نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۲، آذر - دی ۱۳۹۷، ص. ۱۱۸۸-۱۱۷۴

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 12, Des.-Jan. 2018, p. 1174-1188

ارزیابی مدل SWAP در تخمین رطوبت و شوری پروفیل خاک (مطالعه موردی: منطقه‌ی بیرجند)

محمدجواد نحوی‌نیا[۱*]، بهنام معاونی[۲]، علی شهیدی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

چکیده

این تحقیق به منظور ارزیابی مدل اگروهیدرولوژیکی SWAP3.03 در شبیه‌سازی نیم‌رخ رطوبت و شوری خاک تحت کشت ارقام گندم در شرایط کیفیت و کمیت‌های مختلف آب آبیاری در سال زراعی ۱۳۸۵-۱۳۸۴ در مزرعه آزمایشی دانشگاه بیرجند انجام شد. آب آبیاری از سه حلقه چاه با شوری مختلف در مزرعه آزمایشی موردنظر (با ECهای مختلف ۱/۴، ۴/۵ و ۹/۶ دسی زیمنس بر متر) تامین شد. ابتدا مدل نسبت به پارامترهای هیدرولیکی لایه‌های خاک و انتقال املاح بر اساس مطالعه انجام شده در مزرعه آزمایشی به‌خوبی واسنجی گردید. نتایج این تحقیق نشان داد میانگین فصلی توزیع شوری و رطوبت در پروفیل خاک در تیمارهای آبیاری کامل I۳ و پر آبیاری I۴ (تامین ۱۲۵ درصد آب موردنیاز) یکنواخت‌تر از سایر تیمارها می‌باشد. حداکثر غیریکنواختی در تیمارهای تحت تنش آبی و شوری مشاهده می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل نشان می‌دهد که اعمال تیمارهای کم‌آبی و شوری باعث کاهش دقت مدل در پیش‌بینی رطوبت و شوری در مراحل زمانی مختلف پس از کاشت گندم می‌شود. بهترین برآوردهای مدل در تخمین پارامترهای رطوبت و شوری، به‌ترتیب مربوط به تیمار I۳ (آبیاری کامل) (R^2=۰/۹۵ برای کلاس شوری S۱، R^2=۰/۹۴ برای کلاس شوری S۲ و R^2=۰/۹۳ برای کلاس شوری S۳ برای تخمین شوری) و I۲ (تامین ۷۵ درصد آب موردنیاز) (R^2=۰/۸۵ برای کلاس شوری S۱، R^2=۰/۸۲ برای کلاس شوری S۲ و R^2=۰/۷۸ برای کلاس شوری S۳ برای تخمین شوری) می‌باشد. روند تغییرات دقت مدل در برآورد پروفیل رطوبت و شوری خاک، از سطح خاک به سمت عمق کاهشی است (R^2=۰/۸۹-۰/۷۲ برای رطوبت و R^2=۰/۸۷-۰/۷۱ برای شوری). با وجود تغییرات رطوبت و شوری خاک در لایه‌ی سطحی خاک، ضریب تبیین بالا (R^2=۰/۸۹ برای رطوبت و R^2=۰/۸۷ برای شوری) در لایه‌های نزدیک به سطح خاک، نشان دهنده‌ی کاربرد مطلوب مدل SWAP برای شبیه‌سازی رطوبت و شوری خاک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بیرجند، رطوبت حجمی، شوری، عمق آبیاری، SWAP

مقدمه

با توجه به رشد روز افزون جمعیت، نیاز به تولید محصولات غذایی بیش‌تر، بیش از پیش احساس می‌شود. کشاورزی به عنوان یکی از محوری ترین بخش‌ها در تامین غذای بشر مطرح است، درحال حاضر تقریبا یک سوم غذای جهان را تامین می‌کند که تا سال ۲۰۴۰ میلادی این رقم باید به ۵۰ درصد برسد. این افزایش تولید تنها از طریق افزایش سطح زیرکشت و یا بالا بردن عملکرد در واحد سطح میسر است. سطح اراضی کره زمین ۱۳/۲ میلیارد هکتار می‌باشد که ۷ میلیارد هکتار آن اراضی قابل‌کشت و ۱/۵ میلیارد هکتار تحت کشت است. از اراضی تحت کشت، حدود ۰/۳۴ میلیارد هکتار (۲۳درصد) اراضی شور و ۰/۵۶ میلیارد هکتار (۳۷ درصد) خاک‌های سدیمی است (Szabolcs, 1989). در ایران قریب به ۵۰ درصد از اراضی که دارای استعداد کشاورزی آبی هستند، مبتلا به شوری هستند (ابطحی، ۱۳۸۰).

آزمون‌های مزرعه‌ای مرتبط با شوری به دلیل محدودیت‌های اجرایی، زمان‌بر بودن و نیاز به نیروی انسانی و هزینه زیاد، به تدریج جای خود را به مدل‌های رایانه‌ای داده‌اند (Droogers, 2000). با استفاده از مدل‌های رایانه‌ای می‌توان در کوتاه‌ترین زمان، روش‌های مختلف مدیریتی را اعمال و روند آب‌شویی را با دقت مناسب بررسی کرد (خاک‌ساری و همکاران، ۱۳۸۵). در سال‌های اخیر مدل‌های

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه اراک
۲- دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد، رشته مهندسی آبیاری و زهکشی دانشگاه شهرکرد
۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند
(* - نویسنده مسئول: (Email: Javad.nahvinia@gmail.com

بسیاری برای مطالعه روند آب‌شویی املاح خاک ارایه شده است.

مدل اگرو هیدرولوژیکی SWAP یکی از این مدل‌ها می‌باشد که در سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته است. مدل SWAP مدل اگروهیدرولوژیکی بر پایه ارتباط فیزیکی بین پارامترهای آب، خاک، اتمسفر و گیاه می‌باشد و از زیر مجموعه‌های مختلفی از جمله شبیه‌سازی رشد محصول، مدیریت آبیاری، جریان آب و انتقال املاح و حرارت در خاک تشکیل شده است (Huygen et al., 2000). هسته‌ی اصلی این مدل، شبیه‌سازی جریان عمودی آب در منطقه اشباع و غیراشباع می‌باشد که به‌وسیله‌ی معادله معروف ریچاردز تشریح می‌شود و شبیه‌سازی، و ترکیب با تابع نزولی نیمه تحلیلی انجام می‌گیرد (Van Dam et al., 1997). توابع هیدرولیکی خاک به وسیله بیان‌های تحلیلی وان گنوختن و معلم[1] و یا به وسیله‌ی مقادیر جدول‌بندی شده تعریف می‌شوند (Van Genuchten., 1980). حل عددی معادله ریچاردز طوری تطبیق یافته که حل، برای منطقه‌ی اشباع و برای منطقه‌ی غیراشباع به کار می‌رود. SWAP مدل شبیه‌سازی بیلان آب و املاح در خاک زیر کشت یا آیش با انواع مختلف شرایط مرزی و با در نظر گرفتن امکان‌پذیری زهکشی مصنوعی و آبیاری است. در منطقه غیراشباع، SWAP روندهای مختلف انتقال املاح، جابه‌جایی، پخشیدگی و انتشار، جذب غیرخطی، انحلال مرتبه‌ی اول و جذب به وسیله ریشه را شبیه‌سازی می‌کند. این امر، شبیه‌سازی انتقال معمولی نمک و علف کش، شامل تاثیر شوری بر رشد گیاه را مجاز می‌کند. در ارتباط با شبیه‌سازی تغییرات شوری در خاک، SWAP فقط از مکانیسم‌های جابه‌جایی و انتشار استفاده می‌کند و از جذب توسط ریشه و ذرات خاک و نیز انحلال صرف‌نظر شده است. مدل SWAP توسط محققین مختلف برای شبیه‌سازی حرکت آب و املاح در خاک (Feddess et al., 1997 و Huston and Wagenet., 1992)، آثار کمیت و کیفیت آب آبیاری و شوری خاک (Droogers and Torabi., 2002)، مدیریت کمیت و کیفیت آب آبیاری و شوری خاک (Smets et al., 1997)، مورد استفاده قرارگرفته و مناسب تشخیص داده شده است. منصوری و همکاران (۱۳۸۶) در بررسی تاثیر مدیریت آبیاری با آب شور بر رطوبت خاک در منطقه‌ی رودشت اصفهان با استفاده از مدل SWAP بیان داشتند که هرچند آزمون صحت‌یابی مدل SWAP با چهار شاخص آماری نشان داد که این مدل در مناطق خشک قابل استفاده است، اما این مدل میزان رطوبت خاک را با دقت قابل‌قبولی شبیه‌سازی نمی‌کند. دروگرز و همکاران در ارزیابی اثر تغییرات کمی و کیفی آب بر شوری خاک و عملکرد گیاه در پروژه‌ی آبیاری در منطقه رودشت ایران از مدل SWAP استفاده نموده و اعلام نمودند که نتایج شبیه‌سازی مدل قابل انتقال به شرایط مشابه در منطقه‌ی مورد مطالعه است (Droogers., 2000).

در پژوهشی شبیه‌سازی شوری خاک و انتقال املاح در شرایط کم‌آبیاری با آب شور با استفاده از مدل SWAP انجام شد و گزارش داده شد که این مدل می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد در منطقه‌ی خشکی از چین برای ارزیابی بلندمدت شیوه‌ها و سناریوهای مختلف آبیاری به کار رود (Jiang et al., 2011). در مطالعه‌ای دیگر استفاده از آب شور برای محصول گندم درشرایط اقلیمی نیمه‌خشک هند با استفاده از مدل SWAP شبیه‌سازی شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که با استفاده از آب شور با شوری ۸/۰ دسی‌زیمنس بر متر به جای آب آبیاری با شوری ۳/۶ دسی‌زیمنس بر متر در مرحله‌ی قبل از کاشت گندم می‌توان تا ۸۰ درصد عملکرد محصول را افزایش داد (Verma et al., 2012). در پژوهشی دیگر شوری خاک و عملکرد محصول گندم تحت رژیم‌های آب شور با استفاده از مدل SWAP شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد مدل قادر است که شوری خاک در ناحیه‌ی ریشه و عملکرد محصول گندم را با دقت قابل‌قبولی تحت شرایط استفاده از آب شور شبیه‌سازی نماید (Kumar et al., 2015). در پژوهشی عملکرد گندم در شرایط کم‌آبیاری و شوری در منطقه‌ی بیرجند توسط مدل شبیه‌سازی شد و ضریب تبیین بین عملکرد شبیه‌سازی شده و عملکرد واقعی ۰/۸۳ بدست آمد (نحوی‌نیا و همکاران، ۱۳۸۹). در تحقیق شیرشاهی و همکاران (۱۳۹۳)، در منطقه‌ی درودزن کارآیی مصرف آب و عملکرد گندم با استفاده از مدل SWAP شبیه‌سازی شد و ضریب تبیین بین عملکرد شبیه‌سازی شده و عملکرد واقعی ۰/۹۸ بدست آمد.

با توجه به محدودیت منابع آبی در استان خراسان‌جنوبی که در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و قرار گرفتن حجم عظیمی از این آب‌ها در ردیف آب‌های شور و لب شور، کم‌آبیاری با این گونه آب‌ها در درازمدت می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری در خاک ایجاد نماید. بنابراین پایش توزیع رطوبت در پروفیل خاک برای برنامه‌ریزی صحیح در مدیریت آبیاری منطقه ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین، تحقیق فوق به منظور ارزیابی و واسنجی مدل SWAP3.03 در برآورد پروفیل رطوبت و شوری خاک تحت کشت ارقام گندم قدس و روشن که از ارقام مورد استفاده در مناطق خشک است، در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی بیرجند انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

مشخصات محل مورد مطالعه

این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی بیرجند با عرض جغرافیایی °۵۳ و ۳۲۰ شمالی و طول جغرافیایی °۱۳ و ۵۵ ۰ شرقی و ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا، در سال زراعی ۱۳۸۵-۱۳۸۴ اجرا گردید. قبل از کاشت گیاه گندم از اعماق مختلف خاک مزرعه

1- Van Genuchten and Mualem

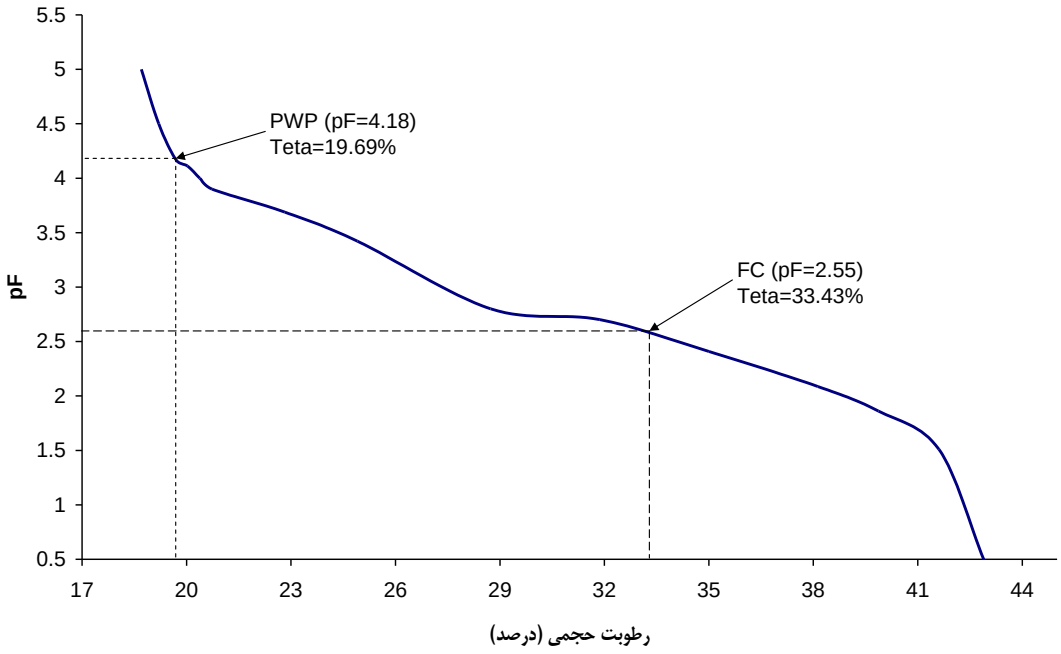
جهت تعیین خصوصیات فیزیکی خاک مزرعه نمونه‌گیری شد (جدول ۱). منحنی خصوصیات رطوبتی خاک با استفاده از اندازه‌گیری رطوبت خاک در مکش‌های مختلف به کمک دستگاه صفحات فشاری و محفظه فشاری تعیین گردید (شکل ۱). آزمایش در قالب طرح آزمایشی کرت‌های خرد شده به صورت فاکتوریل بود که در آن سطوح مختلف شوری (S۱، S۲، S۳) به‌ترتیب معادل ۱/۴ و ۴/۵ و ۹/۶ دسی زیمنس بر متر) به‌عنوان کرت‌های اصلی و دو رقم گندم قدس و روشن و چهار سطح آبیاری (I۱، I۲، I۳، I۴) به‌ترتیب معادل ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه)، به عنوان کرت‌های فرعی که در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند در سال زراعی ۱۳۸۵-۱۳۸۴ اجرا گردید. برای تامین آب از سه حلقه چاه با شوری مختلف در مزرعه آزمایشی موردنظر (با ECهای متغیر از ۱/۴ تا ۹/۶ دسی زیمنس بر متر) استفاده شد. نتایج تجزیه و تحلیل سه حلقه چاه در جدول ۲ ارایه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

عمق خاک (cm)	pH	(ECe) ds/m	جرم مخصوص ظاهری (gr/cm3)	بافت خاک	درصد اندازه ذرات خاک		
					شن	سیلت	رس
۳۰ - ۰	۷/۶۱	۲/۱	۱/۵	C-L	۲۹/۷	۳۴/۶	۳۵/۷
۶۰ -۳۰	۷/۷۲	۲/۷	۱/۴۵	Si-C-L	۱۰/۱	۵۲/۶	۳۷/۳
۹۰ -۶۰	۷/۷۸	۲/۹	۱/۳۹	Si-C-L	۱۱/۲	۵۳/۶	۳۵/۲

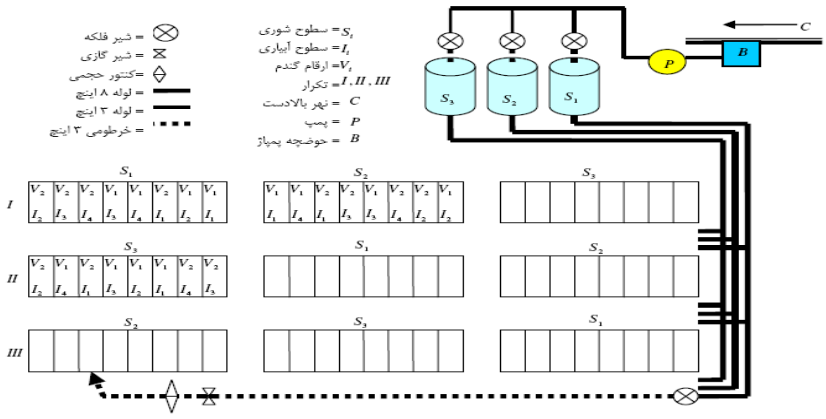
جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب سه حلقه چاه مورد استفاده

شماره چاه	(EC) ds/m	pH	SAR	کاتیون‌ها				آنیون‌ها			
				Ca^{+}	Mg^{+}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	Hco_3^{-}	Co_3^{2-}	So_4^{2-}
۱	۱/۴	۸/۰	۷/۴	۲/۲	۱/۷	۱۰/۲	۰/۰۵	۷/۲	۳/۱	۰	۴/۱
۲	۴/۵	۷/۸	۸/۶	۱۴/۰	۴/۸	۲۶/۵	۰/۳	۲۱/۲	۸/۳	۰	۱۶/۵
۳	۹/۶	۷/۷	۹/۷	۲۷/۶	۱۲/۸	۴۳/۸	۰/۸	۵۳/۵	۱۰/۶	۰	۲۰/۸



شکل ۱- منحنی مشخصه رطوبت حجمی خاک مزرعه آزمایشی به همراه نقاط پتانسیلی FC و PWP

روش کاشت بصورت دستی در تاریخ ۲۳ آبان ۱۳۸۴ انجام شد. در پایان فصل ارقام گندم پس از رسیدگی فیزیولوژیکی (رقم قدس در تاریخ ۲۱ اردیبهشت‌ماه و رقم روشن در تاریخ ۲۸ اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۵) برداشت گردید و اجزای عملکرد آن تعیین شد. به منظور حصول یکنواختی در اعمال شوری، از روش آبیاری کرتی استفاده گردید. در این مطالعه ابعاد کرت‌ها ۴×۳ (متر× متر) و فاصله کرت‌های فرعی ۵۰ سانتی‌متر و فاصله کرت‌های اصلی حداقل ۴/۵ متر در نظر گرفته شد. در هر کرت ده ردیف کاشت با فاصله ۲۰ سانتی‌متر و طول ۳ متر طوری کاشته شد که تراکم معمول ۴۰۰ بوته گندم در مترمربع حاصل گردد. آرایش قطعات زراعی، استقرار سیستم آبیاری و کرت‌های آزمایشی در شکل ۲ ترسیم شده است.



شکل ۲- نقشه شماتیک طرح آزمایشی

تیمارهای مقدار آب آبیاری (I۱, I۲, I۳, I۴) به عنوان فاکتور فرعی برای تامین آب به‌ترتیب ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبیاری گیاه بعد از جوانه‌زنی مورد استفاده قرار گرفت. برنامه‌ریزی آبیاری این طرح شامل زمان‌بندی و مقدار هر آبیاری برای تیمارهای مختلف در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- زمان و مقدار آب مصرف شده در هر یک از تیمارهای آبیاری

زمان آبیاری	تیمار اول (۵۰٪ نیاز آبی) (mm)	تیمار دوم (۷۵٪ نیاز آبی) (mm)	تیمار سوم (۱۰۰٪ نیاز آبی) (mm)	تیمار چهارم (۱۲۵٪ نیاز آبی) (mm)
۲۵ آبان ۱۳۸۴	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
۵ اسفند ۱۳۸۴	۳۵	۵۳	۷۰	۸۷
۱۹ اسفند ۱۳۸۴	۳۸	۵۷	۷۶	۹۵
۴ فروردین ۱۳۸۵	۴۵	۶۸	۹۱	۱۱۴
۲۷ فروردین ۱۳۸۵	۴۹	۷۳	۹۷	۱۲۱
۷ اردیبهشت ۱۳۸۵	۴۵	۶۷	۹۰	۱۱۳
۱۷ اردیبهشت ۱۳۸۵	۴۰	۶۰	۸۰	۱۰۰

برای بدست آوردن رطوبت در اثر اعمال تیمارهای آبیاری و مشخص نمودن تاثیر هریک از تنش‌های ذکرشده در خاک طی سال زراعی، از کلیه‌ی ۷۲ کرت آزمایشی در پنج مرحله‌ی زمانی ۱۰۲ روز پس از کاشت (یک روز قبل از آبیاری دوم که اولین آبیاری با اعمال تیمارهای کم‌آبیاری و شوری می‌باشد)، ۱۱۹ روز پس از کاشت (۴۸ ساعت پس از آبیاری سوم)، ۱۴۳ روز پس از کاشت (فاصله‌ی زمانی وسط بین دو آبیاری چهارم و پنجم) و ۱۸۵ روز پس از کاشت (زمان برداشت گندم)، نمونه‌برداری شد. از کلیه‌ی کرت‌ها تا عمق یک متری به ازا هر ۲۰ سانتی‌متر یک نمونه برداشت شد و میانگین رطوبت حجمی و شوری عصاره‌ی اشباع برای سه تکرار محاسبه گردید.

اندازه‌گیری میزان رطوبت حجمی نیز به روش حجمی و اندازه‌گیری شوری خاک با استفاده از عصاره‌ی اشباع خاک انجام گرفت.

داده‌های ورودی مدل SWAP

داده‌های ورودی مدل SWAP عبارتند از: اطلاعات اقلیمی، زراعی، خاک‌شناسی و مدیریتی، در قالب فایل‌های تعیین شده توسط مدل تعریف می‌شود.

اطلاعات اقلیمی: مدل تبخیر - تعرق پتانسیل را به وسیله معادله پنمن- مانتیث محاسبه شد که نیاز به داده‌های هواشناسی مانند تابش خورشیدی، (RAD)، حداقل و حداکثر دمای روزانه، میانگین فشار بخار، ساعات آفتابی، میانگین سرعت باد در ارتفاع ۲ متری و بارندگی روزانه دارد. این داده‌ها از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک سازمان هواشناسی تهیه و مقدار تابش خورشیدی روزانه طبق روش پنمن مانتیث محاسبه شد.

اطلاعات خاک‌شناسی: پروفیل خاک به ۳ لایه و ۶۰ طبقه تقسیم‌بندی شد و مشخصات هر لایه از قبیل درصد ذرات تشکیل دهنده (بافت خاک)، محدودیت‌های نفوذ ریشه، پدیده پسماند و شرایط رطوبتی اولیه در فایل مربوطه تعیین شدند.

در مرحله بعد ضرایب توابع هیدرولیکی خاک وارد مدل گردید. از بین پارامترهای روابط منحنی مشخصه رطوبتی و هدایت آبی غیراشباع، رطوبت و هدایت هیدرولیکی حداشباع دارای معنی فیزیکی بوده و اندازه‌گیری شدند. برای به دست آوردن سایر ضرایب توابع هیدرولیکی خاک در مدل RETC (θ_{res} ،n ،α و λ)، ابتدا با استفاده از یک تخمین اولیه صورت گرفت، به طوری‌که مشخصات هر لایه خاک ارایه شده در جدول ۴ مانند درصد ذرات تشکیل دهنده و چگالی ظاهری خاک به عنوان ورودی به مدل داده شد و مقادیر پارامترهای معادله معلم ون گنوختن شامل α، n، θ_{res} و λ به عنوان خروجی به دست آمد. سپس به منظور برآورد دقیق آن‌ها مدل با اجرای متعدد با ترکیب‌های متفاوتی از مقادیر مبنی بر بازه‌های واقعی، به طور دستی واسنجی گردید (عباسی، ۱۳۸۶).

برای تخمین پارامترهای انتقال املاح، شرایط مرزی بالا غلظت باران صفر منظور گردید و برای شرایط اولیه، غلظت املاح خاک که قبل از کاشت به ازای هر ۲۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شده بود، به مدل داده شد. شبیه‌سازی انتقال املاح در خاک توسط مدل SWAP بر مبنای انتقال توده‌ای یا روان املاح، پخشیدگی، انتشار آبی و جذب ۱ می‌باشد. ایزوترم جذب استفاده شده در مدل SWAP برای رابطه‌ی بین مقدار ماده جذب شده و غلظت ماده موردنظر در فاز مایع، ایزوترم فروندلیخ ۲ می‌باشد (Kroes and Van Dam., 2008). تخمین پارامترهای انتقال املاح نیز به روش فوق انجام شد. ضریب پخشیدگی مولکولی (D_{dif})، ضریب انتشارپذیری (λ) و ضرایب تجربی ایزوترم جذب فروندلیخ (β و K_d) پارامترهایی بودند که به طور دستی واسنجی شدند.

پارامترهای آبیاری: اطلاعات ورودی به مدل عبارتند از تاریخ آبیاری، عمق آب آبیاری، میزان شوری آب آبیاری و روش آبیاری. با داده‌های جمع‌آوری شده در طول اجرای طرح برای هر کرت، یک فایل مشخصات آبیاری ایجاد شد. (۷۲ فایل). بنابراین با توجه به سامانه آبیاری طراحی شده به ازای هر کرت در سطح مزرعه، ترکیب متفاوتی از کمیت و کیفیت آب آبیاری به دست آمد.

با آماده شدن فایل‌های ورود اطلاعات، مدل‌ها اجرا شده و نتایج حاصل در ارتباط با مقادیر رطوبت و شوری نیم‌رخ خاک با مقادیر اندازه‌گیری شده مورد مقایسه قرارگرفتند.

شاخص‌های ارزیابی مدل

در این پژوهش ملاک‌های آماری شاخص جذر میانگین مجذور خطا (Root Mean Square Error) (RMSE)، شاخص کارایی مدل کردن (Modeling efficiency) (EF)، ضریب جرم باقی-مانده (Coefficient of Residual Mass) (CRM) و ضریب مناسب بودن برازش (Coefficient of Determination) (R^2) برای ارزیابی اجرای مدل‌ها استفاده شد (Ben Asher et al., 2006). طبق تعریف هریک از پارامترهای مذکور عبارتند از:

میانگین ریشه‌ی دوم خطا (RMSE):

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} (P_i - Q_i)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (۱)$$

کارایی مدل‌سازی (EF):

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n} (Q_i - \overline{Q})^2 - \sum_{i=1}^{n} (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} (Q_i - \overline{Q})^2} \quad (۲)$$

ضریب باقی‌مانده (CRM):

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i - \sum_{i=1}^{n} P_i}{\sum_{i=1}^{n} Q_i} \quad (۳)$$

ضریب تبیین (R^2):

2- Mass flow or Conduction, Diffusion, Hydrodynamic Dispersion, Adsorption and Degradation

3- Freundlich Isotherm

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \overline{Q})^2} \quad (۴)$$

که در آن‌ها:

P_i: مقادیر پیش‌بینی شده، Q_i: مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده‌ای)، n: تعداد نمونه‌های به کار رفته، $\overline{Q}$: مقدار متوسط پارامتر اندازه‌گیری شده.

EF و CRM می‌توانند مقادیری منفی داشته باشند. RMSE نشان می‌دهد که برآورد بیش از حد و یا کم‌تر از حد مدل در مقایسه با مشاهدات (اندازه‌گیری‌ها) چقدر است. شاخص EF، مقادیر پیش‌بینی را با میانگین مقادیر اندازه‌گیری‌شده مقایسه می‌کند. مقدار منفی EF بیانگر آن است که میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، برآوردی بهتر از مقادیر پیش‌بینی شده دارد. در نهایت CRM شاخصی است که درجه‌ی بالا یا پایین تخمین زدن (Over or Underestimation) مدل را نشان می‌دهد. یعنی این‌که میزان اختلاف بین داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل و مشاهدات واقعی وجود دارد. شاخص CRM نشانگر تمایل مدل برای برآورد بیش از حد و یا کم‌تر از حد در مقایسه با اندازه‌گیری‌ها است. شاخص R^2 نسبت پراکندگی (Scatter Ratio) را بین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهداتی نشان می‌دهد. چنان‌چه تمامی مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده با هم برابر شوند، مقدار عددی شاخص‌های RMSE و CRM برابر با صفر و مقدار EF و R^2 برابر با ۱ خواهد بود.

نتایج و بحث

واسنجی مدل

جهت واسنجی (کالیبراسیون) مدل از اطلاعات طرح تحقیقاتی کیانی (۱۳۸۴) که در سال زراعی ۱۳۸۰-۱۳۷۹ در محل اجرای طرح حاضر اجرا شده بود، استفاده شد. جهت واسنجی (کالیبراسیون) مدل، پارامترهای هیدرولیکی لایه‌های خاک (α، n، θ_{res} و λ)، واسنجی شد که هدف حداقل کردن اختلاف رطوبت اندازه‌گیری و شبیه‌سازی برای سه عمق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ بود. بعد از واسنجی پارامترهای هیدرولیکی لایه‌های خاک، پارامترهای انتقال املاح (λ، D_{dif}، β و K_d) لایه‌های خاک نیز واسنجی گردید. پس از واسنجی پارامترهای مذکور، ضریب تبیین داده‌ها (R^2) بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای رطوبت و شوری عصاره اشباع خاک به ترتیب (۰/۹۳) و (۰/۸۸) بدست آمد که با توجه به شرایط آزمایش در مقیاس مزرعه‌ای تطابق مطلوبی باشد. در جدول ۴ و۵ مقادیر ورودی به کار رفته در مدل بعد از واسنجی آمده است.

جدول ٤- پارامترهای معادله ون گنوختن پس از واسنجی

عمق (cm)	n(-)	α (cm^{-1})	λ	θ_{res} ($cm^3.cm^{-3}$)
۰-۳۰	۱/۳۸۶۱	۰/۰۱۲۷	۰/۳۸۶	۰/۰۸۱۹
۳۰-۶۰	۱/۴۵۲۷	۰/۰۰۹۶	۰/۴۵۳	۰/۰۸۹۶
۳۰-۹۰	۱/۴۸۳۵	۰/۰۰۹۰	۰/۴۸۳	۰/۰۸۹۳

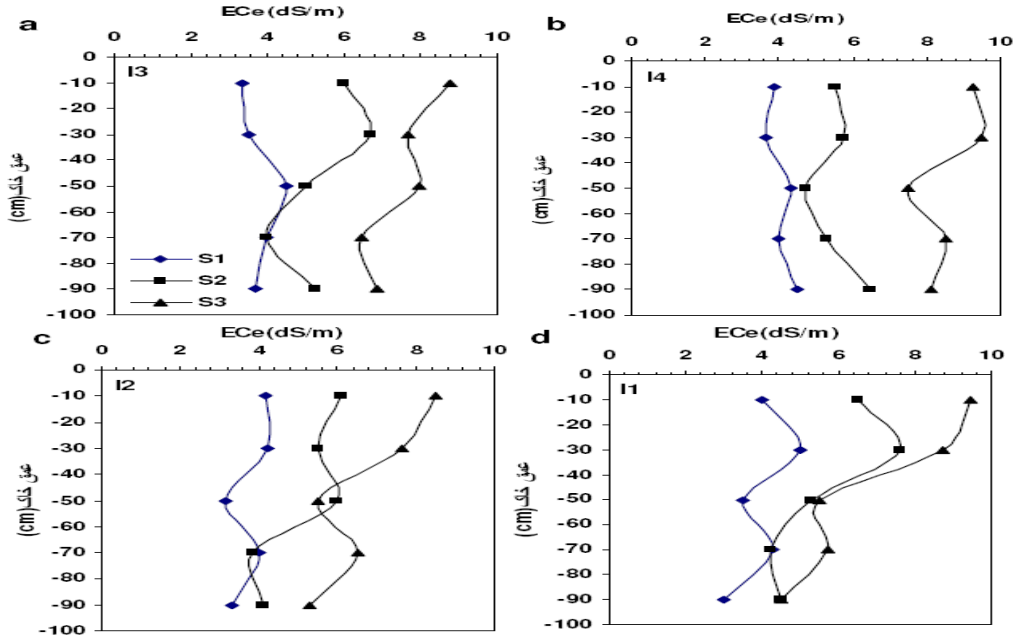
جدول ۵- پارامترهای انتقال املاح پس از واسنجی

پارامتر	مقادیر
ضریب انتشارپذیری (λ) (cm)	۵/۰۰
ضریب پخشیدگی مولکولی (D_{dif}) (cm^2/day)	۰/۱۲
ضریب تجربی ایزوترم جذب فروندلیخ K_d (cm^3/gr)	۱/۰۰
ضریب تجربی ایزوترم جذب فروندلیخ β	۰/۷

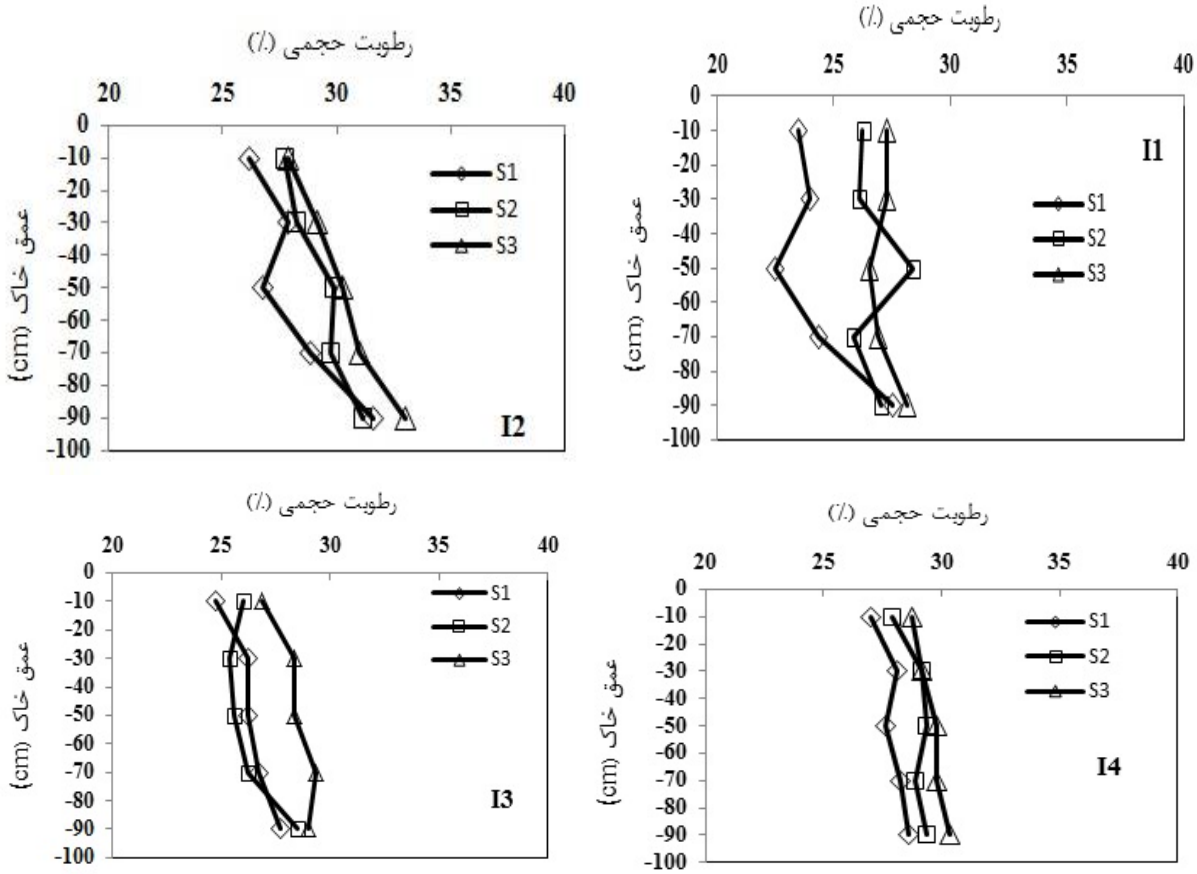
بررسی پروفیل شوری و رطوبت حجمی خاک

برای بررسی چگونگی توزیع شوری و رطوبت در پروفیل خاک، از میانگین فصلی شوری و رطوبت در تیمارهای مختلف استفاده شد (شکل ۳ و ۴). توزیع شوری و رطوبت در پروفیل خاک در تیمارهای آبیاری کامل (I۳, I۴) و پرآبیاری یکنواخت‌تر از تیمارهای تحت تنش آبی (I۱, I۲) است، چون با افزایش آب آبیاری، میزان نفوذ عمقی افزایش یافته و توزیع شوری و رطوبت یکنواخت‌تر می‌گردد. حداکثر غیریکنواختی در تیمارهای تنش آبی و شوری مشاهده شد. بررسی تیمارها نشان می‌دهد که در تیمارهای با عمق آبیاری یکسان، هرچه شوری آب آبیاری افزایش یابد، درصد رطوبت حجمی نیز افزایش می‌یابد. این اختلاف جزیی ناشی از شرایط واقعی است، هرچه شوری خاک بیش‌تر شود، گیاه آب کم‌تری جذب خواهد نمود، بنابراین در

شرایط شور رطوبت بیش‌تری در خاک باقی می‌ماند (Shani and Dudley., 2001; 2006; Ben Asher et al., 2006 Kaledhonkar and Keshari.,).



شکل ۳- میانگین فصلی شوری در پروفیل خاک در تیمارهای I1، I2، I3، I4



شکل ٤- میانگین فصلی رطوبت حجمی در پروفیل خاک در تیمارهای I1، I2، I3، I4

ارزیابی و اعتبارسنجی مدل SWAP در تیمارهای مختلف

برای بررسی بهتر نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل، شاخص‌های آماری برای هر تیمار و برای هرکدام از پارامترهای رطوبت و شوری به طور جداگانه در جدول ۶ ارایه شده است. مقدار RMSE نشان می‌دهد که تاچه حد اختلاف بین تک تک مقادیر پیش‌بینی شده نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده متناظر، صرف‌نظر از این که کم‌تر یا بیش‌تر باشد، وجود دارد. مقدار EF مقادیر شبیه‌سازی شده را نسبت به مقدار میانگین مشاهدات مقایسه می‌کند. در صورتی‌که تمام پیش‌بینی‌ها برابر با مشاهدات باشد، مقدارEF برابر با یک می‌شود. مقدار CRM نشان دهنده‌ی تمایل مدل برای برآورد بالاتر یا پایین‌تر در مقایسه با اندازه گیری‌ها است. مقادیر مثبت برای CRM نشان دهنده‌ی برآورد کم‌تر مدل و مقادیر منفی CRM به معنی برآورد بیش‌تر مدل نسبت به اندازه گیری‌ها است. در بررسی ضرایب تعیین (R^2) برای تیمارهای مختلف می‌توان روند خاصی را مشاهده نمود. برای مثال ضرایب تعیین (R^2) برای پیش‌بینی رطوبت در تیمار آبی I۳ (تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) برای سه سطح شوری S۱، S۲, S۳ به ترتیب معادل ۰/۹۵و ۰/۹۴ و ۰/۹۱، مقدار EF برابر ۰/۹۲، ۰/۸۷ و ۰/۶۴ و RMSE برابر ۰/۹۳، ۱/۰۸ و ۱/۳۷ می‌باشد و بیانگر آن است که در سطح آبیاری I۳ با افزایش شوری از سطح S۱ به S۳ از کارایی مدل در پیش‌بینی رطوبت کاسته می‌شود. در تیمارهای شور، مقادیر منفی CRM نشان می‌دهد با افزایش شوری آب آبیاری مقادیر برآورد شده رطوبت توسط مدل، کم‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. این روند برای سطح آبیاری I۴ (تامین ۱۲۵ درصد آب موردنیاز) و I۲ (تامین ۷۵ درصد آب موردنیاز) صادق است. بنابراین می‌توان گفت که مدل SWAP برای تیمارهای آبیاری کامل (I۳) و پرآبیاری (I۴) و در تیمارهای شور عموما مدل رطوبت خاک را کم‌تر برآورد می‌کند. این اختلاف جزیی ناشی از شرایط واقعی است، همان‌طور که قبلا توضیح داده شد، هرچه شوری خاک بیش‌تر شود، گیاه آب کم‌تری جذب خواهد نمود. بنابراین در این شرایط رطوبت بیش‌تری در خاک باقی می‌ماند و آب مازاد نیز زهکشی می‌شود. اما چنان‌که در بررسی ضرایب تعیین برای تیمار تحت تنش آبی (I۱) مشاهده می‌گردد، افزایش شوری باعث افزایش کارآیی مدل به مقدار جزیی گردیده است. البته با توجه به مقادیر منفی CRM، در تیمارهای تحت تنش آبی نیز در سطح شوری بالا، مدل SWAP رطوبت خاک را کم‌تر از مقدار واقعی برآورد می‌کند.

جدول ٦ – مقدار شاخص‌های آماری برای تعیین قابل اعتماد بودن مدل برای پیش‌بینی رطوبت و شوری خاک

تیمار		رطوبت حجمی(٪)				شوری (dS/m)			
شوری	آبیاری	R^2	RMSE	EF	CRM	R^2	RMSE	EF	CRM
S_1	I_1 (۵۰ ٪ نیاز آبی)	۰/۶۹	۲/۵۸	۰/۱۲	۰/۰۰۷	۰/۶۲	۰/۶۴۱	۰/۵۹۲	-۰/۰۹۱
	I_2 (۷۵٪ نیاز آبی)	۰/۸۵	۱/۷	۰/۷۵	-۰/۰۱۶	۰/۷	۰/۶۶	۰/۶۸	-۰/۰۳۲
	I_3 (آبیاری کامل)	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۰۱۵	۰/۷۷	۰/۴۸	۰/۶۸۷	۰/۰۵۷۸
	I_4 (۱۲۵٪ نیاز آبی) (پرآبیاری)	۰/۸۱	۱/۲۱	۰/۸۷	۰/۰۱۶	۰/۵۸	۰/۹۲۶	-۱/۰۳	۰/۰۱۴۶
S_2	I_1 (۵۰ ٪ نیاز آبی)	۰/۷۲	۲/۰۹۶	۰/۱۶	۰/۰۱۰۹	۰/۶۴	۰/۵۶۳	۰/۹۰۸	-۰/۰۵۳۸
	I_2 (۷۵٪ نیاز آبی)	۰/۸۲	۱/۷۵	۰/۶۴	-۰/۰۱۹	۰/۷۳	۰/۴۶۳	۰/۷۷۵	-۰/۰۱۷۹
	I_3 (آبیاری کامل)	۰/۹۴	۱/۰۸	۰/۸۷	-۰/۰۲۶	۰/۸۲	۰/۴۷۳	/۶۹	-۰/۰۱۴۷
	I_4 (۱۲۵٪ نیاز آبی) (پرآبیاری)	۰/۷۴	۲/۰۸	۰/۵۷	-۰/۰۲۲۱	۰/۶۷	۰/۳۴۳	۰/۵۹	۰/۰۱۴۲
S_3	I_1 (۵۰ ٪ نیاز آبی)	۰/۷۵	۱/۷۷	۰/۲۷۴	-۰/۰۲	۰/۸۴	۰/۲۵۵	۰/۹۱	-۰/۰۱۱۸
	I_2 (۷۵٪ نیاز آبی)	۰/۷۸	۱/۸۹۲	۰/۶۶	-۰/۰۴۴	۰/۸۷	۰/۴	۰/۸۸	-۰/۰۱۱
	I_3 (آبیاری کامل)	۰/۹۱	۱/۳۷	۰/۶۴	-۰/۰۳۱	۰/۹۱	۰/۳۱	۰/۸۳	-۰/۰۱۳۸
	I_4 (۱۲۵٪ نیاز آبی) (پرآبیاری)	۰/۷۱	۲/۰۶	-۰/۱۰۳	-۰/۰۲۶۴	۰/۹۴	۰/۳۰۴	۰/۹۶	-۰/۰۰۶۴۷

با توجه به جدول ضرایب تعیین، برای پیش‌بینی رطوبت در تیمار I۳ و شوری‌های مختلف بین ۰/۹۱ تا ۰/۹۵ برای تیمار I۴ بین ۰/۷۱ تا ۰/۸۱، برای تیمار I۲ بین ۰/۷۸ تا ۰/۸۵ و برای تیمار I۱ بین ۰/۶۹ تا ۰/۷۵ بدست آمده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بهترین برآوردهای مدل در برآورد رطوبت به ترتیب مربوط به تیمار I۳ (آبیاری ۱۰۰ درصد) و I۲ (۷۵ درصد نیاز آبی) بوده و برآوردهای ضعیف‌تر، مربوط به تیمار پرآبیاری I۴ و تیمار حداقل آبیاری I۱ (۵۰ درصد نیاز آبی) می‌باشد.

بررسی عملکرد مدل در برآورد شوری خاک نشان می‌دهد مقادیر (CRM) در بیش‌تر حالات منفی بدست می‌آید که بر این اساس در بیش‌تر حالات مقادیر شبیه‌سازی شده شوری کم‌تر از مقادیر اندازه-گیری شده است. این مورد به‌خصوص در تیمارهای شور و تحت تنش آبی بیش‌تر مشاهده می‌گردد. از دلایل عمده این اختلاف احتمالا به دلیل عدم انجام آب‌شویی در تیمارهای تحت تنش آبی است که سبب می‌شود تا پس از آبیاری به تدریج شوری و رطوبت در اثر تبخیر از سطح خاک، به سمت لایه‌های سطحی خاک حرکت کنند.

حداکثر ضریب تعیین (R^2 =۰/۹۴) ، شاخص کارایی (EF=۰/۹۶) و حداقل جذر میانگین مجذور خطا (RMSE=۰/۳۰۴) در تیمار پرآبیاری و با مقدار حداکثر شوری (S۳I۴) می‌باشد چرا که در این تیمار آب‌شویی انجام شده و یکنواختی بیش‌تر حاصل می‌شود. از طرفی در تیمار پرآبیاری (I۴) با افزایش شوری آب آبیاری از S۱ به S۳ ضریب تعیین نیز افزایش می‌یابد که این مطلب در مورد کلیه سطوح آبیاری (از I۱ تا I۴) و برای سطوح مختلف شوری (از S۱ تا S۳) صادق می‌باشد. به طوری‌که در همان تیمار I۴، حداقل ضریب تعیین (R^2) در سطح شوری S۱ برابر ۰/۵۸ می‌باشد. دلیل این امر که چرا با افزایش سطح شوری در کلیه تیمارهای آبی، ضریب تعیین افزایش می‌یابد را می‌توان چنین بیان نمود که، در سطوح شوری کم، بازه تغییرات شوری نیز کوچک است (شکل ۶). بنابراین در چنین شرایطی تغییر یکی از داده‌ها ممکن است مقدار ضریب تعیین به شدت تحت تاثیر قرار گیرد. گواه این امر (کم بودن R^2) در تیمارهای غیرشور اتفاق افتاده است. به عنوان مثال در تیمارهای S۱I۴ , S۱I۱ , S۱I۴ , S۱I۳ که دارای حداقل‌های ضریب تعیین به ترتیب برابر با ۰/۵۸، ۰/۶۲، ۰/۷ و ۰/۷۷ در تیمار آبی خود می‌باشند دامنه تغییرات شوری در عصاره اشباع خاک، به ترتیب در حدود ۴/۲–۳/۲۵، ۴/۶–۲، ۴/۷۵–۲/۶ و ۴/۴–۲/۵ دسی زیمنس بر متر در نوسان است و چون دامنه این نوسانات کم است، تغییر در داده‌ها در نوسانات کم می‌تواند عامل پایین آمدن ضریب تعیین باشد.

اگر میانگین‌های ضرایب تعیین مربوط به سطوح شوری مختلف را در هر تیمار آبی محاسبه نماییم به ارقام ۰/۸۳، ۰/۷۷، ۰/۷۳، ۰/۷۰ به ترتیب مربوط به تیمارهای I۱ ,I۴,I۲,I۳ خواهیم رسید و این ارقام نشان می‌دهد که مدل SWAP در شرایط آبیاری کامل (I۳) حداکثر تطابق و در شرایط بیش‌ترین تنش آبی (I۱) حداقل تطابق را نشان می‌دهد. در خصوص تیمارهای I۴,I۲ نیز ملاحظه می‌گردد که تطابق بیش‌تر در تیمار I۲ رخ داده است. بنابراین می‌توان گفت که این مدل در شرایط آبیاری کامل (I۳) و آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی (I۲) تطابق مطلوب تری (برای داده‌های شوری) داشته و در شرایط پرآبیاری (I۴) و کم‌آبیاری شدید (I۱) کارایی پایین‌تری دارد.

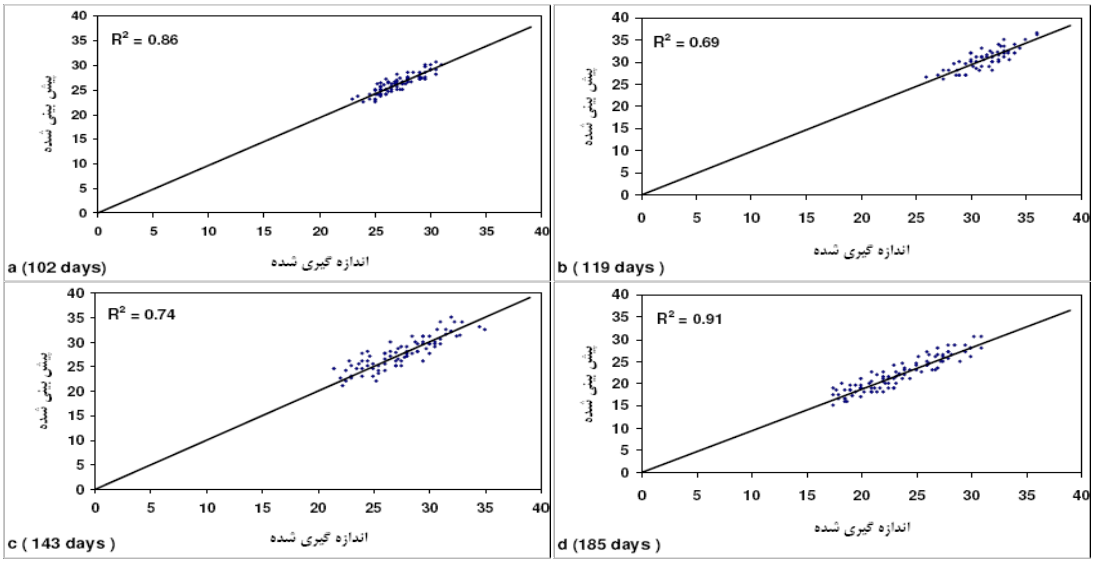
ارزیابی عملکرد مدل در برآورد مقادیر رطوبت و شوری در مراحل مختلف زمانی پس از کاشت

شکل‌های ۵ و ۶ ضریب تبیین (R^2) را برای مقادیر اندازه‌گیری شده شوری و رطوبت حجمی در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل SWAP برای چهار مرحله‌ی زمانی ۱۰۲، ۱۱۹، ۱۴۳ و ۱۸۵ روز پس از کاشت را نشان می‌دهد.

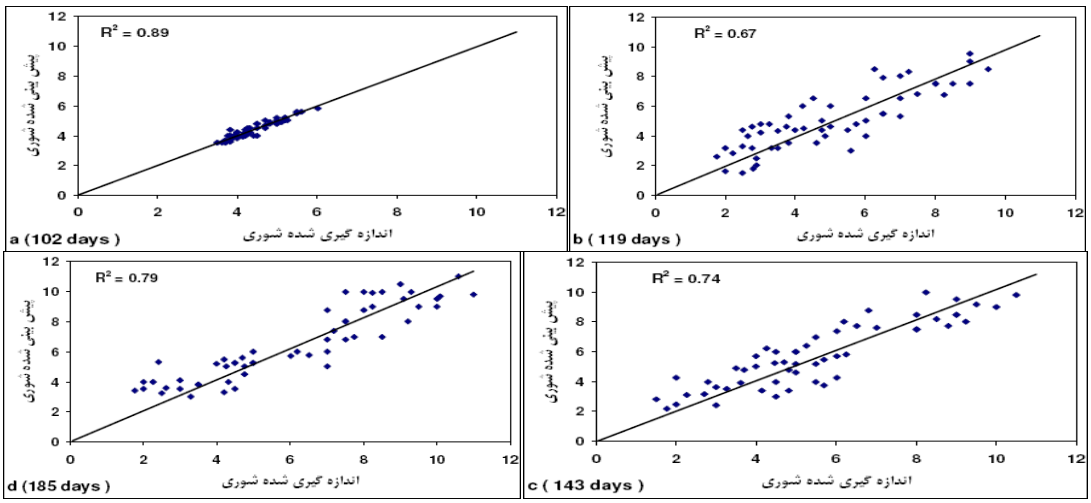
نتایج نشان می‌دهد که در طی فصل رشد، تغییرات متناوب شرایط آب و هوایی و نیز انجام آبیاری از کارایی مدل نسبت به شرایط نبود این تغییرات، تا حدی می‌کاهد. به طوری‌که در مرحله‌ی زمانی ۱۱۹ روز پس از کاشت که در واقع ۴۸ ساعت پس از آبیاری سوم می‌باشد، کم‌ترین تطابق با ضریب تعیین (R^2 =۰/۶۹) برای رطوبت و (R^2 =۰/۶۷) برای شوری خاک حاصل شده است. در مرحله زمانی ۱۴۳ روز پس از کاشت نیز که در فاصله زمانی بین آبیاری چهارم و پنجم واقع می‌شود، ضریب تعیین (R^2) برای رطوبت و شوری ۰/۷۴ بدست آمد و بررسی ضرایب تعیین نشان می‌دهد که دقت مدل در زمان‌های بعد از آبیاری یا بارندگی کم‌تر، از زمان‌های دیگر است.

ضرایب تعیین بدست آمده نشان می‌دهد که از نظر مرحله زمانی، بیش‌ترین تطابق مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت مربوط به زمان برداشت (۱۸۵ روز پس از کاشت) با ضریب تعیین (R^2) ۰/۹۱ می‌باشد و برای شوری با مقدار R^2=۰/۸۶ به مرحله زمانی ۱۰۲ روز پس از کاشت اختصاص یافته است و دلیل این تطابق بالاتر در دو مرحله زمانی مذکور این است که، آبیاری یا بارندگی صورت نگرفته است. این نتایج نشان می‌دهد که وقوع آبیاری یا بارندگی تا حدی از دقت مدل SWAP در برآورد توزیع رطوبت و شوری در پروفیل خاک می‌کاهد.

ملاحظه می‌شود ضرایب تعیین بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده رطوبت و شوری برای ۱۱۹ و ۱۴۳ روز پس از کاشت (که از نظر زمانی بعد از اعمال تیمارها است) کم‌تر از ضریب تعیین (R^2) برای ۱۰۲ روز پس از کاشت است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اعمال تیمارهای کم‌آبی و شوری باعث کاهش دقت مدل در پیش‌بینی رطوبت و شوری در مراحل زمانی مختلف بعد از کاشت گندم می‌شود.



شکل ۵- رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی رطوبت توسط مدل SWAP برای چهار مرحله‌ی زمانی a ,b ,c ,d (به ترتیب معادل ۱۰۲، ۱۱۹، ۱۴۳ و ۱۸۵ روز پس از کشت)



شکل ٦- مقادیر اندازه گیری شده شوری عصاره‌ی اشباع در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده شوری توسط مدل SWAP برای چهار مرحله‌ی زمانی a ,b ,c ,d (به ترتیب معادل ۱۰۲، ۱۱۹، ۱۴۳ و ۱۸۵ روز پس از کشت)

ارزیابی مدل SWAP در برآورد مقادیر رطوبت و شوری در اعماق مختلف خاک

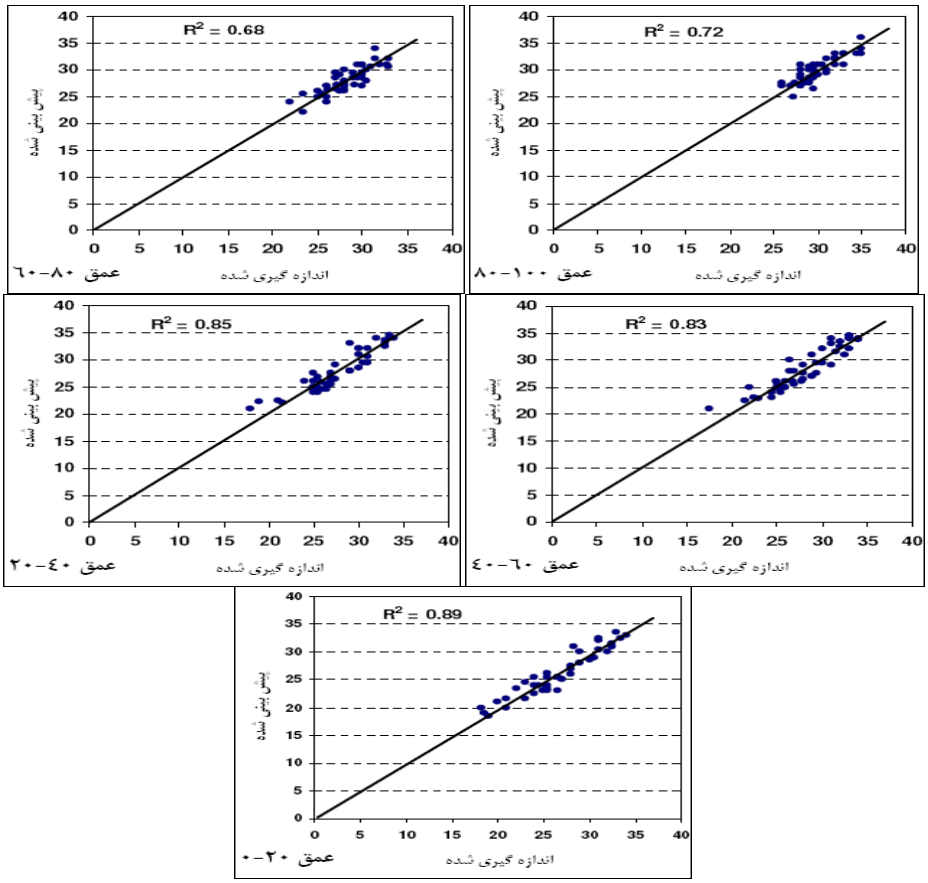
شکل‌های ۷ و ۸ به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت و شوری خاک را در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده در اعماق مختلف خاک، نشان می‌دهد. به طوری‌که ملاحظه می‌گردد، ضرایب تعیین بالاتر (۰/۸۹، ۰/۸۵، ۰/۸۳ برای رطوبت و ۰/۸۷، ۰/۸۱ و ۰/۷۷ برای شوری) مربوط به لایه‌های خاک سطحی و میانی (عمق‌های ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰ سانتی متر) است و ضرایب تعیین کم‌تر (۰/۷۲ و ۰/۶۸ برای رطوبت و ۰/۶۹ و ۰/۷۱ برای شوری) مربوط به لایه‌های عمقی خاک (۸۰-۶۰ و ۱۰۰-۸۰ سانتی‌متر) است.

ارزیابی کلی مدل SWAP در برآورد مقادیر رطوبت و شوری خاک

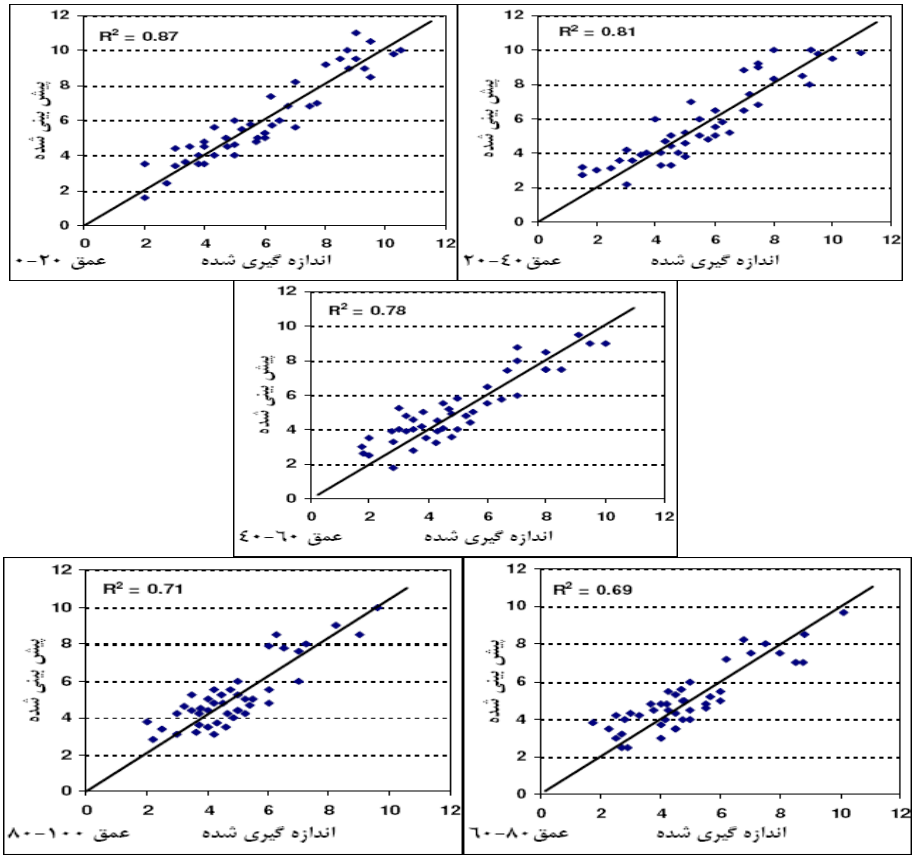
برای ارزیابی کلی مدل SWAP در خصوص سنجش شوری و رطوبت، کل داده‌های اندازه‌گیری شده شوری و رطوبت خاک (اعم از شوری و رطوبت در اعماق مختلف، تیمارهای مختلف و در زمان‌های مختلف) با مقادیر شبیه‌سازی شده در شکل ۹ مورد مقایسه قرار گرفتند. به طوری‌که در این شکل مشاهده می‌گردد ضریب تعیین داده‌ها (R^2) برای رطوبت برابر ۰/۸۰ و برای شوری برابر ۰/۹۱ بدست

آمد که در شرایط آزمایش و در مقیاس مزرعه‌ای تطابق مطلوبی را نشان می‌دهد. در این رابطه کیانی (۱۳۸۶) گزارش نمود که در شرایط مزرعه‌ای مدل SWAP مقادیر رطوبت و شوری خاک را به خوبی شبیه‌سازی نموده به طوری‌که در همه موارد ضرایب تبیین بالاتر از ۸۰ درصد بود. دروگرز و همکاران (۲۰۰۲) نیز مدل SWAP را در شبیه‌سازی رطوبت خاک برای دو گیاه پنبه و گندم مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها ضریب تعیین (R^2) را برای دو گیاه مذکور به ترتیب ۰/۸۲ و ۰/۹۰ برآورد کردند.

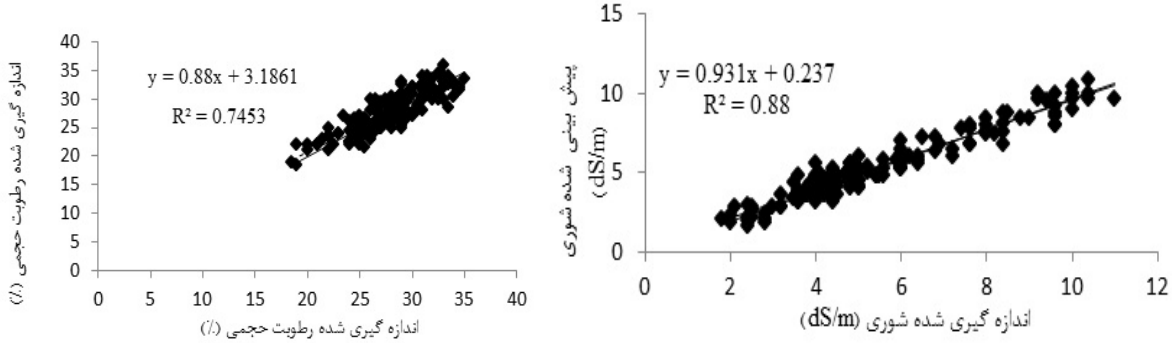
بخشی از اختلاف بین نیم‌رخ‌های مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده ممکن است ناشی از محدودیت‌های ذاتی مدل باشد. برای مثال، تاثیرات پدیده پس‌ماند رطوبت (Hysteresis) و جریان معبری آب از میان ماکروپورها در مدل منظور نشده است. این مکانیسم‌ها می‌توانند مقدار سرعت جریان آب به زیرعمق ۳۰ سانتی‌متر بعد از عمل نفوذ را تغییردهد. دلیل دیگر برای بی‌دقتی، ساده سازی‌های مرتبط با بعضی داده‌های ورودی است، به طورمثال، مقادیر روزانه بارندگی با این فرض، توسط مدل SWAP استفاده می‌شود که باران به طور یکنواخت در تمام طول روز توزیع شده بنابراین تاثیر الگوی واقعی باران در نفوذ و توزیع رطوبت نمی‌تواند به درستی بیان شود (شعبان‌پور شهرستانی و همکاران، ۱۳۷۹). عدم انطباق نتایج شبیه‌سازی و مشاهده‌ای شوری ممکن است به این دلیل باشد که SWAP در ارتباط با شبیه‌سازی تغییرات شوری در خاک، فقط از مکانیسم‌های جابه‌جایی و انتشار استفاده می‌کند و در این مدل از جذب توسط ریشه و ذرات خاک و انحلال صرف‌نظر شده است (شعبان‌پور شهرستانی و همکاران، ۱۳۷۹).



شکل ۷-رطوبت اندازه‌گیری شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی رطوبت توسط مدل SWAP (برای اعماق ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰، ۸۰-۶۰ و ۱۰۰-۸۰ سانتی‌متری از سطح خاک)



شکل ۸- شوری اندازه‌گیری شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شوری توسط مدل SWAP (برای اعماق ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰، ۸۰-۶۰ و ۱۰۰-۸۰ سانتی‌متری از سطح خاک)



شکل۹- مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت حجمی و شوری عصاره‌ی اشباع خاک در مقابل مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAP

نتیجه‌گیری

ارزیابی و واسنجی هر مدل رایانه‌ای مستلزم اجراهای مختلف و تغییر ضرایب موثر بر خروجی‌هاست. استفاده از این ضرایب بایستی متناسب با شرایط خاص اقلیمی - زراعی منطقه صورت پذیرد تا نتایج حاصله منطقی و قابل توجیه باشند.

نتایج این بررسی نشان داد که مدل SWAP درحد قابل‌قبولی توانسته است پروفیل رطوبت و شوری نیم‌رخ خاک را در زمان‌های مختلف به درستی پیش‌بینی کند. نتایج در کل نشان می‌دهد که علی‌رغم اختلاف بین پیش‌بینی مدل‌ها و مقادیر اندازه‌گیری شده شوری و رطوبت به‌خصوص در زمان‌های پس از آبیاری و بارندگی، مدل توانسته است روند کاهش شوری و رطوبت خاک را به خوبی پیش‌بینی نمایند. بر اساس نتایج این تحقیق اعمال تیمارهای کم‌آبی و شوری باعث کاهش دقت مدل در پیش‌بینی رطوبت و شوری در

مراحل زمانی مختلف پس از کاشت گندم می‌شود. در سطوح شوری بالا برای تیمارهای آبیاری کامل (I۳) و پرآبیاری (I۴) معمولا مدل رطوبت خاک را کم‌تر برآورد می‌کند. با کاهش شوری و به دست آمدن شرایط ماندگار در ارتباط با مقدار شوری نیم‌رخ خاک، پیش‌بینی مدل در برآورد رطوبت هم‌خوانی بیش‌تری با مقادیر اندازه‌گیری شده دارد و این می‌تواند از نظرکاربردهای کشاورزی مدل‌ها بسیار قابل توجه باشد. مقادیر شبیه‌سازی شده شوری توسط مدل در اکثر حالات کم‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده است. این مسئله در تیمارهای شور و تحت تنش آبیاری بارزتر است. بهترین برآوردها مربوط به داده‌های رطوبت و شوری توسط مدل، به ترتیب مربوط به تیمار I۳ (آبیاری کامل) و I۲ (۷۵ درصد نیاز آبی) بوده و برآوردهای ضعیف‌تر مربوط به تیمار پرآبیاری (I۴) و تیمار حداقل آبیاری (I۱) می‌باشد.

نتایج هم‌چنین نشان داد روند تغییرات دقت مدل در برآورد پروفیل رطوبت و شوری خاک، از سطح خاک به سمت عمق کاهشی است. با وجود تغییرات رطوبت و شوری خاک در اثر عوامل مختلف در لایه‌ی سطحی خاک، ضریب تعیین (R^2) بالا در لایه‌های نزدیک به سطح خاک، نشان دهنده‌ی کاربرد مطلوب مدل SWAP برای شبیه‌سازی رطوبت و شوری خاک می‌باشد. با توجه به نتایج این تحقیق، پیشنهاد می‌شود از مدل SWAP جهت شبیه‌سازی انتقال آب و املاح در خاک و ارزیابی اثرات بلندمدت آبیاری با آب شور در راستای بهبود برنامه‌ریزی آبیاری با آب شور در منطقه استفاده گردد.

منابع

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

خاکساری،و.، موسوی،س.ع.ا.، چراغی،س.ع.م.، کامکار حقیقی،ع.ا.، شاهرخ زند پارسا،.ش. ۱۳۸۵. ارزیابی مدل‌های رایانه‌ای SWAP و LEACHC در آب‌شویی املاح مزرعه‌ای املاح خاک در منطقه چاه افضل استان یزد. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۰. ۲: ۵۷-۶۸.

شعبان‌پور شهرستانی،م.، موسوی،س،ف.، افیونی،م.، سعادت،.س. ۱۳۷۹. انتقال برماید در شرایط مزرعه. مجله خاک و آب. ۱۴. ۱: ۹۲-۹۷.

شیرشاهی،ف.، بابازاده،ح.، کاوه،ف و امیری،ا. ۱۳۹۳. ارزیابی کارآیی مصرف آب و برآورد عملکرد گندم با استفاده از مدلSWAP در بخشی از شبکه‌ی آبیاری و زهکشی درودزن، مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۲۸. ۲: ۲۷۳-۲۸۳.کیانی،ا. ۱۳۸۴. بررسی اثر روش‌های کم‌آبیاری بر میزان تولید محصول گندم و نقش آن در مدیریت منابع آب در مناطق بیابانی بیرجند. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

کیانی،ع. ۱۳۸۶. استفاده از مدل SWAP در شبیه‌سازی انتقال آب، املاح و عملکرد نسبی گندم. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، بهمن‌ماه، دانشکده کشاورزی، دانشگاه باهنر کرمان.

عباسی،ف. ۱۳۸۶. فیزیک خاک پیشرفته، انتشارات دانشگاه تهران.

منصوری،ح.، مصطفی‌زاده،ب.، موسوی،س.ف.، .فیضی.م. ۱۳۸۶. استفاده از مدل SWAP به منظور بررسی تاثیر مدیریت آبیاری با آب شور بر رطوبت خاک منطقه رودشت اصفهان، نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. بهمن‌ماه، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

نحوی‌نیا،م.ج.، شهیدی،ع.، پارسی‌نژاد،م.، کریمی،ب. ۱۳۸۹. ارزیابی مدل SWAP در تخمین محصول گندم در شرایط کم‌آبیاری و شوری در منطقه بیرجند. مجله پژوهش آب ایران. ۶. ۴: ۴۳-۵۸.

وزیری،ژ. ۱۳۷۴. ارزیابی مدل‌های شوری زدایی خاک با آزمون مزرعه‌ای. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

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 Agricultural Water Management. 83. 1: 22-29.

Droogers,P and Torabi,M. 2002. Field scale scenarios for water and salinity management by simulation modeling. IAERI-IWMI Research Reports 12.

Droogers,P. 2000. Estimating actual evapotranspiration using a detailed agro hydrological model. Journal of hydrology. 229. 1:50-58.

Feddess,R.A., Van Dam,J.C and Hamdy,A. 1997. Modeling of water flow and salinity transport for irrigation management and drainage design. Voume 1. Keynote papers, Water management, salinity and pollution control towards sustainable irrigation in the meditranian Regions. CIHEAM International Conference. September, Valenzo, Bari, Italy.

Jiang,J., Feng,S., Huo,Z., Zhao,Z and Jia,B. 2011. Application of SWAP model to simulate water–salt transport under deficit irrigation with saline water. Mathematical and Computer Modelling. 45. 3: 902–911.

Huston,J.L and Wagenet,R.J. 1992. LEACHM (Learning Estimation and Chemistry Model): A process – based model of water and solute movment, transformation, plant uptake and chmical reactions

saline waters for sustaining Cotton-Wheat in a semi-arid area of north-west India. Journal Agricultural Water Management. 66.2: 153-162.

Smets.,S.M.P., Kuper,M., Van Dam,J.C and Feddes.,R.A. 1997. Salinazation and crop transpiration of irrigated fileds in Pakistans Punjab. Journal Agricultural Water Management. 35. 2: 43-60.

Szabolcs,H. 1989. Salt Affected Soils. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida.

Van Genuchten,M.Th. 1980. A closed from eqution for preceding the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal. 44. 5: 829-898.

Van Dam,J.C, Huygen,J., Wesseling,J.G., Feddes,R.A., Kabat,P., V.Van Walsum,P.E., Groenendijk,P and Van Diepen.,C.A. 1997. Theory of SWAP version 2.0. The Netherlands: Wageningen Agricultural University.

Verma,A.K., Gupta,S.K. and Isaac,R.K. 2012. Use of saline water for irrigation in monsoon climate and deep water table regions: simulation modeling with SWAP. Journal Agricultural Water Management. 115: 186–193.

in the unsaturated zone, Vers. 3.0 Department of Soil. Crop and Atmospheric Scinces. Cornel Univ., Ithaca, N.Y.

Huygen,J., Van Dam,J.C and Krose,J.G. 2000. Introduction to SwapGui, the Swap2.0 Graphical User Interface. Unpublished manual. Wageningen, etherlands. DLO-Staring Centre and Wageningen Agricultural University.

Kaledhonkar,M.J and Keshari,A.K. 2006. Regional salinity modeling for conjunctive water use planning in kheri command. Journal Irrigation and Drainage Engineering.132.4: 376-389.

Kroes,J.G and Van Dam,J. C. 2008. Reference manual SWAP version 3.2., Alterra Green World Research. Wagenningen.

Kumar,P., Sarangi,A., Singh,D.K., Parihar,S.S and Sahoo,R.N. 2015. Simulation of salt dynamics in the root zone and yield of wheat crop under irrigated saline regimes using SWAP model. Journal Agricultural Water Management. 148: 72–83.

Shani,U and Dudley,L.M. 2001. Field studies of crop response to water and salt stress. Soil Science Society of America Journal. 65: 1522-1528.

Singh,R. 2004. Simulation on direct and cyclic use of

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 12, Des.-Jan. 2018, p. 1174-1188

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۲، آذر - دی ۱۳۹۷، ص. ۱۱۸۸-۱۱۷۴

Assessment of SWAP Model in Estimating the Slinity and Soil Moisture Content (Case study: Birjand)

M.j. Nahvinia*[1], Behnam Moaveni[2], Ali Shahidi[3]
Recived: Apr.21, 2018 Accepted: Jul.16, 2018

Abstract

This study was conducted to evaluate of the agro-hydrological model SWAP3.03 for simulating soil moisture content and salinity under cultivation of Wheat varieties in terms of different qualities and quantities of Irrigation water during 2005-2006 growing season in the Research Field of University Birjand. Irrigation water was supplied from three local wells with different qualities namely 1.4, 4.5 and 9.6 ds/m. The model was initially calibrated with respect to the soil layers hydraulic and solute transportation parameters based on a study conducted in the research field. The results of this study showed that the seasonal average of soil moisture content and salinity distribution was more uniform in full irrigation and excess (125% ET) treatments in comparison to other treatments. Maximum no uniformity in soil moisture content and salinity was observed under water and salinity stress treatments. Deficit irrigation and saline treatments reduced the accuracy of model predictions in estimating of soil moisture content and salinity for various growing stages. Best model predictions were related to full irrigation (R^2 = 0.95 for salinity class S_1, R^2 = 0.94 for salinity class S_2, R^2 = 0.93 for salinity class S_3 in estimating the soil moisture content and R^2 = 0.77 for salinity class S_1, R^2 = 0.82 for salinity class S_2, R^2 = 0.91 for salinity class S_3 in estimating the salinity) and 75% ET treatments (R^2 = 0.85 for salinity class S_1, R^2 = 0.82 for salinity class S_2, R^2 = 0.78 for salinity class S_3 in estimating the soil moisture content and R^2 = 0.7 for salinity class S_1, R^2 = 0.73 for salinity class S_2, R^2 = 0.87 for salinity class S_3 in estimating the salinity). The trend of changes in accuracy of the model to estimating the soil moisture content and salinity was decreased towards deeper layers (R^2=0.89-0.72 for soil moisture content and R^2=0.87-0.71 for salinity). Despite of soil moisture content and salinity in upper layers of soil, high correlation coefficients (R^2= 0.89 and 0.87, for soil moisture content and salinity, respectively) indicated that SWAP is a dependable model for simulation of soil moisture content and salinity**.**

Keywords: Birjand, Irrigation depth, Moisture, Salinity, SWAP

1- Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Arak University
2- Graduated Master of Water Irrigation and drainage engineering , Shahrekord University
3- Associate Professor of Water Engineering Department Faculty of Agriculture, Birjand University
(*- Corresponding Author Email: Javad.nahvinia@gmail.com)