نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد۹، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۴، ص. ۱۲-۱

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 9, Mar.-Apr. 2015, p. 1-12

پیش‌بینی رطوبت و شوری نیمرخ خاک در مزارع ذرت‌دانه‌ای و کنجد با استفاده از مدل SWAP در شرایط مدیریت زارعین (مطالعه موردی منطقه لارستان)

علی‌اصغر بامداد[۱]، وحید رضاوردی‌نژاد*[۲]، علی‌اصغر قائمی[۳]

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۷/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱/۱۹

چکیده

در این تحقیق عملکرد مدل SWAP در شبیه‌سازی رطوبت و شوری نیمرخ خاک در شرایط مدیریت زارعین، در یک منطقه خشک واقع در منطقه لارستان در استان فارس، بررسی و ارزیابی شد. برای این منظور اطلاعات مزرعه‌ای از قبیل رطوبت، شوری خاک، پارامترهای گیاه، خاک و هواشناسی، کمیت و کیفیت آب آبیاری از مزارع پایلوت ذرت‌دانه‌ای و کنجد طی سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ اندازه‌گیری و مدل تحلیل حساسیت، واسنجی و صحت‌سنجی گردید. ارزیابی عملکرد مدل براساس شاخص‌های آماری نشان داد که مدل از دقت بسیار بالا در تخمین رطوبت و شوری نیمرخ خاک برخوردار است. متوسط ریشه میانگین مربعات خطای برآورد رطوبت و شوری برای ذرت دانه‌ای به ترتیب ۱/۹ درصد حجمی و ۰/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر و برای کنجد به ترتیب ۱/۸ درصد حجمی و ۰/۶۳ دسی-زیمنس بر متر به‌دست آمد. متوسط شاخص NSE برای پیش‌بینی شوری خاک در مزرعه ذرت دانه‌ای ۰/۸۹ و برای مزرعه کنجد ۰/۹۰ به‌دست آمد. این شاخص در پیش‌بینی رطوبت خاک در مزرعه ذرت دانه‌ای و کنجد به‌ترتیب ۰/۷۷ و ۰/۷۹ محاسبه گردید. به‌منظور پیش‌بینی شوری و رطوبت نیمرخ خاک در شرایط شوری آب آبیاری، SWAP یک مدل دقیق و مناسب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی عملکرد، بیلان آب، بیلان املاح، دشت لارستان، مدل شبیه‌سازی

مقدمه

از جمله مشکلات اساسی که همواره مانع بزرگی در برابر پیشرفت کشاورزی در جهان بوده است، شوری آب و خاک است. شوری خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا یکی از عوامل محدود کننده در تولید محصولات کشاورزی بوده و سالانه باعث کاهش میلیون‌ها تن تولیدات کشاورزی می‌گردد. در حدود ۲۵ میلیون هکتار، یعنی ۱۰ درصد از مناطق تحت آبیاری دنیا، تحت تأثیر سطوح مختلف شوری قرار دارند. هم‌چنین گزارش شده است که وسعت خاک‌های شور به میزان دو میلیون هکتار در سال رو به افزایش است (Postel, 1996). در ایران مشکل شوری خاک قریب به ۵۰ درصد از اراضی که دارای استعداد کشاورزی آبی هستند، وجود دارد (ابطحی، ۱۳۸۰). با توجه به اینکه بیش‌تر نقاط ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک واقع شده است، تولید محصول بدون در نظر گرفتن آبیاری امکان‌پذیر نمی‌باشد. در مناطقی که گیاهان تحت آبیاری هستند، مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح برای استفاده بهینه از آب ضروری به نظر می‌رسد. اصلاح مدیریت آبیاری و برنامه‌ریزی دقیق جهت استفاده بهینه از آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک با کاربرد مدل‌های ریاضی امکان‌پذیر می‌باشد (جلینی و همکاران، ۱۳۸۴). آزمون‌های مزرعه‌ای مرتبط با شوری و آب کاربردی، به دلیل محدودیت‌های اجرایی، زمان‌بر بودن، نیاز به نیروی انسانی و هزینه زیاد، به تدریج جای خود را به مدل‌های ریاضی شبیه‌سازی داده‌اند (Droogers et al, 2000b). از مدل‌های شبیه‌سازی می‌توان به عنوان طرح توسعه یافته‌ای از آزمایش‌های صحرایی برای غلبه بر این محدودیت‌ها استفاده کرد. در دهه‌های اخیر استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی به عنوان ابزاری نوین، روز به روز در حال توسعه است (جلینی و همکاران، ۱۳۸۴). دقت مدل‌های شبیه‌سازی به دقت داده‌های ورودی بستگی داشته و در صورت واسنجی صحیح، بدون محدودیت زمانی و مکانی موجود در آزمایش و نیز صرف زمان و هزینه، می‌توانند برای شبیه‌سازی سناریوهای مختلف مدیریت آبیاری به کار گرفته شوند (Mostafazadeh et al, 2009). برای پاسخگویی به مسائل شوری و آب مصرفی گیاه مدل-های شبیه‌سازی معتبری توسعه یافته‌اند که یکی از این مدل‌ها، SWAP می‌باشد که در سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته است. SWAP یک مدل اگروهیدرولوژیکی بر پایه ارتباط فیزیکی بین پارامترهای خاک، آب، اتمسفر و گیاه می‌باشد (Huygen et al,

۱-دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
(*- نویسنده مسئول: (Email: verdinejad@gmail.com

2000) و از زیرمجموعه‌های مختلفی برای تحلیل اثرات متقابل میان حرکت آب، حرکت املاح، رشد و عملکرد محصول تحت رژیم‌های مختلف عمق و شوری آب آبیاری، مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری و پیش‌بینی شوری نیمرخ خاک در طولانی مدت برخوردار می‌باشد (Kroes and Van Dam, 2008). در بررسی انتقال آب، املاح و عملکرد نسبی گندم در طی دو سال زراعی، نتایج نشان داد که مدل SWAP با وجود متغیرهای متعدد در شرایط مزرعه‌ای، مقدار رطوبت، شوری خاک و عملکرد نسبی گندم را با دقت خوب شبیه‌سازی می‌کند. در همه موارد ضریب همبستگی بالاتر از ۸۰ درصد و ریشه‌ی میانگین مربعات خطا کم‌تر از انحراف معیار داده‌ها به‌دست آمد (کیانی و همایی، ۱۳۸۶). در یک مطالعه دیگر در منطقه شمال غربی چین، حرکت آب در خاک در مزارع گندم و با استفاده از مدل SWAP شبیه‌سازی گردید. نتایج نشان داد که از این مدل می‌توان به عنوان ابزاری مفید برای شبیه‌سازی حرکت و توزیع رطوبت در خاک و محاسبه اجزای بیلان آب استفاده نمود (Singh et al, 2010). در یک مطالعه دیگر سه مدل شناخته شده SWAP، CropSyst و Macro در شبیه‌سازی رطوبت نیمرخ خاک در مزارع تحت کشت ذرت در مناطق شمالی ایتالیا مقایسه و ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که هر سه مدل عملکرد مشابهی دارند. مقدار مجذور میانگین مربعات خطا به طور متوسط برای هر سه مدل، صرف‌نظر از زمان و مکان ۰/۰۳۲ حجمی محاسبه شد. در مجموع مدلSWAP به دلیل بهره‌گیری از تکنیک‌های متفاوت حل عددی معادله ریچاردز و با توجه به در نظر گرفتن شرایط مرزی مناسب و متنوع در بالا و پایین نیمرخ خاک، عملکرد بهتری نشان داد (Bonfante et al, 2010). در یک منطقه تحت آبیاری در غرب ترکیه، جریان آب در خاک و رشد محصول با استفاده از مدلSWAP شبیه‌سازی گردید. در این بررسی اجزای معادله بیلان آب برای یک دوره ۱۲ساله شبیه‌سازی و نتایج نشان داد که از مدل SWAP می‌توان به عنوان یک مدل با کارایی بالا برای تجزیه و تحلیل همه اجزای معادله بیلان آب در سطح شبکه‌های آبیاری و نیز مزارع استفاده نمود (Droogers et al, 2000b). در ارزیابی دیگری توسط دروگرز و همکاران (Droogers et al, 2000a)، اثر تغییرات کمی و کیفی آب آبیاری بر شوری خاک و عملکرد گیاه در یک پروژه آبیاری در منطقه رودشت اصفهان، از مدل SWAP استفاده گردید و عنوان شد که روش ارائه شده روان، سریع و قابل انتقال به شرایط مشابه دیگر در منطقه می‌باشد. در پژوهشی در اتریش، شبیه‌سازی مقدار آب خاک در طول فصل رویش تحت شرایط خاک‌های مختلف به‌وسیله مدل‌های WOFOST، CERES و SWAP مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت و مشخص گردید هر سه مدل نتایج رضایت‌بخشی داشته‌اند و در این بین پیش‌بینی مدل SWAP به واقعیت نزدیک‌تر بوده است (Eitzinger et al, 2004). نتایج تحقیقات وظیفه دوست و همکاران در زمینه پیش‌بینی رطوبت در خاک با استفاده از مدل SWAP نشان داد مدل به خوبی توانسته مقادیر رطوبت را در مزارع تحت آبیاری منطقه برخوار اصفهان شبیه‌سازی کند. در تحقیق ایشان پارامترهای هیدرولیکی خاک از روش مدل‌سازی معکوس و میانگین مربعات خطا در طول مراحل واسنجی و صحت‌سنجی رطوبت، بین ۰/۰۲ تا ۰/۰۵۲ حجمی محاسبه گردید (Vazifedoust et al, 2008). عملکرد مدل SWAP در شبیه‌سازی حرکت آب و املاح در مزارع گندم، پنبه و برنج در یک منطقه نیمه‌خشک در شمال غربی هند مورد ارزیابی و واسنجی قرار گرفت و نتایج نشان داد که مدل توانسته است به خوبی رطوبت و شوری را در طول فصل رشد شبیه‌سازی کند (Singh, 2004). مارینوف و همکاران در پژوهشی مدل SWAP و ANIMO را برای شبیه‌سازی جریان آب و انتقال نیتروژن در خاک یک قطعه آزمایشی مورد استفاده قرار داده و با مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده به این نتیجه رسیدند که مدل SWAP توانایی لازم برای شبیه‌سازی و حرکت آب و نیتروژن در محیط خاک را دارد (Marinov et al, 2005). بن آشر و همکاران روند رشد درخت انگور را با مدلSWAP و تحت آبیاری با آب شور، شبیه‌سازی کردند. آن‌ها برای این منظور از شبیه‌ساز تفصیلی و ساده مدل SWAP استفاده نمودند و دریافتند که در شرایط شور برای گیاه انگور، شبیه‌ساز تفصیلی، اعتبار بیش‌تری نسبت به شبیه‌ساز ساده دارد (Ben Asher et al, 2006).

در شرایط مدیریت زارعین دور و عمق آبیاری مطابق نظر کشاورز اعمال می‌گردد. برنامه‌ریزی نامناسب آبیاری، علاوه بر تلفات آب، در موارد گسترده‌ای نیز باعث ماندابی و شور شدن اراضی گردیده است. خاک‌های شور و قلیا سطحی معادل ۲۵ میلیون هکتار از اراضی کشور را پوشش داده و به‌دلیل بهره‌برداری نامناسب در برخی از شبکه‌های آبیاری، این رقم در حال افزایش نیز می‌باشد (Droogers et al, 2000a). با توجه به خشکسالی‌های منطقه لارستان، طی چند سال اخیر محصول کنجد به علت نیاز آبی کم، با استقبال زارعین روبرو شده و در الگوی کشت منطقه وارد شده است. به علت محدودیت کمی و کیفی منابع آب در این منطقه، مدیریت نامناسب زارعین به‌ویژه برای محصولاتی از قبیل کنجد که سابقه کشت آن‌ها در منطقه وجود ندارد، می‌تواند منجر به شور شدن اراضی گردد. هم‌چنین مطابق بررسی‌های صورت گرفته در زمینه واسنجی SWAP، مطالعه‌ای برای کنجد صورت نگرفته است. علاوه بر کنجد، ذرت دانه‌ای نیز به‌عنوان یک محصولات اصلی در الگوی کشت زارعین این منطقه مطرح می‌باشد. براساس مدل صحت‌سنجی شده اولاً می‌توان تأثیر مدیریت فعلی را بر شور شدن خاک بررسی کرد؛ ثانیاً از این مدل در جهت افزایش سود استفاده نمود. در این راستا، پیش‌بینی دقیق رطوبت و شوری نیمرخ خاک از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی مدل‌های اگروهیدرولوژیکی بوده که در این مطالعه نیز مد نظر می‌باشند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در جنوب استان فارس، شهرستان لارستان، بخش جویم-بناروییه و در دشت کنارستان واقع گردیده است. منطقه بر اساس اطلاعات موجود در ۵۳ درجه و ۵۱ دقیقه طول شرقی و ۲۸ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۸۱۴ متر از سطح دریای آزاد واقع گردیده است. منطقه دارای اقلیم خشک تا نیمه‌خشک بوده و الگوی کشت غالب منطقه در طول زمستان شامل گندم و جو و در تابستان (کشت دوم) شامل ذرت‌دانه‌ای، کنجد، پنبه و هندوانه می‌باشند. اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای برای دو محصول ذرت دانه‌ای و کنجد در طول فصل تابستان۹۱ صورت گرفت. روش آبیاری محصول کنجد کرتی با ابعاد کرت ۶×۸ متر در متر، میزان مصرف بذر ۲۵ کیلوگرم در هکتار که بعد از برداشت گندم در زمین کاه و کلش‌دار، کشت و طی فصل زراعی در ۵ نوبت آبیاری انجام شد. روش آبیاری مرسوم محصول ذرت‌دانه‌ای در منطقه جویچه‌ای، با طول ۱۵۰ متر، فاصله بین شیارها ۰/۷۵ متر بود. عمق کاشت بذر ۵ سانتی‌متر و فاصله بذور روی پشته ۲۰ سانتی‌متر و با دستگاه ذرت‌کار کشت گردید. تعداد آبیاری‌ها برای ذرت‌دانه‌ای در ۱۳ نوبت طی فصل رشد گیاه انجام گرفت. تحت مدیریت زارعین، عمق و دور آبیاری دلخواه می‌باشد. طی ۱۳ نوبت اندازه‌گیری، عمق آبیاری مزرعه ذرت در دامنه ۷۱ تا ۱۴۶ میلی‌متر بوده است. عمق آبیاری طی ۵ نوبت آبیاری کنجد از ۷۳ تا ۱۶۲ میلی‌متر متغیر بود. هدایت هیدرولیکی آب آبیاری چاه‌های منطقه ۴ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد که در طول مدت آبیاری تقریباً ثابت بود. در جدول ۱ تاریخ کاشت و برداشت و رقم محصولات ارائه شده است. پارامترهای اندازه‌گیری شده برای هر کدام از محصولات مطابق جدول ۲ می‌باشند. برای هر محصول، دو مزرعه نمونه در نظر گرفته شد که از داده‌های مزرعه اول برای واسنجی و از داده‌های مزرعه دوم برای صحت‌سنجی مدل استفاده گردید. برای اطلاعات هواشناسی شامل تشعشع خورشیدی، بارندگی، دمای حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی و سرعت باد، از داده‌های روزانه ایستگاه هواشناسی سینوپتیک لار طی سال زراعی ۹۲-۹۱ استفاده گردید. عمق آبیاری با محاسبه سطح زیر منحنی هیدروگراف دبی ورودی، تعیین گردید. نمونه‌برداری خاک در مزارع از اعماق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰، ۹۰-۶۰ سانتی‌متری در طول فصل رشد، توسط آگر در سطح مزرعه انجام و رطوبت نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه به روش وزنی اندازه‌گیری گردید. نتایج پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است.

جدول۱-تقویم زراعی محصولات مورد مطالعه

محصول	تاریخ	تاریخ	رقم
ذرت دانه‌ای	۱۳۹۱/۴/۲۰	۱۳۹۱/۸/۳۰	Zp 677
کنجد	۱۳۹۱/۴/۲۰	۱۳۹۱/۸/۱۷	محلی

جدول۲- پارامترهای اندازه‌گیری یا جمع‌آوری شده برای هر کدام از محصولات زراعی

پارامتر	روش اندازه‌گیری یا جمع‌آوری	تعداد نمونه‌برداری
بافت خاک	روش USDA	یکبار
چگالی ظاهری خاک	نمونه‌گیر مغزی	یکبار
هدایت آبی اشباع خاک	روش بار افتان	یکبار
رطوبت خاک	روش وزنی	قبل و بعد هر آبیاری
شوری عصاره اشباع	EC سنج	۱۳ بار
رطوبت FC و PWP	صفحات فشاری	یکبار
حجم (عمق) آبیاری	فلوم WCS	هر آبیاری
پارامترهای گیاه	اندازه‌گیری مزرعه‌ای	۶-۵ بار
شوری آب آبیاری	EC متر	هر آبیاری
عملکرد دانه و بیوماس	اندازه‌گیری مزرعه‌ای	یکبار

مدل شبیه‌سازی SWAP

در SWAP حرکت آب در نیمرخ خاک براساس معادله ریچاردز و حل آن به روش عددی تفاضل‌های محدود و با در نظر گرفتن شرایط اولیه و مرزی معین صورت می‌گیرد (رابطه ۱):

$$\frac{\partial\theta}{\partial t}=C_w(h)\frac{\partial h}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial z}\left[K(h)\left(\frac{\partial h}{\partial z}+1\right)\right]-S(z) \qquad (۱)$$

که در آن: θ رطوبت خاک (cm^3cm^{-3})، C_w ظرفیت آب خاک (cm^{-1})، h بار فشاری آب خاک (cm)، K هدایت آبی (cmd^{-1})، S آب جذب شده توسط ریشه ($cm^3cm^{-3}S^{-1}$) و z عمق خاک (cm) می‌باشد. ارتباط بین رطوبت خاک، بار هیدرولیکی و ضرایب هیدرولیکی در تابع رطوبتی و تابع هدایت آبی غیر اشباع مشخص می‌گردد که این توابع برای هر لایه از خاک برای شبیه‌سازی مورد نیاز هستند. توابع هیدرولیک خاک به‌عنوان روابط بین هدایت هیدرولیکی (K)، رطوبت خاک (θ) و بار فشاری آب خاک (h) تعریف می‌شوند. در SWAP از تابع ون‌گنوختن (Van Genuchten, 1980) برای تعریف منحنی مشخصه رطوبتی استفاده می‌شود (رابطه ۲):

$$\theta(h)=\theta_{res}+\frac{\theta_{sat}-\theta_{res}}{\left[1+|\alpha h|^n\right]^{n-1/n}} \qquad (۲)$$

که در آن: θ_{res} رطوبت باقیمانده (cm^3cm^{-3})، θ_{sat} رطوبت اشباع (cm^3cm^{-3})، α (cm^{-1}) و n (بدون بعد) پارامترهای تجربی شکل هستند. هم‌چنین در SWAP، مدل کاپیلاری (Mualem, 1976) برای منحنی هدایت آبی غیر اشباع (رابطه ۳)، به‌کار گرفته می‌شود:

$$K(\theta)=K_{sat}S_e^{\lambda}\left[1-\left(1-S_e^{n/n-1}\right)^{n-1/n}\right]^2 \qquad (۳)$$

که در آن: $S_e=(\theta-\theta_{res})/(\theta_{sat}-\theta_{res})$ اشباع نسبی، K_{sat} هدایت آبی اشباع خاک (cmd^{-1}) و λ ضریب تجربی (بدون بعد) می‌باشد.

جدول۳- خصوصیات فیزیکی خاک مزارع مورد مطالعه

لایه (cm)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری	FC (cm^3cm^{-})	PWP (cm^3cm^{-3})
۰-۳۰	۴۴/۸	۳۱/۴	۲۳/۸	لومی	۱/۳۴	۰/۲۶۱	۰/۱۸۳
۳۰-۶۰	۴۶/۸	۳۰/۴	۲۲/۸	لومی	۱/۳۷	۰/۲۵۲	۰/۱۹۸
۶۰-۹۰	۴۴/۸	۳۳/۴	۲۱/۸	لومی	۱/۴۱	۰/۲۵۴	۰/۱۷۹

جدول٤- خصوصیات فیزیکی خاک مزارع مورد مطالعه

عمق (cm)	درصد اشباع	pH	درصد کربن-	شوری عصاره اشباع (dS/m)
۰-۳۰	۵۲	۷/۱۶	۰/۲۷	۵/۳۳
۳۰-۶۰	۵۲	۸/۱۲	۰/۲۳	۴/۶۸
۶۰-۹۰	۵۱	۷/۰۷	۰/۱۹	۴/۴

در مدل SWAP برای تعیین انتقال املاح در خاک از معادله بیلان انتقال املاح در جهت قائم در حالت اشباع و غیراشباع استفاده می‌شود (رابطه ۴):

$$\frac{\partial(\theta c+Q\rho_b)}{\partial t}=-\frac{\partial(qc)}{\partial z}+\frac{\partial\left[\theta(D_{dif}+D_{dis})\frac{\partial c}{\partial z}\right]}{\partial z}-\mu(\theta c+Q\rho_b)-K_r Sc \qquad (۴)$$

که در آن: c غلظت املاح در آب خاک (gcm^{-3})، ρ_b چگالی ظاهری خاک (gcm^{-3})، q شدت جریان آب (cmd^{-1})، D_{dif} ضریب انتشار (cm^2d^{-1})، D_{dis} پخشیدگی (cm^2d^{-1})، Q میزان جذب املاح از سطح ذرات خاک (gg^{-1})، μ ضریب شدت از نوع درجه یک برای املاح (d^{-1})، S نرخ جذب توسط ریشه (d^{-1}) و K_r فاکتور ترجیحی جذب ریشه (بدون بعد) می‌باشد. برای تعیین میزان جذب املاح در سطح ذرات خاک از ایزوترم جذب غیرخطی فروندلیخ استفاده می‌شود. شرایط اولیه و مرزی معادله حرکت آب، توسط رطوبت اولیه لایه‌های خاک، مرز بالا توسط آبیاری، بارش و فلاکس تبخیر و تعرق و مرز پایین با گزینه‌های متنوع (در این مطالعه زهکشی آزاد) مشخص می‌گردد. برای معادله حاکم بر انتقال املاح، غلظت اولیه املاح در خاک، به عنوان شرایط اولیه و غلظت آب آبیاری و بارش به‌عنوان شرایط مرزی بالادست در نظر گرفته می‌شود. شرایط مرزی پایین دست براساس جهت و مقدار جریان تعیین می‌شود. در این مدل میزان کاهش جذب به‌علت کاهش میزان آب و افزایش شوری به‌ترتیب از توابع پیشنهادی فدس (Feddes et al, 1978) و مس و هافمن (Mass and Hoffman, 1977) استفاده می‌شود. مدل SWAP برای محاسبه میزان جذب واقعی توسط ریشه گیاه، از نظریه ضرب‌پذیری (Skaggs et al, 2006) استفاده می‌کند (رابطه ۵):

$$S_a(z)=\alpha_{rd}\alpha_{rw}\alpha_{rs}\alpha_{rf}S_p(z) \qquad (۵)$$

که در آن: $S_a(z)$ و $S_p(z)$ فلاکس واقعی و پتانسیل جذب آب توسط ریشه ($cm^3cm^{-3}S^{-1}$)، α_{rd} (بدون بعد)، α_{rw} (بدون بعد)، α_{rs} (بدون بعد) و α_{rf} (بدون بعد) به ترتیب توابع کاهشی به‌خاطر تنش‌های خشکی، ماندابی (کمبود اکسیژن)، شوری و یخبندان خاک می‌باشد. در این مدل مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل از روش پنمن-مانتیث و با استفاده از داده‌های روزانه هواشناسی شامل: تشعشع، دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد و هم‌چنین مشخصات گیاهی از قبیل مقاومت گیاه، ضریب آلبیدو و ارتفاع گیاه محاسبه می‌شود (Vazifedoust et al, 2008).

تحلیل حساسیت مدل

برای استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی علاوه بر واسنجی و صحت-سنجی، تحلیل حساسیت مدل نیز ضروری می‌باشد. تحلیل حساسیت مدل تکنیکی است که برای ارزیابی و واسنجی مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این روش می‌توان تأثیرپذیری مدل را از داده‌های ورودی مورد بررسی قرار داد. اگر با تغییر کمی در یک پارامتر، مقدار متغیر وابسته به آن تغییر کمی را نشان دهد، می‌توان این طور استنباط کرد که این پارامتر تأثیر ناچیزی روی نتایج دارد و بدون خطای قابل ملاحظه، آن پارامتر را می‌توان اندازه‌گیری و یا تخمین زد. بر عکس، در صورت تأثیرپذیری زیاد متغیر از پارامتر، آن پارامتر را باید با دقت بیش‌تری اندازه‌گیری یا پیش‌بینی نمود. در غیر این صورت باید خطای فاحشی را قبول نمود (جلینی و همکاران، ۱۳۸۴). در این تحقیق آنالیز حساسیت مدل براساس رابطه‌ی (۶) انجام شد (Liu et al, 2007):

$$S_c=\left(\frac{\Delta O}{\overline{O}}\right)\times\left(\frac{\Delta I}{\overline{I}}\right)^{-1} \qquad (۶)$$

که در آن: S_c ضریب حساسیت، ΔO اختلاف پارامتر خروجی قبل و بعد تغییر، $\overline{O}$ متوسط پارامتر خروجی، ΔI اختلاف پارامتر ورودی قبل و بعد تغییر و $\overline{I}$ متوسط پارامتر ورودی می‌باشد. S_c معادل صفر نشان دهنده عدم حساسیت، بین صفر و ۰/۳ حساسیت کم، بین ۰/۳ و ۱/۵ حساسیت متوسط و بیش‌تر از ۱/۵ حساسیت زیاد می‌باشد.

شبیه‌سازی رطوبت در نیمرخ خاک با استفاده از مدل‌های شبیه-سازی به میزان آب آبیاری و خصوصیات هیدرولیکی خاک‌ها بسیار حساس می‌باشد (Vazifedoust et al, 2008). بر این اساس ابتدا پارامترهای هیدرولیکی خاک مزرعه آزمایشی با استفاده از مدلRETC تخمین زده شد، به طوری که مشخصات هر لایه خاک

مانند بافت، جرم مخصوص ظاهری و درصد رطوبت در حدّ ظرفیت زراعی به عنوان ورودی مدل و پارامترهای معادله ون-گنوختن شامل رطوبت باقی‌مانده: θ_{res}، رطوبت اشباع خاک: θ_{sat}، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک: K_{sat}و پارامترهای معادله شامل: α، λ و n به عنوان خروجی به‌دست آمد. در ادامه برای تحلیل حساسیت مدل نسبت به پارامترهای هیدرولیکی خاک، ابتدا داده‌های خروجی مدل RETC در لایه‌های مختلف به‌عنوان مبنا در نظر گرفته شد. سپس در هر نوبت یکی از داده‌های ورودی به اندازه مقدار مشخص، تغییر داده شد (برای هر مؤلفه دو تغییر مثبت و منفی به میزان ۵۰ درصد انجام گرفت) و بقیه داده‌ها ثابت نگه داشته شدند و مدل با استفاده از شرایط جدید اجرا گردید. نتایج به‌دست آمده در دو حالت مذکور با نتایج به دست آمده در حالت مبنا مقایسه و بر اساس رابطه (۶)، تعیین حساسیت شدند. در این تحقیق تحلیل حساسیت مدل بر روی هر دو محصول ذرت و کنجد انجام و تأثیر پارامترهای ورودی شامل مقدار تشعشع، درجه حرارت، بارندگی، سرعت باد، ضرایب هیدرولیکی لایه‌های خاک، پارامترهای انتقال املاح خاک، عمق آب آبیاری و شوری آن و پارامترهای زراعی عمق ریشه و شاخص سطح برگ بر روی پارامتر خروجی عملکرد بررسی شد.

شاخص‌های آماری ارزیابی مدل

برای ارزیابی و سنجش اعتبار مدل، از شاخص‌های ارزیابی مدل شامل ضریب تبیین (R^2)، ریشهٔ میانگین مربعات خطا (RMSE)، خطای نسبی (RE)، کارایی مدلسازی ناش-ساتکلیف (NSE) و ضریب باقیمانده (CRM) استفاده شد که به ترتیب در روابط ۷ تا ۱۰ نشان داده شده است (Eitzinger et al, 2004):

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{N}\left[\sum_{i=1}^{N}(P_i-O_i)^2\right]}\times 100 \quad (۷)$$

$$RE=\frac{|P_i-O_i|}{O_i}\times 100 \quad (۸)$$

$$NSE=1-\frac{\sum_{i=1}^{N}(O_i-P_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(O_i-\overline{O})^2} \quad (۹)$$

$$CRM=\frac{\sum_{i=1}^{n}O_i-\sum_{i=1}^{n}P_i}{\sum_{i=1}^{n}O_i} \quad (۱۰)$$

که در روابط (۷) تا (۱۰) P_i مقادیر پیش‌بینی شده، O_i مقادیر مشاهده شده، N تعداد داده‌ها و $\overline{O}$ متوسط مقادیر مشاهده شده می‌باشند. شاخص NSE بیانگر نسبت انحراف مقادیر شبیه‌سازی از اندازه‌گیری شده به انحراف مقادیر اندازه‌گیری شده از مقدار میانگین داده‌های مشاهده‌ای، می‌باشد. شاخص NSE بین منهای بی‌نهایت تا یک متغیر است هر چه مقدار آن به یک نزدیک باشد مدل کارآتر است. مقدار بین صفر تا یک نشان دهنده عملکرد قابل قبول از مدل و کم‌تر از صفر، عملکرد ضعیف مدل است (Moriasi et al., 2007). هم‌چنین ارتباط بین رطوبت و شوری شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده، در قالب یک مدل خطی ارائه شد. در این مدل خطی دو معیار شیب خط برازشی (a) و عرض از مبدأ (b) بیان کننده مناسب بودن عملکرد مدل در شبیه‌سازی می‌باشد. به‌طوری‌که هرچه مقدار a به یک و b به صفر نزدیک باشد، عملکرد روش مناسب‌تر است.

نتایج و بحث

نتایج تحلیل حساسیت مدل برای محصول کنجد نشان داد مدل نسبت به شوری آب آبیاری، طول انتشار، پارامترهای n ، K_{sat} و θ_{sat} ب‌ترتیب با درجه حساسیت ۵، ۴/۷۴، ۲/۸۵، ۲/۱ و ۱/۵۶ از حساسیت زیاد، نسبت به مقدار بارندگی، عمق آب آبیاری، ضرایب ایزوترم فروندلیخ، عمق ریشه، وزن خشک اولیه گیاه، رطوبت اولیه خاک، ارتفاع گیاه، مقدار تشعشع، جذب شوری به‌وسیله ریشه، پارامترهای α و θ_{res}به ترتیب با درجه حساسیت ۱/۴۸، ۱/۳، ۱/۰۴، ۱/۰۲، ۰/۹۱، ۰/۷۴، ۰/۵، ۰/۳۷، ۰/۳۴، ۰/۷ و ۰/۳۹ از حساسیت متوسط و نسبت به پارامتر پخشیدگی (λ)، ضریب پخش مولکولی، حداکثر درجه حرارت، حداقل درجه حرارت و سرعت باد با درجه حساسیت ۰/۰۱۹، ۰/۰۰۲۶، ۰/۲۳، ۰/۱۷ و ۰/۱۱ از درجه حساسیت کم برخوردار است.

پیش‌بینی رطوبت خاک

همانگونه که ذکر شد، داده‌های اندازه‌گیری شده در این مطالعه به دو دسته برای واسنجی مدل و صحت‌سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت. نتایج واسنجی پارامترهای هیدرولیکی خاک، در جدول ۵ آورده شده است. با توجه به اینکه نتایج شبیه‌سازی رطوبت خاک توسط SWAP به‌صورت حجمی می‌باشد، لذا مقادیر رطوبت وزنی اندازه-گیری شده با ضرب در جرم مخصوص ظاهری به رطوبت حجمی تبدیل شد تا مقایسه بین نتایج صورت بگیرد.

جدول ۵-خصوصیات هیدرولیکی لایه‌های مختلف خاک مزارع

عمق (cm)	θ_r (cm^3cm^{-3})	θ_s (cm^3cm^{-3})	α (cm^{-})	n (-)	K_s (cmd^{-})
۰-۳۰	۰/۰۶۹	۰/۴۳	۰/۰۱۲	۱/۴۸	۱۸/۱۲
۳۰-۶۰	۰/۰۶۶	۰/۴۳	۰/۰۱۱	۱/۴۹	۱۹/۰۷
۶۰-۹۰	۰/۰۶۸	۰/۴۳	۰/۰۱۳	۱/۴۷	۲۰/۵۱

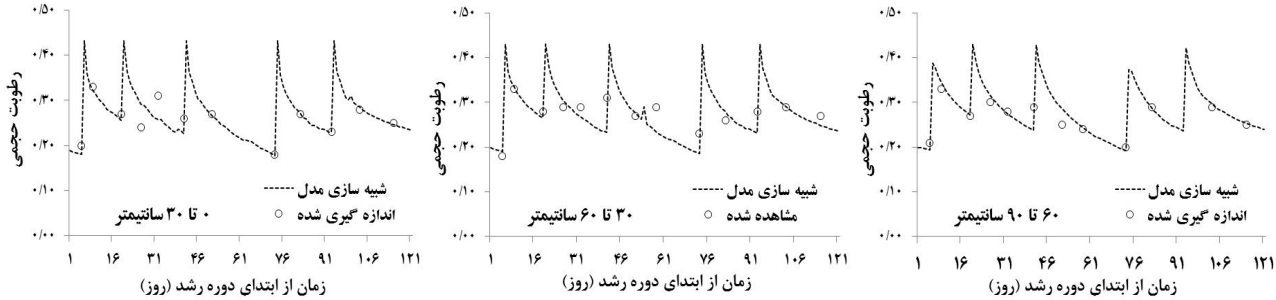
نتایج صحت‌سنجی مدل در پیش‌بینی رطوبت برای محصول کنجد در شکل ۱ و محصول ذرت در شکل ۲ ارائه شده است. با توجه به شکل ۱، در عمق ۳۰-۰ در یک مورد مدل مقادیر را بیشتر از مقدار

اندازه‌گیری برآورد کرده و در یک مورد مقدار شبیه‌سازی توسط مدل، کم‌تر از مقدار اندازگیری می‌باشد و در سایر نقاط، مقادیر اندازه‌گیری با مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل منطبق می‌باشد. در عمق ۶۰-۳۰ در سه نقطه مقادیر اندازه‌گیری بیش‌تر از مقدار شبیه‌سازی و در دو نقطه که به فاصله خیلی کمی از نمودار قرار دارند، مقادیر شبیه‌سازی بیش‌تر از مقادیر اندازه‌گیری می‌باشد. به‌طور کلی نتایج شکل ۱ نشان دهنده تطابق خوب مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری می‌باشد. بخشی از اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده ناشی از محدودیت-های ذاتی مدل می‌باشد. برای مثال تأثیر پدیده پسماند رطوبت و جریان ترجیحی آب از منافذ درشت خاک در این تحقیق منظور نشده است. این مکانیسم‌ها می‌توانند سرعت جریان آب به زیر عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک را بعد از عمل نفوذ تغییر دهند. دلیل دیگر، ساده-سازی مرتبط با بعضی داده‌های ورودی است. به‌طور مثال مقادیر بارندگی با این فرض توسط مدل استفاده می‌شود که باران به طور یکنواخت توزیع می‌گردد. بدین ترتیب عدد ثابتی که ممکن است دقت زیادی هم نداشته باشد، به مدل وارد می‌شود. بنابراین تأثیر الگوی واقعی باران در نفوذ و توزیع رطوبت نمی‌تواند به درستی بیان شود. هم‌چنین فرض می‌شود که عمق آب آبیاری در قطعه مورد آزمایش به صورت یکنواخت توزیع شده باشد. هم‌چنین تغییرپذیری و خطای مشاهدات مزرعه‌ای ممکن است در تفاوت بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نقش اساسی داشته باشد. در شکل ۲ رطوبت اندازه-گیری و شبیه‌سازی مدل برای محصول ذرت دانه‌ای و برای سه عمق آورده شده است. مشاهده می‌گردد که اندازه‌گیری‌ها برای عمق ۳۰-۰ بجز یک نقطه تقریباً منطبق با مقادیر شبیه‌سازی توسط مدل می‌باشد. در عمق ۶۰-۳۰ مقادیر اندازگیری‌ها در ۵ نقطه اندازه‌گیری منطبق بر مقادیر شبیه‌سازی توسط مدل نیست؛ البته این ۵ نقطه به فاصله خیلی کمی از مقادیر شبیه‌سازی قرار دارد. هم‌چنین برای عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متری به جز ۲ نقطه، بقیه داده‌ها تقریباً بر خط پیوسته منطبق می‌باشند. برای محصول ذرت تعداد ۱۳ آبیاری در طول فصل رشد انجام گردید که افزایش رطوبت‌ها، بیان کننده این موضوع است. برای بررسی بهتر و دقیق‌تر، نتایج محاسبات شاخص‌های آماری در جدول ۶ ارائه شده است. مقدار RMSE نشان می‌دهد که تا چه حد اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی شده نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده متناظر، صرف‌نظر از این که کم‌تر یا بیش‌تر باشد، وجود دارد. مقدار این شاخص در ۳ عمق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰، ۹۰-۶۰ سانتی‌متر برای محصول ذرت دانه‌ای بین ۰/۰۱۴ تا ۰/۰۲ می‌باشد و برای محصول کنجد بین ۰/۰۱۳۶ تا ۰/۰۲ می‌باشد. مشاهده می‌شود مقدار RMSE نسبتاً کم و قابل قبول است. مقدار CRM نشان‌دهنده تمایل مدل برای برآورد بالاتر یا پایین‌تر در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری‌هاست. مقادیر مثبت برای CRM نشان‌دهنده برآورد کم‌تر مدل و مقادیر منفی CRM به معنی برآورد بیش‌تر مدل نسبت به اندازگیری‌ها است. نتایج نشان داد که در مزرعه ذرت دانه‌ای در عمق‌های ۳۰-۰ و ۹۰-۶۰ مدل تمایل به برآورد کم‌تر و در عمق ۶۰-۳۰ مدل برآورد بیش‌تری نسبت به اندازه‌گیری‌ها داشت. هم‌چنین در مزرعه کنجد مدل تا عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک برآورد بیش‌تری نسبت به مقادیر اندازه‌گیری داشته است و در کل مدل در مزرعه ذرت دانه‌ای مقادیر رطوبت را کم‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده برآورد کرده است. در تأیید این مطلب، کیانی و همایی (Kiani and Homaee, 2007)، ایتزینگر و همکاران (Eitzinger et al, 2004) نیز بیان داشتند که برآوردهای مدل SWAP معمولاً کم‌تر از مقادیر واقعی می‌باشد، اما این اختلاف قابل اغماض است و بر صحت نتایج تأثیر منفی ندارد. در مزرعه کنجد مدل بیش‌تر از مقادیر اندازه‌گیری برآورد داشته است که این اختلاف قابل اغماض و ناچیز می‌باشد. شاخص NSE نیز در تمام موارد بین صفر و یک بوده، که نشان دهنده عملکرد مناسب می‌باشد. در شکل۳ رطوبت اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی توسط مدل برای تمام داده‌های مراحل واسنجی و صحت‌سنجی ارائه گردیده است. مطابق این شکل، ضرایب مدل برازش داده شده به مقادیر بهینه (یک و صفر) نزدیک می‌باشند. به طوری که مقدار a به ترتیب برای ذرت دانه‌ای و کنجد به ترتیب ۰/۹۴ و ۰/۹۳ می‌باشد. مقدار RMSE نیز بسیار ناچیز و در حدود ۰/۰۲ حجمی برای هر دو محصول می‌باشد. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که مدل توانسته است رطوبت نیمرخ خاک را در اعماق و زمان‌های مختلف، برای هر دو محصول به خوبی پیش‌بینی کند. وظیفه‌دوست (Vazifedoust et al, 2008)، براندیل و همکاران (Brandyle et al, 2005) و دروگرز و همکاران (Droogers et al, 2000b)، (Droogers et al, 2000a) طی تحقیقات خود، اذعان داشتند که این مدل به خوبی قادر به شبیه‌سازی وضعیت رطوبتی خاک بوده، منوط بر آن که ورودی آن‌ها به درستی انتخاب شوند.

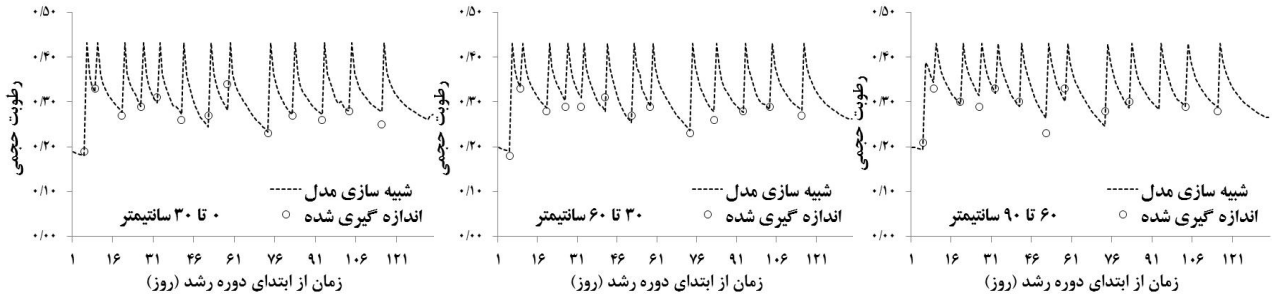
در شرایط مدیریت فعلی زارع و براساس اندازه‌گیری‌های رطوبت نیمرخ خاک، اجزای بیلان آب مزارع منتخب (در مرحله صحت‌سنجی مدل)، محاسبه گردید. مجموع عمق آبیاری اندازه‌گیری شده در مزارع ذرت و کنجد به ترتیب۱۶۳۰ و ۶۴۹ میلی‌متر محاسبه گردید که به علت نامناسب بودن عمق و زمان آبیاری در مدیریت فعلی، تلفات نفوذ عمقی قابل ملاحظه بوده است. با توجه به انتها بسته بودن مزارع، رواناب سطحی در هر دو مزرعه صفر لحاظ گردید. هم‌چنین براساس مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده قبل و بعد از هر آبیاری، مقادیر نفوذ عمقی در مزارع ذرت و کنجد به ترتیب ۹۲۲/۸ و ۱۸۲/۲ میلی‌متر محاسبه گردید. با توجه به پیش‌بینی نسبتاً دقیق رطوبت خاک توسط SWAP، می‌توان نتیجه گرفت که مدل در تخمین اجزای بیلان آب دقت کافی دارد. مقادیر نفوذ عمقی شبیه‌سازی شده توسط SWAP برای مزارع منتخب ذرت و کنجد به‌ترتیب ۹۳۸/۵ و ۱۷۷/۱ میلی‌متر شبیه‌سازی شد. به این ترتیب SWAP برای پیش‌بینی اجزای بیلان آب ابزاری دقیق بوده و برای اصلاح برنامه آبیاری قابل استفاده است.

جدول ٦- پارامترهای آماری ارزیابی مدل SWAP برای مرحله صحت‌سنجی در پیش‌بینی رطوبت خاک

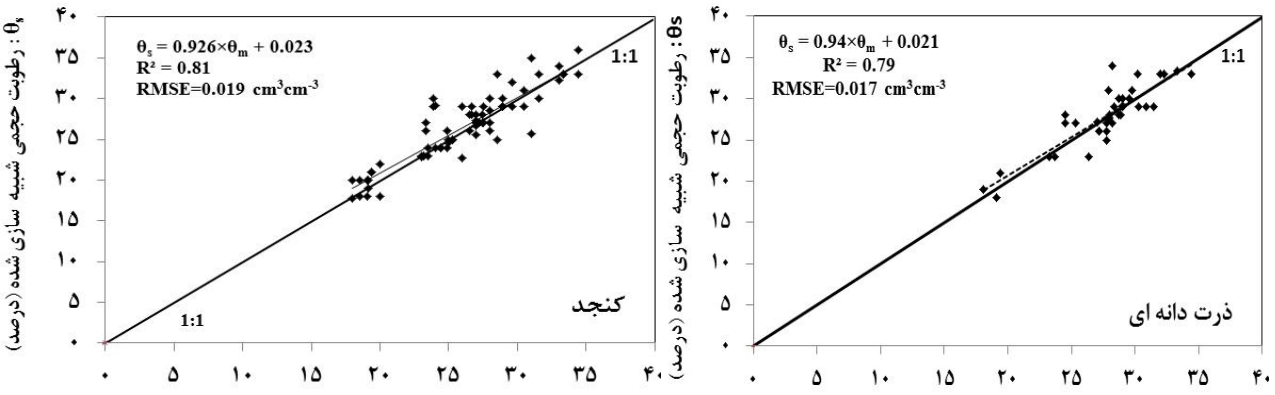
مزرعه	عمق (cm)	R^2 (%)	RMSE (cm^3cm^{-3})	RE (%)	NSE (-)	CRM (-)
ذرت دانه‌ای	۰-۳۰	۷۳/۱	۰/۰۲	۴/۷	۰/۷۲	۱/۴۴
	۳۰-۶۰	۸۵/۹	۰/۰۱۴	۴/۲	۰/۸۶	-۱/۰۲
	۶۰-۹۰	۷۳/۳	۰/۰۲	۷/۵	۰/۷۳	۰/۹۷
	متوسط	۷۷/۴	۰/۰۱۸	۵/۴	۰/۷۷	۰/۴۶
کنجد	۰-۳۰	۶۸/۷	۰/۰۲	۶/۶	۰/۶۹	-۲/۵۶
	۳۰-۶۰	۸۹/۷	۰/۰۱۳۶	۴/۲	۰/۹۰	-۰/۲۷
	۶۰-۹۰	۷۹/۴	۰/۰۲	۵/۱	۰/۷۹	۰/۰۸
	متوسط	۷۹/۳	۰/۰۱۷۶	۵/۳	۰/۷۹	-۰/۹۲



شکل۱- مقایسه‌ی رطوبت اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل برای محصول کنجد در مرحله‌ی صحت‌سنجی



شکل۲- مقایسه‌ی رطوبت اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل برای محصول ذرت دانه‌ای در مرحله‌ی صحت‌سنجی



شکل۳- مقایسه مقادیر رطوبت اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده توسط SWAP برای تمام داده‌های واسنجی و صحت‌سنجی

پیش‌بینی شوری نیمرخ خاک

نتایج صحت‌سنجی مدل در تخمین شوری عصاره اشباع خاک، حاکی از قابلیت بالای این مدل بود. شوری عصاره اشباع اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده توسط مدل برای کنجد و ذرت دانه‌ای برای مرحله‌ی صحت‌سنجی مدل در شکل‌های ۴ و ۵، ارائه شده است. بر این اساس، برای محصول ذرت مشاهده می‌گردد که برای عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر، نتایج اندازه‌گیری‌ها منطبق بر نتایج شبیه‌سازی توسط مدل می‌باشد و برای عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری خاک به‌جز یک نقطه داده‌های اندازه‌گیری تقریباً منطبق بر شبیه‌سازی شده می‌باشد. در عمق ۹۰-۶۰ مدل در ابتدای فصل رشد برآورد بیش‌تری نسبت به مقادیر اندازه‌گیری داشته ولی بعد از آن مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی بر هم منطبق می‌باشند و در انتهای فصل رشد در دو نقطه مقدار اندازه‌گیری‌ها بیش‌تر از مقدار شبیه‌سازی و در یک نقطه کم‌تر می‌باشد. در محصول کنجد در عمق ۳۰-۰ مدل در سه نقطه مقدار شوری را بیش از مقدار اندازه‌گیری شده برآورد کرده که این سه نقطه در فاصله کمی از نمودار شبیه‌سازی شده شوری قرار دارد و در عمق ۶۰-۳۰ به جز دو نقطه که به فاصل خیلی کمی از مقادیر شبیه‌سازی واقع و بقیه داده‌های اندازه‌گیری منطبق بر نمودار شبیه-سازی در طول دوره رشد گیاه می‌باشد. در عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متری خاک تقریباً تمام داده‌های اندازگیری و شبیه‌سازی (به‌جز یک نقطه) دقیقاً بر هم منطبق می‌باشند. برای تحلیل دقیق کارایی مدل، پارامترهای آماری ارزیابی عملکرد، در جدول ۷ آورده شده است.

جدول۷- پارامترهای آماری ارزیابی مدل عملکرد مدل SWAP برای مرحله صحت‌سنجی در پیش‌بینی شوری خاک

مزرعه	عمق (cm)	R^2 (%)	RMSE (dSm^{-1})	RE (%)	NSE (-)	CRM (-)
ذرت دانه‌ای	۰-۳۰	۹۲/۴	۰/۳۳	۲/۳	۰/۹۰	-۱/۹
	۳۰-۶۰	۹۶/۳	۰/۲۱	۲/۸	۰/۹۵	۰/۰۷
	۶۰-۹۰	۸۴/۵	۰/۳۴	۶/۶	۰/۸۲	-۲/۱
	میانگین	/۰۴	۰/۲۹	۳/۹	۰/۸۹	-۱/۳۳
کنجد	۰-۳۰	۹۲/۷	۱/۰۲	۶/۱	۰/۸۴	-۶/۹
	۳۰-۶۰	۹۴/۳	۰/۲۴	۳/۱	۰/۹۳	۱/۹
	۶۰-۹۰	۹۴/۱	۰/۲۱	۲/۰	۰/۹۳	-۱/۹
	میانگین	۹۳/۷	۰/۴۹	۳/۶	۰/۹۰	-۲/۲۷

مقدار RMSE شوری نیمرخ خاک برای ذرت دانه‌ای بین ۰/۲۱ تا ۰/۳۴ و برای محصول کنجد بین ۰/۲۱ تا ۱/۰۲ دسی‌زیمنس بر متر، در نوسان است. با توجه به جدول ۷، مقدار CRM برای اعماق مختلف خاک برای هر دو محصول نشان می‌دهد که مدل در کل مقدار شوری را اندکی بیش از مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه نشان می‌دهد. متوسط شاخص NSE در پیش‌بینی شوری محصول ذرت دانه‌ای ۰/۸۹ و برای محصول کنجد ۰/۹۰ می‌باشد. متوسط ضریب همبستگی خطی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی برای محصول ذرت دانه‌ای ۹۱/۰۴ و برای محصول کنجد ۹۳/۷ به‌دست آمد. به این ترتیب نتایج تایید می‌کند که مدل SWAP مانند رطوبت خاک، در پیش‌بینی شوری نیمرخ خاک نیز قابلیت مناسب دارد. داده-های کل مراحل (واسنجی و صحت‌سنجی) ارزیابی و تحلیل گردید و نتایج آن در شکل۶ ارائه گردیده است. بر این اساس ضرایب مدل برازش داده شده به مقادیر بهینه (یک و صفر) نزدیک بوده و ضریب a برای ذرت‌دانه‌ای و کنجد به ترتیب ۰/۹۰ و ۰/۸۸ به‌دست آمد. نتایج نشان دهنده دقت بالای مدل SWAP در برآورد شوری نیمرخ خاک برای هر دو محصول ذرت دانه‌ای و کنجد می‌باشد.

در شرایط مدیریت فعلی آبیاری و به دلیل عمق آبیاری بیش از حد در مزرعه ذرت، شوری عصاره اشباع خاک در انتهای فصل با مقادیر اولیه شوری عصاره اشباع خاک (قبل از کشت) تقریباً برابر بوده و تجمع نمک در نیمرخ خاک رخ نداده است. در مزرعه کنجد به دلیل نفوذ عمقی کم‌تر، شوری عصاره اشباع در انتهای فصل نسبت به ابتدای فصل تا حدی بیش‌تر می‌باشد. با مقایسه‌ی شوری عصاره اشباع اندازه‌گیری شده محصول کنجد، در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر، شوری حدود ۰/۶ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافته است. در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متر مقادیر شوری عصاره اشباع حدود ۰/۶ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافته است. اما در عمق ۹۰-۶۰ سانتی-متر، شوری نسبت به ابتدای فصل افزایش یافته است. براساس مدل واسنجی شده SWAP، تأثیر ادامه مدیریت فعلی و یا هر مدیریت دیگر بر روند شور شدن خاک و با دقت بالا، قابل پیش‌بینی می‌باشد.

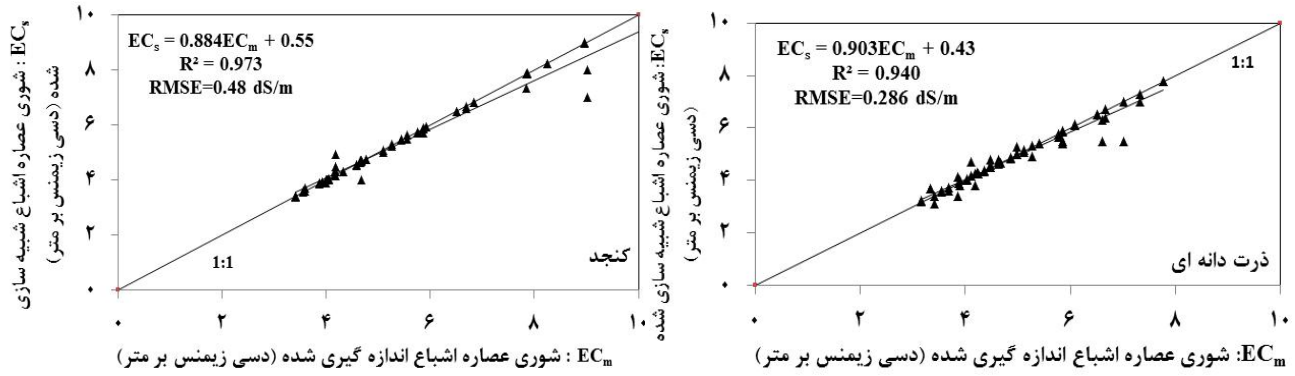
نتیجه‌گیری

در این تحقیق مدل SWAP در شبیه‌سازی رطوبت و شوری دو محصول ذرت‌دانه‌ای و کنجد در شرایط مدیریت زارعین در منطقه خشک و نیمه‌خشک لارستان فارس ارزیابی شد. به طور کلی نتایج این تحقیق را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱- نتایج آنالیز حساسیت مدل نشان داد که مدل نسبت به شوری آب آبیاری، طول انتشار، پارامترهای n، K_{sat} و θ_{sat} حساسیت بیش‌تری نشان می‌دهد. از آنجایی که پارامترهای n، K_{sat} و θ_{sat} از خصوصیات فیزیکی خاک‌ها تخمین زده می‌شوند، لذا باید با دقت بیش‌تری برآورد گردند.

شکل٤- مقایسه‌ی شوری عصاره اشباع اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده محصول کنجد برای صحت‌سنجی مدل

شکل۵-مقایسه مقادیر شوری عصاره اشباع اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده محصول ذرت دانه‌ای برای صحت‌سنجی مدل



شکل ٦- مقایسه شوری اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی توسط SWAP برای تمام داده‌ها در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی مدل

۲- مقایسه مقادیر رطوبت خاک شبیه‌سازی شده در پروفیل خاک با مقادیر اندازه‌گیری شده در شرایط مزرعه، تطابق خوبی نشان داد. ارزیابی عملکرد مدل براساس شاخص‌های آماری نشان داد که مدل از دقت بسیار بالا در شبیه‌سازی رطوبت خاک برخوردار است.

۳- نتایج نشان دهنده دقت خوب مدل SWAP در برآورد شوری نیمرخ خاک برای هر دو محصول ذرت دانه‌ای و کنجد می‌باشد. متوسط شاخص NSE برای پیش‌بینی شوری محصول ذرت دانه‌ای ۰/۸۹ و برای محصول کنجد ۰/۹۰ به‌دست آمد.

۴-مدل رطوبت و شوری را برای محصول ذرت دانه‌ای اندکی بهتر از محصول کنجد برآورد نمود. هم‌چنین مدل مقادیر شوری را بهتر از رطوبت پیش‌بینی نمود.

۵- از مدل SWAP می‌توان با دقت خیلی خوبی برای پیش‌بینی رطوبت و شوری محصول کنجد، استفاده کرد.

۶- با اندازه‌گیری و تخمین برخی از ویژگی‌های زودیافت مانند بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری شوری آب و خاک و هم‌چنین اندازه‌گیری برخی از پارامترهای گیاهی مانند ارتفاع گیاه، عمق ریشه و شاخص سطح برگ، می‌توان از مدل SWAP با دقت قابل قبولی برای پیش‌بینی رطوبت و شوری خاک در شرایط شوری آب آبیاری استفاده کرد.

۷- در شرایط مدیریت فعلی زارع مقادیر نفوذ عمقی در مزارع ذرت و کنجد به ترتیب ۹۲۲/۸ و ۱۸۲/۲ میلی‌متر محاسبه گردید.

مقادیر نفوذ عمقی شبیه‌سازی شده توسط SWAP برای مزارع منتخب ذرت و کنجد به ترتیب ۹۳۸/۵ و ۱۷۷/۱ میلی‌متر شبیه‌سازی شد و مدل SWAP برای پیش‌بینی اجزای بیلان آب و اصلاح برنامه آبیاری پیشنهاد می‌شود.

۸-در شرایط مدیریت فعلی آبیاری و به دلیل عمق آبیاری بیش از حد در مزرعه ذرت، افزایش شوری عصاره اشباع در نیمرخ خاک رخ نداده است. در مزرعه کنجد به‌دلیل نفوذ عمقی کم-تر، شوری عصاره اشباع خاک در انتهای فصل نسبت به ابتدای فصل بیش‌تر به دست آمد. براساس مدل واسنجی شده SWAP، تأثیر ادامه مدیریت فعلی و یا هر مدیریت دیگر در شوری عصاره اشباع خاک و با دقت بالا، قابل پیش‌بینی می‌باشد.

منابع

ابطحی،ع. ۱۳۸۰. واکنش نهال دو رقم پسته نسبت به مقدار و نوع شوری خاک در شرایط گلخانه. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۵ ۲: ۹۳-۱۰۱.

جلینی،م.، کاوه،ف.، پذیرا، ا.، پاره‌کار،م. و عابدی،م. ۱۳۸۴. برآورد رطوبت در محدوده توسعه ریشه چغندرقند با استفاده از مدل LEACHM. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲ ۵: ۲۸-۳۸.

کیانی،ع.ر و همایی،م. ۱۳۸۶. ارزیابی مدل SWAP در شبیه‌سازی انتقال آب و املاح در نیم‌رخ خاک. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۸ ۱ : ۱۳-۳۰.

Ben Asher,J., Van Dam,J., Feddes,R.A and Jhorar,R.K. 2006. Irrigation of grapevines with saline water II: Mathematical simulation of vine growth and yield, Journal of Agricultural Water Management, 83: 22-29.

Bonfante,A., Basile,A., Acutis,M., De Mascellis,R., Manna,P., Perego,A and Terribile,F. 2010. SWAP, CropSyst and MACRO comparison in two contrasting soils cropped with maize in Northern Italy. Agricultural Water Management. 97:1051-1062.

Brandyle,T., Szaty,L., Gnatow,S and Tomasz,O. 2005. Examination of SWAP suitability to predict soil water conditions in a field Peat-Moorsh soil, Department of environmental improvement, Warsaw Agricultural University, Poland.

Droogers,P., Akbari,M., Torabi,M and Pazira,E. 2000a. Exploring field scale salinity using simulation modeling, Example for Rudasht area, Esfahan Province, Iran. IAEIR-IWMI Research Report 2, 16 p.

Droogers,P., Salemi,H.R and Mamanpoush,A.R. 2000b. Exploring basin scale salinity problems using a simplified water accounting model: The example of Zayandeh Rud basin, Iran. IAERI-IWMI Research Report 5.

Eitzinger,J., Trnka,M., Hosch,J., Zalud,Z and Dubrovsky,M. 2004. Comparision of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing under different soil conditions, Ecological Modeling, 171.3: 223-246.

Feddes,R.A., Kowalik,P.J and Zaradny,H. 1978. Simulation of field water use and crop yield. Pudoc. Wageningen, 189.

Huygen,J., Van Dam,J.C and Kroes,J.G. 2000. Introduction to SwapGui, the Swap 2.0 Graphical User Interface. Unpublished manual. Wageningen, etherlands. DLO-Staring Centre and Wageningen Agricultural University. 98p. Record No: H 23829.

Kroes,J.G and Van Dam,J.C. 2008. Reference manual SWAP version 3.2. Alterra Green World Research, Wageningen, Report 1649, Availabel at: www.alterra.nl/models/swap.

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.

Marinov,D., Querner,E and Roelsam,J. 2005. Simulation of water flow and nitrogen transport for a Bulgarian experimental plot using SWAP and ANIMO models, Journal of Contaminant Hydrology, 77: 145-164.

Mass,E.V and Hoffman,G.J. 1977. Crop salt tolerance current assessment. Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE, 103.2: 115-134.

Mostafazadeh-fard,B., Mansouri,H., Mousavi,S.F and Feyzi,M. 2009. Effects of Different Levels of Irrigation Water Salinity and Leaching on Yield and Yield Components of Wheat in an Arid Region. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 135.1: 32-38.

Moriasi,D.N., Arnold,J.G., Van Liew,M.W., Bingner,R.L., Harmel,R.D. Veith,T.L. 2007.

in a semi-arid area of north-west India. Agricultural Water Management, 66: 153-162.

Skaggs,T.H., van Genuchten,M.Th. Shouse,P.J. and Poss,J.A. 2006. Macroscopic approaches to root water uptake as a function of water and salinity stress. Agricultural Water Management, 86: 140-149.

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.

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.

Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Soil and Water Division of ASABE. 885-900.

Mualem,Y. 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resource Research, 12: 513–522.

Postel,S. 1996. Forging a sustainable water strategy, Brown, R. L. State of the world 1996, Earthscan Publication Ltd, London. 40-59.

Singh,U.K., Ren,L and Kang,S. 2010. Simulation of soil water in space and time using an agrohydrological model and remote sensing techniques, Agricultural Water Management., 97.8: 1210-1220.

Singh,R. 2004. Simulation on direct and cyclic use of saline waters for sustaining cotton-wheat

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 9, Mar.-Apr. 2015, p. 1-12

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد۹، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۴، ص. ۱۲-۱

Prediction of Soil Profile Water Content and Salinity in Sesame and Maize Fields by SWAP Model under Farmers Management Conditions (Case Study Larestan Region)

A. A. Bamdad[1], V. Rezaverdinejad[*2], A. A. Ghaemi[3]
Recived: Oct.4, 2014 Accepted: Apr.8, 2015

Abstract

In this research the performance evaluation of SWAP model was investigated for simulating of soil water content and salinity under farmers management in an arid region located in Larestan region in Fars province. For this reason, all field experimental data such as soil water content, soil salinity, crop and soil parameters, meteorological parameters and quality and quantity of irrigation water were measured from Sesame and Maize pilot fields, for 2012-2013 periods and model was sensitivity analyzed, calibrated and validated. Performance evaluation based on statistic indices indicated that the model has a high accuracy in simulating of soil water content and salinity. The estimation average of root mean squares errors of soil water content and salinity were calculated for Maize, 0.019 (cm^3cm^{-3}) and 0.29 dS/m, respectively and for Sesame 0.018 (cm^3cm^{-3}) and 0.63 dS/m, respectively. The average of NSE for soil salinity obtained for Maize and Sesame 0.89 and 0.90, respectively. The NSE calculated for prediction of soil water content to Maize and Sesame, 0.77 and 0.79, respectively. So as for predicting of soil salinity and soil water content, with saline irrigation water, SWAP is a precision and appropriate model.

Keywords: Performance Evaluation, Water Balance, Solutes Balance, Larestan Plain, Simulation Model

1- M.Sc. Graduated of Irrigation and Drainage Engineering, Department. of Water Eng., Urmia University
2-Assistant Professor, Department. of Water Engineering, Urmia University
3-Associate Professor, Department. of Water Engineering, Shiraz University
(*- Corresponding Author Email: verdinejad@gmail.com)