفت. ترکیب شیمیایی آب در جدول ۱ و خاک مورد نظر در جدول ۲ ارائه شده است.

دبی آب ورودی به کرت و زمان آبیاری جهت احتساب حجم آب مصرفی در هر کرت اندازه‌گیری شد. از آنجایی که مدل Watsuit، برای شرایط ماندگار و استفاده از یک منبع آب طراحی شده است، لذا در مناطقی که بارندگی صورت می‌گیرد، جهت استفاده از این مدل بایستی اقدام به تصحیح شوری و ترکیب شیمیایی آب آبیاری نمود. بدین ترتیب که با توجه به حجم آب مصرفی در مزرعه و مقدار بارندگی از هر یک از یونها و شوری 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 مصرفی ۷۵۰ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. جهت ارزیابی پیش‌بینی ترکیب شیمیایی خاک پس از افزودن ماده به‌ساز، مقدار گچ افزوده شده به خاک به عنوان داده ورودی در نظر گرفته می‌شود. مقدار آب مصرفی گیاه که مازاد بر نیاز گیاه در مزرعه مصرف شده است نسبت آبشویی می‌باشد که جهت اجرای مدل مورد نیاز می‌باشد. برای این منظور از دستگاه تعیینگر جبهه رطوبتی خاک (WFD) استفاده گردید (تامسون و استیرزاکر، ۲۰۰۴)^۲. این دستگاه از یک قیف تشکیل شده که در پایین عمق ریشه به کار گذاشته می‌شود. آب مازاد بر نیاز گیاه از طریق قیف جمع‌آوری و در مخزن زیر قیف ذخیره می‌گردد. نمونه برداری از آب جمع شده در مخزن از طریق لوله‌ای که به مخزن متصل است به وسیله سرنگ صورت می‌گیرد. در آزمایش حاضر با نمونه برداری مکرر از آب مخزن و اندازه‌گیری شوری عصاره خاک، نسبت آبشویی در مزرعه از معادله (۱) بدست آمد. در قسمت‌های مختلف مزرعه مقادیر متفاوتی از ۳۰/۵ درصد تا ۴۰ بدست آمد که به طور میانگین ۳۵ درصد در نظر گرفته شد.

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

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

مدل watsuit شوری محلول خاک را محاسبه می‌نماید. جهت تبدیل شوری محلول خاک به شوری عصاره اشباع از نسبت رطوبت اشباع خاک به رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه (θ_{sp}/θ_{FC}) استفاده گردید. رطوبت

نشان داد که مدل WATSUIT به دلیل در نظر گرفتن فرایندهای ترسیب و انحلال در خاک، نیاز واقعی آبشویی گیاه را بهتر از سایر مدلها پیش‌بینی می‌کند. به طور کلی در اصلاح آب و خاک سدیمی چند شاخص در نظر گرفته می‌شود و با مقایسه مقدار این شاخص‌ها با حدود مجاز، اثر کاربرد آب سدیمی بر خاک و یا میزان تأثیر مواد به‌ساز بر مناسب شدن آب را می‌توان ارزیابی نمود. این شاخص‌ها عبارتند از غلظت آستانه اصلاح برای حفظ پایداری ساختمان خاک، حفظ غلظت کلسیم به بیش از ۲ میلی‌اکی والان در لیتر، نسبت منیزیم به کلسیم متوازن ($Mg/Ca < 1$) و کاهش غلظت بی‌کربنات‌ها تا سطح مجاز طبق اطلاعات بدست آمده از گزارشات خاکشناسی حدود 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- اثر مقادیر مختلف گچ در اصلاح خاکهای قلیایی ۲- پیش‌بینی ترکیب شیمیایی محلول خاک قبل و پس از اصلاح با مقادیر مختلف گچ با استفاده از مدل Watsuit.

مواد و روشها

آزمایش، در جنوب دشت "مرو دشت- درودزن" در بخش شمال غرب استان فارس انجام گرفت. بارندگی متوسط ۲۹۵ میلی‌متر در سال، درجه حرارت متوسط ۱۵/۵ درجه سانتیگراد، و ارتفاع تبخیر ۲۲۰۰ میلی‌متر در سال می‌باشد. منبع تأمین آب در منطقه، شاخه‌های فرعی کانال سد درودزن، زه آبهای سطحی و زیر سطحی و آبهای زیرزمینی است. مزرعه مورد نظر دارای سابقه الگوی کشت گندم- آیش بوده و با آب سدیمی آبیاری می‌شود. جهت اجرای آزمایش، جمعاً ۱۲ کرت ۲۰ متر مربعی آماده سازی گردید. تیمارها شامل سطوح مختلف گچ ۰، ۳، ۶ و ۲۴ میلی‌اکی والان در لیتر بود. مقدار ۳ میلی‌اکی‌والان در لیتر با انحلال گچ در آبیاری حاصل گردید. ۶ و ۲۴ میلی‌اکی‌والان در لیتر با افزودن ۱۰ و ۴۰ تن گچ به خاک در عصاره اشباع محلول خاک اندازه‌گیری شد. گچ معدنی از کارخانه گچ ماشینی فارس تهیه گردید. پس از مخلوط کردن گچ با خاک اقدام به کشت گندم گردید. در طول فصل کشت، در فواصل بارندگی یا آبیاری، از عمق ۰ تا ۹۰ سانتیمتری به فواصل ۳۰ سانتیمتری از خاک نمونه برداری گردید و ترکیب یونی محلول خاک (کاتیون‌ها و آنیون‌ها)، EC عصاره اشباع و SAR محلول خاک اندازه‌گیری شد. کلیه تجزیه‌های شیمیایی آب و محلول خاک به روش

1- Richards (1954)

2- Stirzaker and Thomson (2004)

تغییر می دهد. 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 "صرف نظر 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 مطلوب تر همراه با آب های نامرغوب، پتانسیل استفاده از آب شور یا سدیمی را افزایش می دهد. در این منطقه میانگین طولانی مدت بارندگی ۲۹۵ میلی متر است. در حالیکه در سال های مورد مطالعه میزان بارندگی ۵۵ درصد، از میانگین طولانی مدت ایستگاه هواشناسی دشت، کمتر بود. بر این اساس در سال های نرمال حتی می توان از آب های سدیمی و شور به نحو مؤثرتری بهره برداری نمود.

۳- مقادیر پیش بینی شده و اندازه گیری شده یونهای محلول خاک

غلظت یونی محلول خاک در منطقه ریشه در شکل (۳) ارائه شده است. داده های پیش بینی شده نشان می دهد که با افزایش میزان گچ، یونهای کلسیم و سولفات افزایش و قلیائیت خاک که در برگزیده مجموع آنیونهای کربنات و بی کربنات است، کاهش یافته است. غلظت کلسیم از ۰/۹ در شاهد به ۱/۶، ۳ و ۱۴/۵ میلی اکی والان در لیتر با مصرف ۳، ۶، و ۲۴ میلی اکی 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 میلی اکی والان در لیتر پیش بینی شده است.

مقادیر اندازه گیری 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 ناخالصی های حاوی این عنصر در ترکیب گچ مصرفی نسبت داد. به طور کلی در کرت های آزمایشی غلظت عناصر مقدار بیشتری نسبت به میزان پیش بینی شده توسط مدل نشان می دهد. دلیل آن احتمالاً مربوط به راندمان پایین آبشویی املاح در شرایط واقعی می باشد. آبشویی در خاکهای سدیمی بویژه خاک های 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 نمی گیرد لذا تجمع املاح در مقادیری بیش از پیش بینی مدل دور از انتظار نمی باشد.

اشباع خاک در آزمایشگاه تعیین گردید و رطوبت ظرفیت مزرعه به روش مزرعه ای اندازه گیری شد. بدین ترتیب که یک قسمت از مزرعه به ابعاد ۲×۲ مترزبندی 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 نمونه برداری 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 می شود لذا می توان از معادله ۲ شوری عصاره اشباع خاک بدست آورد.

$$EC_{sw} = \frac{\theta_{sp}}{\theta_{fc}} \times EC_e \quad \text{معادله (۲)}$$

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 می نماید. 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 می یابد. به طوری که بیشترین غلظت در یک چهارم پایین منطقه ریشه رخ می دهد. زمانی که جز آبشویی های 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 نمی دهد 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 یون ها 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 می نماید. در حالیکه وقایع بارندگی و یا استفاده از چندین منبع آب با کیفیت های مختلف غلظت املاح در خاک را

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 می‌دهد. لذا حتی با افزودن مقادیر کم گچ (۳ میلی اکی والان در لیتر)، در شرایط ماندگار این نسبت تعدیل شده و به حد بی ضرر برای خاک و گیاه می‌رسد. نتایج داده‌های اندازه‌گیری شده نیز با نتایج پیش بینی شده مطابقت دارد.

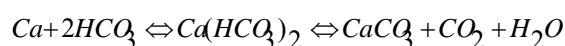
۴- تغییرات شوری و نسبت جذب سدیم

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 میلی‌اکی‌والان گچ در لیتر تغییر نمود (شکل ۴). 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 می‌شود که در ضمن انحلال موجبات افزایش غلظت املاح را فراهم می‌آوردند. 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 دسی‌زیمنس بر متر بود که از آستانه تحمل به شوری گندم کمتر است. بنابراین کاهش عملکرد ناشی از افزایش شوری در هیچ‌کدام 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

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 می‌باشند، کلسیم بومی خاک به صورت املاح نامحلول کربنات کلسیم ترسیب می‌نماید. نسبت سدیم به کلسیم محلول خاک را افزایش می‌دهد. 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.



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 اکی‌والان یون بی‌کربنات محدودیت متوسط تا شدید و غلظت بیش از ۸/۵ محدودیت شدید برای مصارف آبیاری ایجاد می‌نماید (آیز و وستکات، ۱۹۸۴)^۱ 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 می‌دهند و غلظت این یونها از محدودیت شدید در تیمار شاهد به محدودیت کم تغییر نموده‌اند.

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 اکی‌والان کلسیم در لیتر در محلول برای گیاهان بحرانی محسوب می‌شود (رودز و همکاران، ۱۹۹۲)^۲. مقدار محاسبه شده توسط مدل نشان می‌دهد که در سطح صفر و ۳ میلی اکی‌والان گچ در لیتر، کلسیم محلول خاک به ترتیب ۰/۹ و 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 اندازه‌گیری 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 تبادل نگهداری می‌شود، لذا یون سدیم با سهولت بیشتری قادر

1- Ayers and Westcot (1985)

2- Rhoades et al. (1992)

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 از شاخص‌های مختلفی استفاده نموده اند (کووارک و اسکوفیلد، ۱۹۵۵، 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 از بروز 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. مدل Watsuit 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 بر متر) با شوری که توسط مدل پیش بینی شده (۱/۹ دسی زیمنس بر متر) چنین استنباط می‌شود که املاح موجود در خاک برای پایداری خاک کافی نمی‌باشد. 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 اندازه‌گیری و ۲ دسی زیمنس بر متر پیش بینی شده است. بر این اساس می‌توان نتیجه‌گیری نمود که افزودن ۳ میلی‌اکی والان گچ در لیتر، برای اصلاح آب و خاک مورد نظر کافی می‌باشد. 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.

استفاده از مواد به‌ساز)، SAR خاک معادل ۱۶/۵ پیش‌بینی می‌شود. در حالیکه داده‌های اندازه‌گیری شده در کرت‌های آزمایش رقم ۲۳ را نشان می‌دهد. 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 داده‌های اندازه‌گیری 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 برهم 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.

$$EC_m = 2.57EC_p - 1.91 \quad \text{معادله (۳)}$$

$$R^2 = 0.80$$

$$SAR_m = 1.58SAR_p - 4.8 \quad \text{معادله (۴)}$$

$$R^2 = 0.95$$

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

- 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)

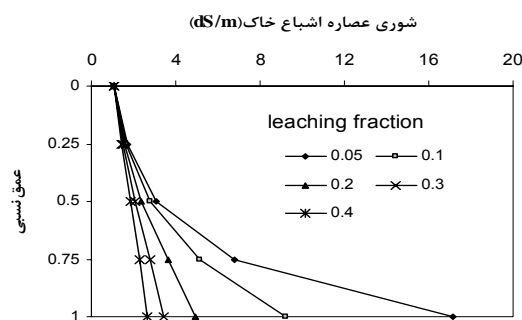
نتیجه گیری

خاک را سبب می‌گردد و شوری لازم برای غلبه بر شرایط سدیمی فراهم می‌شود. در حالی که 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 میلی‌اکی 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 میلی‌اکی والان در لیتر) غلظت کربنات به کمتر از ۱/۵ میلی‌اکی والان در لیتر که محدوده بی‌ضرر برای مصرف آب آبیاری (به روش بارانی) می‌باشد، تنزل نیافته است. اطلاعات خروجی مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهند که با مصرف ۳ میلی‌اکی 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.

مدل‌های شیمیایی جهت بررسی دقیق اثر آب‌های نامتعرف و مواد اصلاح‌کننده 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 پیش‌بینی 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 قلیابیت (کربنات و بی‌کربنات) تا سطحی که برای خاک و گیاه زیان آور نباشد، در نظر گرفته می‌شود. در کرت‌های آزمایشی با مصرف ۳ میلی‌اکی‌والان در لیتر نسبت متعادلی از شوری و نسبت جذبی سدیم جهت پایداری ساختمان خاک فراهم گردید. در حالی که پیش‌بینی 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 می‌باشد. ترکیب گچ مورد استفاده حاوی مقداری املاح محلول می‌باشد که در ضمن انحلال، افزایش غلظت املاح

جدول ۱- تجزیه شیمیایی آب آبیاری

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



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

جدول ۲- ویژگیهای فیزیکی- شیمیایی خاک مورد مطالعه

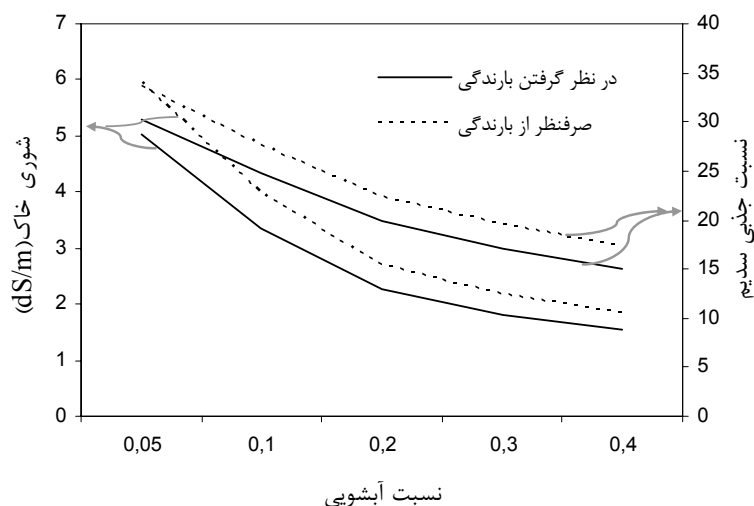
میزان	خصوصیت
۳۴/۴	رس (درصد)
۴۹/۳	سیلت (درصد)
۱۶/۳	شن (درصد)
سیلتی کلی لوم	بافت خاک
۰/۴	ماده آلی (درصد)
۵۲	کربنات کلسیم معادل (درصد)
۰/۱	گچ (درصد)
۱/۴۱	چگالی ظاهری (گرم بر سانتیمتر مکعب)
۵۵	رطوبت اشباع (درصد)
۱۹/۵	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول بار بر کیلوگرم خاک)
۵/۵	قابلیت هدایت الکتریکی (دسی زیمنس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

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

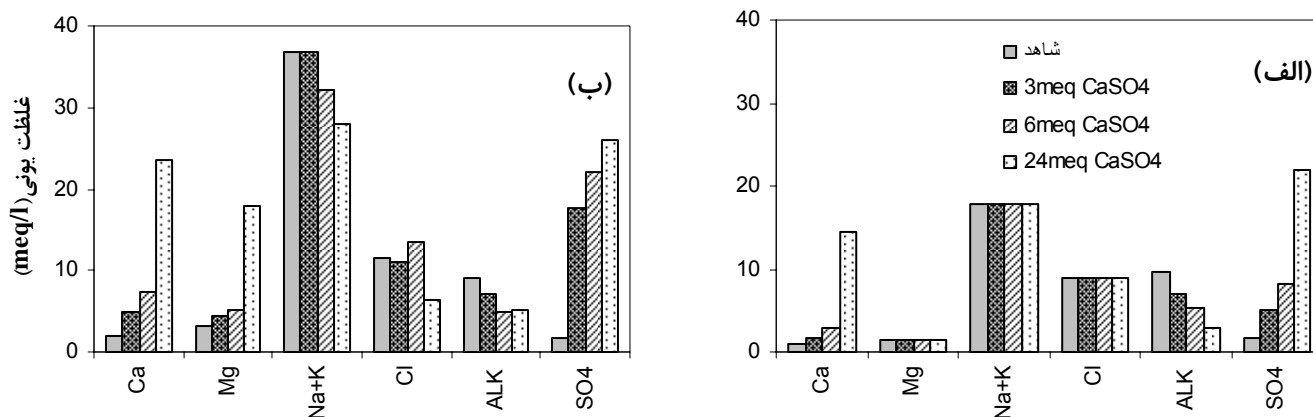
تیمار	پیش بینی مدل	اندازه گیری شده
شاهد	۲/۹ ⁺	۵ ⁺
۳meq گچ	۲/۹ ⁺	۱/۹ ⁻
۶meq گچ	۱/۹ ⁻	۱/۹ ⁻
۲۴meq گچ	۱/۲ ⁻	۱/۲ ⁻

علامت + : احتمال پراکنش ذرات وجود دارد،

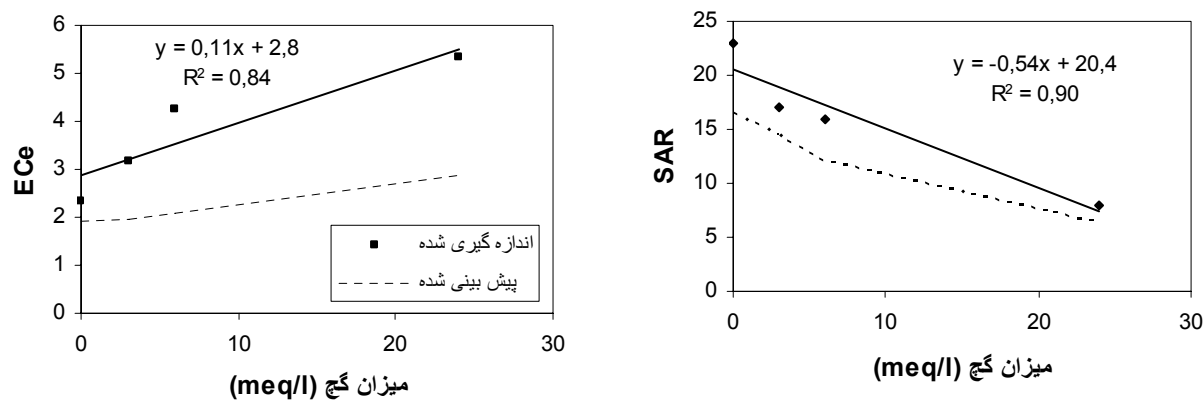
علامت - : احتمال پراکنش ذرات وجود ندارد



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



شکل ۳- ترکیب شیمیایی خاک در سطوح مختلف گچ (الف): پیش بینی شده با مدل Watsuit. (ب): اندازه گیری شده



شکل ۴- تأثیر گچ 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 Paper. 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.

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. Central 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.