ارزیابی مدل SWAP در برآورد عملکرد ذرت‌دانه‌ای در شرایط کم‌آبیاری

شهرام کریمی گوغری[1]* و رسول اسدی

استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان،
shkarimi1352@gmail.com
مدرس گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران؛
rakh_802@yahoo.com

چکیده

به‌منظور ارزیابی مدل SWAP، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با 4 تکرار که در آن 4 سطح آبیاری (60، 80 و 100 درصد نیاز آبی و آبیاری بر اساس عرف منطقه) و 3 رقم (سینگل کراس 404، 700 و 704) به‌ترتیب به‌عنوان فاکتور اصلی و فرعی در دو سال متوالی 1389 و 1390 در مزرعه آزمایشی حوپار استان کرمان انجام گردید. نتایج نشان داد که ضریب همبستگی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده عملکرد در دو سال آزمایش به‌ترتیب 0/99 و 0/998و برای شاخص سطح برگ به‌ترتیب 0/86 و 0/87 می‌باشد. شبیه‌سازی مدل در برآورد عملکرد با توجه به مقادیر مختلف آب مصرفی و شوری آب، 4 دسی‌زیمنس بر متر، نشان داد که بیشترین عملکرد نسبی،77 درصد با مصرف آب 11000 مترمکعب در هکتار می‌باشد. هم‌چنین بررسی شوری‌های مختلف نیز میزان کاهش محصول را، به ازاء افزایش 2 دسی‌زیمنس بر متر سطح شوری، 7 درصد نشان داد. با توجه به شاخص‌های آماری ارائه شده در تحقیق، مدل SWAP توانسته است پارامترهای اندازه‌گیری را به خوبی شبیه‌سازی کند. بنابراین از این مدل می‌توان با دقت نسبتاً مناسبی در منطقه مورد مطالعه برای مدیریت آبیاری استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: عملکرد محصول، شاخص سطح برگ، شوری آب، ذرت‌دانه‌ای

مقدمه

کمبود آب برای زندگی انسان بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک و در کشورهای در حال توسعه به صورت یک تهدید واقعی نمایان شده است. رشد جمعیت و از طرفی بالا رفتن استانداردهای زندگی باعث افزایش مصرف آب گشته و از آنجا که مقدار آب جمعیت و از طرفی بالا رفتن استانداردهای زندگی باعث افزایش مصرف آب گشته و از آنجا که مقدار آب مورد استفاده در بخش کشاورزی مهم و قابل توجه است، صرفه‌جویی در آب استفاده شده این بخش، امکان‌پذیر و به‌عنوان راه‌کاری جهت مرتفع شدن مشکل کمبود آب، موثر می‌باشد. قرار گرفتن بیشتر نقاط ایران

آدرس نویسنده مسؤول: کرمان-بزرگ راه امام خمینی(ره) میدان پژوهش، دانشگاه شهید باهنر ، دانشکده کشاورزی، بخش مهندسی آب، کد پستی 767691411

* دریافت: تیر، 1391 و پذیرش: شهریور، 1391

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، باعث شده است که آب، مهم‌ترین عامل محدودیت در افزایش تولیدات کشاورزی حساب گردد (6).

آبیاری سطحی یکی از متداول‌ترین روش‌های آبیاری است که به دلیل ارزانی، سادگی و عدم نیاز به فن‌آوری بالا در بین زارعین کاربرد وسیعی دارد. با توجه به روند افزایش هزینه‌های سرمایه‌ای سیستم‌های آبیاری تحت فشار و هزینه انرژی، امروزه کشورهای صنعتی به‌منظورکاهش این هزینه‌ها اقدامات مؤثری در بالا بردن راندمان و خودکار کردن روش‌های آبیاری سطحی بعمل آورده‌اند.

استان کرمان با متوسط بارندگی 145 و تبخیر سالیانه 1700 میلی‌متر، به‌رغم توسعه انواع روش‌های تحت فشار در دهه‌های اخیر، بیش از 94 درصد اراضی به روش سطحی آبیاری می‌گردند. این در حالی است که 98 درصد منابع آب استان که عمده آن در بخش کشاورزی مصرف می‌شود، از آب‌های زیرزمینی تأمین شده و حدود 800 میلیون مترمکعب بیش از توان سفره‌ها است (4).

توجه به بهبود و اصلاح انواع روش‌های آبیاری سطحی و نیز مکانیزه کردن این روش‌ها برای افزایش راندمان آبیاری و بالا بردن یکنواختی توزیع آب در سطح مزرعه از اهمیت خاصی برخوردار است.

از طرف دیگر؛ در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آبیاری، زهکشی و کنترل شرایط شوری آب و خاک نقش اساسی در رسیدن به تولید قابل قبول در اراضی فاریاب دارند. هم‌چنین به‌دلیل وجود شور بودن آب‌های زیرزمینی در اعماق کم این مناطق و محدودیت منابع آب آبیاری که عموماً شور یا لب‌شور هستند، گیاهان موجود در این مناطق به‌طور طبیعی تحت تأثیر توأم تنش‌های خشکی و شوری قرار می‌گیرند (3).

مطالعات مزرعه‌ای و صحرایی به‌منظور بررسی مدیریت آبیاری و شوری و تأثیر آن‌ها بر عملکرد تولید بسیار سودمند می‌باشد لیکن نتایج حاصل از این مطالعات به شرایط فیزیکی و مدیریتی که بررسی در آن انجام می‌گردد، محدود می‌شود. هم‌چنین مطالعات مزرعه‌ای معمولاً اثرات بلند مدت مدیریت‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و شوری خاک محصول را در نظر نمی‌گیرد و گزینه‌های مدیریتی که به‌وسیله مطالعات صحرایی بررسی می‌شوند، به‌دلیل زمان‌بر بودن و نبودن منابع مالی و انسانی کافی محدود می‌گردند (14). به‌عبارتی به‌منظور برآورد دقیق توابع تولید، نیاز به دامنه گسترده‌ای از داده می‌باشد که با توجه به محدودیت تیمارها در آزمایشات مزرعه‌ای، برآورد چنین توابعی با محدودیت روبرو خواهد شد (16).

استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی، محدودیت‌های موجود در تحقیقات صحرایی را تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد و می‌توانند ابزار توانمندی در بررسی سناریوهای مختلف و انتخاب شیوه مدیریت مناسب آب، به‌خصوص در شرایط کمبود آب باشند (21). دقت حاصل از مدل‌های شبیه‌سازی، به‌دقت داده‌های مورد نیاز بستگی دارد و در صورتی که به‌درستی واسنجی گردند، این مدل‌ها می‌توانند بدون محدودیت‌های مکانی و زمانی موجود در تحقیقات صحرایی و صرف هزینه و زمان کمتر جهت ارزیابی مدیریت‌های مختلف آبیاری و اثرات دراز مدت این مدیریت‌ها به‌کار گرفته شوند (26).

در چند دهه گذشته مدل‌های اگروهیدرولوژیکی متعددی از جمله مدل SWAP[1]، به‌منظور شبیه‌سازی رشد گیاه و حرکت آب و نمک در خاک تدوین گردیده است (16)، و در مناطق مختلف جهان از جمله ایران مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج مطلوبی در مقایسه با اندازه-گیری‌های صحرایی داشته است.

خانی و همکاران (12)، به‌منظور ارزیابی مدل SWAP در برآورد عملکرد چغندرقند تحت شرایط کمیت و کیفیت‌های مختلف آب آبیاری، آزمایشی در استان خراسان رضوی انجام دادند. نتایج نشان داد که روند کلی

[1] . Soil, Water, Atmosphere and Plant

تغییرات عملکرد شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل در مقادیر مختلف آب آبیاری بر روند تغییرات عملکرد اندازه‌گیری شده در مزرعه کاملاً مطابقت دارد و برآورد حداکثر محصول در هر دو روش، با مصرف 950 میلی‌متر آب آبیاری در طول فصل رشد بود. هم‌چنین ضریب همبستگی عملکرد شبیه‌سازی شده توسط مدل و عملکرد اندازه‌گیری شده در مزرعه، 0/83 به‌دست آمد که از لحاظ آماری معنی‌دار بود.

قهرمان و همکاران (9)، عملکرد شبیه‌سازی شده گندم و جو توسط مدل SWAP93 را با مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه مقایسه کردند. نتایج نشان دادند که در فرآیند شبیه‌سازی پارامترهای شاخص سطح برگ و هدایت هیدرولیکی اشباع تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد دارند.

بررسی اثر مدیریت آبیاری در کشت پنبه و گندم و بهره‌وری مصرف آب در شرایط کمبود آب با شوری مناسب توسط مدل SWAP در هند انجام گردید. نتایج بدست آمده نشان داد که مدل در شبیه‌سازی اثرات کاهش آب بر عملکرد تولید و بهره‌وری مصرف آب به‌خوبی عمل می‌کند (25).

یوتست و همکاران (24)، مدل SWAP را برای شبیه‌سازی مصرف آب چغندرقند در شرایط آب و هوایی مدیترانه مورد واسنجی قرار دادند. نتایج آماری نشان دهنده ضریب همبستگی، 0/75 بین مقادیر آب مصرفی شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده محصول مورد نظر بود. دروگرز و همکاران (8)، در ارزیابی تأثیر کمیت و کیفیت آب آبیاری بر شوری خاک و عملکرد گیاه پنبه با استفاده از مدل SWAP، به این نتیجه رسیدند که عملکرد پنبه با کاربرد 900 میلی‌متر آب با شوری 4 دسی‌زیمنس بر متر، برابر با 66 درصد عملکرد پتانسیل می‌باشد. در حالی که اگر سطح شوری آب به 1 یا 2 دسی‌زیمنس بر متر کاهش یابد، عملکرد به ترتیب برابر با 73 و 77 درصد عملکرد پتانسیل می‌شود.

روئیز و یوتست (19)، در ارزیابی مدل SWAP به این نتیجه رسیدند که در صورت واسنجی مدل، عملکرد شبیه‌سازی شده با عملکرد اندازه‌گیری شده، انطباق خوبی دارند، این در صورتی است که ضریب همبستگی بین خروجی مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده قبل از واسنجی 0/4 بود.

بررسی سابقه بکارگیری مدل SWAP نشان داد، که مدل برای شبیه‌سازی عملکرد و پارامترهای بیلان آب در خاک، از قابلیت مطلوبی برخوردار است. ارزیابی توانایی مدل در برآورد عملکرد در شرایط توأم محدودیت آب و شوری و در حضور سطح ایستابی کم‌عمق و شور به‌عنوان یکی از شرایط معمول در بسیاری از اراضی فاریاب ایران، ار اهمیت زیادی برخوردار است.

در این تحقیق کارایی مدل اگروهیدرولوژیکی SWAP در برآورد عملکرد ذرت‌دانه‌ای و بهبود بهره‌وری مصرف آب با توجه به عوامل مدیریتی مختلف و تعیین بهترین و کارآمدترین میزان آب مصرفی در زراعت ذرت‌دانه‌ای در روش آبیاری سطحی، هم‌چنین اثر شوری آب بر عملکرد محصول نیز مورد ارزیابی قرارگرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه اجرای طرح

این تحقیق در دو سال زراعی 89-88 و 90-89 در مزرعه تحقیقاتی شهرستان جوپار استان کرمان اجرا گردید. منطقه جوپار در 20 کیلومتری جنوب‌شرقی شهر کرمان و در محدوده جغرافیایی ´۳ °30 عرض شمالی و´۷ °57 طول شرقی واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا 1893 متر می‌باشد.

اقلیم منطقه نیمه‌بیابانی خفیف بوده و در زمره نواحی گرم محسوب می‌شود. میانگین بارندگی در این منطقه در حدود 70 میلی‌متر در سال می‌باشد (2).

روش اجرا

به‌منظور ارزیابی مدل SWAP در برآورد عملکرد ذرت‌دانه‌ای در شرایط کم‌آبیاری با استفاده از سیستم آبیاری سطحی، آزمایشی در قالب اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در 4 تکرار در دو سال زراعی 89-88 و 90-89 به اجرا در آمد. در این آزمایش 4 سطح آبیاری (100، 80 و 60 درصد نیاز آبی و عرف منطقه) و سه رقم (سینگل کراس 404، 700 و 704) به‌ترتیب به‌عنوان عامل‌های اصلی و فرعی، اعمال گردید. در این آزمایش فاصله بین تکرارهای آزمایش 3 متر و هر کرت اصلی شامل 15 خط کشت و هر کرت فرعی شامل 5 خط کشت به فاصله 75 سانتی‌متر و به طول 12 متر بود.

نیاز آبی خالص گیاه با استفاده از فرمول پنمن-مونتیت اصلاح شده توسط فائو و اعمال ضریب گیاهی تعیین گردید. پارامترهای مربوط به فرمول پنمن- مونتیت از ایستگاه هواشناسی حاجی آباد (در استان هرمزگان)، اخذ گردید و ضریب گیاهی با استفاده از دستورالعمل نشریه شماره 24 فائو (7) تعیین شد. هم‌چنین دور آبیاری برای همهٔ تیمارها با توجه به عرف منطقه هر 9 روز یک بار و مقدار آب ورودی به هر کرت با استفاده از کنتور حجمی اندازه‌گیری و متناسب با تیمار مورد نظر در اختیار گیاه قرار گرفت. برای آبیاری تیمار عرف منطقه از زارعین منطقه جهت آبیاری کمک گرفته شد و هر زمان که زارعین زمان خاتمه آبیاری را اعلام می‌کردند، آبیاری خاتمه یافت و حجم آب یادداشت گردید.

جدول‌های 1 برخی خصوصیت‌های شیمیایی آب استفاده شده را نشان می‌دهد. مقدار کود شیمیایی براساس آزمون خاک و توصیه کودی آزمایشگاه خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، 450 کیلوگرم اوره، 150 کیلوگرم سوپرفسفات تریبل و 100 کیلوگرم پتاسیم بود که تمامی کود فسفاته و یک سوم کود ازته در زمان کاشت و مابقی کود ازته در مرحله 7 برگی شدن ذرت استفاده گردید.

جدول 1- برخی خصوصیت‌های شیمیایی آب عرصه موردمطالعه

pH	EC (dS/m)	آنیون‌ها (mEq/L)				کاتیون‌ها (mEq/L)					
		CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	$SO4^{2-}$	Mg^{2+}	Ca^{2+}	K^+	Na^+	Fe^{2+}	Mn^{2+}
7/1	4	-	5/2	57/2	41	21/4	13/4	-	69	0/078	0/014

توصیف مدل

SWAP یک مدل اگروهیدرولوژیکی بسیار جامع برای انتقال آب، گرما و محلول در محیط اشباع و غیراشباع می‌باشد. این مدل شامل زیر مدل‌های فیزیکی برای شبیه‌سازی عملیات آبیاری و رشد گیاه است که برای شبیه‌سازی تولید محصول بسیار انعطاف‌پذیر می‌باشد. در این مدل حرکت آب بر اساس معادله ریچاردز که ترکیبی از معادله دارسی و پیوستگی است، شبیه‌سازی می‌شود و مدل قادر به پیش‌بینی رژیم شوری خاک در شرایط مدیریتی مختلف است.

با استفاده از معادله ریچاردز و محاسبه آب جذب شده توسط ریشه گیاه، مقدار محصول تحت تنش‌های آبی و شوری برآورد می‌شود. لازم به ذکر است که تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه و بر اساس روش استاندارد فائو پنمن مانتیث محاسبه می‌شود (27)، رابطه 1 این مدل را توصیف می‌نماید:

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

که در این رابطه: h: بار فشاری رطوبتی خاک (cm)، z: محور قائم (cm)، t:زمان (day)، K: هدایت هیدرولیکی

غیراشباع ($cm.d^{-1}$)، θ: درصد حجمی رطوبت خاک (cm^3cm^{-3})، S" میزان جذب آب توسط ریشه‌ها (d^{-1}).

مدل SWAP، این امکان را فراهم می‌سازد که برای حل معادله فوق، خاک حداکثر به 40 طبقه در 5 لایه مختلف تقسیم گردد. گام زمانی انتگرال‌گیری به‌صورت خودکار و بر اساس میزان S(h) و تغییرات شارهای جریان مابین طبقات مختلف تعیین می‌شود. پارامتر S(h) میزان جذب آب توسط ریشه‌ها را شبیه‌سازی می‌کند (رابطه 2) و بستگی به بار فشاری رطوبت خاک و حداکثر نرخ جذب آب دارد (27).

$$S(h)=\alpha(h)S_{\max} \qquad (2)$$

که در این رابطه: $\alpha(h)$: ضریب کاهش، S_{max}: حداکثر نرخ جذب آب ریشه‌ها (d^{-1}). در این معادله فرض شده است حداکثر نرخ جذب آب ریشه‌ها به صورت یکنواخت در عمق موثر ریشه‌ها توزیع گردد (رابطه 3) (27):

$$S_{\max}=\frac{T_p}{Z} \qquad (3)$$

در این رابطه: T_p: نرخ تعرق پتانسیل (md^{-1})، Z: عمق موثر ریشه دهی، عمقی که 70 تا 80 درصد ریشه‌ها مشاهده شود (m)، ضریب α بین صفر تا یک متغیر است.

پارامترهای مورد نیاز مدل

هر مدل رایانه‌ای برای شبیه‌سازی، نیاز به شرایط مرزی دارد که به عنوان ورودی به مدل داده می‌شود. در مدل SWAP شرایط مرزی بالا، تبخیر و تعرق پتانسیل (بر اساس معادله پنمن – مونتیت) و مجموع بارندگی و آبیاری تعریف شده است. مرز پایینی به علت پایین بودن سطح ایستابی در منطقه مورد مطالعه، به‌صورت زهکشی آزاد برای مدل تعریف گردید (13).

مدل SWAP حاوی سه بخش در فایل داده‌های ورودی شبیه‌سازی رشد و برآورد عملکرد است: الف) مدل شبیه‌سازی تفصیلی رشد، ب) مدل مشابهی که به رشد گیاه چمن اختصاص دارد و ج) مدل ساده، برای برآورد عملکرد محصولات زراعی (11). در این تحقیق از مدل ساده برای پیش‌بینی عملکرد نسبی استفاده گردید. داده‌های مورد نیاز این مدل ساده شامل: طول مدت رشد، تاریخ کشت و تاریخ برداشت، عمق ریشه گیاه و شاخص سطح برگ می‌باشد. برنامه‌ریزی آبیاری در SWAP می‌تواند به صورت ثابت یا برنامه‌ریزی شده بر طبق یک سری معیارها که وابسته به محدودیت‌های واقعی و اقتصادی در مناطق آبیاری مورد نظر است، انجام گیرد. در این تحقیق میزان آب مصرفی بر اساس 4 تیمار آبیاری (100، 80، 60 درصد نیاز آبی و آبیاری عرف منطقه) اندازه‌گیری شد و عمق و تاریخ آبیاری در قسمت مربوط به آبیاری مدل وارد گردید. همچنین شوری آب آبیاری اندازه‌گیری شده (4 dS/m) و به‌عنوان یکی از پارامترهای ورودی به مدل داده شد.

برای شبیه‌سازی جریان آب نیاز به داده‌های خاکشناسی از قبیل: توابع هیدرولیکی خاک، رطوبت قابل نگهداشت خاک و منحنی هدایت هیدرولیکی نسبت به رطوبت خاک، می‌باشد که از معادله وان گنوختن (28) در برنامه RETC[1] استفاده شد. این برنامه با استفاده از پارامترهای بافت خاک، چگالی و درصد مواد آلی به‌آسانی توابع هیدرولیکی خاک را تخمین می‌زند. به این منظور از عرصه آزمایش نمونه‌هایی از اعماق 0-30، 30-60 و 60-90 سانتی‌متری جمع آوری گردید و مشخصات هر لایه خاک توسط آزمایشگاه آب و خاک مرکز تحقیقات کشاورزی استان کرمان اندازه‌گیری گردید و به‌عنوان ورودی به برنامه داده شد و مقادیر α و n و سایر پارامترهای معادله وان‌گنوختن شامل λ ،Ksat ،Θsat و Θres به‌عنوان خروجی بدست آمد (جدول 2).

برای ارزیابی مدل SWAP علاوه بر ضریب همبستگی و انحراف معیار (SD)[2] از شاخص‌های آماری

[1]. Retention Curve
[2]. Standard Division

لوگ و گرین استفاده شد. این شاخص‌ها عبارتند از: ریشه میانگین مربعات خطا [1](RMSE)، میانگین خطای مطلق[2](MAE) و ضریب مقدار باقیمانده [3](CRM) که در رابطه‌های 4 تا 6 نشان داده شده‌اند. در این معادله‌ها P، O، $\overline{O}$ و n به ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده، اندازه‌گیری شده، متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده و تعداد داده‌ها می‌باشند و شاخص i نیز نشان دهنده هر یک از داده‌هاست (15).

$$SD = \left\{ \sum_{i=1}^{n} (Oi - \overline{O})^2 / n \right\}^{1/2} \quad (4)$$

$$RMSE = \left\{ \sum_{i=1}^{n} (Pi - Oi)^2 / n \right\}^{1/2} \quad (5)$$

$$MAE = \left\{ \sum_{i=1}^{n} |Oi - Pi| \right\} / n \quad (6)$$

$$CRM = \left\{ \sum_{i=1}^{n} Oi - \sum_{i=1}^{n} Pi \right\} / \sum_{i=1}^{n} Oi \quad (7)$$

RMSE نشان می‌دهد که تا چه حد اختلاف بین هر یک از مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده وجود دارد. MAE نشان دهندهٔ خطای مطلق مدل و CRM نشان دهنده تمایل برای برآورد مقدار بیشتر یا کم‌تر مدل در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. اگر RMSE کمتر از SD باشد نشان دهندهٔ کارکرد مطلوب مدل است. منفی بودن CRM به معنی آن است که مدل تمایل به برآورد مقداری بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده را دارد (و برعکس). در صورتی که همهٔ مقادیر پیش‌بینی شده برابر با مقادیر اندازه‌گیری شده باشند شاخص‌های آماری لوگ و گرین برابر با صفر خواهند شد (13).

واسنجی مدل

در این تحقیق، جهت واسنجی مدل از داده‌های سال اول که شامل: شاخص سطح برگ، تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل و عملکرد واقعی و پتانسیل بودند، استفاده گردید. هم‌چنین جهت اطمینان از واسنجی، داده‌های سال دوم نیز مجدداً واسنجی شدند (صحت‌سنجی) تا امکان وجود خطای احتمالی حاصل از واسنجی در سال اول به حداقل رسد.

نتایج واسنجی

عملکرد محصول

نتیجه ارزیابی عملکرد نسبی (حاصل تقسیم عملکرد واقعی به عملکرد پتانسیل در منطقه) شبیه‌سازی شده ذرت دانه‌ای توسط مدل SWAP در مقابل عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده در شکل 1 و نتیجه تحلیل آماری آن به تفکیک هر سال آزمایش در جدول 3 ارائه شده است. همان‌طور که در شکل 1 مشخص است نتایج بدست آمده در هر دو سال دلالت بر شبیه‌سازی مطلوب عملکرد نسبی ذرت دانه‌ای توسط مدل SWAP را دارد.

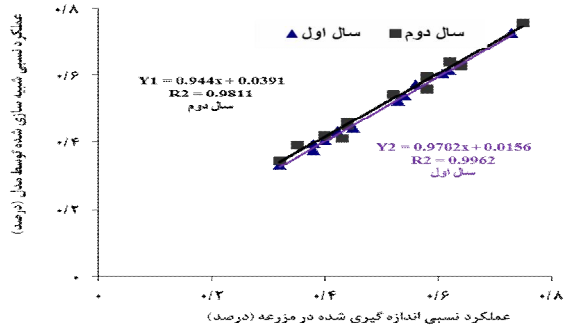
در جدول 3 مشاهده می‌شود که ضریب RMSE برای عملکرد نسبی ذرت‌دانه‌ای در هر دو سال آزمایش کمتر از مقدار انحراف معیار می‌باشد. وجود این اختلاف نشان دهندهٔ کارکرد مطلوب مدل در هر دو سال آزمایش است. ضریب CRM در هر دو سال آزمایش عدد کوچک و منفی می‌باشد که این اعداد تمایل مدل در برآورد مقادیری بالاتر از مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه، را نشان می‌دهند. با توجه به جدول 4 که متوسط عملکرد واقعی رقم‌های کشت شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAP در دو سال آزمایش را نشان می‌دهد، می‌توان به صحت ضریب CRM اشاره نمود. در این جدول مشخص است که عملکرد واقعی شبیه‌سازی شده توسط مدل با عملکرد اندازه‌گیری شده در دو رقم SC704 و SC700 در تمام تیمارهای آبیاری، از سازگاری قابل قبولی برخوردار می‌باشد.

[1]. Root Mean Square Error
[2]. Mean Absolute Error
[3]. Coefficient of Residual Mass

جدول 2– مشخصات اندازه‌گیری شده پروفیل خاک و پارامترهای معادله وان گنوختن استخراج شده از برنامه RETC

عمق خاک (cm)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	رس (درصد)	Θsat ($m^3 m^{-3}$)	Θres ($m^3 m^{-3}$)	Ksat ($cm\ d^{-1}$)	α (cm^{-1})	n (-)	λ (-)
0-30	62	22	16	0/42	0/01	42/8	0/0163	1/559	0/177
30-60	60	24	16	0/32	0/1	43/55	0/0597	1/131	0/343
60-90	58	23	19	0/42	0/09	31/55	0/0586	1/129	0/298

Ksat: **هدایت هیدرولیکی اشباع خاک**، Θsat: **رطوبت اشباع خاک**، Θres: **رطوبت باقیمانده خاک** و α و n: **ضرائب تجربی**



شکل 1- مقایسه عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده به شبیه‌سازی شده توسط مدل در دو سال آزمایش

نتایج بررسی‌های پنج ساله رویزر و یوتست (19)، بر مدل SWAP برای شبیه‌سازی عملکرد نسبی نیشکر نیز نشان می‌دهد، مدل تمایل به برآورد بیشتر از مقادیر واقعی عملکرد نسبی نیشکر را دارد، به‌عبارت دیگر ضریب CRM در آزمایشات این محققین نیز عددی کوچک و منفی بود. در تحقیقی دیگر کیانی و همایی (13)، در ارزیابی دو ساله مدل SWAP در شبیه‌سازی انتقال آب و املاح در نیمرخ خاک، به این نتیجه رسیدند که ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، کمتر از انحراف معیار داده‌ها عملکرد گندم بوده که دلالت بر کارکرد مطلوب مدل در شبیه‌سازی عملکرد نسبی می‌باشد.

جدول 3- ارزیابی آماری لوگ و گرین بر عملکرد ذرت‌دانه‌ای شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAP

ضرائب	سال 1389	سال 1390
RMSE (درصد)	10	14
MAE (درصد)	12	11
CRM	-0/5	-0/47
SD (درصد)	17	15

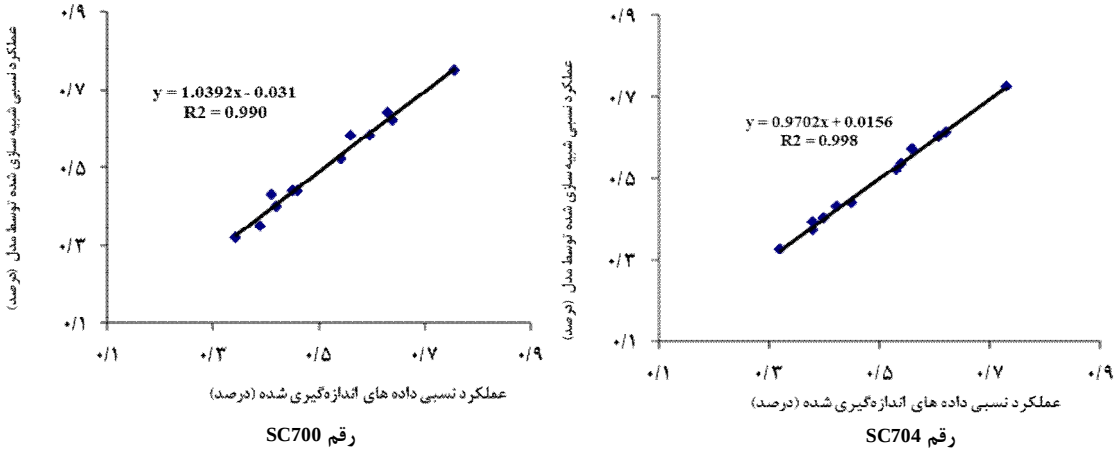
جدول 4- میانگین عملکرد (کیلوگرم در هکتار) واقعی شبیه‌سازی مدل SWAP و اندازه‌گیری شده در دو سال آزمایش

تیمارها	مدل	ارقام		
	SWAP	SC404	SC700	SC704
100 درصد نیاز آبی	14400	10700	14200	14150
80 درصد نیاز آبی	12600	8020	11100	12400
60 درصد نیاز آبی	11700	7660	10700	10900
عرف منطقه	13040	8960	11900	12700

همان‌گونه که ذکر گردید متوسط میزان عملکرد داده-های شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAP در دو سال آزمایش و در هر چهار سطح آبیاری همسانی بیشتری به دو رقم SC704 و SC700 نسبت به رقم SC404 دارد. شکل 2 درصد عملکرد نسبی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAP نسبت به داده‌های اندازه‌گیری شده در مزرعه را در دو سال آزمایش برای تیمار 100 درصد نیاز آبی برای ارقام SC704 و SC700 نشان می‌دهند.

ضریب همبستگی عملکرد نسبی داده‌های شبیه‌سازی شده رقم SC704 در تیمار 100 درصد نیاز آبی در مقابل عملکرد نسبی داده‌های اندازه‌گیری شده در متوسط دو سال آزمایش، 0/99 می‌باشد و این ضریب برای رقم SC700، 0/998 بدست آمد، که نشان از کارایی بسیار مطلوب مدل در شبیه‌سازی عملکرد است. لازم به ذکر است که ضریب همبستگی مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAP در تیماره آبیاری 100 درصد نیاز آبی در مقابل عملکرد نسبی داده‌های اندازه‌گیری شده در رقم SC404، 0/56 می‌باشد که نشان دهنده عدم کارکرد مطلوب مدل در شبیه‌سازی عملکرد نسبی برای این رقم در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

هم‌چنین ضریب همبستگی متوسط عملکرد نسبی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل در مقابل داده‌های اندزه‌گیری شده در دو سال آزمایش، در سایر تیمارهای آبیاری در حدود تیمار 100 درصد نیاز آبی می‌باشند.



شکل 2- درصد عملکرد نسبی داده‌های شبیه‌سازی شده نسبت به داده‌های اندازه‌گیری شده در ارقام SC704 و SC700

شاخص سطح برگ

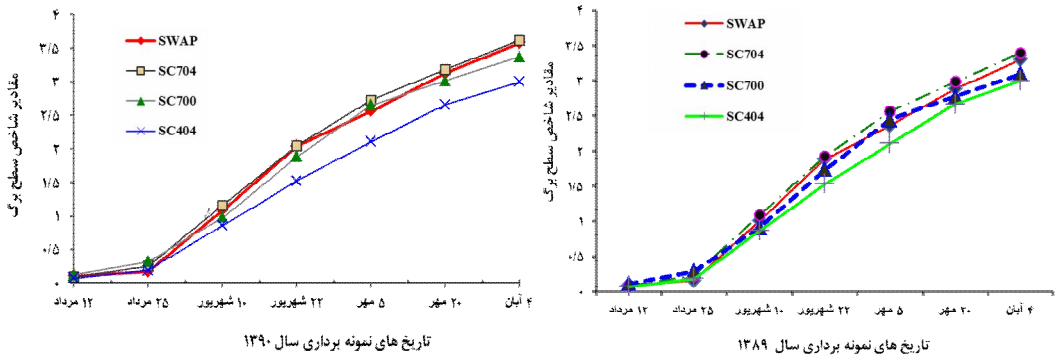
در هر دو سال این تحقیق، نمونه‌برداری جهت اندازه‌گیری شاخص سطح برگ در چند تاریخ معین از مراحل رشد گیاه و توسط پلانیمتر انجام گردید (جدول 5). همان‌طور که در جدول 5 مشخص است، برآورد این شاخص توسط مدل SWAP در اکثر تاریخ‌های نمونه-برداری با مقادیر بدست آمده از رقم SC704، همخوانی بیشتری نسبت به دو رقم دیگر دارد.

هم‌چنین می‌توان گفت، مدل SWAP در شبیه‌سازی این شاخص مقادیر پایین‌تری نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده از این رقم در تمامی تاریخ‌های نمونه‌برداری تخمین زده است. اختلاف بین داده‌های مشاهده شده و اندازه‌گیری شده امکان دارد به‌دلیل تغییرات مکانی و هم-چنین خطاهای آزمایش باشد که این امر در شرایط مزرعه اجتناب ناپذیر است. هم‌چنین در مدل SWAP نقش آفات و بیماری‌ها بر رشد گیاه در نظر گرفته نمی‌شود (23).

جدول 5- میانگین داده‌های مربوط به شاخص سطح برگ در تیمارهای مختلف در دو سال آزمایش

تاریخ‌های نمونه‌برداری	مدل	ارقام مختلف ذرت		
	SWAP	SC704	SC700	SC404
12 مرداد	0/084	0/085	0/114	0/075
25 مرداد	0/159	0/235	0/291	0/191
10 شهریور	1/007	1/091	0/905	0/860
22 شهریور	1/886	1/926	1/736	1/531
5 مهر	2/363	2/557	2/444	2/110
20 مهر	2/883	2/985	2/776	2/662
4 آبان	3/296	3/391	3/099	3/028

در شکل 3 مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده شاخص سطح برگ توسط مدل و اندازه‌گیری شده از سه رقم مورد آزمایش ذرت‌دانه‌ای به تفکیک سال، مشخص شده است. قابل ملاحضه است که تکرار واسنجی (صحت‌سنجی)، همبستگی و نزدیکی بسیار خوبی در هر دو سال آزمایش در خصوص داده‌های بدست آمده از شاخص سطح برگ را نشان می‌دهد.



شکل 3- مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده شاخص سطح برگ توسط مدل و اندازه‌گیری شده از سه رقم ذرت‌دانه‌ای

نتایج ارزیابی آماری لوگ و گرین بر شاخص سطح برگ، شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAP در جدول 6 آمده شده است. در این جدول مشخص شده که ضریب RMSE برای در هر دو سال آزمایش کمتر از مقدار انحراف معیار می‌باشد و نشان از کارکرد مطلوب مدل در هر دو سال آزمایش می‌باشد.

ضریب CRM در هر دو سال آزمایش عددی بزرگ و مثبت می‌باشد که این اعداد نشان دهنده تمایل مدل را در برآورد مقدار کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهند. این امر می‌تواند به علت در دسترس نبودن اطلاعات دقیق فیزیولوژی گیاه و استفاده از گزینه مدل ساده (simple model) در داده‌های گیاهی مدل باشد (22).

هم‌چنین در جدول 6 مقدار ضریب همبستگی داده-های اندازه‌گیری شده شاخص سطح برگ با داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل آمده است. این ضریب نشان می‌دهد که همبستگی نسبتاً خوبی بین مشاهدات مزرعه‌ای و نتایج بدست آمده از مدل در هر دو سال آزمایش وجود دارد.

جدول 6- ارزیابی آماری لوگ و گرین بر شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAP

ضرائب	سال 1389	سال 1390
R (درصد)	86	87
RMSE (درصد)	10/5	9/4
MAE (درصد)	11	12
CRM	5/2	4/9
SD (درصد)	14/85	13/6

نتایج حاصل از سناریوهای مختلف

مقادیر مختلف آب آبیاری

با توجه به این‌که در این تحقیق میزان آب مصرفی برای تیمارهای عرف منطقه، 100، 80 و 60 درصد نیاز آبی ذرت به ترتیب معادل 10700، 10200، 8800 و 7200 مترمکعب در هکتار بود لذا مقادیر آب آبیاری از 600 تا 1300 میلی‌متر به نسبت دور آبیاری 9 روزه تقسیم، و در قسمت آبیاری ثابت مدل SWAP وارد گردیدند. لازم به ذکر است که در این تحقیق برای شبیه‌سازی بهترین مقدار آب آبیاری، سطح شوری آب موجود منطقه (4 dS/m)، اعمال گردید (جدول 7).

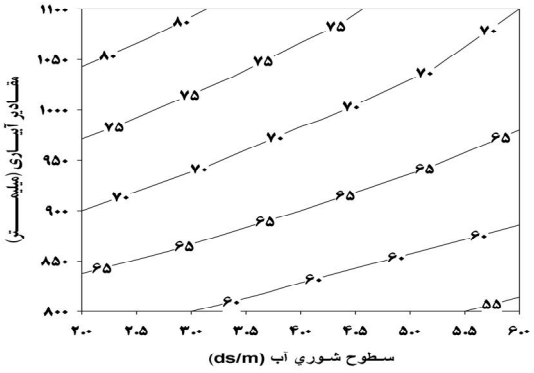
مدل SWAP قادر به تفکیک تبخیر-تعرق گیاهی به تبخیر (آب مصرفی غیر موثر) و تعرق (آب مصرفی موثر) با استفاده از شاخص سطح برگ در مراحل مختلف رشد گیاه است، که اندازه‌گیری آن در مزرعه سخت و وقت‌گیر می‌باشد. در جدول 7 میزان تعرق و تبخیر گیاه ذرت دانه‌ای را در طول فصل رشد با توجه به میزان آب مصرفی و هم‌چنین میزان عملکرد نسبی و رواناب که توسط مدل SWAP شبیه‌سازی شده، نشان داده شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌گردد بیشترین عملکرد نسبی در تیمار 1100 میلی‌متر آب آبیاری، با تعرق 785 و تبخیر 174 میلی‌متر، برابر با 77 درصد، بدست آمد. هم‌چنین قابل ملاحظه است که آبیاری با آب مصرفی بیش از 1100 میلیمتر همراه با کاهش عملکرد نسبی می‌باشد که با نتایج تحقیق قریشی و همکاران (18)، هم‌خوانی دارد.

جدول 7– عملکرد نسبی به دست آمده از مدل به ازاء مقادیر مختلف آب کاربردی

آبیاری (mm)	روانآب (mm)	تعرق واقعی (mm)	تبخیر واقعی (mm)	عملکرد نسبی (درصد)	شوری ($dS\ m^{-1}$)
600	0	593	86	46	4
700	0	678	128	52	4
800	0	710	153	58	4
900	0	799	162	65	4
1000	23	820	168	71	4
1100	56	875	174	77	4
1200	180	830	179	73	4
1300	372	805	185	69	4

مقادیر مختلف شوری آب

در این مطالعه جهت بررسی مدیریت بهینه آب شور، مقدار عملکرد نسبی محصول در برابر مقادیر آب با شوری‌های مختلف بدست آمد (شکل 4). همانطور که انتظار می‌رود با افزایش شوری آب آبیاری، جهت برداشت مقدار محصول مشخص می‌بایست آب اضافه‌ای به گیاه داده شود تا آبشوئی لازم صورت پذیرد. با توجه به شکل 4، بطور نمونه برای رسیدن به عملکرد نسبی 70 درصد می‌توان 900 میلیمتر آب آبیاری با شوری 2 dS/m یا 1100 میلیمتر آب با شوری 6 dS/m به گیاه داده شود. هم‌چنین مشخص می‌گردد رسیدن به عملکردهای نسبی بالا (75 و 80 درصد) در صورتی‌که شوری آب از حد 4/5 dS/m بیشتر گردد امکان پذیر نمی‌باشد. بنابراین با توجه به محدودیت شوری آب، برآورد مقدار آب آبیاری لازم و عملکرد نسبی محصول ذرت در این منطقه امکان پذیر می باشد. نتایج به دست آمده با از تحقیق حاظر با نتایج نحوی‌نیا و همکاران (17)، هم‌خوانی داشت.



شکل 4- ترکیب اثر کیفیت و کمیت آب آبیاری بر روی عملکرد نسبی

نتیجه‌گیری

با توجه به تغییرات عوامل متعدد در شرایط مزرعه‌ای، به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که نتایج واسنجی مدل SWAP در شبیه‌سازی عملکرد نسبی با در نظر گرفتن تحلیل‌های آماری ارائه شده، مطلوب می‌باشد. اما اختلافاتی بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل برای رقم های مختلف مورد بررسی، وجود دارد.

این اختلاف‌ها در هر دو پارامتر میزان عملکرد و شاخص سطح برگ مشاهده گردید که به‌عنوان مثال جهت شبیه‌سازی عملکرد، رقم SC704 در تمامی تیمارهای آبیاری توسط مدل، اختلاف بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده، به‌طور متوسط تنها 400 کیلوگرم در هکتار بود. بهر حال در شرایط آب و هوائی سال‌های 89 و 90 در منطقهٔ مورد مطالعه، رقم SC704 نسبت به سایر ارقام مناسب‌تر تشخیص داده شد. با توجه به شوری آب آبیاری (EC=4 dS/m) میزان آب آبیاری مورد نیاز برای حصول بیشترین عملکرد نسبی 1100 میلی‌متر (11000 مترمکعب در هکتار) بدست آمد.

هم‌چنین بررسی شوری‌های مختلف نیز میزان کاهش محصول را به ازاء افزایش 2 دسی‌زیمنس شوری، 7 درصد نشان داد. پس با توجه به عملکرد نسبتاً خوب تیمار 100 درصد نیاز آبی رقم SC704 پیشنهاد می‌گردد در منطقه مورد مطالعه این رقم از ذرت‌دانه‌ای کشت گردد.

منابع مورد استفاده:

1) Amiri, S., Noormohamadi, A., Jafari, A. and Chugan, R. 2009. Correlation, regression and path analysis for grain yield and yield components on early maturing hybrids of grain corn. 16: 99-112. (In Farsi).
2) Asadi, R., P. Gaghighatjo and Koohi, N. 2010. Evaluation of solar radiation and temperature based methods for estimating evapotranspiration of Kerman. The first international conference on plant, water, soil and weather modeling. Kerman. Iran.
3) Bastiaanssen, W. G. M., Allen, R. G., Droogers, P., D'urso, G. and Steduto, P. 2007. Twenty five years modeling irrigated and drained soils: State of the Art, Agricultural Water Management, 92: 111-125.
4) Broadcasting Agriculture Organization of Kerman province. 2007. Agriculture Organization of Kerman province, the management plan, the Department of Statistics and Information Technology. (In Farsi).
5) Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops. 89: 1-16.
6) Dehghan, H., Alizadeh, A. and Haghayeghi, S. A. 2011. Water balance components estimating in farm scale using simulation model SWAP. Journal of water and soil. 24: 1265-1275. (In Farsi).
7) Doorenbas, J. and Pruitt, W. O. 1975. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper (24).
8) Droogers, P., Torabi, M., Akbari, M. and Pazira, E. 2001. Field-Scale modeling to explore salinity problems in irrigated agriculture. Irrigation and drainage. 50: 77-90.
9) Ghahraman, N., Khalili, A., Liaghat, A. and Esmaiilnia, S. 2004. Investigation of SWAPCROP Model to evaluate wheat and barley yields in Karaj. The 2nd national student conference on water and soil resources. 23rd and 24th ordibehesht, 2004, Agriculture School, Shiraz. (In Farsi).

10) Homayonfar, F., Asadi R. and Arab, M. 2011. Assess the effect of water on soil moisture on corn grain yield using drip irrigation system in Kerman province. Eleventh Conference on Irrigation and reduce evaporation. Kerman. Iran.
11) Huygen, J., Van Dam, J. and Krose, J. 2000. Introduction to SwapGui, the Swap 2.0 graphical user interface. Unpublished manual. DLO-Staring Centre and Wageningen Agricultural University. 98p. Record No: H23829.
12) Khani, M., Davari, K., Alizadeh, A., Hashminia, H and Zolfagharan, A. 2008. SWAP model assessment for simulating sugar beet yield under different irrigation water quantities and qualities. Journal of Irrigation and Drainage. 2: 107-118. (In Farsi).
13) Kiani, A and Homaee, M. 2007. Evaluation SWAP model for simulation of water and solute transport in soil profit. Journal of Agricultural Engineering Research. 8: 13-30. (In Farsi).
14) Kroes, J and van Dam, J. 2003. Reference manual SWAP version 3.03. Altera Green World Research, Altera report 773. Wageningen University and Research Center, Wageningen, the Netherlands, 211 p. ISSN: 1566-7197.
15) Loauge, K and Green, R. 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application, J. Cont. Hydrol. 7: 51-73.
16) Mostafazadeh-fard, B., Mansouri, H., Mousavi, F and Feyz, M. 2009. Effects of Different Levels of Irrigation Water Salinity and Leaching on Yield and Yield Components of Wheat in an Arid Region. J. Irri. And Drai. Eng. 135: 363-378.
17) Nahvinia, M., Shahidi, A., Parsinejad, M and Karimi, B. 2011. Assessing the performance of SWAP model in estimating the production of wheat under water stress and salinity in Birjans area. Journal of Water Research in Iran. 6: 43-58. (In Farsi).
18) Qureshi, S., Madramoto, C and Dodds, G. 2002. Evaluation of irrigation schemes for sugarcane in sindh, Pakistan, using SWAP93. Agricultural water management. 54: 37-48.
19) Ruiz, M and Utset, A. 2003.Models for predicting water use and crop yields. A Cuba experience. Available on the: www.ictp.it/~pub_off/lectures/lns018/28Ruiz.pdf. 323-328.
20) Saberi, A., Mazaheri, A and Heidari, H. 2007. Effect of vary density planting and arrangement on physiological indices and dry matter trend of corn. 13: 64-79. (In Farsi).
21) Singh, R., van Dam, J and Feddes, R. 2006. Water productivity analysis of irrigated crops in Sirsa district. India. Agricultural Water Management 82: 253-278.
22) Singh, R. 2004. Simulation on direct and cyclic use of saline waters for sustaining Cotton-Wheat in a semi-arid area of north-west India, J. of Agri. Water Manag., 66: 153-162.
23) Singh, R. 2005. Water productivity analysis from field to regional scale: integration of crop and soil modeling, remote sensing and geographical information, PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands
24) Utset, A., Velicia, B., delRio, R., Morillo, J., Centeno A and Martinez, C. 2007. Calibrating and validating an agrohydrological model to simulate sugerbeet water use under mediterranean condition. Agricultural Water Management, 94: 11-21.
25) Van Dam J., Singh, R., Bessembinder, J., Bastiaanssen, W., Jhorar, P., Kroes, J and Droogers, P. 2006. Assessing options to increase water productivity in irrigated river basins using remote sensing and modeling tools. Water Res. Development. 22: 115-133.

26) Van Dam, J., Groenendijk, P., Hendriks, R and Kroes, J. 2008. Advances of modeling water flow in variably saturated soils with SWAP. Vadose Zone Journal. 7: 640-653.
27) Van Dam J., Huygen, J., Feddes, R., Kabat, P., VanWalsum, P., Groenendijk, P and Diepen, C. 1997. Theory of SWAP version 2.0. Technical Document 45. Wageningen Agricultural University and DLO Winand Staring Center.
28) Van Genuchten, M., Leij, N and Yates, S.. 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. Report No. EPA/600/2-91/065. Ada. Okla.u.s. Environmental protection Agency .Kerr, R.S. Environmental Research laboratory.