ارزیابی کارآیی مصرف آب و برآورد عملکرد گندم با استفاده از مدل SWAP در بخشی از شبکه آبیاری و زهکشی درودزن

فهیمه شیرشاهی، حسین بابازاده [۱] *، فریدون کاوه و ابراهیم امیری

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی آب، تهران، ایران.
Fahimeh.shirshahi@yahoo.com

استادیار ،دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی آب، تهران، ایران.
h_babazadeh@srbiau.ac.ir

دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه آب، تهران، ایران.
Fnkaveh@yahoo.com

دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد لاهیجان، گروه مهندسی آب، لاهیجان، ایران.
Eamiri57@yahoo.com

چکیده

اندازه‌گیری اجزای بیلان آب در فاصله‌های زمانی کوتاه به دلیل وقت گیربودن و پرهزینه بودن، مشکل است. لذا، می‌توان از مدل‌های آب، خاک و گیاه برای برآورد این مولفه‌ها استفاده نمود. در این پژوهش، به منظور برآورد عملکرد دانه و ارزیابی کارآیی مصرف آب از مدل اگروهیدرولوژیک SWAP استفاده شد. این پژوهش در یک دوره ۱۰ ساله از ۱۳۷۹-۱۳۸۹ و بخشی از محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سد درودزن به نام اراضی پایاب کانال اردیبهشت انجام و مدل برای سال‌های۱۳۷۹ تا ۱۳۸۲ براساس داده‌های اندازه‌گیری شده در مزرعه واسنجی و برای سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹ صحت سنجی شد. نتایج شبیه‌سازی مولفه‌های بیلان با استفاده از مدل SWAP و همچنین ارزیابی شاخص‌های آماری و مقایسه بین نتایج حاصل از شبیه‌سازی عملکرد دانه گندم نشان می‌دهد،که مدل SWAP عملکرد محصول را به خوبی برآورد نموده، به‌طوری‌که مقدار R^2 حدود ۰/۹۸ و براساس آزمون مقایسه میانگین t-test در سطح پنج درصد، تفاوت معنی دار نبود($P>0/05$) و مقدار جذر مربعات خطا و جذر مربعات خطای نرمال شده به ترتیب ۲۳۴ کیلوگرم در هکتار و پنج درصد بدست آمد. با استفاده از نتایج شبیه‌سازی پس از اعتبارسنجی، مقدار شاخص بهره‌وری آب آبیاری، بهره‌وری تعرق، بهره‌وری تبخیر-تعرق و بهره‌وری بارندگی+آبیاری به ترتیب بین ۰/۷۷تا۲/۰۸، ۱/۱۵تا ۲/۱۰، ۰/۶۸تا ۱/۲۶ و ۰/۶ تا ۱/۳۷ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد. ارزیابی نتایج، بررسی روش آبیاری و اقلیم منطقه نشان می‌دهد، تبخیر مستقیم از سطح خاک و اجرای روش آبیاری سطحی سبب کاهش WP_{ET} در مقابل WP_I شده است.

واژه‌های کلیدی: شاخص بهره وری آب، عملکرد دانه، مدل اگروهیدرولوژیک

---

۱ – آدرس نویسنده مسئول: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

* دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۲و پذیرش: بهمن ۱۳۹۲

مقدمه

آب اولین و مهمترین عامل محدودیت در افزایش تولید کشاورزی است و با توجه به این‌که بیشتر نقاط ایران در مناطق خشک و نیمه خشک قرار گرفته و دارای منابع آب محدود می باشد، بنابراین، ضروری است مصرف آب در کشاورزی بهینه شود (دهقان و همکاران، ۱۳۸۹). از مدل‌های شبیه‌سازی می‌توان به عنوان طرح توسعه یافته‌ای از آزمایش‌های صحرایی برای غلبه بر این محدودیت‌ها استفاده کرد (مصطفی‌زاده فرد و همکاران، ۲۰۰۹).

مدل SWAP، یک مدل جامع برای انتقال آب، املاح و گرما در محیط اشباع و غیراشباع بوده که شامل زیرمدل‌های فیزیکی برای شبیه‌سازی جریان آب، تبخیر از خاک و تعرق از گیاه، مدیریت آبیاری و عملکرد محصول است. اولین نسخه مدل SWAP، SWATRE است که نتایج ارزیابی آن حاکی از خطای مطلق ۳/۵ درصدی بین مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر برآورد شده است (فدس و همکاران، ۱۹۷۸).

قریشی و همکاران (۲۰۰۲) بیلان رطوبتی آب در خاک در زراعت نیشکر را با استفاده از مدل SWAP شبیه‌سازی کردند. آن‌ها برای ارزیابی، ابتدا مدل را برای منطقه مورد نظر در سند پاکستان واسنجی و سپس برای شبیه‌سازی محصول نیشکر استفاده کردند. نتایج عملکرد شبیه سازی شده با داده های اندازه‌گیری شده انطباق خوبی داشتند.

کیانی و همایی (۱۳۸٦) پژوهشی با هدف بررسی توانایی مدل SWAP در شبیه‌سازی انتقال آب و املاح در نیمرخ خاک انجام دادند و به این نتیجه رسیدند با وجود متغیرهای متعدد در شرایط مزرعه‌ای، مدل SWAP مقدار رطوبت، شوری خاک و عملکرد نسبی گندم را با همبستگی بالای ۸۰ درصد و میانگین مربعات خطای کمتر از انحراف معیار داده‌ها، به خوبی شبیه‌سازی کرد.

در پژوهشی در چین، بینگ ما و همکاران(۲۰۱۱) نشان دادند SWAP ابزاری قدرتمند در شبیه سازی چرخه بیلان آب است. در این پژوهش، بیلان آب برای گندم زمستانه و ذرت تحت کم آبیاری و با استفاده از مدل SWAP ارزیابی شد. اگرچه در نتایج به بررسی بهره‌وری آب برای این دو محصول اشاره‌ای نشده، اما از آن‌جایی که اجزای بیلان آب فاکتورهای اساسی در تعیین میزان شاخص‌های مختلف بهره‌وری آب هستند، بنابراین، این مدل برای ارزیابی بهره‌وری آب گزینه مناسبی می‌باشد. میزان حداکثر بهره وری آب به ازای ۷۵درصد کمبود بارش و سه نوبت آبیاری برای گندم حاصل شد.

حقایقی مقدم و همکاران (۱۳۹۱) در نیشابور اثر مدیریت رایج آبیاری بر اجزای بیلان آب و شاخص-های مختلف بهره‌وری آب در مزارع گندم، جو، چغندرقند، پنبه، ذرت علوفه‌ای و گوجه فرنگی را با استفاده از مدل SWAP بررسی کرده اند. نتایج نشان داد در شرایط مدیریت آبیاری فعلی زارعین، تبخیر از سطح خاک موجب کاهش ۲٤ درصدی بهره‌وری آب از بهره-وری تعرق (WP_T) به بهره‌وری تبخیر-تعرق (WP_{ET}) شده است. همچنین، نشان دادند که انجام آبیاری برنامه-ریزی شده می‌تواند موجب کاهش ۲٦ درصدی در مقدار آبیاری در مقایسه با شرایط رایج زارعین شود.

به منظور افزایش بهره وری آب محصولات گندم، آفتابگردان، چغندرقند و در ذرت علوفه ای، وظیفه دوست و همکاران(۲۰۰۸) پژوهشی را با استفاده از مدلSWAP در شرایط محدودیت آب در منطقه برخوار اصفهان انجام و مدل را واسنجی نمودند. بر اساس نتایج، مقدار بهره وری تعرق به ترتیب ۱/۱۸ ،۳/۳۸ ، ۰/۳۳ و ۱/۷۲ کیلوگرم بر مترمکعب برای محصولات فوق بدست آمد. همچنین، نتایج شبیه‌سازی نشان داد تبخیر مستقیم از خاک موجب کاهش ۱۱ تا ۲۷ درصدی بهره وری تبخیر و تعرق در مقایسه با بهره‌وری تعرق در یادشده می‌شود

دهقان و همکاران (۱۳۸۹) پژوهشی در دشت نیشابور با استفاده از مدل SWAP و به منظور امکان سنجی برآورد اجزای بیلان آب در مزارع گندم به انجام رساندند، دوره شبیه سازی مطابق با فصل رشد گندم از آبان ۱۳۷۸ تا اوایل تیرماه ۱۳۸۸ انتخاب شده بود و از بسته نرم افزاری RET_C برای ارزیابی و واسنجی پارامترهای هیدرولیکی خاک بهره گرفتند. مقدار ضریب R^2 را به طور متوسط ۰/۶۲، خطای نسبی را بین ۰/۳۳- و ۱۲/۶۹- گزارش کردند. به طور کل مدل SWAP را به عنوان افزار مفید و مقرون به صرفه برای محاسبه اجزای بیلان آب در سطح مزرعه توصیه کردند.

بررسی منابع پیشین نشان می‌دهد مدل SWAP قابلیت مناسبی در ارزیابی و شبیه‌سازی مواردی مانند اجزای بیلان آب، عملکرد محصول، رشد محصول و بهره-وری آب در مقیاس‌های مختلف مزرعه و شبکه آبیاری را دارا است. در این پژوهش، از مدل SWAP برای برآورد گندم زمستانه (کشت غالب) محدوده کانال اردیبهشت در یک دوره ۱۰ ساله از ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹، واسنجی و صحت سنجی و کارآیی مصرف آب برآورد شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

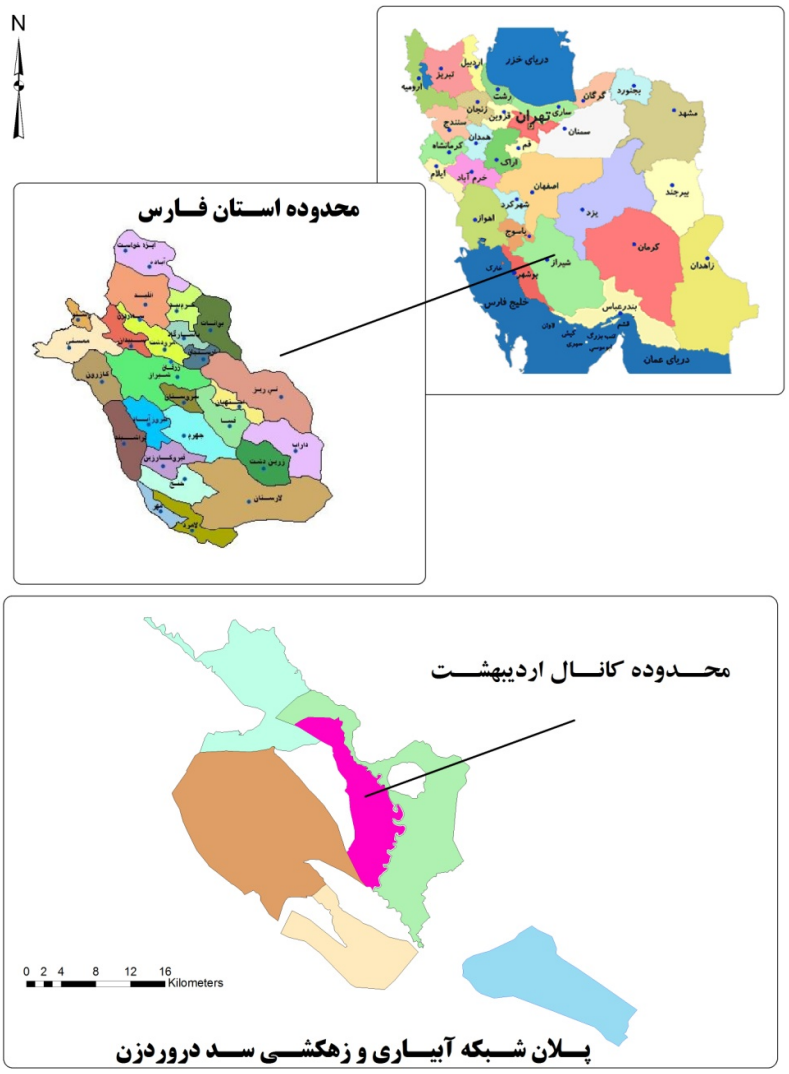
شبکه آبیاری و زهکشی سد درودزن در ۵۰ کیلومتری شمال غربی شهرستان شیراز و در قسمت شمالی دشت رودخانه کر و غرب شهرستان مرودشت قرار دارد. سد مخزنی درودزن در ارتفاع ۱۶۲۰ متری از سطح دریا واقع شده است. کانال اردیبهشت، یکی از سه کانال درجه یکی است که از آب پخش اصلی شبکه آبیاری درودزن منشعب شده و حدود ۷۶۸۵ هکتار از اراضی مرکز دشت درودزن را تحت پوشش قرار می‌دهد. از نظر ترکیب و تراکم کشت، گندم با ۶۹ درصد، بیشترین سطح زیرکشت در محدوده کانال اردیبهشت را به خود اختصاص داده است. موقعیت کانال اردیبهشت در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن در شکل(۱) نمایش داده شده است(مهاب قدس، ۱۳۹۰؛ نوروزی، ۱۳۹۱؛ نوروزی و همکاران، ۲۰۱۳)

جدول ۱- تقویم عملیات زراعی گندم در محدوده کانال اردیبهشت

مدل SWAP

مدلSWAP (3.0.3) شامل مدل‌های فیزیکی برای شبیه‌سازی عملیات آبیاری و رشد گیاه است. حرکت آب براساس معادله ریچاردز صورت می‌گیرد که برای حل این معادله از روش‌های عددی تفاضل‌های محدود و اعمال شرایط مرزی و استفاده از توابع هیدرولیکی خاک استفاده می شود (وظیفه دوست و همکاران، ۱۳۸۷).شرایط مرزی لایه سطحی نیز با استفاده از تبخیر و تعرق ET_p ، میزان آبیاری I و بارش P تعیین می‌شود. داده‌های بارندگی و تبخیر و تعرق محاسبه شده به عنوان مولفه‌های شرایط مرزی بالا در ورودی مدل لحاظ شد. مدل SWAP در بخش توسعه فنولوژیکی، کل دوره رشد گیاه گندم را به دو بخش تقسیم می کند: ۱- دوره رویشی: از جوانه زنی تا زمان گلدهی و ۲- دوره زایشی: از گلدهی تا زمان رسیدگی فنولوژیکی که از اصول مجموع درجه حرارت برای تخمین یا تعیین سرعت استفاده می-کند.ضرایب گیاهی مطابق با جدول (۲) لحاظ شد.گزینه‌های مختلفی در مدل برای در نظر گرفتن شرایط مرزی پایین وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها شامل عمق

سطح ایستابی، زهکشی آزاد، جریان عمودی صفر، رابطه جریان عمودی و سطح ایستابی است. توصیف و تشریح کامل اجزای مختلف مدل SWAP در راهنمای مدل آمده است (کروس و ونـدم، ۲۰۰۳).



شکل ۱- موقعیت کانال اردیبهشت در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سد دروزدن

جدول ۲- پارامترهای گیاهی مورد استفاده در مدل برای شبیه‌سازی گندم زمستانه

پارامتر	گندم زمستانه
دمای تجمعی از مرحله سبزینگی تا گلدهی TSUMEA, (°C)	۱۳۰۰
دمای تجمعی از مرحله گلدهی تا رسیدگی TSUMAM, (°C)	۷۵۰
سطح ویژه برگ S_{la}	۰/۰۰۱۷
حداکثر افزایش نسبی در سطح برگ RGRLAI (m2m-2d-1)	۰/۰۰۸
ضریب جذب نور Kgr	۰/۳۷
راندمان مصرف نور ε (kg ha-1hr-1/Jm2s-1)	۰/۴
حداکثر میزان همانند سازی دی اکسید کربن Amax(kg ha-1hr-1)	۴۳

ورودی‌های مدل

داده‌های آب و هوایی از ایستگاه کشاورزی کوشکک در طول جغرافیایی '۳٤ °۵۲ شرقی ، عرض جغرافیایی '۷ °۳۰ شمالی و ارتفاع ۱٦۵۰ متری از سطح دریا استفاده شد. اجزای بیلان آبی که با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی برآورد می‌شوند، به میزان آب آبیاری استفاده شده و خصوصیات هیدرولیکی خاک‌ها بسیار حساس هستند (هورر، ۲۰۰۲). براساس مقادیر اندازه‌گیری شده دبی آب آبیاری و زمان آبیاری و همچنین سطح زیر کشت اختصاص یافته به هر یک از کانال‌های درجه سه، مقادیر عمق آب آبیاری در تاریخ‌های مختلف آبیاری برای گندم محاسبه شد. پروفیل خاک تا عمق ۱۳۰ سانتی‌متر، در عمق‌های ۳۰-۰، ٦۰-۳۰، ۹۰-٦۰ و ۱۳۰-۹۰ موجود بود (مهاب‌قدس، ۱۳۹۰؛ نوروزی و همکاران، ۲۰۱۳). ضرایب توابع هیدرولیکی خاک از طریق توابع هیدرولیکی وستون(۱۹۹۸) برآورد شد. در جدول (۳) پارامترهای هیدرولیکی خاک ارائه شده است.

جدول ۳- ضرایب توابع هیدرولیکی خاک

لایه	θ_{res} (cm^3cm^{-3})	θ_{sat} (cm^3cm^{-3})	K_{sat} ($cm\ day^{-1}$)	α (cm^{-1})	λ (-)	n (-)
۰-۳۰	۰/۰۱	۰/۴۶	۴۱/۰۹	۰/۰۳۲۴	-۲/۸۷	۱/۱۸
۳۰-۶۰	۰/۰۱	۰/۴۰	۶/۹۹	۰/۰۲۳۲	-۴/۲۲	۱/۰۸
۶۰-۹۰	۰/۰۱	۰/۳۹	۱۰/۶۴	۰/۰۲۶۳	-۳/۸۹	۱/۱۱۲
۹۰-۱۳۰	۰/۰۱	۰/۴۵	۱۸/۵۳	۰/۰۲۷۰	-۲/۷۸	۱/۱۳۱

شاخص‌های بهره وری آب

شاخص‌های WP بیان کننده سود به دست آمده از مصرف آب می باشند. با در نظر گرفتن این نکته که فتوسنتز (و بنابراین وزن خشک گیاه) و میزان تعرق از طریق فرآیند پخشیدگی آب و دی اکسید کربن با هم در ارتباط هستند، راندمان مصرف آب به‌وسیله گیاه به صورت زیر تعریف می‌شود:

که در آن:

$$WUE = \frac{Y\ (kg\ ha^{-1}day^{-1})}{T\ (mm\ day^{-1})} \quad (۱)$$

WUE راندمان مصرف آب، Y میزان رشد ماده خشک و T میزان تعرق می باشد(بابازاده و سرایی، ۱۳۹۱؛ وظیفه دوست، ۲۰۰۸).

اگر میزان تجمعی تغییرات ماده خشک و مقدار تعرق را در طول یک دوره مشخص در نظر گرفته شود، راندمان آب مورد استفاده به‌وسیله گیاه تحت عنوان کارآیی مصرف آب (WP_T) تعریف می شود. در زمانی که آبیاری انجام می شود، در مقیاس مزرعه ای جداسازی تعرق T(mm) از تبخیر E(mm) عموماً مشکل بوده و در نتیجه به جای عبارت WP_T ممکن است از عبارت WP_{ET} استفاده شود. اگر مقدار آب آبیاری و بارش به عنوان آب مورد استفاده گیاه در نظر گرفته شود، کارآیی مصرف آب با WP_{I+P} نشان داده شده و تحت شرایط کم آبی که میزان بارش بسیار اندک است WP_{I+P} ممکن است به WP_I تبدیل شود (بابازاده و تبریزی، ۲۰۱۳؛ وظیفه‌دوست و همکاران، ۱۳۸۷).

شاخص‌های ارزیابی

برای استفاده از مدل‌های شبیه سازی واسنجی و صحت سنجی مدل ضروری می باشد. به همین منظور عمل واسنجی براساس مقادیر عملکرد گندم در سال های ۱۳۷۹-۱۳۸۲ انجام شد، برای صحت سنجی مدل از شاخص‌های RMSE[۲] و RMSEn و ME[۳] برای سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۸ استفاده شد.

[2] Root Mean Square Error
[3] Model Error

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \quad (۲)$$

$$RMSE_n = 100\ (\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2 / n)^{0.5}) \Big/ \overline{O} \quad (۳)$$

$$ME = 100\ (\frac{P_i - O_i}{O_i}) \quad (٤)$$

که در آن‌ها:

P_i مقدار برآورد شده ، O_i مقدار اندازه گیری شده $\overline{O}$ میانگین داده‌های اندازه گیری شده و n تعداد مشاهدات می باشد(امیری و همکاران، ۱۳۸۸).

نتایج و بحث

ارزیابی مدل

مقدار میانگین عملکرد مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده به ترتیب ٤۹۸۰ و ٤۸۳٦ کیلوگرم بر هکتار در مرحله واسنجی و ٤۳٦۰ و ٤۰۸۰ کیلوگرم بر هکتار در مرحله صحت سنجی است. خطای نسبی مدل به ترتیب در مرحله واسنجی و صحت سنجی ۳- و ٤- بود. نتیجه آزمون تی برای مرحله واسنجی ۰/٤٥ و برای مرحله صحت سنجی ۰/٤۲ است. ضریب R^2 به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۹۹ می باشد.

جدول(٤) خلاصه نتایج ارزیابی مدل در شبیه‌سازی عملکرد محصول را نشان می دهد. ضریب RMSE (به ترتیب در مرحله واسنجی و اعتباریابی، ۱٤۸ و ۲۰٥) در هر دو مرحله واسنجی و اعتباریابی از انحراف معیار داده‌های مشاهده ای(برابر با۹۱۱) کمتر بوده که نشان دهنده دقت خوب شبیه‌سازی می‌باشد. در تحلیل نتایج مشاهده می‌شود که مدل میزان عملکرد را کمتر از مقدار واقعی برآورد کرده است. البته مصطفی‌زاده فرد و همکاران(۲۰۰۸) در بررسی کارآیی مدل SWAP در تخمین عملکرد گندم و شوری خاک در منطقه رودشت اصفهان گزارش کردند هرچند آزمون صحت یابی با چهار شاخص آماری نشان داد که این مدل در مناطق خشک قابل استفاده است، اما این مدل عملکرد محصول را بیشتر از نتایج واقعی شبیه‌سازی کرده است که خلاف نتیجه این پژوهش است.

بخشی از اختلاف بین داده‌های مشاهده و شبیه-سازی شده محصول تولیدی به دلیل تغییر مکانی و همچنین خطاهای آزمایشی استکه این امر در شرایط مزرعه اجتناب ناپذیر است. همچنین، در مدل SWAP نقش مواد مغذی، آفات و بیماری ها را بر رشد گیاه در نظر گرفته نمی شود (قریشی و همکاران، ۲۰۰۲). مقدار میانگین مربعات خطای نرمال شده در مرحله واسنجی و اعتباریابی به ترتیب سه و چهار درصد است، در نتیجه نشان دهنده دقت مطلوب مدل در برآورد عملکرد محصول است.

هرچه ضریب همبستگی آن به یک (۰/۹۸ و ۰/۹۹) نزدیک‌تر باشد، مدل حاصل مناسب تر است. با استفاده از آزمون مقایسه میانگین t-test ($P>$۰/۰٥) تفاوت معنی داری بین مقدار شبیه‌سازی شده و مقدار واقعی عملکرد وجود ندارد. بنابراین، با توجه به شاخص های ارائه شده، می توان مطرح نمود کارآیی مدل در شبیه‌سازی عملکرد محصول قابل قبول است، همانطور که دیگر پژوهشگران به نتایج مشابهی برای محصول گندم دست یافته اند (اکبری، ۱۳۸۳؛وردی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۹؛ نحوی‌نیا و همکاران، ۱۳۸۹؛ نوروزی و همکاران، ۲۰۱۳).

جدول ۴- مقادیر پارامترهای آماری برای ارزیابی مدل در شبیه سازی عملکرد دانه گندم

	میانگین عملکرد مشاهده ای (kg/ha)	میانگین عملکرد شبیه سازی شده (kg/ha)	RMSE (kg/ha)	$RMSE_n$ %	ME %	P(t)	R^2
واسنجی	۴۹۸۰	۴۸۳۶	۱۴۸	۳	-۳	۰/۴۵	۰/۹۸
اعتبارسنجی	۴۳۶۰	۴۰۸۰	۲۰۵	۴	-۴	۰/۴۲	۰/۹۹

اجزای بیلان آب

جدول (۵) نتایج برآورد اجزای بیلان آب را نشان می‌دهد، مقدار بارندگی در طول فصل رشد بین ۱۲۰ تا ٤۹۱ میلی‌متر است. با این میزان بارندگی می توان آبیاری‌های غیرضروری در فصل پاییز و زمستان را حذف کرد. در شرایط مزرعه ای تعرق واقعی گندم (محاسبه شده به وسیله مدل) بین ٤۰۳ تا ۵۵۲ میلی‌متر متغیر است. به طور کلی، تبخیر و تعرق واقعی گندم با توجه به شرایط اقلیمی و دوره رشد گیاه متفاوت می باشد. به عنوان مثال، دورنباس و کسام (۱۹۷۹)، سینگ و همکاران (۲۰۰٦) در منطقه ای در هند، وظیفه دوست و همکاران (۲۰۰۸) در برخوار اصفهان و دهقان و همکاران (۱۳۸۹) مقدار تبخیر و تعرق گندم را به ترتیب بین ٤۵۰ تا ٦۵۰ ، ۳۹۳، ۵۱۷ و ٤۷۲ میلی‌مترگزارش کردند.

جدول ۵- اجزای بیلان آب و عملکرد برآورد شده

سال‌ها	عملکرد محصول (kg/ha)	اجزای بیلان آب(mm)						
		آبیاری	بارش	تعرق	تبخیر	تبخیر و تعرق	نفوذ عمقی	ذخیره‌رطوبتی
۱۳۸۰-۱۳۷۹	۳۲۵۳	۲۶۷	۲۲۲	۳۰۵	۱۲۲	۴۲۷	-۲۶۱	-۲۰۰
۱۳۸۱-۱۳۸۰	۵۵۸۸	۴۵۵	۴۲۹	۵۲۰	۳۲	۵۵۲	-۴۴۷	-۱۶۳
۱۳۸۲-۱۳۸۱	۴۴۹۱	۲۸۰	۴۵۴	۲۲۶	۱۵۴	۳۸۰	-۵۳۱	-۱۸۵
۱۳۸۳-۱۳۸۲	۵۴۲۳	۴۸۷	۴۵۴	۳۳۳	۱۱۲	۴۴۵	-۶۱۳	-۲۰۰
۱۳۸۴-۱۳۸۳	۵۴۲۶	۳۶۰	۴۹۱	۳۳۰	۱۱۹	۴۴۹	-۵۷۹	-۱۹۰
۱۳۸۵-۱۳۸۴	۴۴۳۲	۲۴۵	۴۱۹	۲۶۱	۱۳۸	۳۹۹	-۴۱۴	-۱۴۹
۱۳۸۶-۱۳۸۵	۵۱۳۹	۳۷۲	۴۷۳	۳۰۶	۱۳۸	۴۴۴	-۵۵۲	-۱۵۴
۱۳۸۷-۱۳۸۶	۴۴۵۶	۲۲۴	۱۲۰	۲۹۴	۱۰۹	۴۰۳	-۱۳۶	-۱۹۴
۱۳۸۸-۱۳۸۷	۳۲۱۰	۲۵۶	۲۲۰	۴۱۴	۸۷	۵۰۱	-۱۷۰	-۱۹۵
۱۳۸۹-۱۳۸۸	۳۱۹۴	۲۵۶	۲۶۹	۴۴۰	۵۶	۴۹۶	-۲۱۷	-۱۸۹

در شکل (۲) مقدار تعرق واقعی و تبخیر واقعی در طول فصل رشد در مزارع نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که ابتدای فصل به دلیل کم بودن پوشش گیاهی، سهم تبخیر بیشتر از تعرق است. هرچه به اواسط یا انتهای دوره رشد پیش می‌رود، از مقدار تبخیر کاسته شده و به مقدار تعرق افزوده می شود، به طوری که در مراحل انتهایی دوره رشد تبخیر به صفر و تعرق به حداکثر مقدار خود می‌رسد. این مسئله به نوعی اهمیت کاهش جزء تبخیر در ابتدای فصل رشد را نشان می-دهد.در سال ۱۳۸۰-۱۳۸۱، بیشترین میزان عملکرد محصول مشاهده شده است، که با نگاهی به میزان تبخیر و تعرق ملاحظه می‌شود، که در این سال گیاه نسبت تعرق به تبخیر ۹۷ به سه درصد می‌باشد جدول (۵). این موضوع باعث می شود که مدیریت آبیاری به استفاده بهینه از آب آبیاری و کاهش میزان تبخیر سوق داده شود.

بهره وری آب

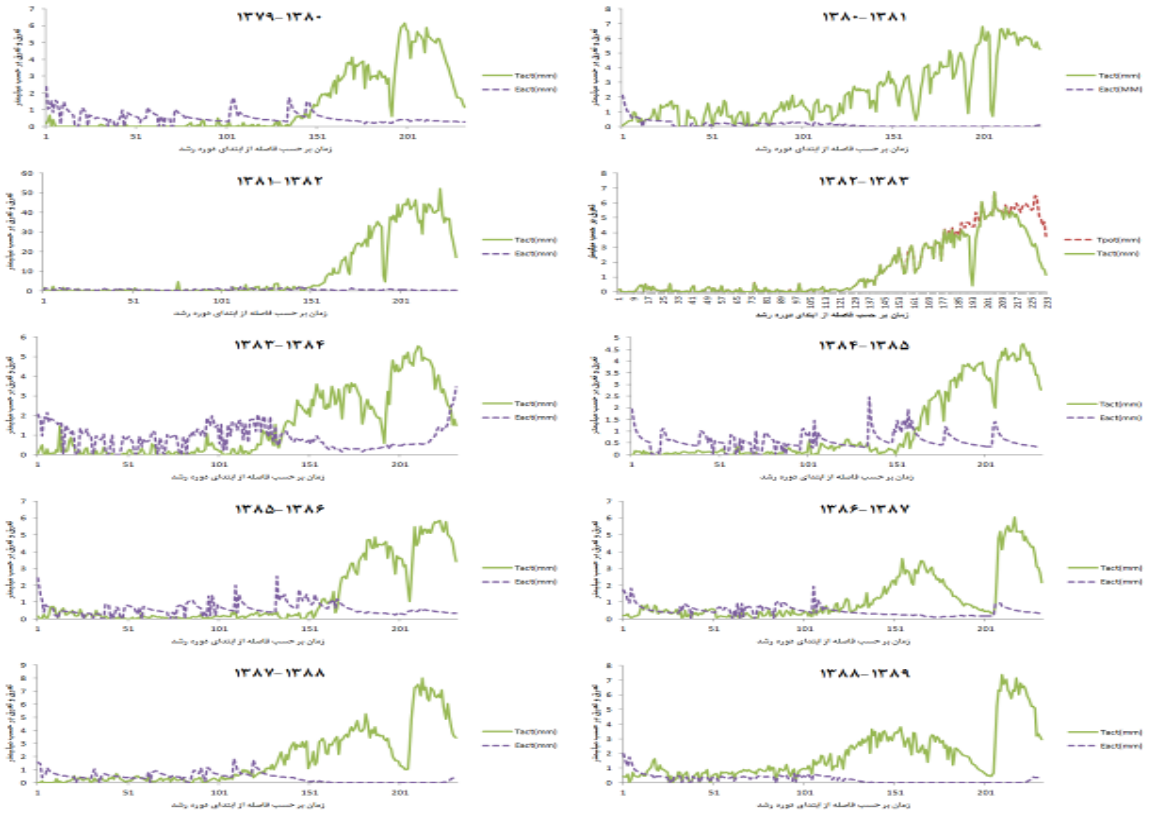
شاخص های بهره وری آب با استفاده از شبیه سازی اجزای بیلان آب از قبیل میزان آبیاری، تعرق، تبخیر و تعرق، نفوذ عمقی و رطوبت ذخیره شده در منطقه توسعه ریشه و از عملکرد دانه اندازه گیری شده در طول ۱۰ سال مطالعه منطقه محاسبه شد. مقدار کارآیی مصرف آب آبیاری بین ۰/۷۷تا۲/۰۸، مقدار WP_T بین ۱/۱۵تا ۲/۱۰، مقدار WP_{ET} بین ۰/٦۸تا ۱/۲٦ و مقدار WP_{I+R} بین ۰/٦ تا ۱/۳۷ کیلوگرم بر مترمکعب می باشد. با توجه به مقادیر فوق، مشخص شد قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر در شرایط اقلیمی مختلف و اجرای روش آبیاری سطحی سبب شده تبخیر از سطح خاک سبب کاهش WP_{ET} در مقابل WP_I شود. از سویی، مقادیر نفوذ عمقی و رطوبت ذخیره به عنوان تلفات در نظر گرفته شده و باعث کاهش WP می شود. شکل (۳) شان می دهد در سال‌های خشک نظیر ۱۳۷۹، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ کارآیی مصرف آب آبیاری بیشتر از سودمندی تعرق (WP_T) می باشد، چرا که در این

سال‌ها میزان تلفات ناشی از هرزآب کاسته شده و استفاده بهینه از آب آبیاری به عمل آمده است. این اتفاق به این علت می‌تواند باشد که در این سال‌ها آب تحویلی به مزارع کمتر از سال‌های نرمال و مرطوب است و وقتی کشاورز آب آبیاری کافی در اختیار ندارد تا فاصله بین آبیاری و نیاز آبی گیاه را پر کند، به صورت جدی به استفاده بهینه از آب در دسترس روی ارائه اند تا به حداکثر سود با همین مقدار آب قابل دسترس برسد. نتایج پژوهش وظیفه دوست و همکاران(۱۳۸۷) مؤید همین نکته می‌باشد.

نتیجه گیری

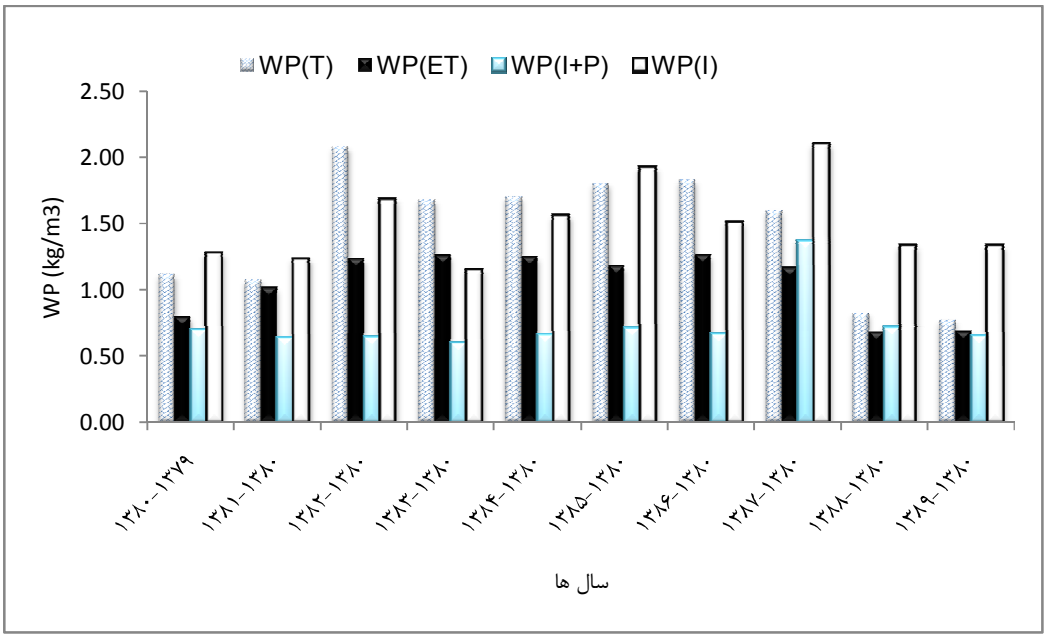
در شرایط اقلیمی مختلف و اجرای روش آبیاری سطحی سبب شده تبخیر از سطح خاک سبب کاهش WP_{ET} در مقابل WP_I شود. از سویی، مقادیر نفوذ عمقی و رطوبت ذخیره به عنوان تلفات در نظر گرفته شده و باعث کاهش WP می‌شود. مقدار R^2 حدود ۰/۹۸ و براساس آزمون مقایسه میانگین t-test در سطح پنج درصد تفاوت معنی دار نبود($P>0/05$) و مقدار RMSE و $RMSE_n$ به ترتیب ۲۳٤ کیلوگرم در هکتار و پنج درصد بدست آمد.

با مقایسه مقدار شاخص‌های آماری و نیز مقادیر بدست آمده برای این شاخص در مطالعات انجام شده در گذشته می توان نتیجه گیری کرد که شبیه‌سازی محصول تولیدی با دقت قابل قبولی صورت گرفته است. با توجه به وسعت و اهمیت منطقه و کمبود شدید منابع آب در سال های اخیر به طور کل نیاز به آموزش برای کشاورزان برای بهبود بهره وری آب توصیه می شود.



شکل ۲- میزان تعرق واقعی و میزان تبخیر

در شرایط مزرعه ای – تعرق واقعی گندم بین ٤٠٣ تا ٥٥٢ میلی‌متر متغیر بود. با استفاده از نتایج شبیه سازی پس از اعتبارسنجی، مقدار شاخص بهره وری آب آبیاری، بهره وری تعرق، بهره وری تبخیر-تعرق و بهره وری بارندگی+ آبیاری به ترتیب بین ۰/۷۷تا۲/۰۸، ۱/۱۵تا ۲/۱۰، ۰/٦۸تا ۱/۲٦ و ۰/٦ تا ۱/۳۷ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد.



شکل ۳- مقادیر شاخص‌های مختلف کارآیی مصرف آب به تفکیک سال (WP(I)،WP(T)،WP(ET) و WP(I+P) به ترتیب شاخص های بهره وری آب به ازای آبیاری، تعرق، تبخیر-تعرق و آبیاری+بارندگی می باشند.)

فهرست منابع

١. اکبری، م. ۱۳۸۳. بهبود مدیریت آبیاری مزارع با استفاده از تلفیق اطلاعات ماهواره ای، مزرعه ای و مدل شبیه‌سازیSWAP. رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس. ص ۱۸۰.

٢. امیری، ا.، م. کاووسی و ف. کاوه. ۱۳۸۸. ارزیابی مدل‌های گیاهی SWAP،OYRZA2000 وWOFOST در مدیریت‌های مختلف آبیاری. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی،۱۰(۳): ۲۸-۱۳.

٣. بابازاده ح. و م. سرائی تبریزی. ۱۳۹۱. واسنجی مدل SWAP برای شبیه‌سازی عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب سویا ، مجله علوم و مهندسی آبیاری ۳۵(٤):۸۳-۹٦

٤. دهقان، ه.، ا. علیزاده و س. ا. حقایقی مقدم. ۱۳۸۹. تخمین اجزای بیلان آب در مقیاس مزرعه با استفاده از مدل شبیه‌سازیSWAP (مطالعه موردی: منطقه نیشابور). نشریه آب و خاک، ٢٤(٦): ١٢٧٥-١٢٦٥.

٥. شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس، ۱۳۹۰. مطالعات ارزیابی عملکرد و پایش مدیریت بهره برداری و نگهداری، بهبود، ترمیم و بهسازی شبکه آبیاری و زهکشی درودزن.

٦. کیانی، ع. ر، م. همایی. ۱۳۸٦. ارزیابی مدل SWAP در شبیه سازی انتقال آب و املاح در نیمرخ خاک. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۸(۱): ۱۳-۳۰.

٧. نحوی نیا م. ج.، ع. شهیدی ،م. پارسی نژاد و ب کریمی. ۱۳۸۹. ارزیابی مدل SWAP در تخمین محصول گندم در شرایط کم آبیاری و شوری در منطقه بیرجند. مجله پژوهش آب ایران، شماره ٦: ٥٨-٤٣.

۸. نوروزی اقدم، ا. ۱۳۹۱. امکان‌سنجی پیش‌بینی اجزاء بیلان آب و عملکرد محصول با استفاده از ترکیب مدل SWAP، مدل اقلیمی RegCM و داده‌های ماهواره‌ای (مطالعه موردی: شبکه آبیاری و زهکشی درودزن). رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران. ص ۱۹۰.

۹. وردی نژاد وحیدرضا، سهرابی ت.،فیضی م.، حیدری ن . و عراقی نژاد ش.،۱۳۸۹. الگوبندی عملکرد محصولات مختلف در شرایط شوری آب آبیاری با استفاده از مدل SWAP ، مجله دانش آب و خاک . ۲۰/۱(٤) :۱۱۱-۹۷.

۱۰. وظیفه دوست، م.، ا. علیزاده، غ.ع. کمالی و م. فیضی، ۱۳۸۷. افزایش بهره وری آب کشاورزی در مزارع تحت آبیاری منطقه برخوار اصفهان. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۲(۲):٤٨٤-٤٩٥.

11. Allen, R.G., Pereira, L.S. Raes, D. and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration, Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, Italy.
12. Babazadeh, H. and Tabrizi, M.S. 2013. Combined Optimization of Soybean Water Productivity and Crop Yield by Multi-Objective Genetic Algorithm (MOGA). Irrig. and Drain. 62: 425-434
13. Doorenbos, J. and Kassam A.H. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage paper, NO 33, Rome, Italy.
14. Feddes, R.A., Kowalik P. And Zarandy H. 1978. Simulation of field water use and crop yield. Pudoc. Wageningen, pp. 189.
15. Haghayeghi Moghgadam A. and Farzamnia M. 2012. Effect of irrigation scheduling on indicators of water productivity and sustainable management of groundwater:Case study in Neyshabour Plain ,26 (2) :129-142.
16. Jhorar, R.K. 2002. Estimation of effective soil hydrolic parameters for water management studies in semi-arid zones. Ph D. Thesis, ISBN 90-5808-644-5, Wageningen University and research Centre, Wageningen, The Netherlands, 157pp.
17. Kroes, J.G. and Van Dam J.C. 2003. Reference manual SWAP version 3.03. Alterra Green World Research, Alterra report 773, ISSN 1566-7197. Wageningen University and Research Centre, Wageningen, The Netherlands, 211p.
18. Mostafazadeh-fard, B., Mansouri H., Mousavi S.F. and Feizi M. 2008. Application of SWAP Model to predict yield and soil salinity for sustainable agriculture in an arid region. International Journal of Sustainable Development and Planning, 3(4): 334-342.
19. Mostafazadeh-fard B., Mansouri Mousavi H. and Feyzi M. 2009. Effects of different levels of irrigation water salinity and leaching on yield and yield components of wheat in an arid region. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 135(1): 32-38.
20. Norouzi Aghdam E., Babazadeh, H., Vazifehdoost, M., Kaveh, F. 2013, Regional Modeling of Wheat yield production using the Distributed Agro-hydrological SWAP, Advances in Environmental Biology, 7(1):86-93.
21. Qureshi, S.A., Madramootoo C.A. and Dodds G.T. 2002. Evaluation of irrigation schemes for sugarcane in sindh, Pakistan, using SWAP93. Agricultural Water Management, 1(54):37-48.
22. Singh, R. 2005. Water productivity analysis from field to regional scale: integration of crop and soil modeling, remote sensing and geographical information. Ph.D Thesis, Wangeningen University, Wageningen, The Netherlands.
23. Singh, R., Van Dam, J.C. and Feddes R.A. 2006. Water productivity analysis of irrigated crops in sirsa district, India. Agricultural Water Management, 82: 253-278.
24. Vazifedoust, M., van Dam J.C. Feddes R.A. and Feizi M. 2008. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. Agricultural Water Management, 95: 89-102.
25. Van Dam, J.C., Huygen J., Wesseling J.G., Feddes R.A., Kabat P., Van Wlsum P.E., Groenendijk P. and Van Diepen C.A. 1997. Theory of SWAP version 2.0. Simulation of water

flow, solute transfort and plant growth in soil-water-atmosphere-plant Environment. Technical Document 45. DLO Winand Staring Centre. Wageningen, the Netherlands.

26. Wösten, J.H.M., Lilly A. Nemes A. and Le Bas C. 1998. Using existing soil data to derive hydraulic parameters for simulation models in environmental studies and in land use planning. Report 156. DLO Winand staring Centre. The Netherlands.
27. Ying Ma, Y., Feng, S., Huo, Z. and Song, X. 2011. Application of the SWAP model to simulate the field water cycle under deficit irrigation in Beijing, China. Journal of Mathematical and Computer Modeling, 54: 1044-1052.