

## شبیه‌سازی توزیع شوری در خاک تحت آبیاری قطره‌ای تیپ با آب شور با استفاده از مدل SWAP

مهدی تابعی<sup>۱\*</sup> - سعید پرومندنسب<sup>۲</sup> - امیر سلطانی محمدی<sup>۳</sup> - علی حیدر نصراللهی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۱۳

### چکیده

محدود بودن میزان آب در دسترس از یک سو و افزایش نیازهای غذایی جمعیت دنیا از سوی دیگر باعث افزایش سطح زیر کشت محصولات شده که به این دلیل، استفاده از روش‌های نوین آبیاری و استفاده از منابع جدید آب مانند کاربرد آب‌های نامتعارف (آب‌های شور، زه آب‌ها) دو راهبرد مدیریتی مهم، جهت تعدیل شرایط کمبود آب می‌باشد. از سوی دیگر تجمع املاح در سطح خاک در مناطق خشک، که دارای بارندگی کم و تبخیر زیاد می‌باشند، امری اجتناب ناپذیر خواهد بود. از آنجایی که انجام آزمایش، برای تشخیص توزیع شوری مستلزم صرف وقت و انجام آزمایش‌های صحرایی پرهزینه است، مدل‌های شبیه‌سازی جابجایی مناسبی در پاسخگویی به مسائل مربوط به حرکت و توزیع شوری هستند. در این پژوهش، شبیه‌سازی شوری خاک تحت آبیاری قطره‌ای با مدل SWAP انجام گرفت و توانمندی مدل فوق در مقایسه با نتایج میدانی ارزیابی شد. مدل SWAP براساس اطلاعات اندازه‌گیری شده از یک مزرعه ذرت مجهزه سیستم آبیاری قطره‌ای در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی شماره یک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهیدچمران اهواز و پارامترهای هیدرولیکی خاک به‌دست آمده از مدل RETC اجرا گردید. مدل آماری در قالب یک طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تیمار شوری آب آبیاری شامل شوری S<sub>1</sub> (آب رودخانه کارون با شوری ۳ دسی‌زیمنس بر متر به عنوان تیمار شاهد)، S<sub>2</sub> (S<sub>1</sub>+0/5)S<sub>3</sub>، (S<sub>1</sub>+1)S<sub>4</sub> و (S<sub>1</sub>+1/5)S<sub>4</sub> دسی‌زیمنس بر متر، در سه تکرار و در سه فاصله ۱۰ سانتی‌متری قطره چکان، ۲۰ سانتی‌متری قطره چکان و روی پشته، در عمق‌های ۹۰-۰ سانتی‌متری (به ازای هر ۳۰ سانتی‌متر) از سطح خاک و در فواصل زمانی ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز پس از کاشت نمونه برداری صورت گرفت. روش کاشت به صورت دستی و در داخل کرت‌هایی شامل چهار ردیف سه متری با فاصله ردیف ۷۵ سانتی‌متر و با تراکم ۸۰ هزار بوته در هکتار انجام شد. سیستم آبیاری قطره‌ای از نوع نوارهای تیپ با فاصله روزنه‌های ۲۰ سانتی‌متر بود. نتایج این بخش از کار در قالب ترسیم نموداری و تعیین پارامترهای ضریب تعیین (R<sup>2</sup>)، حداکثر خطا (ME)، میانگین ریشه دوم خطای نرمال شده (NRMSE) و ضریب باقیمانده (CRM) در فواصل روی پشته، ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری قطره‌چکان نشان داده شد. مقادیر ME، R<sup>2</sup> و NRMSE و CRM در ۱۰ سانتی‌متری قطره‌چکان ۰/۸۱، ۰/۴۶، ۱۱/۷۷ و ۰/۱۸ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب، در ۲۰ سانتی‌متری قطره‌چکان ۰/۷۸، ۰/۴۸، ۱۶/۴۴ و ۰/۱۱۷۲ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب و در روی پشته ۰/۷۵، ۲/۸، ۱۸/۱۹ و ۰/۰۷ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب محاسبه شد. بالاترین ضریب تعیین مربوط به فاصله ۱۰ سانتی‌متری قطره‌چکان (۸۱ درصد) می‌باشد و پس از آن با فاصله گرفتن از قطره‌چکان ضریب تعیین کاهش می‌یابد که این موضوع توانایی بالای مدل در نزدیکی قطره‌چکان می‌باشد که می‌تواند به دلیل شوری کمتر در فاصله‌های نزدیک قطره‌چکان با توجه به خصوصیت سیستم آبیاری قطره‌ای باشد. بالا بودن میزان ME پایین بودن دقت برآورد مدل می‌باشد که در روی پشته این میزان به حداکثر خود (۲/۸ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب) می‌رسد. ولی در فاصله‌های نزدیک قطره‌چکان میزان ME به‌دست آمده نشان دهنده دقت خوب مدل در برآورد شوری خاک می‌باشد. همچنین براساس مثبت بودن میزان پارامتر CRM دیده می‌شود که در پیش‌بینی شوری میزان پیش‌بینی شده کمتر از مقدار مشاهده‌ای می‌باشد و نیز با توجه به ضریب NRMSE بالا بودن میزان پیش‌بینی شده در مقابل مشاهده‌ای می‌باشد. به طور کلی نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل SWAP نشان داد که این مدل می‌تواند توزیع شوری در خاک را تحت آبیاری قطره‌ای با آب شور با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی نماید و این مدل می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد برای ارزیابی توزیع شوری در اطراف قطره‌چکان مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای، توزیع شوری خاک، مزرعه ذرت، مدل SWAP

### مقدمه

محدود بودن میزان آب در دسترس از یک سو و افزایش نیازهای غذایی جمعیت دنیا از سوی دیگر باعث افزایش سطح زیر کشت محصولات شده که به این دلیل، استفاده از روش‌های نوین آبیاری و استفاده از منابع جدید آب مانند کاربرد آب‌های نامتعارف (آب‌های شور، زه آب‌ها) دو راهبرد مدیریتی مهم، جهت تعدیل شرایط کمبود آب می‌باشد (۱). بنابراین باید استفاده از روش‌های تحت فشار با استفاده از آب شور از اولویت‌های پژوهش قرار گیرد. از سوی دیگر در مناطق خشک، همانند اغلب مناطق ایران که دارای بارندگی کم و تبخیر زیاد می‌باشند، تجمع املاح در سطح خاک، امری اجتناب ناپذیر خواهد بود پس انجام پژوهشی که در آن حرکت املاح را بررسی کند

محدود بودن میزان آب در دسترس از یک سو و افزایش نیازهای غذایی جمعیت دنیا از سوی دیگر باعث افزایش سطح زیر کشت

۱، ۲ و ۳ - به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استاد و استادیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهیدچمران اهواز  
(\*) نویسنده مسئول: (Email : tabie\_2011@yahoo.com)  
۴ - استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

در زمین تحت آبیاری با آب شور و تحت شرایط مدیریتی تعادل آب و نمک با مدل SWAP، اعلام کردند که این مدل در شرایط آبیاری با آب شور، خروجی‌های قابل قبولی را ارائه داد. مان و همکاران (۹) در تحقیقی در کشور استرالیا (با کاشت دو گیاه لگوم و گندم) در خصوص شبیه‌سازی انتقال آب و نمک در زهکش تنبوشه‌ای در زمین تحت آبیاری با آب شور به کمک مدل SWAP مدیریت بیلان آب و نمک را شبیه‌سازی نمودند. نتایج نشان داد که مدل SWAP قادر بود به طور رضایت بخشی بیلان آب و نمک را شبیه‌سازی کند. جیانگ و همکاران (۲) برای شبیه‌سازی انتقال آب-املاح تحت شرایط کم آبیاری با آب شور، از مدل SWAP استفاده و اعلام کردند که مدل رطوبت را کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده و شوری را بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده شبیه‌سازی نمود. بررسی نتایج به‌دست آمده از تحقیقات و ارزیابی‌هایی که بر روی مدل SWAP در سراسر دنیا انجام شده است، نشان می‌دهد که این مدل بعد از واسنجی برای منطقه مورد استفاده، به خوبی می‌تواند انتقال آب و املاح در خاک را در طول کشت شبیه‌سازی نماید. لذا پژوهش حاضر، با هدف مطالعه و مدلسازی توزیع شوری در یک خاک تحت کشت ذرت با مدل SWAP به روش آبیاری قطره‌ای با آب شور در منطقه اهواز انجام گرفت.

### توصیف مدل

انتقال املاح در مدل SWAP براساس پدیده انتقال-انتشار به شرح معادله ۱ بیان میشود (۱۳):

$$\frac{\partial(\theta c)}{\partial t} = \frac{\partial \left( qL \left( \frac{\partial c}{\partial z} \right) - qc \right)}{\partial z} - s_s(z \cdot t) \quad (1)$$

که در آن، c: غلظت املاح آب خاک ( $cm^{-3}$ )، q: شدت جریان آب خاک ( $Lt^{-1}$ )، L: طول انتشار محلول (L) و  $S_s(z,t)$ : شدت تخلیه آب خاک توسط گیاه ( $ML^{-3}$ ) است. مقدار q از رابطه داری به شرح زیر قابل محاسبه است (جهت جریان آب از پایین به سمت بالا مثبت است):

$$q = -k(h) \left[ \frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right] \quad (2)$$

$$s_s \quad (3)$$

جوری (۳) مقدار معمول L (طول انتشار محلول) را در شرایط آزمایشگاهی بین ۵/۲ تا ۲۰ سانتی‌متر و در شرایط مزرعه بین ۵ تا ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفتند. برای محاسبه  $S_s(z, t)$  همانند رابطه زیر می‌توان نوشت:

ضروری می‌باشد. همچنین آزمون‌های مزرعه‌ای مرتبط با شوری به دلیل محدودیت‌های اجرائی، طولانی بودن و نیاز به نیروی انسانی و هزینه زیاد، به تدریج جای خود را به مدل‌های رایانه‌ای داده‌اند (۵). مدل‌های رایانه‌ای متعددی برای شبیه‌سازی روابط پیچیده آب، خاک، اتمسفر و گیاه توسعه یافته‌اند. از مدل‌هایی که تغییرات شوری خاک را نسبت به کاربرد متفاوت آب می‌سنجد مدل SWAP است. SWAP یک مدل شبیه‌سازی بیلان آب و املاح در یک خاک زیر کشت است که معادله ریچاردز را برای حرکت آب در خاک به کار می‌گیرد، توابع هیدرولیکی خاک به وسیله بیان‌های تحلیلی وان گنوختن تعریف می‌شوند، حل عددی معادله ریچاردز طوری تطبیق یافته که حل هم برای منطقه اشباع و هم برای منطقه غیر اشباع به کار می‌رود (۱۶). پژوهشگران متعددی مدل SWAP را در حالات مختلف مدیریت آب و خاک به کار گرفته و نتایج آن را مورد بررسی قرار داده‌اند. اساس ارزیابی‌های انجام شده اعمال اطلاعات آب، خاک، گیاه و هواشناسی به عنوان ورودی مدل است که نتایج خروجی آن با اطلاعات میدانی مقایسه و ارزیابی شده است. مدل SWAP برای شبیه‌سازی عملکرد محصول، زهکشی، جریان املاح و گرما در خاک، مدیریت آب در کشت آبی و بیلان آب در سیستم‌های هیدرولوژیکی کاربرد دارد. اساس مدل ارتباط فیزیکی پارامترهای خاک، آب، اتمسفر و گیاه است و از داده‌های پارامترهای مختلف اقلیمی، آب، خاک و گیاه استفاده می‌کند (۱۹). کیانی (۶) با استفاده از مدل SWAP اقدام به شبیه‌سازی انتقال املاح و عملکرد نسبی گندم طی دو سال زراعی نمود. وی به استناد تحلیل‌های آماری، دریافت که مدل SWAP با وجود متغیرهای متعدد در شرایط مزرعه‌ای، مقدار شوری خاک و عملکرد نسبی گندم را به خوبی شبیه‌سازی نمود و در همه موارد، ضریب همبستگی بالاتر از ۸۰ درصد و میانگین مربعات خطا کمتر از انحراف معیار داده‌ها بود. سلطانی محمدی (۱۴) با ارزیابی شبیه‌سازی عملکرد ذرت دانه‌ای و انتقال املاح تحت تنش شوری و کم آبی توسط مدل SWAP در اهواز نشان داد که خروجی مدل به پارامتر عمق آب آبیاری حساسیت بالایی داشت و توزیع شوری را به خوبی شبیه‌سازی نمود. شهیدی (۱۲) با ارزیابی شبیه‌سازی عملکرد ارقام گندم و انتقال آب و املاح در پروفیل خاک با مدل SWAP در استان خراسان جنوبی نشان داد که مدل SWAP توزیع شوری و عملکرد محصول گندم را در آبیاری سطحی به خوبی می‌تواند شبیه‌سازی کند. مصطفی زاده و همکاران (۱۰) در بررسی کارایی مدل SWAP در تخمین شوری خاک، گزارش کردند که این مدل در مناطق خشک قابل استفاده بود و با مقایسه نمودارهای غلظت نمک شبیه‌سازی شده با غلظت نمک اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف، اعلام کردند که مدل، میزان نمک خاک را در تیمارهایی که با آب با شوری کمتر آبیاری شدند، با دقت نسبتاً قابل قبولی شبیه‌سازی نمود. سو و همکاران (۱۵) با شبیه‌سازی حرکت نمک در زهکش‌های تنبوشه‌ای

## مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی شماره یک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ انجام گرفت که از نظر موقعیت جغرافیایی در ۴۸ درجه و ۳۹ دقیقه و ۶۸ ثانیه طول شرقی، ۳۱ درجه و ۱۸ دقیقه و ۱۸ ثانیه عرض شمالی و با ارتفاع ۲۰ متر از سطح دریا واقع گردیده است. آمار هواشناسی این محدوده زمانی (تهیه شده از ایستگاه هواشناسی موسسه تحقیقات خرما) نشان داد که میزان بارندگی در طول دوره کشت ۳۴ میلی‌متر و متوسط دمای ماهانه در طی کشت بهار، ۳۴/۱۱ درجه سانتی‌گراد بود. برای انجام این پژوهش، زمینی به مساحت ۱۰۸ مترمربع انتخاب گردید و به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از مراحل آماده‌سازی زمین، در بهمن ماه ۱۳۹۱ قبل از کاشت نمونه‌های مرکبی از سه نقطه محدوده کشت و از سه عمق ۳۰-۶۰-۹۰ و ۶۰ سانتی‌متری خاک برداشت شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و بعد از خشک کردن، خرد کردن و عبور از الک دومیلی‌متری، توزیع اندازه ذرات با استفاده از دستگاه مسترسایز<sup>۱</sup> و روش الک اندازه‌گیری گردید. تعیین هدایت الکتریکی خاک با استفاده از دستگاه هدایت سنج و اندازه‌گیری pH در گل اشباع با pH متر انجام گردید. پتاسیم قابل جذب با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر، فسفر قابل جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر و درصد کربن آلی از طریق تعیین نیتروژن کل به روش کجلدال<sup>۲</sup> اندازه‌گیری شدند. برای تعیین جرم مخصوص ظاهری هر لایه خاک، نمونه‌های دست نخورده با استوانه‌های نمونه‌برداری تهیه گردید. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی در جدول ۱ ارائه شده است. تحقیق حاضر در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی (RCB) با چهار تیمار شوری آب آبیاری شامل شوری S<sub>1</sub> (آب رودخانه کارون با شوری ۳ دسی‌زیمنس بر متر به عنوان تیمار شاهد)، S<sub>2</sub> (S<sub>1</sub>+0.5)، S<sub>3</sub> (S<sub>1</sub>+1) و S<sub>4</sub> (S<sub>1</sub>+1.5) دسی‌زیمنس بر متر در سه تکرار انجام گرفت. برای تهیه آب شور ابتدا آب رودخانه تجزیه و مقادیر EC، Ca، Mg، Na و pH تعیین و نسبت  $\frac{Ca}{Mg}$  مقدار SAR محاسبه گردید. سپس مقادیر نمک‌های فوق‌الذکر به نسبتی به آب اضافه گردید تا EC به مقدار مورد نظر برسد در حالی که مقادیر  $\frac{Ca}{Mg}$  و SAR آب حاصله مشابه آب رودخانه باشد. نقشه شماتیک طرح، در شکل ۱ نشان داده شده است. تیمار T<sub>1</sub> دارای شوری S<sub>1</sub>، تیمار T<sub>2</sub> دارای شوری S<sub>2</sub>، تیمار T<sub>3</sub> دارای شوری S<sub>3</sub> و تیمار T<sub>4</sub> دارای شوری S<sub>4</sub> می‌باشد. در دوم اسفند ماه سال ۱۳۹۱ عملیات کاشت ذرت صورت گرفت. روش کاشت به صورت دستی و در داخل کرت‌هایی شامل چهار ردیف سه متری با فاصله ردیف ۷۵ سانتی‌متر

که در آن،  $\alpha(h_0)$ : تابع کاهش نامیده می‌شود و مقدار آن بستگی به شوری آب در خاک دارد و از صفر تا یک در نوسان است و از تابع ماس وهافمن (۸) به دست می‌آید:

$$\alpha \quad (4)$$

که در آن،  $a$ : شیب خط رابط عملکرد نسبی- شوری خاک (برابر  $dS/m$ )،  $h_0$ : شوری عصاره اشباع خاک ( $dS/m$ ) و  $h^*$ : مقدار آستانه شوری خاک ( $dS/m$ ) است. برای حل معادله‌های دیفرانسیلی فوق نیاز به توابع هیدرولیکی خاک (منحنی نگهداری آب در خاک،  $\theta(h)$ )، تابع هدایت هیدرولیکی خاک،  $K(h)$  یا رابطه  $\theta$  ی  $(k-h-\theta)$  است. برای این منظور، از روابط وان گنوختن- معلم به شرح زیر استفاده شد.

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{(1 + |\alpha \cdot h|^n)^m} \quad \theta_r \leq \theta \leq \theta_s \quad (5)$$

$\theta_s$  و  $\theta_r$ : به ترتیب رطوبت باقی مانده و اشباع در خاک است.  $m, n$  و  $\alpha$  پارامترهای تجربی هستند که از رگرسیون معادله ۵ بر اساس اطلاعات صحرائی قابل محاسبه هستند.  $\alpha$ : برابر عکس بار فشاری است ( $L^{-1}$ ) و به لحاظ فیزیکی می‌توان آن را شاخص توزیع اندازه خلل و فرج خاک دانست و  $m$  نیز برابر است با:

$$m = 1 - \frac{1}{n} \quad (6)$$

با به کار بردن تئوری هدایت هیدرولیکی غیر اشباع خاک معلم (۱۱) و معادله ۵، هدایت هیدرولیکی غیر اشباع  $K(h)$  به صورت معادله ۷ به دست می‌آید (۱۳):

$$K(h) = K_s S_e^{\lambda} \left[ 1 - \left( 1 - S_e^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad (7)$$

که در آن KS: هدایت هیدرولیکی خاک اشباع ( $LT^{-1}$ ) و Se: رطوبت حجمی اشباع موثر می‌باشد و به صورت زیر تعریف می‌گردد.

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (8)$$

برای برآورد ضرایب معادله‌های غیرخطی فوق، وان گنوختن و همکاران (۱۸) برنامه RETC را پیشنهاد کردند.

این منظور از اعماق خاک توسط آگر نمونه‌برداری شده و پس از توزین و خشک شدن در آون رطوبت آن‌ها محاسبه شد. برای بررسی توزیع شوری، در کلیه تیمارها تا عمق ۹۰ سانتی‌متر و به ازای هر ۳۰ سانتی‌متر در ۳ سری زمانی ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز پس از کاشت در سه فاصله روی پشته، ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری قطره چکان نمونه‌برداری صورت گرفت.

#### پارامترهای مورد نیاز مدل

هر مدل کامپیوتری نیاز به شرایط مرزی دارد که به عنوان ورودی به مدل داده می‌شود. در مدل SWAP شرایط مرزی بالا تبخیر و تعرق پتانسیل (بر اساس معادله پنمن - مانتیث) و مجموع بارندگی و آبیاری تعریف شده است.

و با تراکم ۸۰ هزار بوته در هکتار انجام شد. سیستم آبیاری قطره‌ای از نوع نوارهای تیپ با فاصله روزنه‌های ۲۰ سانتی‌متر بود. انرژی مورد نیاز سیستم توسط یک پمپ تأمین می‌گردید. آب آبیاری توسط فیلتر توری تصفیه و حجم آن توسط کنتور حجمی کنترل و فشار آن نیز با استفاده از فشارسنج و شیر کنترل فشار تنظیم شده و پس از عبور از لوله‌های ۴۰ و ۱۶ میلی‌متر توسط نوارهای تیپ در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. با توجه به کم بودن دور آبیاری در آبیاری قطره‌ای و همچنین هزینه‌های کارگری در آبیاری با دور کم به دلیل خودکار نبودن سیستم، دور مناسب آبیاری ۳ روز در نظر گرفته شد. در جدول ۲ نتایج آزمایش‌های کیفی آب نشان داده شده است. نتایج تجزیه آب آبیاری در مراحل مختلف رشد به صورت ماهانه می‌باشد. حجم آب آبیاری با توجه به رطوبت باقیمانده در خاک در روز قبل از آبیاری، محاسبه شد. رطوبت خاک به صورت وزنی تعیین شد. برای

جدول ۱ - خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی

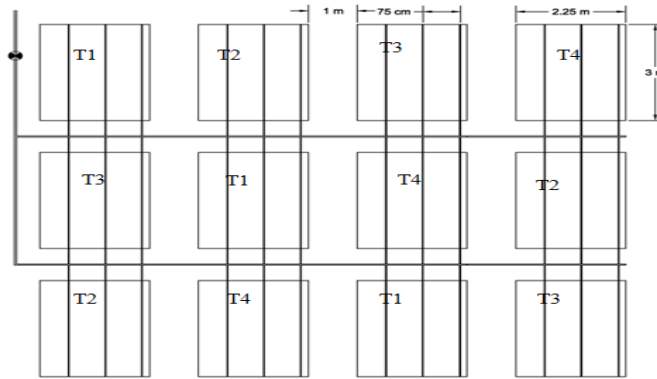
Table 1-Physical and chemical properties of field soil research

عمق Depth (cm)	پتاسیم قابل جذب K (mgkg <sup>-1</sup> )	فسفر قابل جذب P (mgkg <sup>-1</sup> )	کربن آلی N (%)	pH	EC <sub>e</sub> (ds/m)	جرم مخصوص ظاهری Density (gcm <sup>-3</sup> )	بافت خاک Soil texture	اندازه ذرات خاک Soil particle size (%)		
								رس Clay	سیلت Silt	شن Sand
0-30	110	10.0	0.12	7.50	3.91	1.40	Si-L	22.6	52.1	25.3
30-60	124	10.5	0.08	7.57	3.35	1.55	Si-L	23.5	51.5	25
60-90	108	10.1	0.08	7.60	2.78	1.60	Si-L	23.2	51.7	23.2

جدول ۲ - خصوصیات شیمیایی آب آبیاری در تیمار شاهد

Table 2-Chemical properties of irrigated water control treatments

زمان نمونه برداری Sampling time	So <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Hco <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	TDS	P	EC
اسفند March	8.31	12.73	3.6	0.08	12.9	3.99	7.89	1892	8	2.94
فروردین April	8.95	13.58	3.5	0.09	13.59	4.44	8.13	1585	7.6	2.49
اردیبهشت May	8.45	13.92	3.4	0.09	14.06	3.89	7.93	1612	7.4	2.5
خرداد June	11.55	14.4	3.2	0.09	16.4	4.13	8.6	1654	6.6	2.58



شکل ۱- نقشه شماتیک طرح  
Figure 1-Schematic map plan

### ارزیابی آماری مدل SWAP

برای ارزیابی مدل از ضرایب از تحلیل خطاهای باقیمانده و اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده استفاده شد. آماره‌های لازم برای این منظور، حداکثر خطا<sup>۴</sup> (ME)، میانگین ریشه دوم خطای نرمال شده<sup>۵</sup> (NRMSE)، ضریب تعیین<sup>۶</sup> ( $R^2$ ) و ضریب باقیمانده<sup>۷</sup> (CRM) می‌باشند. شکل ریاضی این آماره‌ها به صورت زیر است:

$$ME = \max |P_i - O_i|_{i=1}^n \quad (9)$$

$$NRMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{1/2} \times \frac{100}{O} \quad (10)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (11)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (12)$$

که در آنها  $P_i$ : مقادیر پیش‌بینی شده،  $O_i$ : مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده)،  $n$ : تعداد نمونه‌های به کار رفته و  $\bar{O}$ : مقدار متوسط پارامتر اندازه‌گیری شده است. حداقل مقدار ME، NRMSE و  $R^2$  صفر است. CRM می‌تواند مقدار منفی داشته باشد. مقدار زیاد ME نشانگر کارکرد ضعیف مدل است، در حالی که مقدار زیاد NRMSE نشان می‌دهد که برآورد بیش از حد یا کمتر از حد مدل در مقایسه با مشاهدات (اندازه‌گیری‌ها) چقدر است. آماره  $R^2$  نسبت پراکندگی را بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد. آماره CRM نشانگر تمایل مدل برای برآورد بیش از حد و یا کمتر از حد در مقایسه

مرز پایینی به علت پایین بودن سطح ایستایی در منطقه به صورت زهکشی آزاد برای مدل تعریف شد. زیر مدل گیاهی مدل SWAP شامل مدل ساده و مدل پیشرفته است که در این تحقیق با توجه به اطلاعات موجود، از مدل ساده استفاده شد. برای شبیه‌سازی جریان آب در خاک نیاز به داده‌های خاک‌شناسی شامل: توابع هیدرولیکی خاک، رطوبت قابل نگهداشت خاک و منحنی هدایت هیدرولیکی نسبت به رطوبت خاک است که از مدل وان‌گنوختن (۱۸) در برنامه RETC استفاده شد.

### تحلیل حساسیت<sup>۱</sup>، واسنجی<sup>۲</sup> و صحت‌سنجی<sup>۳</sup> مدل SWAP

به منظور شبیه‌سازی رطوبت خاک با مدل SWAP، پس از فراهم نمودن داده‌های ورودی، تحلیل حساسیت مدل با استفاده از روش پیشنهادی لیو و همکاران (۷) انجام گرفت بدین منظور از داده‌های تیمار شاهد (T<sub>1</sub>) استفاده گردید. در این تحقیق، با هدف کاربرد مدل SWAP، تحلیل حساسیت با میزان کاهش یا افزایش داده‌های ورودی به مقدار ۵۰ درصد انجام گرفت. پس از انجام محاسبات، ضرایب حساسیت به دست آمده (Sc) با دامنه تغییرات پیشنهادی لیو و همکاران (۷) مقایسه گردید. برای واسنجی (کالیبراسیون مدل)، از ۷۰ درصد داده‌های نمونه‌برداری استفاده گردید. بدین منظور از داده‌های مربوط به تیمارهای T<sub>1</sub>، T<sub>2</sub>، T<sub>3</sub>، T<sub>4</sub> و همچنین آمار ایستگاه هواشناسی موسسه تحقیقات خرما در سال ۹۲-۱۳۹۱ استفاده و واسنجی صورت گرفت و پارامترهای هیدرولیکی خاک و انتقال املاح تعیین شد. صحت‌سنجی مدل با استفاده از ۳۰ درصد داده‌های باقیمانده کلیه تیمارها انجام شد. روش کار به این صورت بود که پس از کالیبراسیون، شوری اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده را در برابر هم رسم نموده و ضریب تعیین را مشخص می‌کنیم.

4-Maximum Error

5-Normalized Root Mean Square Error

6-Coefficient of determination

7-Coefficient of Residual Mass

1 - Sensitivity analysis

2-Kalibration

3-Verification

متوسط می‌باشد. شهیدی (۱۲) و سلطانی محمدی (۱۴) نیز حساسترین پارامتر را داده مربوط به میزان آب آبیاری تعیین کردند. بنابراین باید این داده‌ها با دقت قابل ملاحظه‌ای اندازه‌گیری شوند زیرا در غیراین صورت خطای قابل توجهی در نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های مدل به وجود می‌آید. سایر پارامترهای مورد ارزیابی در جدول ۴ ارائه شده است. برای واسنجی مدل ابتدا پارامترهای هیدرولیکی خاک ( $\theta_s, K_s, \theta_{res}, n, \alpha$ ) و سپس پارامترهای انتقال املاح خاک را برای توزیع شوری تعیین شد. در جدول ۵ مقادیر بهینه این پارامترها در جدول آمده است. با توجه به شکل ۲ میزان ضریب تعیین آن پس از واسنجی ۸۶ درصد محاسبه شد که  $R^2$  بالا نشان دهنده کارایی بالای مدل دارد. در این رابطه شهیدی (۱۲) میزان  $R^2$  را ۸۸ درصد و سلطانی محمدی (۱۴) نیز میزان  $R^2$  را ۸۶ درصد به دست آوردند. همچنین نتایج حاصل از صحت‌سنجی در شکل ۳ آمده است. مقدار  $R^2$  در این شکل نشان دهنده توانایی قابل قبول مدل SWAP در شبیه‌سازی است.

با اندازه‌گیری‌ها است. چنانچه تمام مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده با هم برابر شوند، مقدار عددی آماره‌های ME، NRMSE، CRM برابر صفر و مقدار  $R^2$  برابر یک خواهد شد.

## نتایج و بحث

ضرایب معادله ون‌گونختن با داشتن داده‌های متناظر پتانسیل ماتریک و رطوبت خاک از نرم افزار RETC محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۳ آمده است. مقایسه رطوبت باقیمانده ( $\theta_r$ ) و هدایت هیدرولیکی خاک ( $k_s$ ) رطوبت اشباع خاک ( $\theta_s$ ) از جدول ۳ با مقادیر درصد رطوبت در نقطه پژمردگی ( $\theta_{pwp}$ )، دقت مدل RETC را نشان می‌دهد. خروجی مدل براساس اطلاعات ورودی تا مکش ۱۵ بار حاصل شد.

### تحلیل حساسیت، واسنجی و صحت سنجی مدل SWAP

نتایج تحلیل حساسیت مدل نشان داد که مدل به عمق آب آبیاری دارای حساسیت زیاد و بارندگی و شوری آب آبیاری دارای حساسیت

جدول ۳- ضرایب توابع هیدرولیکی خاک با استفاده از برنامه RETC

Table 3-Coefficients of soil hydraulic functions using the program RETC

عمق خاک Depth (cm)	$\theta$	$\theta$	$k$	$\alpha(\text{cm}^{-1})$	$n$	$m$
0-30	0.05	0.43	14.20	0.014	1.18	0.157
30-60	0.07	0.47	15.50	0.016	1.25	0.203
60-90	0.07	0.46	14.70	0.018	1.18	0.157

جدول ۴- ضرایب حساسیت محاسبه شده

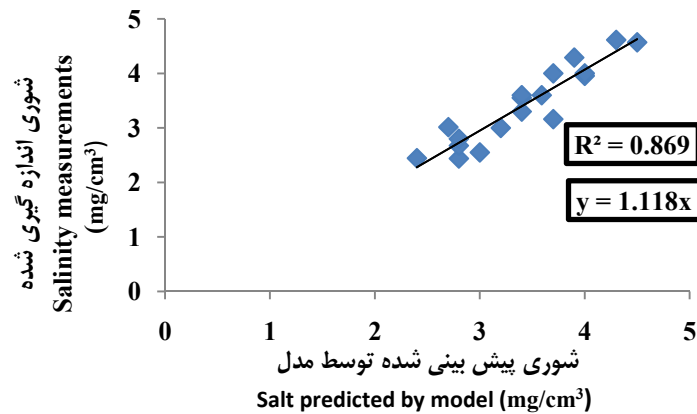
Table 4-Sensitivity coefficients calculated

پارامتر ورودی Input parameters	ضریب حساسیت Sc
حداکثر درجه حرارت (+۵۰) Maximum temperature	0.09
حداقل درجه حرارت (+۵۰) Minimum temperature	0.11
بارندگی (+۵۰) Rainfall	1.47
ضرایب هیدرولیکی لایه های خاک (-۵۰) Hydraulic coefficients soil layers	0.75
پارامترهای انتقال املاح خاک (-۵۰) Soil solute transport parameters	0.25
عمق آب آبیاری (+۵۰) Irrigation water depth	2.81
شوری آب آبیاری (-۵۰) Irrigation water salinity	1.33
عمق ریشه (-۵۰) Rooting depth	1.01
شاخص سطح برگ (+۵۰) Leaf area index	0.05

جدول ۵- مقادیر متوسط پارامترهای هیدرولیکی و انتقال املاح خاک برای توزیع شوری

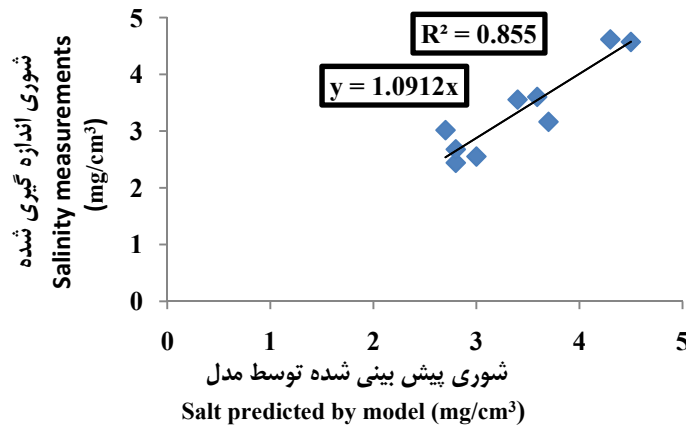
Table 5- Average values of hydraulic and Solute transport in soil parameters for the distribution salinity

پارامتر Parameter	مقدار Value
$\alpha(\text{cm}^{-1})$	0.0205
$n(-)$	1.2727
$\theta_{\text{res}}(\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$	0.01
$K_s(\text{cm day}^{-1})$	58.7
$\theta_s(\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$	0.43
طول انتشار Diffusion length (cm)	5
ضریب پخشیدگی مولکولی Molecular diffusion coefficient	0.01



شکل ۲- نتایج واسنجی مدل SWAP در توزیع شوری

Figure 2-SWAP model calibration results in the distribution of salinity

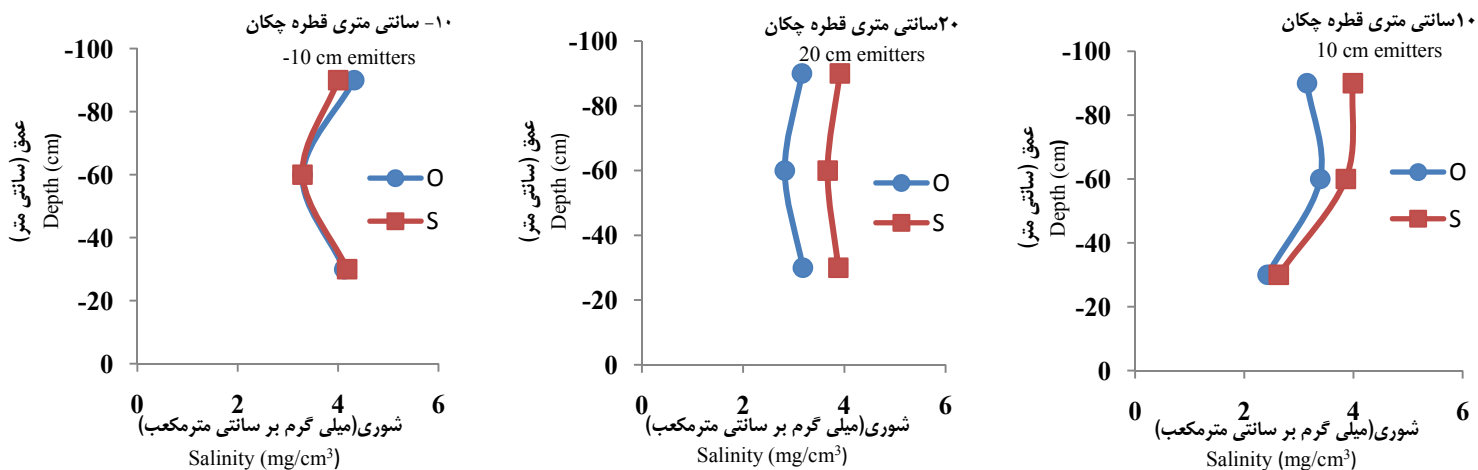


شکل ۳- نتایج صحت سنجی مدل SWAP در توزیع شوری

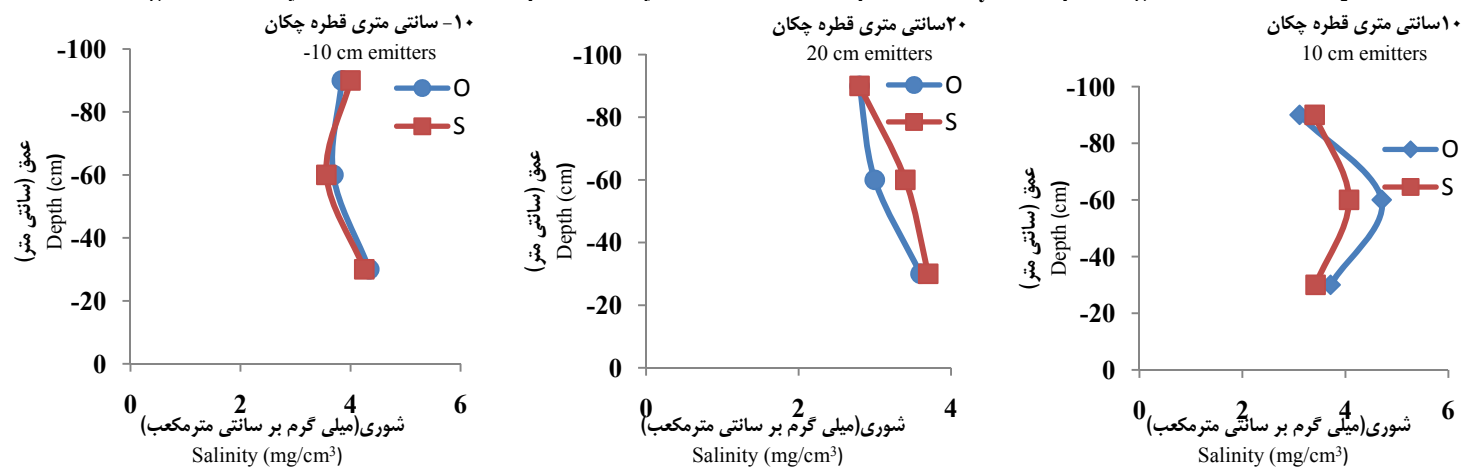
Figure 3- SWAP model testing results in the distribution of salinity

و T<sub>4</sub> در فواصل ۱۰ سانتی متری قطره چکان، ۲۰ سانتی متری قطره چکان و ۱۰- سانتی متری قطره چکان (روی پشته) مشخص شده است. در این نمودارها علائم O و S به ترتیب مقادیر شوری اندازه گیری شده و شبیه سازی شده توسط مدل را نشان می دهد.

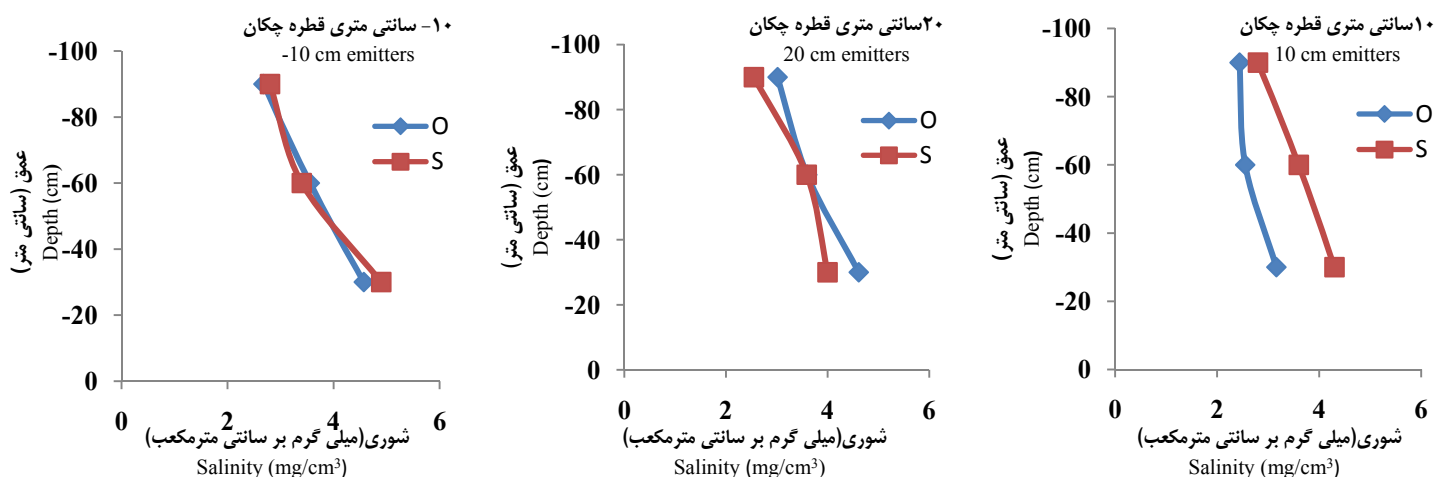
شبیه سازی توزیع شوری توسط مدل SWAP در شکل های ۵ تا ۱۲ مقادیر شوری اندازه گیری شده و شبیه سازی شده توسط مدل SWAP نسبت به عمق در یک نمودار در فواصل زمانی ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز پس از کاشت، در تیمارهای T<sub>3</sub>، T<sub>2</sub>



شکل ۴- مقادیر شوری اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل نسبت به عمق در ۳۰ روز پس از کاشت در تیمار T<sub>2</sub>  
 Figure 4-Salinity values measured and predicted by the model to the depth at 30 days after planting in the treatment T<sub>2</sub>

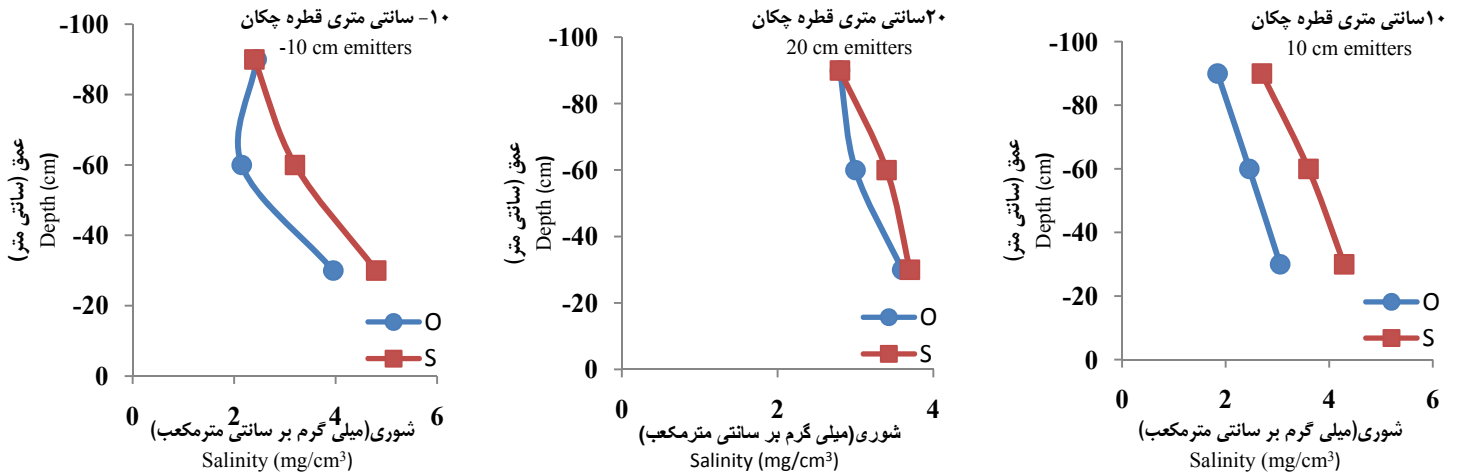


شکل ۵- مقادیر شوری اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل نسبت به عمق در ۳۰ روز پس از کاشت در تیمار T<sub>3</sub>  
 Figure 5-Salinity values measured and predicted by the model to the depth at 30 days after planting in the treatment T<sub>3</sub>



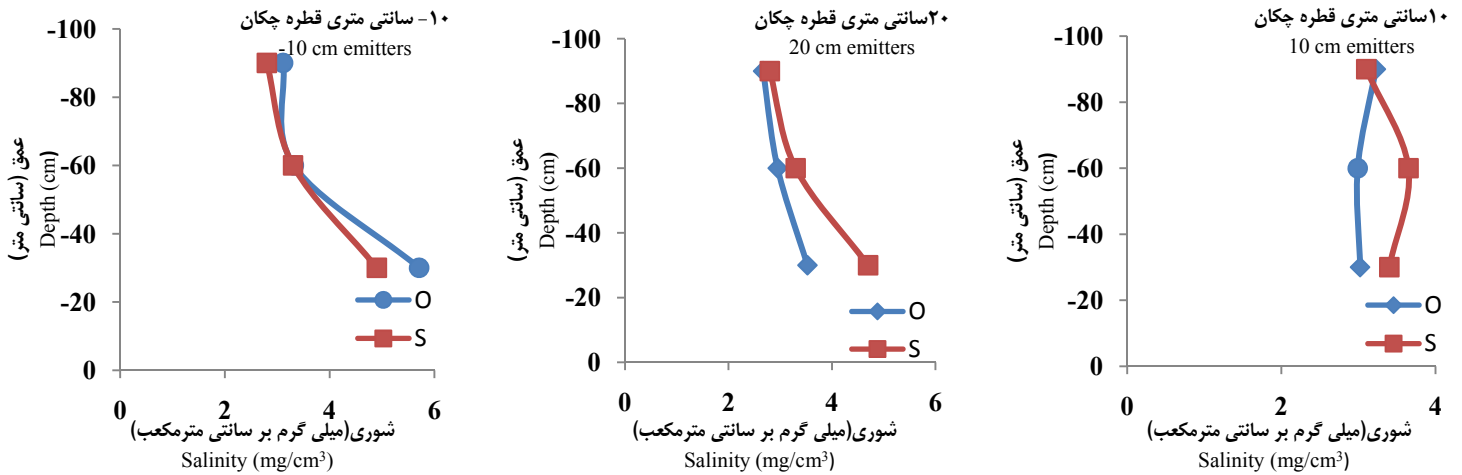
شکل ۶- مقادیر شوری اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل نسبت به عمق در ۶۰ روز پس از کاشت در تیمار T<sub>2</sub>  
 Figure 6-Salinity values measured and predicted by the model to the depth at 60 days after planting in the treatment T<sub>2</sub>





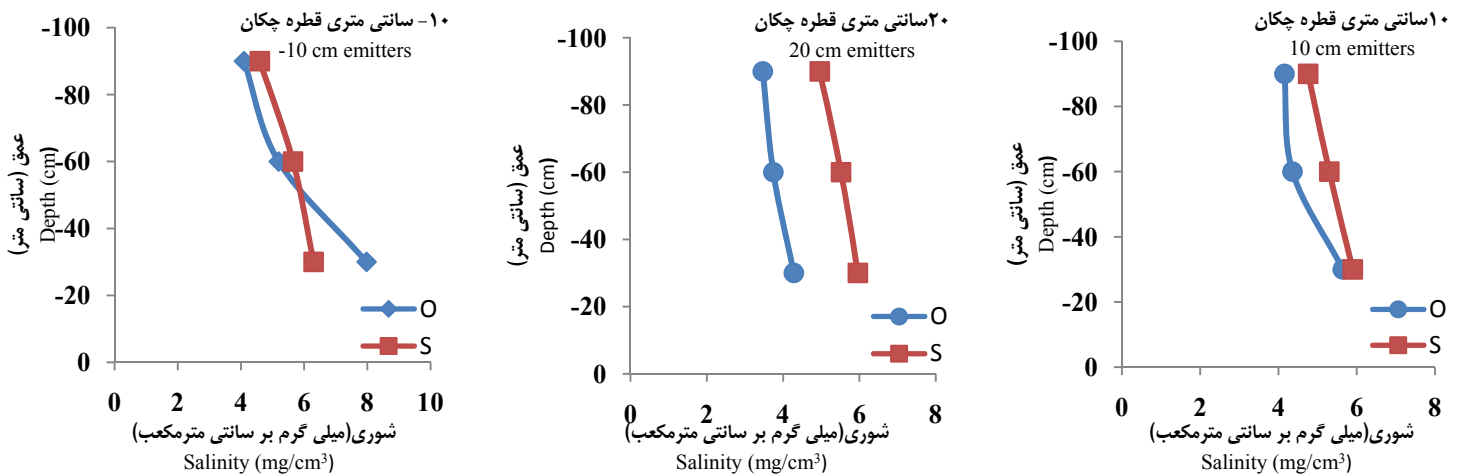
شکل ۷- مقادیر شوری اندازه گیری شده و پیش بینی شده توسط مدل نسبت به عمق ۶۰ روز پس از کاشت در تیمار T<sub>3</sub>

Figure 7-Salinity values measured and predicted by the model to the depth at 60 days after planting in the treatment T<sub>3</sub>



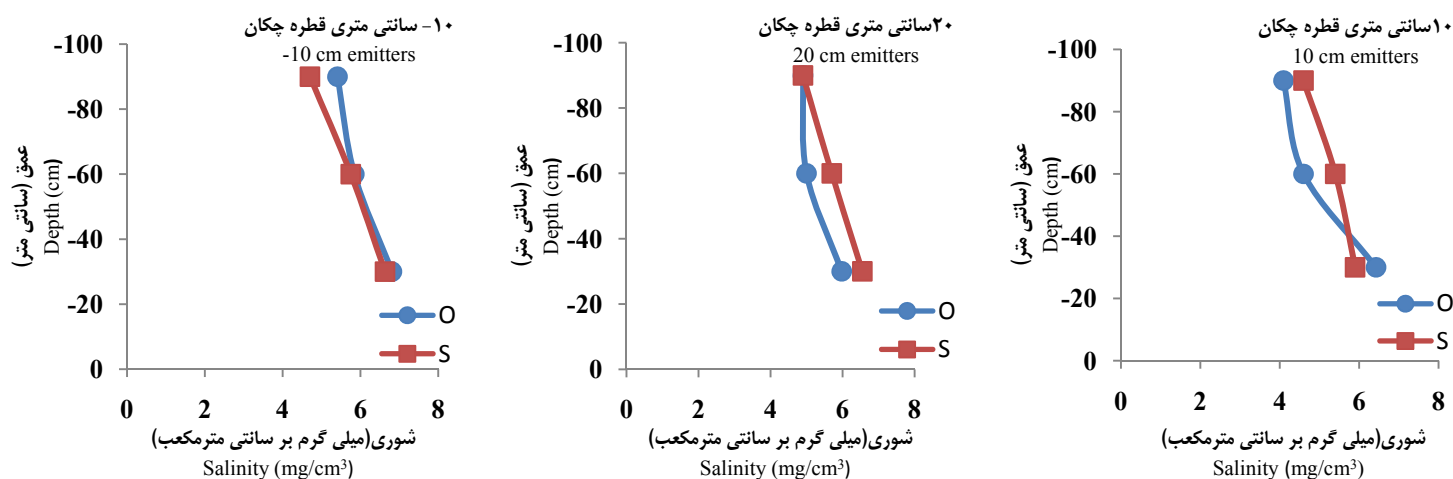
شکل ۸- مقادیر شوری اندازه گیری شده و پیش بینی شده توسط مدل نسبت به عمق ۶۰ روز پس از کاشت در تیمار T<sub>4</sub>

Figure 8-Salinity values measured and predicted by the model to the depth at 60 days after planting in the treatment T<sub>4</sub>

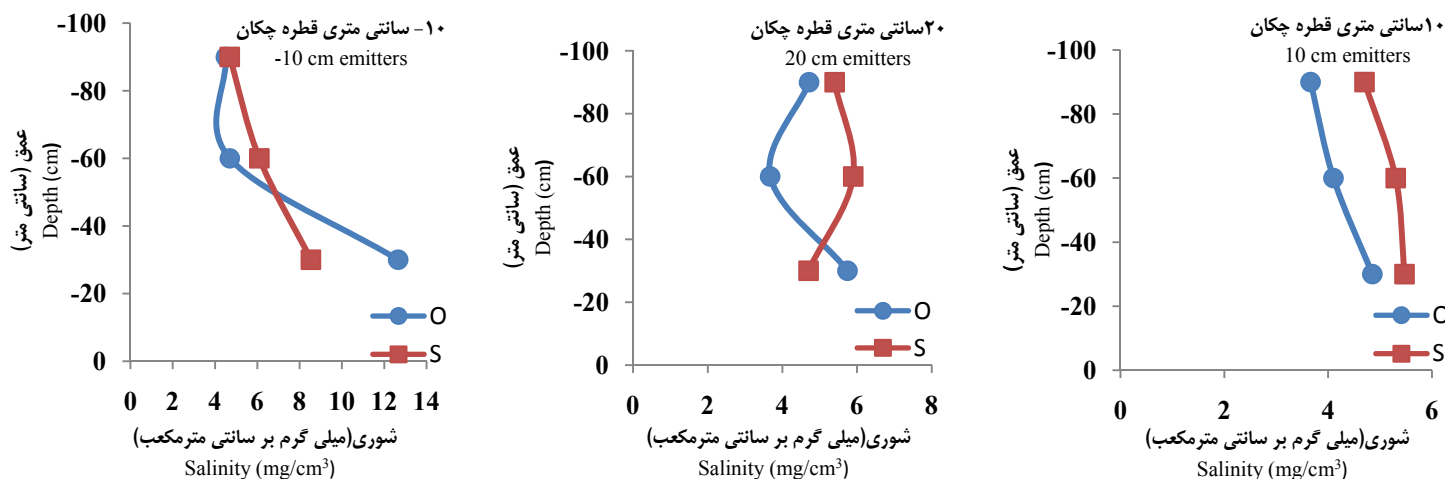


شکل ۹- مقادیر شوری اندازه گیری شده و پیش بینی شده توسط مدل نسبت به عمق ۹۰ روز پس از کاشت در تیمار T<sub>2</sub>

Figure 9-Salinity values measured and predicted by the model to the depth at 90 days after planting in the treatment T<sub>2</sub>



شکل ۱۰- مقادیر شوری اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل نسبت به عمق ۹۰ روز پس از کاشت در تیمار T<sub>3</sub>  
 Figure 10-Salinity values measured and predicted by the model to the depth at 90 days after planting in the treatment T<sub>3</sub>



شکل ۱۱- مقادیر شوری اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل نسبت به عمق ۹۰ روز پس از کاشت در تیمار T<sub>4</sub>  
 Figure 11-Salinity values measured and predicted by the model to the depth at 90 days after planting in the treatment T<sub>4</sub>

می‌دهد. در تیمار T<sub>3</sub> میزان شوری در زمان ۳۰ روز پس از کشت در فاصله ۲۰ سانتی‌متری قطره‌چکان ۳/۶ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب و در ۶۰ روز پس از کاشت ۴ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب و در ۹۰ روز پس از کاشت به ۶ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌رسد که این تغییرات افزایش میزان شوری به دلیل آبیاری متوالی با آب شور می‌باشد. اگر که تغییرات شوری در ۶۰ روز پس از کاشت نسبت به ۳۰ روز پس از کاشت کمتر است می‌تواند به دلیل آبیاری کمتر با آب شور در اوایل کاشت و همچنین بارندگی باشد. بنابراین بیشترین میزان شوری در تیمار T<sub>4</sub> و در فاصله روی پشته اتفاق می‌افتد. نتایج نشان داد که توزیع شوری در پروفیل خاک در فاصله ۱۰ سانتی‌متری قطره‌چکان از یکنواختی بیشتری برخوردار است به طوری که این یکنواختی در تیمارهایی با شوری کمتر قابل توجه می‌باشد. دلیل این

با توجه به خصوصیات سیستم آبیاری قطره‌ای که کمترین میزان شوری در نزدیک قطره‌چکان و بیشترین شوری در روی سطح پشته تجمع می‌یابد بر این اساس با توجه به شکل‌های ۴ تا ۱۱ ملاحظه می‌گردد، که کمترین شوری در فاصله ۱۰ سانتی‌متری قطره‌چکان و به ترتیب در فاصله‌های ۲۰ سانتی‌متری قطره‌چکان و روی پشته میزان تجمع شوری افزایش می‌یابد. برای مثال در تیمار T<sub>4</sub> در ۶۰ روز پس از کاشت حداکثر میزان شوری در فاصله ۱۰ سانتی‌متری قطره‌چکان به ۳ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌رسد ولی در فاصله‌های ۲۰ سانتی‌متری قطره‌چکان و روی پشته این مقدار به ترتیب به ۴ و ۶ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌رسد. همچنین در شکل‌های ۵ تا ۶ روند تغییرات شوری در طول فصل کشت در فاصله‌های روی پشته، ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری قطره‌چکان را نشان

امر می تواند تجمع کمتر نمک در نزدیکی قطره چکان باشد. دامنه تغییرات شوری عصاره اشباع خاک در سطح خاک بیشتر از عمق می باشد یعنی شوری عصاره اشباع خاک در سطوح بالایی خاک، بیشتر از سطوح پایینی تحت تأثیر عوامل مختلف قرار می گیرد. تبخیر نیز عمدتاً از لایه سطحی خاک صورت می گیرد. این روند مشابه تغییرات رطوبت می باشد. به عنوان مثال تغییرات شوری در سطح خاک در تیمار T<sub>2</sub> در ۳۰ روز پس از کاشت به ۲ میلی گرم بر سانتی متر مکعب می رسد ولی در همین نقطه تغییرات در لایه پایین خاک به کمتر از ۱ میلی گرم بر سانتی متر مکعب می رسد که این تغییرات در تیمارهایی با شوری بیشتر مشهودتر می شود.

مطابق شکل های ۴ تا ۱۱، در کلیه تیمارها، با افزایش شوری آب آبیاری، تغییرات قابل ملاحظه ای در روند تغییرات شوری عصاره اشباع خاک به چشم خورد به طوری که شوری عصاره اشباع خاک در مرحله زمانی ۶۰ روز پس از کاشت در تیمار T<sub>4</sub> در مقابل تیمار T<sub>3</sub> در لایه ۲۰ سانتی متری قطره چکان بیشتر شد. این تغییرات در فاصله های روی پشته بیشتر می باشد که می تواند به این دلیل باشد که در آبیاری قطره ای بیشترین تجمع نمک را روی پشته داریم.

همان طور که در شکل های ۴ تا ۱۱ ملاحظه می گردد، در بیشتر حالات به خصوص در تیمارهای شور، و در فاصله های ۲۰ و ۱۰ سانتی متری قطره چکان که شوری بالاتر می باشد، مدل مقادیر شوری را کمتر از مقدار اندازه گیری شده، شبیه سازی نمود که احتمالاً به دلیل عدم شستن نمک در پروفیل خاک می باشد. شهیدی (۱۲)، سلطانی محمدی (۱۴) و خاکساری و همکاران (۴) گزارش کردند که در شوری های زیاد مدل میزان شوری را کمتر از مقدار اندازه گیری شده پیش بینی می کند.

در تیمارهای آبیاری، با افزایش شوری آب آبیاری، اختلاف بین حداقل و حداکثر شوری در پروفیل خاک زیاد می باشد. به عنوان مثال، در تیمار T<sub>4</sub> در ۹۰ روز پس از کاشت، در فاصله روی پشته، اختلاف بین حداقل و حداکثر شوری عصاره اشباع خاک ۵ میلی گرم بر سانتی متر

مکعب بود در صورتی که در تیمار T<sub>2</sub> در فاصله روی پشته، این اختلاف به ۲ میلی گرم بر سانتی متر مکعب رسید. در این رابطه نیز شهیدی (۱۲)، سلطانی محمدی (۱۴) نیز به این نتیجه رسیدند. خاکساری و همکاران (۴) علت عدم تطابق کامل بین مقادیر برآورد شده رطوبت و مشاهداتی آن را تأثیر پس ماند رطوبت و جریان های معبری از ماکروپورها دانستند که در مدل SWAP در نظر گرفته نشده است. ساده سازی داده های ورودی را عامل عدم تطابق کامل برآورد داده ها و مشاهدات دانست. در جدول ۶ شاخص های آماری محاسبه شده برای بررسی و مقایسه عملکرد مدل در پیش بینی شوری در فاصله های ۱۰ سانتی متری قطره چکان، ۲۰ سانتی متری قطره چکان و روی پشته (۱۰- سانتی متری قطره چکان) آمده است.

بر اساس جدول ۶ بالاترین ضریب تعیین مربوط به فاصله ۱۰ سانتی متری قطره چکان (۸۱ درصد) می باشد و پس از آن با فاصله گرفتن از قطره چکان ضریب تعیین کاهش می یابد که این موضوع توانایی بالای مدل در نزدیکی قطره چکان می باشد که می تواند به دلیل شوری کمتر در فاصله های نزدیک قطره چکان با توجه به خصوصیت سیستم آبیاری قطره ای باشد. بالا بودن میزان ME پایین بودن دقت برآورد مدل می باشد که در روی پشته این میزان به حداکثر خود (۲/۸ میلی گرم بر سانتی متر مکعب) می رسد. ولی در فاصله های نزدیک قطره چکان میزان ME به دست آمده نشان دهنده دقت خوب مدل در برآورد شوری خاک می باشد بر اساس مثبت بودن میزان پارامتر CRM دیده می شود که در پیش بینی شوری میزان پیش بینی شده کمتر از مقدار مشاهده ای می باشد و با توجه به ضریب NRMSE بالا بودن میزان پیش بینی شده در مقابل مشاهداتی می باشد. کیانی و همکاران (۶) مدل SWAP را در شبیه سازی انتقال املاح در نیمرخ خاک تحت آبیاری سطحی مورد ارزیابی قرار دادند و مقدار MAE را برای شوری برابر با ۰/۷ (دسی زیمنس بر متر) به دست آوردند.

جدول ۶- ارزیابی آماری مدل در شبیه سازی توزیع شوری

Table 6-Statistical evaluation model to simulate the distribution of salinity

شاخص های آماری Statistical indexes	بهترین حالت Ideally	در فاصله ۱۰ سانتی متری قطره چکان	در فاصله ۲۰ سانتی متری قطره چکان	در فاصله ۱۰- سانتی متری قطره چکان
		Distance of 10 cm emitters	Distance of 20 cm emitters	Distance of -10 cm emitters
R <sup>2</sup>	1	0.81	0.78	0.75
ME	0	0.46	0.48	2.8
CRM	0	0.018	0.1172	0.07
NRMSE	0	11.77	16.44	18.19

شوری در سیستم آبیاری قطره ای تیپ با آب شور ارزیابی شد. داده های آزمایشگاهی و صحرایی مربوط به لایه های مختلف خاک (تا عمق ۹۰ سانتی متری خاک) بود که برای سه نقطه (روی پشته، ۱۰ و ۲۰

## نتیجه گیری کلی

در این تحقیق دقت شبیه سازی مدل SWAP را در برآورد توزیع

شد. مقادیر  $ME$ ،  $R^2$ ،  $NRMSE$  و  $CRM$  در ۱۰ سانتی‌متری قطره‌چکان ۰/۸۱، ۰/۴۶، ۱۱/۷۷ و ۰/۱۸ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب، در ۲۰ سانتی‌متری قطره‌چکان ۰/۷۸، ۰/۴۸، ۱۶/۴۴ و ۰/۱۱۷۲ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب و در روی پشته ۰/۷۵، ۲/۸، ۱۸/۱۹ و ۰/۰۷ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب محاسبه شد. روند تغییرات دقت مدل در برآورد شوری خاک از فاصله نزدیک قطره‌چکان تا روی پشته کاهشی بود. با توجه به خصوصیات آبیاری قطره‌ای که بیشترین شوری روی پشته تجمع می‌کند و کمترین مقدار در فاصله نزدیکی قطره‌چکان، مدل نتوانست به خوبی شوری‌های زیاد در آخر فصل که مربوط به روی پشته بود را شبه‌سازی کند و بهترین شبه‌سازی مربوط به نزدیک قطره‌چکان بود. به طور کلی نتایج حاصل از شبه‌سازی مدل  $SWAP$  نشان داد که این مدل می‌تواند توزیع شوری در خاک را تحت آبیاری قطره‌ای با آب شور با دقت قابل قبولی شبه‌سازی نماید و این مدل می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد برای ارزیابی توزیع شوری در اطراف قطره‌چکان مورد استفاده قرار گیرد.

سانتی‌متری قطره‌چکان) تجزیه و تحلیل گردید. برای شبه‌سازی توزیع شوری خاک تا عمق ۹۰ سانتی‌متری سطح خاک از مدل  $SWAP$  و برای اجرای مدل فوق از تمامی عوامل هواشناسی، خاک گیاه و آبیاری در سطح کرت آزمایشی تحت کشت ذرت، در مزرعه دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز استفاده شد. تحلیل حساسیت مدل  $SWAP$  نشان داد که این مدل به عمق آب آبیاری دارای حساسیت زیاد و بارندگی و شوری آب آبیاری دارای حساسیت متوسط می‌باشند. در واسنجی مدل ضرایب پارامترهای هیدرولیکی خاک و انتقال املاح تعیین گردید. صحت‌سنجی مدل نشان داد که همبستگی خوبی بین رطوبت شبه‌سازی شده و پیش‌بینی شده در شوری‌های کمتر وجود دارد. در تیمارهای با شوری بیشتر، دقت مدل در برآورد توزیع شوری خاک کاهش یافت. نتایج این بخش از کار در قالب پارامترهای ضریب تعیین ( $R^2$ )، حداکثر خطا ( $ME$ )، میانگین ریشه دوم خطای نرمال شده ( $NRMSE$ ) و ضریب باقیمانده ( $CRM$ ) در فواصل روی پشته، ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری قطره‌چکان نشان داده

## منابع

- 1- Alizadeh A. 2007. Designing of irrigation systems. The Publishers University Ferdowsi Mashhad, 1(7): 131.
- 2- Jiang J., Feng Sh., Huo Z., Zhao Z., and Bin J. 2011. Application of the  $SWAP$  model to simulate watersalt transport under deficit irrigation with saline water. *Mathematical and Computer Modelling*, 54: 902-911.
- 3- Jury W.A., Gardner W. R. and Gardner W. H. 1991. *Soil Physics*. Fifth Edition. Wiley, New York. P. 330.
- 4- Khaksari V., Mousavi Sa., Chraghi Sm., Kamkar A. and Parsa Sh. 2006. Evaluation of  $SWAP$  and  $LEACHC$  Computer models the Leaching of field in the soil solute in Chah Afzal Yazd. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 10(2): 57-68.
- 5- Khani Qryhgy M., Davari K., Alizadeh A., Hasheminia M., and Zulfiqar A. 2007. Evaluation of  $SWAP$  model to estimate The quantity and quality of sugar beet yield under different irrigation. *Journal Irrigation and Drainage*, 2: 107-117.
- 6- Kiani R. 2007. Use the  $SWAP$  model for simulation solute water transfer and the relative performance of wheat. *Seminar water and reduce evaporation*, 9: 13-30.
- 7- Liu H.F., Genard M., Guichard S. and Bertin N. 2007. Model-assisted analysis of tomato fruit growth in relation to carbon and water fluxes. *Journal of Experimental Botany*, 58(13): 3567-3580.
- 8- Mass E.V., and Hoffman G.J. 1977. Crop salt tolerance current assessment, *J. Irrigation and Drainage Division*. *ASCE*, 103(IR2):115-134.
- 9- Mann L., Su N., Bethune M., and Heuperman H.A. 2005. Simulation of water and salt movement in tiledrained field irrigation with saline water under a serial biological concentration management scenario. department water resource, Wageningen Agricultural University, Report No. 85.
- 10- Mostafazadeh Fard B., Mansouri H., Mousavi S.F., and Feizi M. 2008. Application of  $SWAP$  model to predict yield and soil salinity for sustainable agriculture in an arid region. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 3(4): 334-342.
- 11- Mualem Y. 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resourc Research*, 12: 513-522.
- 12- Shahidi A. 2008. Interaction deficit irrigation and salinity on yield and yield components of wheat with salt water production function in Birjand. *Irrigation and Drainage Thesis*. Water Sciences and Engineering Department. Shahid Chamran Ahwaz University.
- 13- Singh R. 2003. Simulation on direct and cyclic use of saline waters for sustaining cottonwheat in a semiarid area of north-west India. department of soil and water engineering. college of agricultural engineering, CCS Haryana Agricultural University. Hisar 125004. India.
- 14- Soltani Mohammadi A.M. 2011. The impact of water stress and salinity at different growth stages. *Irrigation and Drainage Thesis*. Water Sciences and Engineering Department. Shahid Chamran Ahwaz University.
- 15- Su N., Bethune M., Mann L. and Heuperman A. 2005. Simulating water and salt movement in tile-drained fields irrigated with saline water under a serial biological concentration management scenario. *Agricultural water*

- Management, 78: 165-180.
- 16- Van Dam J.C., Huygen J., Wesseling J. G., Feddes R. A., Kabat P., Van Walsum P. E. V., Groenendijk P. and Van Diepen C. A. 1997. Theory of SWAP, version 2. Simulation of water flow, solute transported plant growth in the soil water atmosphere plant environment. Report 71, Department of Water Resource, Wageningen Agricultural University, 167pp.
  - 17- Van Genuchten M. Th. 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal, 44: 892-898.
  - 18- Van Genuchten M.T., Leij F.J., and Yates S.R. 1991. The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils. Office of research and development U.S. environmental protection agency ADA, Oklahoma.
  - 19- Vazifedoust M., Van Dam J.C Feddes R.A. and Feizi M. 2008. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. Agricultural Water Management 95:89-102.

## Simulation of Salinity Distribution in Soil Under Drip Irrigation Tape with Saline Water Using SWAP Model

M. Tabei<sup>1\*</sup> - S. Boroomandnasab<sup>2</sup> - A. Soltani Mohamadi<sup>3</sup> - A. H. Nasrollahi<sup>4</sup>

Received:10-02-2014

Accepted:04-07-2015

**Introduction:** The to be limited available water amount from one side and to be increased needs of world population from the other side have caused increase of cultivation for products. For this reason, employing new irrigation ways and using new water resources like using the uncommon water (salty water, water drainage) are two main strategies for regulating water shortage conditions. On the other side, accumulation of salts on the soil surface in dry regions having low rainfall and much evaporation, i.e. an avoidable case. As doing experiment for determining moisture distribution form demands needs a lot of time and conducting desert experiments are costly, stimulator models are suitable alternatives in answering the problem concerning moving and saltiness distribution.

**Materials and Methods:** In this research, simulation of soil saltiness under drip irrigation was done by the SWAP model and potency of the above model was done in comparison with evaluated relevant results. SWAP model was performed based on measured data in a corn field equipped with drip irrigation system in the farming year 1391-92 in the number one research field in the engineering faculty of water science, Shahid Chamran university of Ahvaz and hydraulic parameters of soil obtained from RETC. Statistical model in the form of a random full base plan with four attendants for irrigating water saltiness including salinity  $S_1$  (Karoon River water with salinity 3 ds/m as a control treatment),  $S_2$  ( $S_1 + 0/5$ ),  $S_3$  ( $S_1 + 1$ ) and  $S_4$  ( $S_1 + 1/5$ ) dS/m, in 3 repetition and in 3 intervals of 10 cm emitter, 20 cm emitters on the stack, at a depth of 0-90 cm (instead of each 30 cm) from soil surface and intervals of 30, 60 and 90 days after modeling cultivation was done. The cultivation way was done handheld in plots including four rows of 3 m in distance of 75 cm rows and with denseness of 80 bushes in a hectare. Drip irrigation system was of type strip with space of 20 cm pores.

**Results and Discussion:** The results of this section of work have shown in the form of chart drawing and calculating identity indices or recognition ( $R^2$ ), maximum error (ME), normalized root mean second error (NRMSE) and coefficient of residual mass (CRM) in the distances on the stack, 10 and 20 cm dropper. The amount of  $R^2$ , ME, NRMSE and CRM in 10 cm dripper were calculated to be 0/81, 0/46, 11/77 and 0/018 mg/cm<sup>3</sup>, in 20 cm dripper 0/78, 0/48, 16/44 and 0/1172 mg/cm<sup>3</sup> and on the stack 0/75, 2/8, 18/19 and 0/07 mg/cm<sup>3</sup>. The highest recognition factor was a distance of 10 cm dripper (81 percent) and then reduces to keep distance from dripper recognition factor. This subject is the highest potency close to the dripper. This can happen for less saltiness in the spaces close to the dripper according to drip irrigation features. The high ME amount shows the less attendance computing of the model, it comes to its maximum on the stack, however (2/8 mg/cm<sup>3</sup>), the distances near to the dripper the obtained ME amount shows the good care in estimating soil saltiness. Also, based on being positive CRM parameter amount was seen. It is less in the amount observed in anticipating of saltiness in the anticipated amount. By considering NRMSE factor, higher amount of anticipating is based on observations.

**Conclusion:** Generally, the results obtained from stimulating of SWAP show that this model can stimulate saltiness distribution in soil under drip irrigation with salty water. This model can be used as useful tools for evaluation of saltiness distribution around the dripper.

**Keywords:** Drip Irrigation, Salinity Simulation, Salt Water, SWAP Model

1,2, 3- Former M. Sc Student, Professor and Assistant Professor, Department Irrigation and Drainage, Faculty of Water Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Respectively

(\*- Corresponding Author Email: Tabei\_2011@yahoo.com)

4- Assistant Professor Faculty of Water Engineering, Lorestan University, Lorestan, Iran