نشریه دانش آب و خاک / جلد24 شماره1 صفحه‌های 17 تا 27 / سال1393

ارزیابی مدل SWAP به منظور بررسی تاثیر آبیاری با آب شور بر رطوبت خاک (مطالعه موردی منطقه‌ی بیرجند)

علی شهیدی[1] ، محمد جواد نحوی نیا[2] ، اسماعیل مکاری قهرودی[3*] و مسعود پارسی نژاد[4]

تاریخ دریافت: 91/07/30 تاریخ پذیرش: 92/01/31

[1-] استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه بیرجند

[2-] دانشجوی دکتری گروه آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

[3-] دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

[4-] دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

[*]مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: esmaiil.mokari@gmail.com

چکیده

به منظور ارزیابی مدل اگروهیدرولوژیکی SWAP3.03 در شبیه‌سازی رطوبت خاک تحت کشت ارقام گندم در شرایط کیفیت و کمیت‌های مختلف آب آبیاری، آزمایشی بصورت فاکتوریل و در قالب طرح کرت‌های خرد شده اجرا شد. سطوح مختلف شوری (S_1،S_2 وS_3 بترتیب معادل 1/4، 4/5و 9/6 دسی زیمنس بر متر) بعنوان کرت‌های اصلی و دو رقم گندم قدس و روشن و چهار سطح آبیاری (I_1، I_2، I_3 و I_4 بترتیب معادل50، 75 ،100 و 125 در صد نیاز آبی گیاه)، به عنوان کرت‌های فرعی در سه تکرار در سال زراعی 85-1384 در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بیرجند اجراء گردید. نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل نشان داد که اعمال تیمارهای کم‌آبی و شوری باعث کاهش دقت مدل در پیش‌بینی رطوبت در مراحل زمانی مختلف پس از کاشت گندم گردید. بهترین برآورد داده‌های رطوبت توسط مدل، مربوط به تیمار آبیاری کامل (I_3) با RMSE بین 0/93 تا 1/37 درصد و برآورد ضعیف‌تر مربوط به تیمار با حداقل آبیاری (I_1) با RMSE بین 1/77 تا 2/58 درصد بود. با کاهش شوری پیش‌بینی مدل در برآورد رطوبت همخوانی بیشتری با مقادیر اندازه‌گیری شده داشت.

واژه‌های کلیدی: رطوبت، شوری، عمق آبیاری ، SWAP

Evaluation of SWAP Model for Considering the Effect of Irrigation with Saline Water on the Soil Water Content(A Case study: Birjand)

A Shahidi[1], MJ Nahvinia[2], E Mokari Ghahroodi[3*] and M Parsinejad[4]

Received: 21 October 2012 Accepted: 20 April 2013
[1-] Assist. Prof., of Dept. of Irrigation and Reclamation, Birjand Univ. Iran
[2-] Ph.D Student, Dept. of Irrigation and Reclamation, Univ. of Tehran. Iran
[3-] M.Sc Student, Dept. of Irrigation and Reclamation, Univ. of Tehran. Iran
[4-] Assoc. Prof., of Dept. of Irrigation and Reclamation, Univ. of Tehran. Iran
[*]Corresponding Author Email: esmaiil.mokari@gmail.com

Abstract

In order to evaluate the agro hydrological model of SWAP3.03 for estimating soil water content under different qualities and quantities of irrigation water, an experiment was carried out on wheat varieties with three replications during 2005-2006 growing season in the research Field of University of Birjand. The treatments consisted of three water qualities (1.4, 4.5, 9.6 dS/m), and four levels of irrigation (50, 75, 100 and 125 % of crop water requirement). Water deficit and saline irrigation treatments decreased the accuracy of the model prediction for various growing stages. The best and worst estimates of the soil water content by the model belonged to the full irrigation treatment (I_3) with RMSE values of 0.93 to 1.37 % and the least irrigation treatment (I_1) with RMSE values of 1.77 to 2.57 %, respectively. With decreasing salinity, there was greater agreement between the measured soil water content values and those predicted by the model.

Keywords: Irrigation depth, Soil water content, Salinity, SWAP

مقدمه

با توجه به رشد روزافزون جمعیت، نیاز به تولید محصولات غذایی بیشتر، بیش از پیش احساس می‌شود. کشاورزی به عنوان یکی از محوری‌ترین بخش‌ها در تأمین احتیاجات غذایی بشر مطرح است و درحال حاضر تقریباً یک سوم غذای جهان را تأمین می‌کند و انتظار می‌رود تا سال2040 میلادی این رقم به 50 درصد برسد. این افزایش تولید تنها از طریق افزایش سطح زیرکشت و یا بالابردن عملکرد در واحد سطح میسر است. سطح اراضی کره زمین 13/2 میلیارد هکتار می‌باشد که 7 میلیارد هکتار آن اراضی قابل کشت و 1/5 میلیارد هکتار تحت کشت است. از اراضی تحت کشت، حدود 0/34 میلیارد هکتار (23درصد) اراضی شور و 0/56 میلیارد هکتار (37درصد) خاک‌های سدیمی است (سازابولکز 1989). در ایران قریب به 50 درصد از اراضی که دارای استعداد کشاورزی آبی هستند، مبتلا به مسأله شوری می‌باشد (ابطحی 1380). 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 (دروگرز 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 1385). در سال‌های اخیر مدل‌های بسیاری برای مطالعه روند آبشویی املاح خاک ارائه شده است. یکی از این مدل‌ها مدل اگرو-هیدرولوژیکی SWAP می‌باشد که در سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته است. مدل SWAP یک 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 (هیوگن و همکاران 2000). هسته اصلی این مدل، شبیه‌سازی جریان عمودی آب در منطقه اشباع و غیراشباع می‌باشد که به وسیله معادله معروف ریچاردز تشریح می‌شود و شبیه‌سازی با ترکیب یک تابع نزولی نیمه تحلیلی انجام می‌گیرد (ون دام و همکاران 1997). توابع هیدرولیکی خاک به وسیله بیان‌های تحلیلی وان گنوختن و معلم و یا به وسیله مقادیر جدول‌بندی شده تعریف می‌شوند (ون گنوختن 1980). حل عددی معادله ریچاردز طوری تطبیق یافته که هم برای منطقه اشباع و هم برای منطقهٔ غیراشباع به کار می‌رود. SWAP یک مدل شبیه‌سازی بیلان آب و املاح در یک خاک زیرکشت یا آیش با انواع شرایط مرزی مختلف و با در نظر گرفتن وجود زهکشی مصنوعی و آبیاری است. مدل SWAP توسط محققین مختلف برای شبیه‌سازی آثار کمیّت و کیفیت آب آبیاری و شوری خاک (دروگرز و ترابی 2002)، مدیریت کمیّت و کیفیت آب آبیاری و شوری خاک (اسمت و همکاران 1997)، مورد استفاده قرارگرفته و مناسب تشخیص داده شده است. وظیفه‌دوست و همکاران (2008) به منظور افزایش بهروری آب محصولات گندم، آفتاب گردان، چغندر و ذرت علوفه‌ای، تحقیقی را به کمک مدلSWAP در شرایط محدودیت آب در منطقه برخوار اصفهان انجام داده و مدل را واسنجی نمودند. آنان پس از واسنجی مدل با تغییر عمق و دور آبیاری بهره‌وری آب را برای محصولات فوق بهینه کردند. براساس نتایج، مقدار بهره وری تعرق بترتیب 3/1،38/18، 0/33و 1/72 کیلوگرم بر متر مکعب برای گندم، آفتاب گردان، چغندر قند و ذرت علوفه‌ای بدست آمد. نوری (1389) از مدلSWAP برای تخمین عملکرد و بیلان آب و نمک در خاک در مقیاس مکانی مزرعه و شبکه‌ی آبیاری و زهکشی وشگیر در استان گلستان استفاده نمودند. نتایج ارزیابی مدل در این تحقیق نشان داد که مدل برای برآورد بیلان آب و نمک و عملکرد گندم و ذرت علوفه‌ای در شرایط توام شوری و خشکی کارایی مطلوبی دارد. با توجه به محدودیت منابع آبی در استان خراسان جنوبی که در منطقه خشک و نیمه خشک قرار دارد و قرار گرفتن حجم عظیمی از این آب ها در ردیف آب‌های شور و لب شور، انجام کم آبیاری با این گونه آب‌ها در دراز مدت می‌تواند خسارات جبران ناپذیری در خاک ایجاد نماید. بنابراین پایش توزیع رطوبت در پروفیل خاک برای برنامه‌ریزی صحیح در مدیریت آبیاری منطقه ضروری به نظر می‌رسد. لذا، این تحقیق به منظور ارزیابی و واسنجی مدل SWAP3.03 در برآورد پروفیل رطوبت با استفاده از آب شور در 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"53 و 32^0 شمالی و طول جغرافیایی"13 و ^{0} 55 شرقی و ارتفاع 1480 متر از سطح دریا، در سال زراعی 85-1384 اجرا گردید. قبل از کاشت گیاه گندم از اعماق مختلف خاک مزرعه جهت تعیین خصوصیات فیزیکی خاک نمونه-برداری شد (جدول1). منحنی خصوصیات رطوبتی

خاک با استفاده از اندازه‌گیری رطوبت خاک در مکش-های مختلف به کمک دستگاه صفحات فشاری و محفظه فشاری تعیین گردید. قالب طرح آزمایشی کرت‌های خرد شده به صورت فاکتوریل بود که در آن سطوح مختلف شوری (S_1،S_2 وS_3 بترتیب معادل 1/4، 4/5 و 9/6 دسی زیمنس بر متر) بعنوان کرت‌های اصلی و دو رقم گندم قدس و روشن و چهار سطح آبیاری (I_1، I_2، I_3 و I_4 بترتیب معادل50، 75 ،100 و 125 در صد نیاز آبی گیاه)، به عنوان کرت‌های فرعی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند اجراء گردید. برای تامین این هدف از سه حلقه چاه با شوری مختلف در مزرعه تحقیقاتی مورد نظر (با EC های از 1/4 تا 9/6 دسی زیمنس بر متر) استفاده شد. نتایج تجزیه و تحلیل سه حلقه چاه فوق الذکر در جدول 2 ارائه شده است. در جدول زیر منظور از c رس، L لوم و Si سیلت می‌باشد

جدول1- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی.

عمق خاک (cm)	pH	(EC_e) dS/m	جرم مخصوص ظاهری (g/cm^3)	بافت خاک	درصد ذرات خاک		
					شن	سیلت	رس
30 - 0	7/61	2/1	1/5	C-L	29/7	34/6	35/7
60 -30	7/72	2/7	1/45	Si-C-L	10/1	52/6	37/3
90 -60	7/78	2/9	1/39	Si-C-L	11/2	53/6	35/2

جدول 2- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب سه حلقه چاه مورد استفاده.

شماره چاه	(EC) dS/m	pH	SAR $(meq/L)^{0.5}$	کاتیون ها (mg/L)				آنیون ها (mg/L)			
				Ca^+	Mg^+	Na^+	K^+	Cl^-	HCO_3^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}
1	1/4	8/0	7/4	2/2	1/7	10/2	0/05	7/2	3/1	0	4/1
2	4/5	7/8	8/6	14/0	4/8	26/5	0/3	21/2	8/3	0	16/5
3	9/6	7/7	9/7	27/6	12/8	43/8	0/8	53/5	10/6	0	20/8

روش کاشت بصورت دستی در تاریخ 23 آبان 1384 انجام شد در پایان فصل ارقام گندم پس از رسیدگی فیزیولوژیکی (رقم قدس در تاریخ 21 اردیبهشت ماه و رقم روشن در تاریخ 28 اردیبهشت ماه 1385) برداشت گردید و اجزای عملکرد آن تعیین شد. در این مطالعه ابعاد کرت‌ها 4×3 (متر× متر) و فاصله کرت‌های فرعی50 سانتی‌متر و فاصله کرت‌های اصلی حداقل 4/5 متر در نظر گرفته شد. در هر کرت ده ردیف کاشت با فاصله 20 سانتی‌متر و طول 3 متر طوری کاشته شد که تراکم معمول 400 بوته گندم در متر مربع حاصل گردد. برای اعمال رژیم‌های مختلف آب، براساس کمبود رطوبت خاک(SMD) و با معیار قراردادن تیمار بدون تنش آبی و اعمال ضرایب هر تیمار از رابطه زیر استفاده شد (آلن و همکاران، 1998).

$$SMD = (W_{fc} - W_i) \times A_s \times D \times C \qquad [1]$$

که در آن: SMD= کمبود رطوبت خاک (mm)، W_{fc} , W_i = بترتیب درصد وزنی رطوبت در ظرفیت موجود خاک و ظرفیت زراعی مزرعه، A_s = وزن مخصوص ظاهری

خاک(g/cm^3)، D= عمق توسعه ریشه گیاه (mm) و C= ضرایب هر تیمار(%).

برنامه ریزی آبیاری این طرح شامل زمان‌بندی و مقدار هر آبیاری برای تیمارهای مختلف در جدول 3 آورده شده است.

جدول 3- زمان و مقدار آب مصرف شده در هر یک از تیمارهای آبیاری.

زمان آبیاری	تیمار اول (50% نیاز آبی) (mm)	تیمار دوم (75 % نیاز آبی) (mm)	تیمار سوم (100% نیاز آبی) (mm)	تیمار چهارم (125% نیاز آبی) (mm)
25 آبان 84	30	30	30	30
5 اسفند 84	35	53	70	87
19 اسفند 84	38	57	76	95
4 فروردین 85	45	68	91	114
27 فروردین 85	49	73	97	121
7 اردیبهشت 85	45	67	90	113
17 اردیبهشت 85	40	60	80	100

برای بدست آوردن رطوبت وزنی خاک در اثر اعمال تیمارهای آبیاری و مشخص نمودن تاثیر هر یک از تنش‌های ذکر شده در خاک در طی سال زراعی، از همه‌ی 72 کرت آزمایشی در پنج مرحله‌ی زمانی 102 روز پس از کاشت (یک روز قبل از آبیاری دوم که اولین آبیاری با اعمال تیمارهای کم آبیاری و شوری می-باشد)، 119 روز پس از کاشت (48 ساعت پس از آبیاری سوم)، 143 روز پس از کاشت (فاصله زمانی وسط بین دو آبیاری چهارم و پنجم) و 185 روز پس از کاشت (زمان برداشت گندم)، نمونه‌برداری شد و رطوبت آن به روش وزنی تا عمق یک متری (به ازای هر 20 سانتی‌متر یک نمونه) اندازه گیری و میانگین آن تعیین شد.

داده های ورودی مدل SWAP

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

اطلاعات اقلیمی: مدل تبخیر-تعرق پتانسیل را به وسیله معادله پنمن-مانتیث محاسبه کرده و به داده‌های هواشناسی مانند تابش خورشیدی، حداقل و حداکثر دمای روزانه، میانگین فشار بخار، ساعات آفتابی، میانگین سرعت باد در ارتفاع 2 متری و بارندگی روزانه نیاز دارد. این داده‌ها از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بیرجند (سازمان هواشناسی) که در فاصله 2 کیلومتری از محل انجام آزمایش قرار دارد تهیه شد.

اطلاعات خاکشناسی

پروفیل خاک به 3 لایه و 60 طبقه(زیر لایه) تقسیم‌بندی شد و مشخصات هر لایه از قبیل درصد ذرات تشکیل دهنده (بافت خاک)، محدودیت‌های نفوذ ریشه 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 هیرولیکی غیر اشباع، رطوبت و هدایت هیدرولیکی اشباع دارای معنی فیزیکی بوده و به روش گلف اندازه‌گیری شدند. برای به دست آوردن سایر ضرایب توابع هیدرولیکی خاک (λ، θ_{res}، α و n)، ابتدا با استفاده از مدل RETC یک تخمین اولیه صورت گرفت، به طوری که مشخصات هر لایه خاک ارائه شده در

جدول 1 مانند درصد ذرات تشکیل دهنده و چگالی ظاهری خاک به عنوان ورودی به مدل داده شد و مقادیر پارامترهای معادله معلم ون‌گنوختن شامل α و 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 1386).

پارامترهای آبیاری: اطلاعات ورودی به مدل عبارتند از تاریخ آبیاری، عمق آب آبیاری، میزان شوری آب آبیاری و روش آبیاری. با داده های جمع آوری شده در طول اجرای طرح برای هر کرت، یک فایل مشخصات آبیاری ایجاد شد. (72 فایل). بنابراین، توجه به سامانه آبیاری طراحی شده به ازای هر کرت در سطح مزرعه، ترکیب متفاوتی از کمیت و کیفیت آب آبیاری به دست آمد.

واسنجی مدل

جهت واسنجی مدل از اطلاعات طرح تحقیقاتی کیانی (1384) که در سال زراعی 80-1379 در محل اجرای طرح حاضر اجرا شده بود، استفاده شد. پارامترهای هیدرولیکی لایه‌های خاک (λ، θ_{res}، α و n) واسنجی شد. هدف حداقل کردن اختلاف رطوبت اندازه-گیری و شبیه‌سازی برای سه عمق 30-0، 60-30 و 90-60 سانتی‌متر در زمان برداشت بود. در جدول 4 مقادیر ورودی به کار در مدل رفته بعد واسنجی آمده است.

جدول 4- پارامترهای معادله ون گنوختن پس از واسنجی

عمق (cm)	n	(α/ 1/cm)	λ	θ_{res} ($cm^3.cm^{-3}$)
0-30	1/3861	0/0127	0/386	0/0819
30-60	1/4527	0/0096	0/453	0/0896
30-90	1/4835	0/0090	0/483	0/0893

شاخص های ارزیابی مدل

دراین پژوهش از شاخص‌های آماری شامل جذر میانگین مجذور خطا (RMSE)[1]، کارایی مدل کردن (EF)، ضریب جرم باقی مانده (CRM) و ضریب مناسب بودن برازش (R^2) برای ارزیابی کارایی مدل استفاده شد (بن اشر و همکاران 2006). این شاخص‌های آماری به صورت زیر محاسبه شدند.

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - Q_i)^2}{n}\right]^{1/2} \times 100 \qquad [۲]$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \overline{Q})^2 - \sum_{i=1}^{n}(P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \overline{Q})^2} \qquad [۳]$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i - \sum_{i=1}^{n} P_i}{\sum_{i=1}^{n} Q_i} \qquad [۴]$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \overline{Q})^2} \qquad [۵]$$

که در آنها Pi مقادیر رطوبت پیش‌بینی شده، Qi مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده (مشاهده‌ای)، n تعداد نمونه‌های به کار رفته، $\overline{Q}$ مقدار متوسط پارامتر رطوبت مشاهده شده می‌باشد.

مقدار RMSE نشان می‌دهد که تا چه حد اختلاف بین تک تک مقادیر پیش‌بینی شده نسبت به مقدار اندازه-گیری شده متناظر، صرف نظر از این که کمتر یا بیشتر باشد، وجود دارد. مقدار EF مقادیر شبیه سازی شده را نسبت به مقدار میانگین مشاهدات مقایسه می‌کند. درصورتی‌که تمام پیش‌بینی‌ها برابر با مشاهدات باشد، مقدارEF برابر با یک می‌شود. مقدارCRM نشان دهنده تمایل مدل برای برآورد بالاتر یا پایین‌تر در مقایسه با اندازه گیری‌ها می‌باشد. مقادیر مثبت برای CRM نشان دهندهٔ برآورد کمتر مدل و مقادیر منفی CRM به معنی برآورد بیشتر مدل نسبت به اندازه گیری‌ها است.

[1] Root mean square error

نتایج و بحث

ارزیابی عملکرد مدل SWAP در تیمارهای مختلف

برای بررسی بهتر نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل، شاخص‌های آماری برای هر تیمار در جدول5 ارائه شده است. در بررسی ضریب تعیین (R^2) برای تیمارهای مختلف می‌توان روند خاصی را مشاهده نمود. برای مثال ضریب تعیین (R^2) برای پیش‌بینی رطوبت در تیمار آبی I_3 (تامین 100 درصد نیاز آبی گیاه) برای سه سطح شوری S_1، S_2 وS_3 به ترتیب معادل 0/95و 0/94 و 0/91 ، مقدار EF برابر0/92، 0/87 و 0/64 و RMSE برابر 0/93، 1/08 و 1/37 درصد بودند و بیانگر آن است که در سطح آبیاری I_3 با افزایش شوری از سطح S_1 به S_3 از کارایی مدل در پیش بینی رطوبت کاسته می‌شود. در تیمارهای شور، مقادیر منفی CRM نشان می‌دهد که با افزایش شوری آب آبیاری مقادیر برآورد شده رطوبت توسط مدل، بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. این روند برای سطح آبیاری I_4 (تامین 125 درصد آب مورد نیاز) و I_2 (تامین 75 درصد آب مورد نیاز) نیز صادق است. بنابراین می‌توان گفت که مدل SWAP برای تیمارهای آبیاری کامل (I_3) و پرآبیاری (I_4) و در تیمارهای شور معمولاً مدل رطوبت خاک را بیشتر برآورد می کند. این اختلاف جزئی ناشی از این است که در شرایط واقعی، 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 (I_1) مشاهده می‌گردد، افزایش شوری باعث افزایش کارایی مدل گردیده است. البته با توجه به مقادیر منفی CRM، در تیمارهای تحت تنش آبی نیز در سطح شوری بالا، مدل SWAP رطوبت خاک را بیشتر از مقدار واقعی برآورد می کند.

با توجه به جدول 5، ضرایب RMSE برای پیش‌بینی رطوبت در تیمار I3 برای شوری‌های مختلف بین 0/93 تا 1/37، برای تیمار I4 بین1/21 تا 2/08، برای تیمار I2 بین 1/7 تا 1/89 و برای تیمار I1 بین1/77 تا2/58 بدست آمده است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که بهترین برآوردهای مدل در برآورد رطوبت به ترتیب مربوط به تیمار I3 (آبیاری 100 درصد) و I2 (75 درصد نیاز آبی) بوده و برآوردهای ضعیف‌تر، مربوط به تیمار پرآبیاری I_4 و تیمار حداقل آبیاری I_1 (50 درصد نیاز آبی) می باشد که این اختلاف‌ها در سطح 5 درصد معنی دار بود.

ارزیابی کارایی مدل در برآورد مقادیر رطوبت در مراحل مختلف زمانی پس از کاشت

شکل 1 ضریب تبیین و RMSE را برای مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت حجمی در مقابل مقادیر پیش بینی شده توسط مدل SWAP برای چهار مرحله زمانی 102،119، 143 و 185 روز پس از کاشت را نشان می-دهد. 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 می کاهد به طوری‌که در مرحله‌ی زمانی 119 روز پس از کاشت که در واقع 48 ساعت پس از آبیاری سوم می‌باشد، کمترین تطابق با ضریب تبیین (R^2 =0/69) و RMSE برابر 1/46 برای رطوبت خاک حاصل شده است. در مرحله زمانی 143 روز پس از کاشت نیز که در فاصله زمانی بین آبیاری چهارم و پنجم واقع می‌شود، ضریب تعیین(R^2) برای رطوبت 0/74 و RMSE برابر 1/17 بدست آمد. بررسی ضرایب تعیین و RMSE نشان می‌دهد که دقت مدل در زمان‌های بعد از آبیاری یا بارندگی کمتر از زمان های دیگر است. ضرایب تعیین و RMSE بدست آمده نشان می‌دهد که از نظر مرحله زمانی، بیشترین تطابق مدل با مقادیر اندازه گیری شده رطوبت مربوط به زمان برداشت (185 روز پس از کاشت) با ضریب تعیین (R^2) 0/901 و RMSE برابر 0/786می باشد. دلیل این تطابق بالاتر در مرحله

زمانی مذکور، این است که در این مرحله زمانی، 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 در پروفیل خاک می‌کاهد. ملاحظه می شود ضرایب تعیین بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده رطوبت برای 119 و 143 روز پس از کاشت (که از نظر زمانی بعد از اعمال تیمارها است) کمتر از ضریب تعیین (R^2) برای 102 روز پس از کاشت است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که اعمال تیمارهای کم آبی و شوری باعث کاهش دقت مدل در پیش‌بینی رطوبت در مراحل زمانی مختلف بعد از کاشت گندم می‌شود

جدول5 - مقدار شاخص‌های آماری برای تعیین قابلیت اعتماد نتایج مدل برای پیش‌بینی میانگین رطوبت خاک(دو رقم).

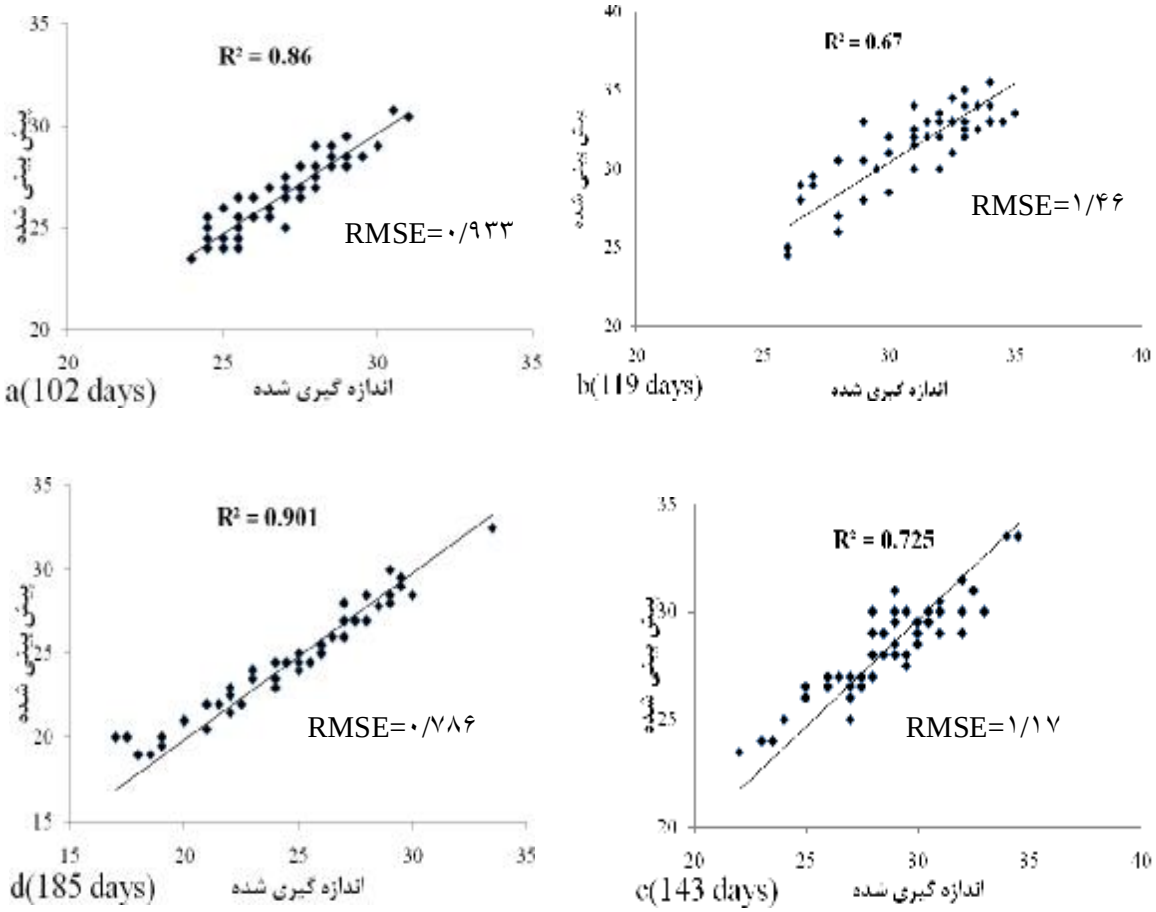
تیمار		رطوبت حجمی(%)			
شوری	آبیاری	R^2	RMSE (%)	EF	CRM
S_1	I_1 (50 % نیاز آبی)	0/69	2/58	0/12	0/007
	I_2 (75% نیاز آبی)	0/85	1/7	0/75	-0/016
	I_3 (آبیاری کامل)	0/95	0/93	0/92	0/015
	I_4 (125% نیاز آبی)	0/81	1/21	0/87	0/016
S_2	I_1 (50 % نیاز آبی)	0/72	2/096	0/16	0/0109
	I_2 (75% نیاز آبی)	0/82	1/75	0/64	-0/019
	I_3 (آبیاری کامل)	0/94	1/08	0/87	-0/026
	I_4 (125% نیاز آبی)	0/74	2/08	0/57	-0/0221
S_3	I1 (50 % نیاز آبی)	0/75	1/77	0/274	-0/02
	I2 (75% نیاز آبی)	0/78	1/892	0/66	-0/044
	I3 (آبیاری کامل)	0/91	1/37	0/64	-0/031
	I4 (125% نیاز آبی)	0/71	2/06	0/103	-0/0264

ارزیابی کلی مدل SWAP در برآورد مقادیر رطوبت خاک

برای ارزیابی کلی مدل SWAP در خصوص سنجش رطوبت کل داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت خاک (اعم از رطوبت در تیمارهای مختلف و در زمان‌های مختلف) با مقادیر شبیه‌سازی شده، از شاخص‌های آماری لازم استفاده شد (جدول 6). ضریب تبیین بین مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده توسط مدل SWAP در شکل 2 مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. به طوری‌که در این شکل مشاهده می‌گردد ضریب تعیین داده‌ها (R^2) برای رطوبت برابر 0/80 بدست آمده که در شرایط آزمایش و در مقیاس مزرعه‌ای تطابق مطلوبی را نشان می‌دهد. در این رابطه کیانی (1386) گزارش نمود که در شرایط مزرعه‌ای مدل SWAP مقادیر رطوبت خاک را به خوبی شبیه‌سازی نموده است به طوری‌که در همه موارد ضرایب تبیین بالاتر از 80 درصد بوده است. دروگرز و همکاران (2000) نیز مدل SWAP را در شبیه سازی رطوبت خاک برای دو گیاه پنبه و گندم مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها ضریب تبیین (R^2) را برای دو گیاه مذکور به ترتیب 0/82 و 0/90 برآورد کردند.

جدول 6- مقدار شاخص‌های آماری برای تعیین قابل اعتماد بودن نتایج مدل.

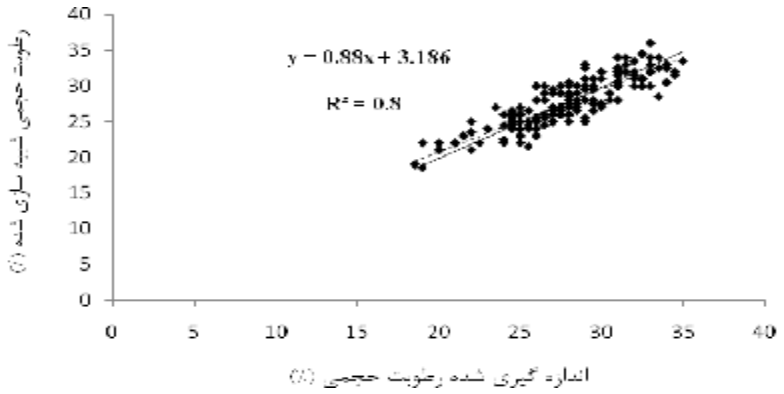
پارامتر	R^2	RMSE (%)	EF	CRM
رطوبت حجمی	0/8	1/77	0/74	0/006



شکل1- درصد رطوبت حجمی اندازه گیری شده در مقابل مقادیر پیش بینی رطوبت توسط مدل SWAP برای چهار مرحله‌ی زمانی d,c,b,a (به ترتیب معادل 102، 119، 143 و 185 روز پس از کشت).

مقدار RMSE جهت تخمین رطوبت برابر با (%)1/77 است که حکایت از برآورد خوب مدل دارد. مقدار شاخص EF بیانگر کارایی مدل در امر شبیه‌سازی است که مقدار آن برای رطوبت 0/74 به دست آمد که نشان می دهد مدل SWAP در شبیه‌سازی رطوبت در مقیاس مزرعه‌ای از کارایی نسبتا مطلوبی برخوردار است. شاخص CRM برای رطوبت حجمی 0/006 می‌باشد که نشانگر این مطلب است که مدل مقادیر رطوبت حجمی را در در اکثر موارد کمتر از مقادیر واقعی برآورد می‌کند. بخشی از اختلاف بین نیم رخ های مقادیر رطوبت اندازه گیری شده و پیش‌بینی شده ممکن است ناشی از محدودیت های ذاتی مدل باشد. برای مثال، تأثیرات پدیده پس‌ماند رطوبت و جریان معبری آب از میان خلل و فرج‌های بزرگ در مدل منظور نشده است. این

مکانیسم‌ها می‌تواند مقدار سرعت جریان آب به زیر عمق 30 سانتی متر بعد از عمل نفوذ را تغییر دهد. دلیل ممکن دیگر مربوط به بی دقتی، 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 درتمام طول روز توزیع شده بنابراین تأثیر الگوی واقعی باران در نفوذ و توزیع رطوبت نمی‌تواند به درستی بیان شود (شعبان پور شهرستانی و همکاران 1379).



شکل2- مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت خاک در مقابل مقادیر شبیه سازی شده توسط مدل SWAP.

نتیجه گیری کلی

ارزیابی و واسنجی هر مدل رایانه ای مستلزم اجراهای مختلف و تغییر ضرایب موثر بر خروجی‌ها می‌باشد. البته دامنه مجاز این ضرایب بایستی متناسب با شرایط خاص اقلیمی_زراعی منطقه اعمال گردد تا نتایج حاصله منطقی و قابل توجیه باشند. ملاحظه می-شود ضرایب تعیین بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده رطوبت برای 119 و 143 روز پس از کاشت (که از نظر زمانی بعد از اعمال تیمارها است) کمتر از ضریب تعیین (R^2) برای 102 روز پس از کاشت است. نتایج در کل نشان می‌دهد که علی‌رغم اختلاف بین پیش‌بینی مدل‌ها و مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت مخصوصاً در زمان‌های پس از آبیاری و بارندگی، مدل توانسته است روند کاهش رطوبت خاک را به خوبی پیش‌بینی نمایند. بر اساس نتایج این تحقیق اعمال تیمارهای کم‌آبی و شوری باعث کاهش دقت مدل در پیش‌بینی رطوبت در مراحل زمانی مختلف پس از کاشت گندم می‌شود. با کاهش شوری و به دست آمدن شرایط ماندگار در ارتباط با مقدار شوری نیم رخ خاک، پیش بینی مدل در برآورد رطوبت همخوانی بیشتری با مقادیر اندازه‌گیری شده دارد و این می‌تواند از نظر کاربردهای کشاورزی مدل‌ها بسیار قابل توجه باشد. بهترین برآورد داده‌های رطوبت توسط مدل، مربوط به تیمار I3 (آبیاری کامل) بوده و برآورد ضعیف‌تر مربوط به تیمار I1 (حداقل آبیاری) می‌باشد. با توجه به نتایج این تحقیق، پیشنهاد می‌شود از مدل SWAP جهت ارزیابی اثرات بلند مدت آبیاری با آب شور در راستای بهبود برنامه‌ریزی آبیاری در منطقه استفاده گردد.

منابع مورد استفاده

ابطحی ع، 1380. واکنش نهال دو رقم پسته نسبت به مقدار و نوع شوری خاک در شرایط گلخانه. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد5، شماره 2. صفحه‌های 93 تا 101.

خاکساری و، موسوی س ع ا، چراغی س ع م، کامگار حقیقی ع ا و شاهرخ زند پارسا ش، 1385. ارزیابی مدل‌های رایانه‌ای SWAP و LEACHC در آبشویی املاح مزرعه‌ای املاح خاک در منطقه چاه افضل استان یزد. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد 10، شماره 2. صفحه های 57 تا 68.

شعبان پور شهرستانی م، موسوی س ف، افیونی م و سعادت س، 1379. انتقال برماید در شرایط مزرعه. علوم خاک و آب. جلد14، شماره 1. صفحه های 92 تا 97.

کیانی ا، 1384. بررسی اثر روش های کم آبیاری بر میزان تولید محصول گندم و نقش آن در مدیریت منابع آب در مناطق بیابانی بیرجند. پایان نامه کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

کیانی ع، 1386. استفاده از مدل SWAP در شبیه‌سازی انتقال آب، املاح و عملکرد نسبی گندم. مجموعه مقالات نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. دانشگاه باهنر کرمان.

عباسی ف، 1386. فیزیک خاک پیشرفته. انتشارات دانشگاه تهران. 250 صفحه.

نوری ح، 1389. بهینه سازی مدیریت یکپارچه آب و زهاب کشاورزی در شبکه های آبیاری و زهکشی. رساله دکتری آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، 193 صفحه.

Allen RG, Pereira LS, Raes D, and Smith M, 1998. Crop Evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56.

Ben Asher JJ, Van Dam RA, Feddes RA and Jhorar RK, 2006. Irrigation of grapevines with saline water II: Mathematical simulation of vine growth and yield. Journal of Agricultural Water Management 83(1-2): 22-29.

Droogers P, 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 229:50-58.

Huygen J, Van Dam JC and Krose JG, 2000. Introduction to SwapGui, the Swap2.0 Graphical User Interface. Unpublished Manual. Wageningen, Netherlands. DLO-Staring Centre and Wageningen Agricultural University. 98p. Record No: H23829.

Smets SMP, Kuper M, Van Dam JC and Feddes RA, 1997. Salinazation and crop transpiration of irrigated fileds in Pakistans Punjab. Agriculture Water Management 35(1-2):43-60

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

Van Genuchten M, 1980. A closed from eqution for preceding the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci 44:829-898.

Van Dam JC, Huygen J, Wesseling JG, Feddes RA, Kabat P, Van Walsum PE V, Groenendijk P and Van Diepen CA, 1997. Theory of SWAP version 2.0. The Netherlands: Wageningen Agricultural University. Report 71; 167p.

Vazifedoust M, Van Dam JC, Feddes RA and Feizi M, 2008. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. Agriculture Water Management 95: 89-102.