۱۰ارزیابی مدل آگروهیدرولوژیکی SWAP در برآورد نوسانات سطح ایستابی و شدت جریان زهکشی زیرزمینی

حمیده نوری[۱*]، عبدالمجید لیاقت[۲]، مسعود پارسی نژاد[۳]، مجید وظیفه‌دوست[۴]

تاریخ دریافت : ۸۸/۱۰/۷ پذیرش: ۸۹/۴/۲۲

۱- دانشجوی دکترا، گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران

2و3- به ترتیب استاد و استادیار، گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران

۴- استادیار، گروه آبیاری، دانشگاه گیلان

*مسئول مکاتبه : E-mail: hnoory@ut.ac.ir

چکیده

در این تحقیق ارزیابی مدل SWAP در شبیه‌سازی تغییرات سطح ایستابی و شدت جریان زهکشی زیرزمینی در یک واحد زراعی تحت کشت گندم و ذرت دانه‌ای واقع در شبکه آبیاری و زهشکی وشمگیر در استان گلستان انجام شد. داده-های شدت جریان زهکشی روزانه و عمق سطح ایستابی در مراحل زمانی مختلف در سال ۸۶-۱۳۸۵ اندازه‌گیری شد و نتایج بدست آمده با مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل مقایسه گردید. مقایسه آماری براساس مقادیر مجذور مربعات خطا (RMSE) برای برآورد عمق آب زیرزمینی و شدت جریان زهکشی در واحد زراعی مورد مطالعه به ترتیب ۹/۵۵ سانتیمتر و ۰/۲۲ میلیمتر در روز به‌دست آمد که حاکی از تطابق خوب مقادیر برآوردی در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری است. بررسی مقادیر جریان عمودی محاسبه شده توسط مدل و مقایسه داده‌های عمق آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل نشان داد که تبادل جریان عمودی بین آب زیرزمینی کم‌عمق و پروفیل زیرین لایه غیر قابل نفوذ خاک در واحد زراعی مورد مطالعه بسیار ناچیز است و گزینه جریان عمودی صفر برای تبیین شرایط مرزی پایین در مدل به منظور تحلیل سناریوهای مدیریتی مناسب است. بدین ترتیب می‌توان از SWAP به عنوان مدلی توانمند در برآورد مولفه‌های هیدرولوژیکی سیستم زهکشی و مدیریت زهاب در اراضی فاریاب استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: شدت جریان زهکشی، شرایط مرزی پایین، عمق آب زیرزمینی، *SWAP*

Archive of SID

www.SID.ir

Evaluation of the Agro-Hydrological SWAP Model in Simulating Water Table Fluctuation and Subsurface Drainage Rate

H Noory[1*], AM Liaghat[2], M Parsinejad[3] and M Vazifedoust[4]

Received: 28 December 2009 Accepted: 13 July 2010
[1] Ph.D Student, Dept of Irrigation and Drainage Univ. of Tehran, Iran
[2,3]Prof.. and Asist.. Prof., Dept. of Irrigation and Drainage, University of Tehran., Iran
[4]Asist. Prof., Dept. of Irrigation, Univ. of Gillar, Iran
*Corresponding author: E-mail: hnoory@ut.ac.ir

Abstract

In this study, evaluation of SWAP model in simulating water table fluctuations and subsurface drainage rate was investigated at the wheat- grain maize cultivated unit in the Voshmgir irrigation network, Golestan province. Water table levels and drainage rate data were monitored in the study area at different times during the evaluation period. The statistical comparison based on the root mean square error (RMSE) showed the values of 9.55 cm and 0.22 mm/day for the estimated ground water depth and drainage flow rate, respectively. The simulated groundwater levels and subsurface drainage rate agreed well with those measured values. The analysis of the estimated bottom flux by the model and comparison of the measured and simulated water table depths showed that there was a negligible water exchange between the shallow groundwater and the soil profile beneath the impermeable layer. For analysis of managerial scenarios, no flow condition at the bottom of the soil profile, and zero bottom flux can be applied as the bottom boundary conditions. Therefore, the SWAP is a powerful model in estimating hydrological components of drainage system and drain water management in irrigated areas.

Keywords: Bottom boundary condition, Drain water rate, SWAP, Water table depth

Archive of SID

مقدمه

در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا از جمله ایران، آبیاری و زهکشی نقش اساسی در رسیدن به سطح قابل قبول تولید محصول و تأمین مواد غذایی موردنیاز دارند. شاخص بسیار مهم در بررسی اثرات آبیاری و زهکشی، واکنش گیاه نسبت به میزان آب مصرفی و شرایط زهکشی می‌باشد. با توجه به حضور آب زیرزمینی کم‌عمق در مناطق خشک و نیمه‌خشک و همچنین محدود بودن منابع آب آبیاری که عموماً شور یا آب شور هستند، گیاهان تحت تأثیر توأم محدودیتهای خشکی و شوری قرار می‌گیرند و مقادیر قابل‌توجهی زهاب تولید می‌گردد. تحقیقات صحرایی برای بررسی و تحلیل مدیریت آبیاری و تاثیر آنها بر عملکرد محصول و تولید زهاب مفید هستند لیکن محدودیت‌های قابل توجهی نیز دارند. مهمترین مسأله این است که نتایج حاصل از تحقیقات صحرایی به شرایط فیزیکی و مدیریتی منطقه‌ای که تحقیق در آن انجام می‌شود محدود می‌گردد. تحقیقات صحرایی معمولاً کوتاه مدت هستند و اثرات بلندمدت

www.SID.ir

مدیریت‌های مختلف بر شوری خاک و در نتیجه بر عملکرد محصول و عمق و شوری زهاب را در نظر نمی‌گیرند. تیمارهای مدیریتی که توسط تحقیقات صحرایی بررسی می‌شوند به دلیل وجود محدودیت‌های منابع مالی و انسانی محدود می‌گردند. مدلهای شبیه-سازی ابزار توانایی در بررسی و تحلیل سناریوهای مختلف و انتخاب مدیریت مناسب آب به خصوص در شرایط کمبود منابع آب هستند (اینز و دروگرز ۲۰۰۲). استفاده از مدلهای شبیه‌سازی محدودیت‌های موجود در تحقیقات صحرایی را تا حد قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد و در صورت فراهم بودن دسترسی به داده‌های ورودی موردنیاز این مدلها می‌توان به برآوردهایی قابل قبول دست یافت. لیکن قبل از استفاده از این مدلها لازم است نتایج شبیه‌سازی آنها در مقایسه با نتایج واقعی صحرایی مورد ارزیابی قرار گیرد. دقت نتایج حاصل از مدل‌های شبیه‌سازی به دقت داده‌های موردنیاز ورودی آنها بستگی دارد و در صورت دسترسی به این داده‌ها، این مدلها می‌توانند بدون محدودیت های مکانی و زمانی موجود در تحقیقات صحرایی و البته صرف هزینه و زمان کمتر جهت ارزیابی مدیریت‌های مختلف آبیاری و اثرات درازمدت این مدیریت‌ها به کار گرفته شوند (منصوری و مصطفی‌زاده ۱۳۸۵، سین و همکاران ۲۰۰۶، ون‌دام و همکاران ۲۰۰۸).

در ۳۰ سال گذشته مدلهای آگروهیدرولوژیکی بر مبنای اصول فیزیکی از جمله مدل *SWAP* (کروز و ون دام ۲۰۰۳) به منظور شبیه‌سازی رشد گیاه و حرکت آب و نمک در خاک توسعه یافته‌اند. مدل *SWAP* به منظور شبیه‌سازی عملکرد محصول و حرکت آب و نمک در خاک در کشورهای مختلف از جمله ایران مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج مطلوبی در مقایسه با اندازه‌گیری‌های صحرایی داشته است. دروگرز و همکاران (۲۰۰۰) به بررسی تأثیر کمیت و کیفیت آب آبیاری بر شوری خاک و عملکرد گیاه پنبه با استفاده از مدل *SWAP* در شبکه آبیاری رودشت اصفهان پرداختند. سرور و باستیانسن (۲۰۰۱) با استفاده از مدل شبیه‌سازی *SAWP* و آزمایشات مزرعه‌ای به بررسی اثر مدیریت آبیاری و کاهش آب آبیاری مصرفی در کشت پنبه و گندم بر بهره‌وری مصرف آب و پایداری محیط زیست (شوری خاک) در شرایط کمبود آب آبیاری با شوری مناسب در منطقه پنجاب پاکستان پرداختند. هدف اصلی در این مطالعه کاهش مصرف آب آبیاری با شوری مناسب در این منطقه بوده است. رویز و آتست (۲۰۰۳) مدل *SWAP* را برای شبیه‌سازی محصول نیشکر درکوبا مورد واسنجی و ارزیابی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که نتایج شبیه‌سازی شده با داده‌های اندازه‌گیری شده تطابق خوبی دارد. منصوری و همکاران (۱۳۸۶) به بررسی تاثیر مدیریت آبیاری و کیفیت آب آبیاری بر عملکرد تولید محصول و رطوبت خاک توسط مدل *SWAP* در منطقه رودشت اصفهان پرداختند و نشان دادند که در صورت در نظر گرفتن شرایط مرزی مناسب، مدل در برآورد مولفه‌های بیلان آب موفق عمل می‌کند. مدل برای شبیه‌سازی مصرف آب چغندرقند در شرایط آب و هوایی مدیترانه‌ای توسط آتست و همکاران (۲۰۰۷) ارزیابی و واسنجی شد و نتایج آماری نشان-دهنده وجود ضریب همبستگی ۰/۷۵ بین مقادیر آب مصرفی شبیه‌سازی شده و مشاهداتی محصول مورد-نظر بود. وظیفه دوست (۲۰۰۷) برای شبیه‌سازی مقادیر بیلان آبی مانند تعرق، تبخیر از خاک، نفوذ عمقی و پیش-بینی عملکرد چهار محصول چغندرقند، گندم، آفتابگردان و ذرت علوفه‌ای در منطقه برخوار اصفهان، مدل *SWAP* را ارزیابی و واسنجی کرد و نشان داد که شبیه‌سازی تولید محصول به پارامترهای شاخص سطح برگ ویژه،

Archive of SID
www.SID.ir

راندمان مصرف نور و سرعت بیشینه جذب دی‌اکسید کربن نسبتاً حساس است و در نهایت نتیجه گرفت که مدل با دقت قابل‌ملاحظه‌ای می‌تواند برای پیش‌بینی عملکرد محصول استفاده شود. شهیدی (۱۳۸۷) به ارزیابی شبیه‌سازی عملکرد ارقام گندم و انتقال آب و نمک و ارزیابی اثرات بلندمدت آبیاری با آب شور در پروفیل خاک توسط مدل *SWAP* پرداخت و نتیجه‌گیری کرد که داده‌های خروجی مدل به پارامتر ورودی عمق آب آبیاری حساسیت بالایی دارد و مدل در برآورد عملکرد تولید گندم در منطقه خراسان جنوبی و در شرایط توام کم‌آبی و شوری کارایی مطلوبی دارد.

بررسی سابقه بکارگیری مدل *SWAP* نشان می‌دهد که این مدل می‌تواند برای شبیه‌سازی عملکرد تولید محصول و پارامترهای بیلان آب در خاک مانند رطوبت، تبخیر و تعرق در شرایط مختلف مدیریت آب و شوری مورد استفاده قرار گیرد. این در حالی است که توانایی مدل در برآورد مقدار زهاب خروجی از زهکشها و نوسانات سطح ایستابی به عنوان یکی از مهمترین مولفه‌های بیلان آب و نمک در شبکه آبیاری و زهکشی کمتر مورد بررسی قرار گرفته است.

لذا در این مقاله عملکرد مدل آگروهیدرولوژیکی *SWAP* در شبیه سازی عمق زهاب خروجی از زهکشهای زیرزمینی و نوسانات سطح ایستابی در شبکه آبیاری و زهکشی وشمگیر مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، مزرعه نمونه (ارتش) واقع در غرب شبکه آبیاری و زهکشی وشمگیر در استان گلستان است که ۴۶۰۰ هکتار وسعت دارد. میزان بارندگی سالانه در این ناحیه کم و رودخانه گرگانرود و سد واقع بر آن تنها منبع تامین آب آن می‌باشد. میزان آب ذخیره شده در پشت سد برای تامین آب کل اراضی شبکه کافی نبوده و در اواخر فصل زراعی منطقه دچار کم آبی می‌شود. شوری آب آبیاری در طول سال متغیر و در بازه ۱/۲ تا ۲ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد و در تمام وسعت مزرعه مورد مطالعه آب زیرزمینی کم‌عمق شور وجود دارد. تخلیه تلفات نفوذ عمقی و آب آبشویی، کنترل عمق آب زیرزمینی کم‌عمق و شوری خاک با استفاده از سیستم زهکشی زیرزمینی با فاصله زهکش متوسط ۱۰۰ متر انجام می‌شود. روش آبیاری سطحی مورد استفاده از راندمان بالایی برخودار نبوده و باعث می‌شود که بخشی از آب آبیاری به صورت تلفات و نفوذ عمقی به سفره کم عمق شور وارد شود که با توجه به سنگینی بافت خاک و نیروی شعریه موجود باعث انتقال املاح به لایه سطحی خاک می‌شوند. این شرایط اهمیت زهکشی زیرزمینی در کنترل شوری خاک و تداوم تولید محصول در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. حجم زیادی از زهاب‌های سطحی و زیرزمینی طرح با شوری بالا به رودخانه گرگانرود تخلیه شده و پس از عبور از روستاها و اراضی پایین دست به دریای خزر می‌رسند.

الگوی کشت منطقه شامل محصولات استراتژیک مانند گندم و جو به همراه اقلام صنعتی نظیر پنبه، ذرت و آفتابگردان و محصولات علوفه‌ای مانند ذرت است. محدودیت منابع آب به خصوص در ماههای تابستان، شدت زیاد تبخیر در منطقه، شوری آب آبیاری و نیاز آبشویی از جمله مهمترین مشکلات موجود در منطقه است.

Archive of SID

www.SID.ir

مدل اگروهیدرولوژیکی *SWAP*

SWAP[1] مدل یک بعدی شبیه سازی حرکت آب و نمک در خاک در شرایط حضور یا عدم حضور گیاه است که در سال ۱۹۷۰ در دانشگاه واخنیگن توسعه یافته است. این مدل برای شبیه‌سازی تولید محصول بسیار انعطاف‌پذیر بوده و شامل گزینه‌های مختلف است. در این مدل حرکت آب در محیط‌های اشباع و غیراشباع بر اساس معادله ریچاردز شبیه‌سازی می‌شود. شرایط مرزی در سطح خاک توسط مولفه‌های تبخیر و تعرق مرجع، آبیاری و باران تعیین می‌گردد. تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه و بر اساس روش استاندارد فائو پنمن مانتیث محاسبه می-شود. همچنین مدل به طور مستقیم قابلیت پذیرش مقادیر تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده به روشهای تجربی را دارد. مرز پایین محاسبات (شرایط مرزی پایین) در مدل SWAP در بخش غیراشباع خاک و یا قسمت بالای بخش اشباع جایی که تبدیل جریان یک بعدی به سه بعدی صورت می‌گیرد انتخاب می‌شود. بر این اساس چهار گزینه شرایط مرزی پایین شامل بار فشاری تابعی از زمان (شرایط دریخله)، جریان عمودی تابعی از زمان (شرایط نیومن)، جریان عمودی تابعی از عمق سطح ایستابی (شرایط کوشی) و زهکشی آزاد در شرایط وجود آب زیرزمینی عمیق تعریف شده است. محاسبات کنترل سطح ایستابی و شدت جریان زهکشی در مدل بر اساس روشهای کلاسیک زهکشی شامل فرمولهای زهکشی هوخهات و ارنست و روش زهکشی پایه[2] بر اساس مفهوم مقاومت زهکشی است (کروز و ون‌دام، ۲۰۰۳). در استفاده از فرمولهای زهکشی، شدت جریان زهکشی بر اساس تئوری و فرضیات حاکم بر روابط هوخهات و یا ارنست (ریتزما ۱۹۹۴) و داده‌های فاصله و عمق زهکش، لایه‌بندی پروفیل خاک و ضریب هدایت هیدرولیکی عمودی و افقی هر لایه خاک محاسبه می‌گردد. در روش زهکشی پایه که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، جریان زهکشی بر اساس رابطه بین عمق سطح آب زیرزمینی و عمق زهکش در درجات مختلف آن (لترال، کلکتور) محاسبه می‌گردد. در این روش جریان زهکشی تابعی از پارامتر مقاومت زهکشی است و با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$q_{drain,i} = \frac{f_{gwl} - f_{drain,i}}{g_{drain,i}} \qquad [۱]$$

در رابطه مذکور $g_{drain,i}$ مقاومت زهکشی، $q_{drain,i}$ شدت جریان زهکشی و f_{gwl} عمق آب زیرزمینی، $f_{drain,i}$ عمق زهکش و i درجه زهکش است. پارامتر مقاومت زهکشی معادل با شیب رابطه خطی $(\Delta h - q)$ بین مولفه تغییر سطح ایستابی Δh و مولفه شدت جریان زهکشی q در بازه‌های زمانی مختلف است. توصیف و تشریح کامل اجزای مختلف مدل SWAP در راهنمای مدل آمده است (کروز و ون‌دام ۲۰۰۳).

اندازه‌گیری و جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز

به منظور بررسی اقلیمی، بارندگی و برآورد تبخیر و تعرق مرجع، از آمار ایستگاه کلیماتولوژی مزرعه نمونه واقع در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. به علت نبود داده‌های لایسیمتری و ایستگاه سینوپتیک در منطقه مورد مطالعه، از روش استاندارد فائو پنمن مانتیث استفاده نشد. با توجه به پارامترهای هواشناسی موجود و سابقه تحقیقاتی مربوط به بررسی روشهای مختلف محاسبه تبخیر و تعرق در منطقه مورد مطالعه (شریفان ۱۳۸۵) ، روش هارگریوز-سامانی به عنوان روش مناسب

[1] Soil water atmosphere plant
[2] Basic drainage

Archive of SID
www.SID.ir

محاسبه تبخیر و تعرق مرجع انتخاب گردید. روش مذکور بر اساس اطلاعات جغرافیایی ایستگاه هواشناسی و دمای ماکزیمم و مینیمم روزانه، تبخیر و تعرق مرجع را محاسبه می‌کند.

داده‌های گیاه، خاک، آبیاری، شدت جریان زهاب و سطح ایستابی موردنیاز در ارزیابی مدل، در واحد زراعی تحت کشت گندم و ذرت دانه‌ای در مزرعه نمونه واقع در منطقه مورد مطالعه در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ اندازه‌گیری و جمع‌آوری شد. گندم و ذرت دانه‌ای از مهمترین محصولات تحت کشت در منطقه مورد مطالعه است که اطلاعات مربوط به آنها در جدول ۱ آمده است.

بافت خاک واحد زراعی تحت مطالعه سیلتی لوم، با درصد کربن آلی ۱/۷۴-۱/۵۵ درصد، وزن مخصوص ظاهری ۱/۵-۱/۴۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب، متوسط شوری پروفیل (۱۲۰cm-۰) ۵/۶-۴/۴ دسی‌زیمنس بر متر است که دارای لایه نفوذناپذیر در عمق ۶ متری است.

عمق آب زیرزمینی در ابتدای دوره ارزیابی (۱ مهر ۱۳۸۵) ۲۰۵-۱۹۳ سانتی‌متر و دارای شوری ۱۶/۵- ۱۴/۶ دسی‌زیمنس بر متر است که برای تامین نیاز آبی گیاه مناسب نمی‌باشد.

جدول 1- مشخصات عمومی دو محصول گندم و ذرت دانه‌ای در مزرعه نمونه (شبکه آبیاری و زهکشی وشمگیر).

گیاه	تاریخ کاشت	تاریخ برداشت	تعداد آبیاری	حساسیت به شوری (dS/m)	حداکثر عملکرد (تن)	متوسط عملکرد (تن)
گندم	10 آذر	15 خرداد	4	6	5/5	4/2
ذرت دانه-ای	۱ تیر	۳۰ مهر	۶	۲	۴/۵	۳/۵

زهکشهای زیرزمینی لوله‌ای با عمق ۲/۴۵-۲/۲ و فواصل ۱۰۰ متر وظیفه کنترل سطح ایستابی در عمق طراحی ۱/۵ متر و تخلیه دبی زهکشی طرح ۳ میلیمتر در روز را دارند. در طول فصل رشد به طور میانگین گندم و ذرت دانه‌ای به ترتیب دارای ۴ و ۶ آبیاری با عمق متوسط ۱۲-۱۰ و ۱۵-۱۳ سانتی‌متر هستند. روش آبیاری مورد استفاده روش غرقابی با تلفات عمقی نسبتاً قابل‌ملاحظه و رواناب ناچیز به علت بسته بودن انتهای مزارع است.

با استفاده از پیزومترهای نصب شده در فواصل خطوط لترال در واحد زراعی، عمق سطح ایستابی در زمانهای مختلف از دوره ارزیابی در قبل و بعد از دفعات مختلف آبیاری (۸۰ روز در طول دوره ارزیابی) اندازه‌گیری گردید. شدت جریان زهاب خروجی روزانه از هر یک از لترال‌های واحد زراعی مورد مطالعه نیز در زمانهای مختلف از دوره ارزیابی (۴۵ روز بوسیله سطل اب و زمان‌سنج اندازه‌گیری گردید. با استفاده از بخشی از داده‌های اندازه‌گیری شده عمق سطح ایستابی و شدت جریان زهکشی، رابطه خطی (q - Δh) ترسیم و شیب آن که معادل با پارامتر مقاومت زهکشی لترال‌ها در واحد زراعی مورد مطالعه است استخراج گردید.

جزئیات کل داده‌های اندازه‌گیری شده و جمع‌آوری شده در واحد زراعی تحت مطالعه در مزرعه نمونه در جدول ۲ آمده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 2- داده‌های اندازه‌گیری و جمع‌آوری شده برای ارزیابی مدل *SWAP* در واحد زراعی مزرعه نمونه (شبکه آبیاری و زهکشی وشمگیر).

داده		روش اندازه‌گیری (جمع آوری)	تناوب اندازه‌گیری	هدف اندازه‌گیری
داده‌های هواشناسی		ایستگاه هواشناسی مزرعه نمونه	روزانه	ورودی مدل
خصوصیات خاک	بافت	روش هیدرومتری	یکبار	ورودی مدل
	چگالی ظاهری	روش سیلندر	یکبار	ورودی مدل
	K_s	روش پیزومتر	یکبار	ورودی مدل
	درصد اشباع	روش گل اشباع	یکبار	ورودی مدل
	کربن آلی	روش هضم تر	قبل از کاشت	ورودی مدل
	pH	نسبت آب خاک 1:2	قبل از کاشت	شناخت عمومی
	رطوبت خاک	روش وزنی	ابتدای دوره شبیه‌سازی	ورودی مدل
آبیاری	دبی آب آبیاری در محل تحویل	پارشال فلوم ثبات	در هر آبیاری	ورودی مدل
	موقعیت مکانی محل تحویل	مشاهدات مزرعه‌ای	یکبار	ورودی مدل
	سطح زیر کشت آبخور در محل تحویل	اطلاعات موجود در مزرعه	یکبار	ورودی مدل
	مدت زمان آبیاری	مشاهدات مزرعه‌ای	در هر آبیاری	ورودی مدل
	تاریخ آبیاری	مشاهدات مزرعه‌ای	در هر آبیاری	ورودی مدل
	عمق آب آبیاری	*	در هر آبیاری	ورودی مدل
	کیفیت آب آبیاری	EC متر	در هر آبیاری	ورودی مدل
پارامترهای رشد گیاه	مراحل رشد و توسعه گیاه	مشاهدات مزرعه‌ای	یکبار	ورودی مدل
	ارتفاع گیاه	مشاهدات مزرعه‌ای	5 بار	ورودی مدل
	عمق ریشه	مشاهدات مزرعه‌ای	5 بار	ورودی مدل
	سطح برگ	مشاهدات مزرعه‌ای	5 بار	ورودی مدل
	تراکم گیاهی	مشاهدات مزرعه‌ای	5 بار	ورودی مدل
	عملکرد تولید	مشاهدات مزرعه‌ای	یکبار	ارزیابی مدل
زهکشی	عمق سطح ایستابی	پیزومتر	در طول دوره ارزیابی	ورودی و ارزیابی مدل
	سطح و کیفیت آب زیرزمینی	پیزومتر و EC متر	ابتدای دوره شبیه‌سازی	ورودی مدل
	دبی زهاب زیرزمینی	باکت و زمان‌سنج	در طول دوره ارزیابی	ارزیابی مدل
	مقاومت زهکشی	** اطلاعات موجود در منطقه	-	ورودی مدل

* عمق آب آبیاری از حاصلضرب دبی آب آبیاری ورودی در واحد زراعی در مدت زمان آبیاری و تقسیم بر مساحت واحد زراعی محاسبه گردید.

** گزارشات ارزیابی زهکشی در منطقه مورد مطالعه، شرکت مهندسین مشاور راماب (1379)

داده‌های ورودی به مدل *SWAP*

داده‌های گیاهی موردنیاز در مدل شامل ارتفاع گیاه، عمق ریشه، سطح برگ، شاخص جذب CO_2، فاکتورهای تبدیل آن به وزن خشک، ضرایب تقسیم وزن خشک به اندام‌ها است. بخشی از این پارامترهای گیاهی موردنیاز در واحد زراعی مورد مطالعه اندازه‌گیری شدند و بخش دیگری از آنها از منابع علمی موجود استخراج گردید (بسمبینر و همکاران ۲۰۰۳، وظیفه‌دوست ۲۰۰۷). در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ پارامترهای گیاهی شامل مراحل رشد و

Archive of SID

www.SID.ir

توسعه گیاه، ارتفاع گیاه، عمق ریشه، سطح برگ، تراکم گیاهی در واحد زراعی مورد مطالعه اندازه‌گیری

جدول 3- مقادیر پارامترهای گیاهی ورودی در مدل شبیه‌سازی

پارامتر	ذرت دانه‌ای	گندم
مجموع دما از مرحله جوانه‌زنی تا گلدهی	1187	1233/2
مجموع دما از مرحله گلدهی تا برداشت	1816	1552/1
سطح برگ ویژه	0/0086	0/0015
بیشینه افزایش نسبی در سطح برگ	0/029	0/008
کارایی مصرف نور	0/5	0/4
بیشینه شدت جذب CO_2	85	50/07

جدول 4- مقادیر پارامترها و ضرایب توابع هیدرولیکی خاک ورودی در مدل شبیه‌سازی در واحد زراعی E12-5

پارامتر یا ضریب	عمق لایه (cm)	
لایه	120-600	0-120
Si **(%)**	61	52
C **(%)**	30	45
$r_b\ (gcm^{-3})$	1/55	1/71
$OC\ (\%)$	0/1	1/55
$q_{res}(cm^3cm^{-3})$	0/01	0/01
$q_{sat}(cm^3cm^{-3}))$	0/41	0/35
$K_{sat}(cmd^{-1})$	۱۳/۵	۲۲
$a\ (cm^{-1})$	۰/۰۱۷۱	۰/۰۰۹۱
$l\ (-)$	-۱/۲۸۰	-۵/۲۸۴
$n\ (-)$	۱/۱۲۷	۱/۰۷۹

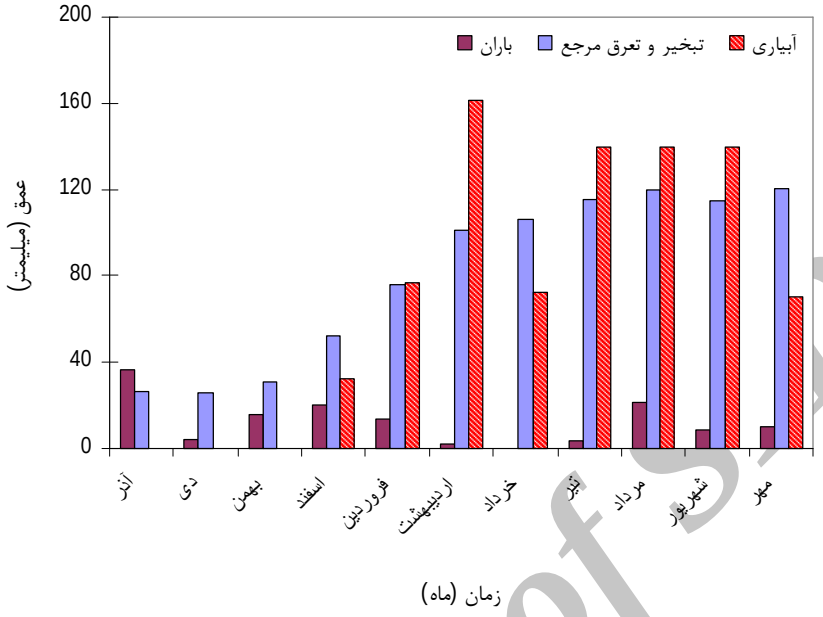
گردید (جدول ۲). مقادیر پارامترهای گیاهی ورودی در مدل *SWAP* در جدول ۳ آمده است.داده‌های ورودی خاک موردنیاز در مدل شامل لایه‌بندی خاک، رطوبت اشباع، رطوبت باقیمانده، هدایت هیدرولیکی اشباع و توابع هیدرولیکی خاک است. دانه‌بندی خاک، وزن مخصوص ظاهری، درصد مواد آلی و هدایت هیدرولیکی اشباع و رطوبت اشباع در ابتدای دوره ارزیابی در واحدزراعی مورد مطالعه اندازه‌گیری گردید. در مدل *SWAP* توابع هیدولیکی خاک بر اساس معادله ونگنوختن (۱۹۸۰) و معلم (۱۹۷۶) است. ضرایب موردنیاز در این معادله از تابع انتقالی وستن و همکاران (۱۹۹۸) بر اساس داده‌های دانه‌بندی، مواد آلی و وزن مخصوص ظاهری خاک اندازه‌گیری شده محاسبه گردید. مقادیر پارامترهای ورودی در مدل در جدول ۴ آمده است.

داده‌های باران روزانه و مقادیر تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده به روش هارگریوز-سامانی بر اساس داده-های دمای حداقل و حداکثر روزانه از ایستگاه هواشناسی مزرعه نمونه (جدول ۲) به عنوان مولفه‌های شرایط مرزی بالا در ورودی مدل لحاظ گردیدند (شکل ۱). بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده شدت جریان آب آبیاری و زمان آبیاری (جدول ۲) و همچنین سطح زیر کشت اختصاص یافته به هر یک از کانالهای آبیاری درجه ۳، مقادیر عمق آب آبیاری در تاریخ‌های مختلف آبیاری دو محصول گندم و ذرت دانه‌ای محاسبه گردید و به عنوان یکی دیگر از مولفه‌های شرایط مرزی بالا در ورودی مدل لحاظ گردید (شکل ۱).

عمق آب زیرزمینی (سطح ایستابی) اندازه‌گیری شده توسط پیزومترهای نصب شده در فواصل خطوط لترال (جدول ۲) در طول دوره ارزیابی به همراه خصوصیات سیستم زهکشی زیرزمینی شامل عمق لترال و مقاومت زهکشی لترال به عنوان شرایط مرزی پایین در ورودی مدل در نظر گرفته شد (جدول ۵).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 1- مقادیر باران ، تبخیر و تعرق مرجع و آبیاری ماهانه در سال زراعی 86-1385

جدول 5- مشخصات سیستم زهکشی زیرزمینی در واحد زراعی E12-5 در مزرعه نمونه (شبکه وشمگیر)

ویژگی زهکشی	مقدار عددی
عمق زهکش فرعی (متر)	2/5
فاصله زهکش فرعی (متر)	100
عمق زهکش کلکتور (متر)	3
ضریب هدایت هیدرولیکی عمودی (متر در روز)	0/35
ضریب غیر ایزوتروپیک (-)	2/2
مقاومت زهکشی لترال (روز)	192
مقاوت زهکشی کلکتور (روز)	158

نتایج و بحث

دوره زمانی مورد نظر در ارزیابی مدل SWAP در واحد زراعی مورد مطالعه سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ است که شامل کشت گندم در فصل زراعی اول و ذرت دانه‌ای در فصل زراعی دوم است. در مرحله اول ارزیابی مدل SWAP، داده‌های عمق آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده توسط پیزومترهای نصب شده در فواصل خطوط لترال در زمانهای معین در طول دوره ارزیابی به عنوان داده ورودی به مدل برای تبیین شرایط مرزی پایین مورد استفاده قرار گرفت. مدل SWAP اجرا گردید و مقادیرمولفه‌های شدت جریان زهکشی روزانه و جریان عمودی[1] روزانه به عنوان مولفه‌های نامعلوم بیلان آب توسط مدل *SWAP* شبیه‌سازی گردید.

[1] Bottom flux

Archive of SID

www.SID.ir

در شکل ۲ مقادیر شدت جریان زهکشی روزانه اندازه-گیری شده در زمان‌های معین در طول دوره ارزیابی در واحد زراعی مورد مطالعه و مقادیر شدت جریان زهکشی روزانه برآورد شده توسط مدل SWAP نشان داده شده است. بر اساس شکل ۲ در بیشتر زمان‌ها شدت جریان زهکشی روزانه برآورد شده توسط مدل اختلاف کمی با مقادیر اندازه‌گیری شده دارد. تفاوت بین مقادیر شدت جریان زهکشی روزانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده ممکن است ناشی از خطاهای اندازه-گیری و ناهمگنی مکانی[1] داده‌های شدت جریان زهکشی روزانه اندازه‌گیری شده و داده‌های ورودی به مدل بخصوص داده‌های خاک و شرایط مرزی پایین (عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری شده) باشد. علاوه بر این روند تغییرات زمانی شدت جریان زهکشی روزانه برآورد شده توسط مدل تطابق خوبی با روند تغییرات زمانی شدت جریان زهکشی روزانه اندازه‌گیری شده دارد (شکل ۲). مقایسه روند تغییرات زمانی شدت جریان زهکشی روزانه اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل نشان‌دهنده این است که مدل به خوبی قادر به شبیه‌سازی تغییرات زمانی شدت جریان زهکشی روزانه و ویژگی غیر یکنواخت بودن آن با زمان بوده است و نوسانات آن بعد از دفعات مختلف آبیاری و یا باران در شکل ۲ به وضوح دیده می‌شود. شدت جریان زهکشی روزانه برآورد شده توسط مدل از ۳/۵ میلیمتر در روز تجاوز نمی‌کند در حالیکه حداکثر شدت جریان زهکشی روزانه اندازه‌گیری شده در طول دوره ارزیابی ۳/۹ میلیمتر در روز بدست آمد. مقدار مجذور مربعات خطا (*RMSE*) مربوط به مقایسه آماری مقادیر شدت جریان زهکشی روزانه اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل برابر با ۰/۲۲ میلیمتر در روز بدست آمد که نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل SWAP در برآورد شدت جریان زهکشی است.

روش مورد استفاده در مدلهای شبیه‌سازی برای محاسبه شدت جریان زهکشی خروجی از لترال و تئوری و فرضیات حاکم بر آن، بر نتایج خروجی برآوردی توسط مدل تاثیر قابل ملاحظه‌ای دارد. به نظر می‌رسد که تطابق خوب مقادیر و روند تغییرات زمانی شدت جریان زهکشی اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل SWAP (شکل ۲) تا حد زیادی مربوط به روش محاسبه شدت جریان زهکشی مورد استفاده در این مدل است (علاوه بر درستی و دقت داده‌های ورودی موردنیاز). در روش "زهکشی پایه" به عنوان یکی از روشهای محاسبه شدت جریان زهکشی در مدل SWAP(در مقایسه با روش فرمولهای زهکشی) امکان لحاظ کردن تاثیر عوامل موثر خارج از حدفاصل دو لترال به خصوص کلکتور بر شدت جریان زهکشی خروجی از لترال وجود دارد. در روش زهکشی پایه که در این تحقیق نیز مورد استفاده قرار گرفته است، شدت جریان زهکشی خروجی از لترال تابعی از پارامتر مقاومت زهکشی است. در پارامتر مقاومت زهکشی که از شیب رابطه (Δh - q) اندازه‌گیری شده در مزرعه استخراج می گردد، تاثیر عوامل موثر خارج از حدفاصل دو لترال به خصوص کلکتور به صورت درونی لحاظ می گردد. به همین دلیل نتایج شدت جریان زهکشی خروجی از لترال برآورد شده توسط مدل با واقعیت-های درون مزرعه و در نتیجه مقادیر شدت جریان زهکشی اندازه‌گیری شده تطابق خوبی دارد (شکل ۲).

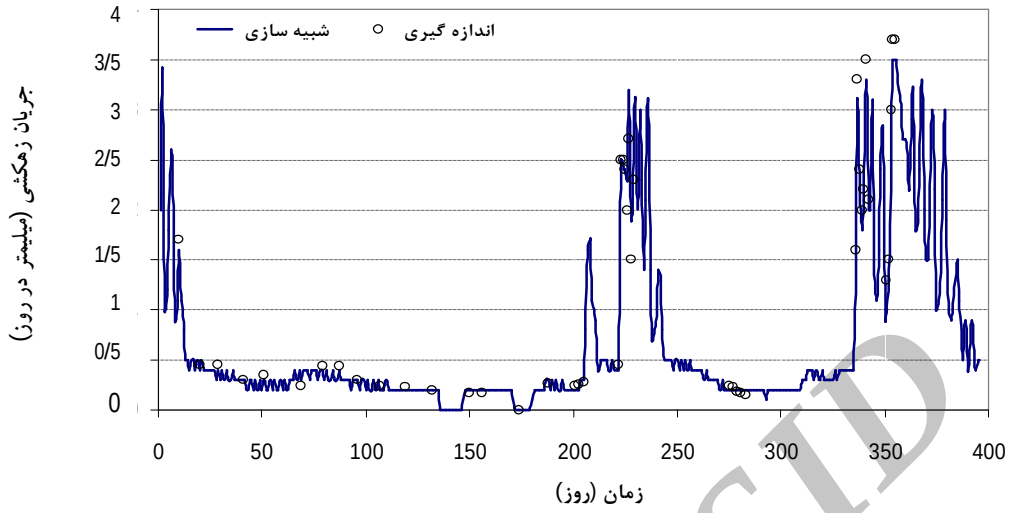
نوسانات زمانی جریان عمودی شبیه‌سازی شده (در کف پروفیل خاک مورد بررسی، عمق ۶۰۰ سانتی‌متری) توسط مدل SWAP در واحد زراعی مورد مطالعه در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ در شکل ۳ نشان داده شده است. مقادیر جریان عمودی مثبت و منفی به ترتیب نشان دهنده حرکت رو به بالا و رو به پایین آب از پروفیل خاک مورد بررسی است.

نوسانات جریان عمودی شبیه‌سازی شده توسط مدل ناشی از تغییرات بیلان آب خاک در اثر آبیاری، باران، تبخیر و تعرق و جذب آب توسط گیاه است. مقدار جریان عمودی خالص در طول دوره ارزیابی در

[1] Field heterogeneity

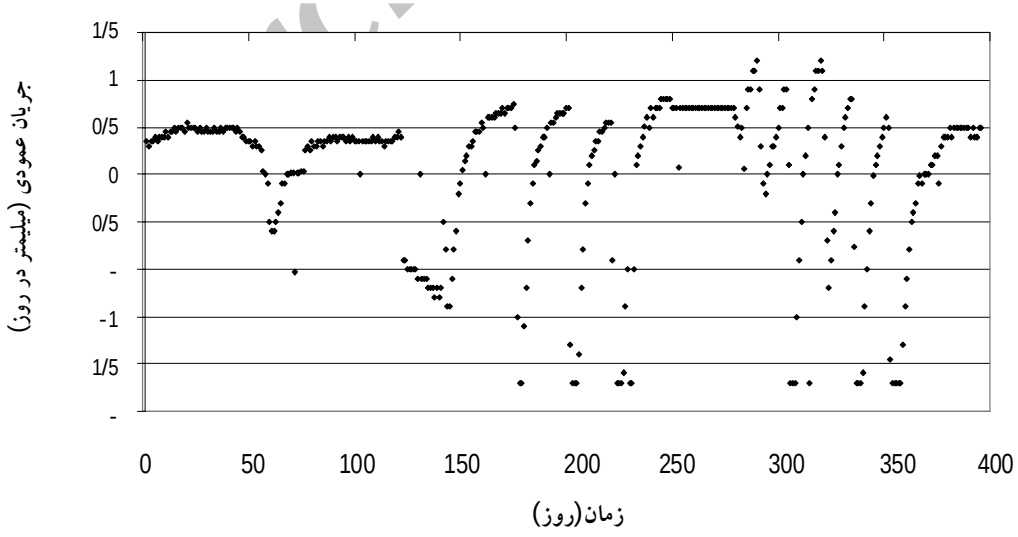
Archive of SID

www.SID.ir



شکل 2- شدت جریان زهکشی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در واحد زراعی مورد مطالعه در سال زراعی 86-1385.

واحد زراعی مورد مطالعه که از حاصل‌جمع مقادیر جریان عمودی مثبت و منفی روزانه برآورد شده توسط مدل بدست آمد (شکل ۳)، برابر با ۳۵/۶ میلیمتر است. مقدار جریان عمودی خالص برآورد شده توسط مدل معادل با ۴ درصد مجموع کل آب آبیاری و باران در بازه زمانی مورد مطالعه است (شکل ۱). نتیجه بدست آمده نشان دهنده این است که اثر جریان عمودی در بیلان آب پروفیل خاک مورد بررسی قابل توجه نبوده و قابل صرفنظر کردن است. این دلالت بر این دارد که در کف پروفیل خاک مورد بررسی (در عمق ۶۰۰ سانتیمتر) تقریباً جریان عمودی قابل‌توجه‌ای اتفاق نمی افتد. این شرایط از طریق مدلسازی معکوس در مرحله دوم ارزیابی مدل مورد بررسی بیشتری قرارگرفت.



شکل 3- نوسانات جریان عمودی شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAP در پروفیل خاک در واحد زراعی مورد مطالعه در سال زراعی 86-1385

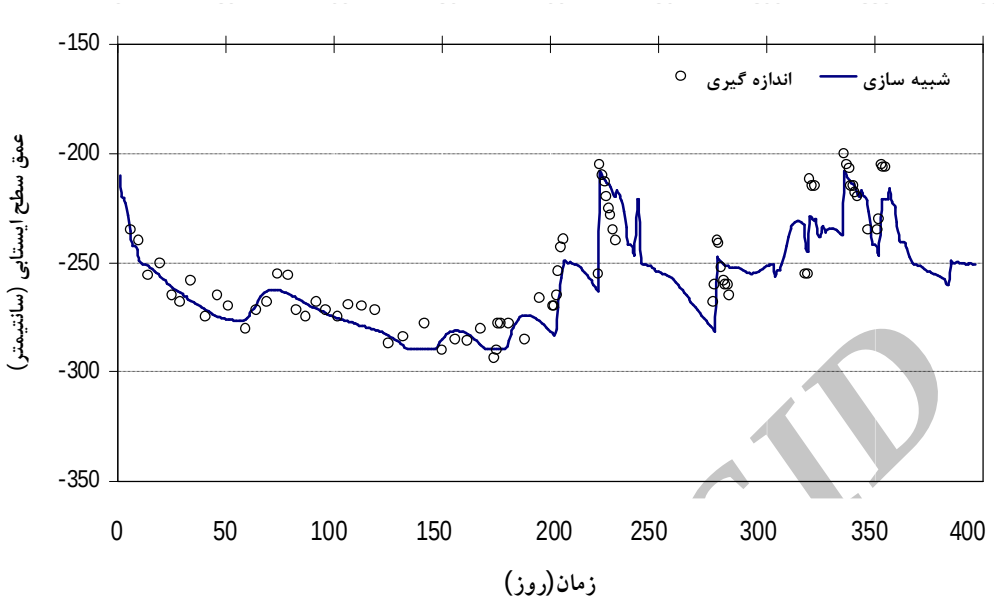
www.SID.ir

در مرحله دوم ارزیابی مدل SWAP، بر اساس نتیجه بدست آمده از مرحله اول ارزیابی، جریان عمودی صفر[1] به عنوان شرایط مرزی پایین در واحد زراعی مورد مطالعه در مدل SWAP اعمال گردید. مدل SWAP به ازای شرایط مرزی جدید تعریف شده اجرا گردید و مقادیر عمق سطح ایستابی روزانه توسط مدل شبیه‌سازی گردید. مقادیر عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری شده در زمان‌های معین در طول دوره ارزیابی در واحد زراعی مورد مطالعه و مقادیر عمق سطح ایستابی برآورد شده توسط مدل SWAP در شکل ۴ نشان داده شده است. براساس شکل ۴ در بیشتر زمان‌ها عمق سطح ایستابی برآورد شده توسط مدل اختلاف کمی با مقادیر مشاهداتی دارد. علاوه بر این نتایج بدست آمده در شکل ۴ نشان می‌دهد که روند تغییرات زمانی عمق سطح ایستابی برآورد شده توسط مدل تطابق خوبی با روند تغییرات زمانی عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری شده دارد. به عبارت دیگر مدل به خوبی قادر به شبیه‌سازی نوسانات عمق سطح ایستابی با زمان در اثر عوامل تاثیرگذار بر آن ،آبیاری، باران و زهکشی، بوده است. به منظور بررسی دقت نتایج مدل، مقایسه آماری بین مقادیر عمق سطح ایستابی اندازه-گیری شده و برآورد شده توسط مدل انجام شد و مقدار *RMSE* برابر با ۹/۵۵ سانتیمتر بدست آمد. سرور و همکاران (۲۰۰۰) مقدار *RMSE* در پیش‌بینی سطح ایستابی توسط مدل *SWAP* را در بازه ۱۵ تا ۱۹ سانتیمتر گزارش نمودند. علت اختلاف مقادیر عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل(شکل ۴)می‌تواند ناشی از خطاهای اندازه‌گیری و ناهمگنی مکانی داده‌های ورودی به مدل و مقادیر عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری شده توسط پیزومترها باشد. نتایج بدست آمده در مرحله دوم ارزیابی مدل (شکل ۴) نشان می‌دهد که تحت شرایط هیدرولوژیکی حاکم بر واحد زراعی مورد مطالعه، جریان عمودی صفر می-تواند به عنوان شرایط مرزی پایین مناسب در مدل SWAP استفاده شود. در چنین شرایطی و با استفاده از گزینه جریان عمودی صفر به عنوان شرایط مرزی پایین در مدل، امکان استفاده از مدل در بررسی و تحلیل اثرات سناریوهای مدیریتی بر تغییرات عمق سطح ایستابی و شدت جریان زهکشی وجود دارد. بدیهی است با تغییر شرایط هیدرولوژیکی حاکم از جمله تغییر برنامه‌ریزی آبیاری، نوع کشت و یا خصوصیات سیستم زهکشی ممکن است تبادلات جریان عمودی در پروفیل خاک قابل توجه باشد. در چنین شرایطی نیز می‌توان با ارزیابی اولیه مدل (در حالتی که عمق سطح ایستابی به عنوان شرایط مرزی پایین در مدل لحاظ گردد)، مقادیر جریان عمودی برآورد شده توسط مدل را از طریق مدلسازی معکوس به عنوان شرایط مرزی پایین در مدل در تحلیل سناریوهای مختلف مدیریتی استفاده کرد.

[1] Zero bottom flux

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 4- عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در واحد زراعی مورد مطالعه در سال زراعی 86-1385

نتیجه‌گیری

نتایج ارزیابی مدل SWAP در این تحقیق نشان داد که مدل برای برآورد مولفه‌های شدت جریان زهکشی زیرزمینی و عمق سطح ایستابی در شبکه آبیاری و زهکشی وشمگیر کارایی مطلوبی دارد. ارزیابی مدل در برآورد مولفه‌های هیدرولوژیکی مورد بررسی نشان داد که مدل به خوبی قادر به شبیه‌سازی روند تغییرات زمانی شدت جریان زهکشی و عمق سطح ایستابی روزانه تحت عوامل تاثیر گذار مختلف (آبیاری، باران، تبخیر و تعرق و زهکشی) است. نتایج بدست آمده از مقادیر جریان عمودی برآورد شده توسط مدل در مرحله اول ارزیابی مدل و مقایسه مقادیر عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل در مرحله دوم ارزیابی مدل، نشان داد که جریان عمودی صفر به عنوان شرایط مرزی پایین مناسب در مدل SWAP در شرایط هیدرولوژیکی حاکم بر واحد زراعی مورد مطالعه عمل می‌کند.

منابع مورد استفاده

شریفان ح، 1385. بهینه‌سازی الگو و تراکم کشت در وضعیت‌های غیرقطعی مقدار و کیفیت آب آبیاری. پایان‌نامه دکترا، دانشگاه تربیت مدرس.

شهیدی ع، 1387. اثر برهم‌کنش کم‌آبیاری و شوری بر عملکرد و اجزاء عملکرد ارقام گندم با تعیین تابع تولید آب-شوری در منطقه بیرجند. پایان‌نامه دکترا، دانشگاه شهید چمران اهواز.

Archive of SID
www.SID.ir

منصوری ح و مصطفی‌زاده ب، 1385. راهنمای نصب و اجرای مدل SWAP. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود. دانشگاه شهرکرد.

منصوری ح، مصطفی‌زاده ب، موسوی ف و فیضی م، 1386. استفاده از مدل SWAP به منظور بررسی تاثیر مدیریت آبیاری با آب شور بر رطوبت خاک منطقه رودشت اصفهان. صفحات 54-47. مجموعه مقالات نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. دانشگاه شهید باهنر کرمان.

Bessembinder JJE, Dhindwal AS, Leffelaar PA, Ponsioen T, Singh S, 2003. Analysis of crop growth pp. 59–82. In: van Dam YC and Malik RS (eds). Water Productivity of Irrigated Crops in Sirsa District, India. Integration of remote sensing, crop and soil models and geographical information systems, Wageningen University, Wageningen.

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

Ines AVM and Droogers P, 2002. Inverse modeling in estimating soil hydraulic functions: a genetic algorithm approach. Hydrology Earth System Science 6: 49-65.

Kroes JG and van Dam JC, 2003. Reference manual SWAP version 3.03. Altera Green World Research, Altera report 773. 211 p. ISSN: 1566-7197. Wageningen University and Research Center, Wageningen, the Netherlands.

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

Ritzema HP, 1994. Subsurface flow to drains p. 263-304. In: Drainage principles and applications, ILRI publication 16, second edition, Wageningen.

Ruiz ME and Utset A, 2003. Models for predicting water use and crop yields. Report of College on Soil Physics. P: 323-328.

Sarwar A and Bastiaanssen WGM, 2001. Long term effects of irrigation water conservation on crop production and environment in semiarid areas. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE 127: 331–338.

Sarwar A, Bastiaanssen WGM, Boers THM, and van Dam JC, 2000. Evaluating drainage design parameters for the forth drainage project, Pakistan by using SWAP model. Irrigation and Drainage Systems 14: 257–280.

Singh R, van Dam JC, Feddes RA, 2006. Water productivity analysis of irrigated crops in Sirsa district. India. Agricultural Water Management 82: 253-278.

Utset AH, 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.

Van Dam JC, Groenendijk P, Hendriks RFA and Kroes JG, 2008. Advances of modeling water flow in variably saturated soils with SWAP. Vadose Zone Journal 7: 640-653.

Archive of SID

www.SID.ir

Van Genuchten MTh, 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci Soc Am J 44: 892-898.

Vazifedoust M, 2007. Development of an agricultural drought assessment system, Integration of crop and soil modeling remote sensing and geographical information. Phd Dissertation. Wageningen Agricultural University.

Wosten JHM, Lilly A, Nemes A, Bas CL, 1998. Using existing soil data to derive hydraulic parameters for simulation models in environmental studies and in land use planning 106 pp. Report 156, Alterra Green World Research, Wageningen, The Netherlands.

Archive of SID

www.SID.ir