

## ارزیابی کارایی مصرف آب و برآورد عملکرد گندم با استفاده از مدل SWAP

### در بخشی از شبکه آبیاری و زهکشی درودزن

فهیمة شیرشاهی، حسین بابازاده<sup>۱\*</sup>، فریدون کاوه و ابراهیم امیری

دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی آب، تهران، ایران.

[Fahimeh.shirshahi@yahoo.com](mailto: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](mailto: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](mailto:Fnkaveh@yahoo.com)

دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد لاهیجان، گروه مهندسی آب، لاهیجان، ایران.

[Eamiri57@yahoo.com](mailto:Eamiri57@yahoo.com)

### چکیده

اندازه‌گیری اجزای بیلان آب در فاصله‌های زمانی کوتاه به دلیل وقت‌گیر بودن 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 کارایی مصرف آب از مدل آگروهیدرولوژیک 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 سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۲ براساس داده‌های اندازه‌گیری شده در مزرعه واسنجی و برای سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹ صحت‌سنجی 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، به طوری که مقدار  $R^2$  حدود ۰/۹۸ و براساس آزمون مقایسه میانگین t-test در سطح پنج درصد، تفاوت معنی‌دار 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 ۰/۷۷ تا ۰/۰۸، ۱/۱۵ تا ۲/۱۰، ۰/۶۸ تا 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 بهره‌وری آب، عملکرد دانه، مدل آگروهیدرولوژیک

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

\* دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۲ و پذیرش: بهمن ۱۳۹۲

در پژوهشی در چین، یینگ 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 بهره‌وری آب به ازای ۷۵ درصد 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 شاخص‌های مختلف بهره‌وری آب در مزارع گندم، جو، چغندر قند، پنبه، ذرت علوفه‌ای و گوجه فرنگی را با استفاده از مدل SWAP بررسی کرده‌اند. نتایج نشان داد در شرایط مدیریت آبیاری فعلی زارعین، تبخیر از سطح خاک موجب کاهش ۲۴ درصدی بهره‌وری آب از بهره‌وری تعرق (WPT) به بهره‌وری تبخیر-تعرق (WPET) شده است. همچنین، نشان دادند که انجام آبیاری برنامه‌ریزی شده می‌تواند موجب کاهش ۲۶ درصدی در مقدار آبیاری در مقایسه با شرایط رایج زارعین شود.

به منظور افزایش بهره‌وری آب محصولات گندم، آفتابگردان، چغندر قند و در ذرت علوفه‌ای، وظیفه دوست و همکاران (۲۰۰۸) پژوهشی را با استفاده از مدل SWAP در شرایط محدودیت آب در منطقه برخوار اصفهان انجام و مدل را واسنجی نمودند. بر اساس نتایج، مقدار بهره‌وری 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 بهره‌وری تبخیر و تعرق در مقایسه با بهره‌وری تعرق در یادشده می‌شود

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 می‌باشد، 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 شبیه‌سازی شده با داده‌های اندازه‌گیری شده انطباق خوبی داشتند.

کیانی و همایی (۱۳۸۶) 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.



کامل اجزای مختلف مدل SWAP در راهنمای مدل آمده است (کروس و وندم، ۲۰۰۳).

سطح ایستابی، زهکشی آزاد، جریان عمودی صفر، رابطه جریان عمودی و سطح ایستابی است. توصیف و تشریح



شکل ۱- موقعیت کانال اردبیهشت در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سد درودزن

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

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

### ورودی‌های مدل

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 ۰-۳۰، ۳۰-۶۰، ۶۰-۹۰، ۹۰-۱۳۰ سانتی‌متر، در (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.

داده‌های آب و هوایی از ایستگاه کشاورزی کوشک در طول جغرافیایی  $34^{\circ} 52'$  شرقی، عرض جغرافیایی  $7^{\circ} 30'$  شمالی و ارتفاع ۱۶۵۰ 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

جدول ۳- ضرایب توابع هیدرولیکی خاک

n	$\lambda$	$\alpha$	$K_{sat}$	$\theta_{sat}$	$\theta_{res}$	لایه
(-)	(-)	( $cm^{-1}$ )	( $cm\ day^{-1}$ )	( $cm^3\ cm^{-3}$ )	( $cm^3\ cm^{-3}$ )	
۱/۱۸	-۲/۸۷	۰/۰۳۲۴	۴۱/۰۹	۰/۴۶	۰/۰۱	۰-۳۰
۱/۰۸	-۴/۲۲	۰/۰۳۳۲	۶/۹۹	۰/۴۰	۰/۰۱	۳۰-۶۰
۱/۱۱۲	-۳/۸۹	۰/۰۲۶۳	۱۰/۶۴	۰/۳۹	۰/۰۱	۶۰-۹۰
۱/۱۳۱	-۲/۷۸	۰/۰۲۷۰	۱۸/۵۳	۰/۴۵	۰/۰۱	۹۰-۱۳۰

تعرق T(mm) از تبخیر E(mm) عموماً مشکل بوده و در نتیجه به جای عبارت  $WP_T$  ممکن است از عبارت  $WP_{PET}$  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 شبیه‌سازی واسنجی و صحت‌سنجی مدل ضروری می‌باشد. به همین منظور عمل واسنجی براساس مقادیر عملکرد گندم در سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۸۲ انجام شد، برای صحت‌سنجی مدل از شاخص‌های  $RMSE^2$  و  $RMSEn^3$  و  $ME^3$  برای سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۸ استفاده شد.

### شاخص‌های بهره‌وری آب

شاخص‌های  $WP$  بیان‌کننده سود به دست آمده از مصرف آب می‌باشند. 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:

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

$WUE$  راندمان مصرف آب،  $Y$  میزان رشد ماده خشک و  $T$  میزان تعرق می‌باشد (بابازاده و سرایی، ۱۳۹۱؛ وظیفه‌دوست، 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 می‌شود. در زمانی که آبیاری انجام می‌شود، در مقیاس مزرعه ای جداسازی

<sup>2</sup> Root Mean Square Error

<sup>3</sup> Model Error

واقعی برآورد کرده است. البته مصطفی‌زاده فرد و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی کارایی 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 شبیه‌سازی شده محصول تولیدی به دلیل تغییر مکانی و همچنین خطاهای آزمایشی است که این امر در شرایط مزرعه اجتناب ناپذیر است. همچنین، در مدل SWAP نقش مواد مغذی، آفات و بیماری‌ها را بر رشد گیاه در نظر گرفته نمی‌شود (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 نزدیک‌تر باشد، مدل حاصل مناسب‌تر است. با استفاده از آزمون مقایسه میانگین  $t$ -test ( $P > 0/05$ ) تفاوت معنی‌داری بین مقدار شبیه‌سازی شده و مقدار واقعی عملکرد وجود ندارد. بنابراین، با توجه به شاخص‌های ارائه شده، می‌توان مطرح نمود کارایی مدل در شبیه‌سازی عملکرد محصول قابل قبول است، همانطور که دیگر پژوهشگران به نتایج مشابهی برای محصول گندم دست یافته‌اند (اکبری، ۱۳۸۳؛ وردی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۹؛ نحوی‌نیا و همکاران، ۱۳۸۹؛ نوروزی و همکاران، ۲۰۱۳).

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

$$RMSE_n = 100 \left( \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / n \right)^{0.5} / \bar{O} \quad (3)$$

$$ME = 100 \left( \frac{P_i - O_i}{O_i} \right) \quad (4)$$

که در آن‌ها:

$P_i$  مقدار برآورد شده،  $O_i$  مقدار اندازه‌گیری شده  $\bar{O}$  میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده و  $n$  تعداد مشاهدات می‌باشد (امیری و همکاران، ۱۳۸۸).

## نتایج و بحث

### ارزیابی مدل

مقدار میانگین عملکرد مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده به ترتیب ۴۹۸۰ و ۴۸۳۶ کیلوگرم بر هکتار در مرحله واسنجی و ۴۳۶۰ و ۴۰۸۰ کیلوگرم بر هکتار در مرحله صحت‌سنجی است. خطای نسبی مدل به ترتیب در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی ۳- و ۴- بود. نتیجه آزمون تی برای مرحله واسنجی ۰/۴۵ و برای مرحله صحت‌سنجی ۰/۴۲ است. ضریب  $R^2$  به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۹۹ می‌باشد.

جدول (۴) خلاصه نتایج ارزیابی مدل در شبیه‌سازی عملکرد محصول را نشان می‌دهد. ضریب RMSE (به ترتیب در مرحله واسنجی و اعتباریابی، ۱۴۸ و ۲۰۵) در هر دو مرحله واسنجی و اعتباریابی از انحراف معیار داده‌های مشاهده‌ای (برابر با ۹۱۱) کمتر بوده که نشان دهنده دقت خوب شبیه‌سازی می‌باشد. در تحلیل نتایج مشاهده می‌شود که مدل میزان عملکرد را کمتر از مقدار

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

$R^2$	P(t)	ME %	RMSE <sub>n</sub> %	RMSE (kg/ha)	میانگین عملکرد شبیه‌سازی شده (kg/ha)	میانگین عملکرد مشاهده‌ای (kg/ha)
۰/۹۸	۰/۴۵	۳-	۳	۱۴۸	۴۸۳۶	۴۹۸۰
۰/۹۹	۰/۴۲	۴-	۴	۲۰۵	۴۰۸۰	۴۳۶۰

## اجزای بیلان آب

اقلیمی و دوره رشد گیاه متفاوت می باشد. به عنوان مثال، دورنباس و کسام (۱۹۷۹)، سینگ و همکاران (۲۰۰۶) 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 ۴۵۰ تا ۶۵۰، ۳۹۳، ۵۱۷ و ۴۷۲ میلی متر گزارش کردند.

جدول (۵) نتایج برآورد اجزای بیلان آب را نشان می دهد، مقدار بارندگی در طول فصل رشد بین ۱۲۰ تا ۴۹۱ میلی متر است. با این میزان بارندگی می توان آبیاری های غیر ضروری در فصل پاییز و زمستان را حذف کرد. در شرایط مزرعه ای تعرق واقعی گندم (محاسبه شده به وسیله مدل) بین ۴۰۳ تا ۵۵۲ میلی متر متغیر است. به طور کلی، تبخیر و تعرق واقعی گندم با توجه به شرایط

جدول ۵- اجزای بیلان آب و عملکرد برآورد شده

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

## 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 ۰/۷۷ تا ۰/۸۱، مقدار  $WP_T$  بین ۱/۱۵ تا ۲/۱۰، مقدار  $WP_{ET}$  بین ۰/۶۸ تا ۱/۲۶ و مقدار  $WP_{I+R}$  بین ۰/۶ 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 سال های خشک نظیر ۱۳۷۹، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ کارآیی مصرف آب آبیاری بیشتر از سودمندی تعرق ( $WP_T$ ) می باشد، چرا که در این

در شکل (۲) مقدار تعرق واقعی و تبخیر واقعی در طول فصل رشد در مزارع نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می شود که ابتدای فصل به دلیل کم بودن پوشش گیاهی، سهم تبخیر بیشتر از تعرق است. هرچه به اواسط یا انتهای دوره رشد پیش می رود، 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 می رسد. 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 می شود، که در این سال گیاه نسبت تعرق به تبخیر ۹۷ به سه درصد می باشد جدول (۵). این موضوع باعث می شود که مدیریت آبیاری به استفاده بهینه از آب آبیاری و کاهش میزان تبخیر سوق داده شود.

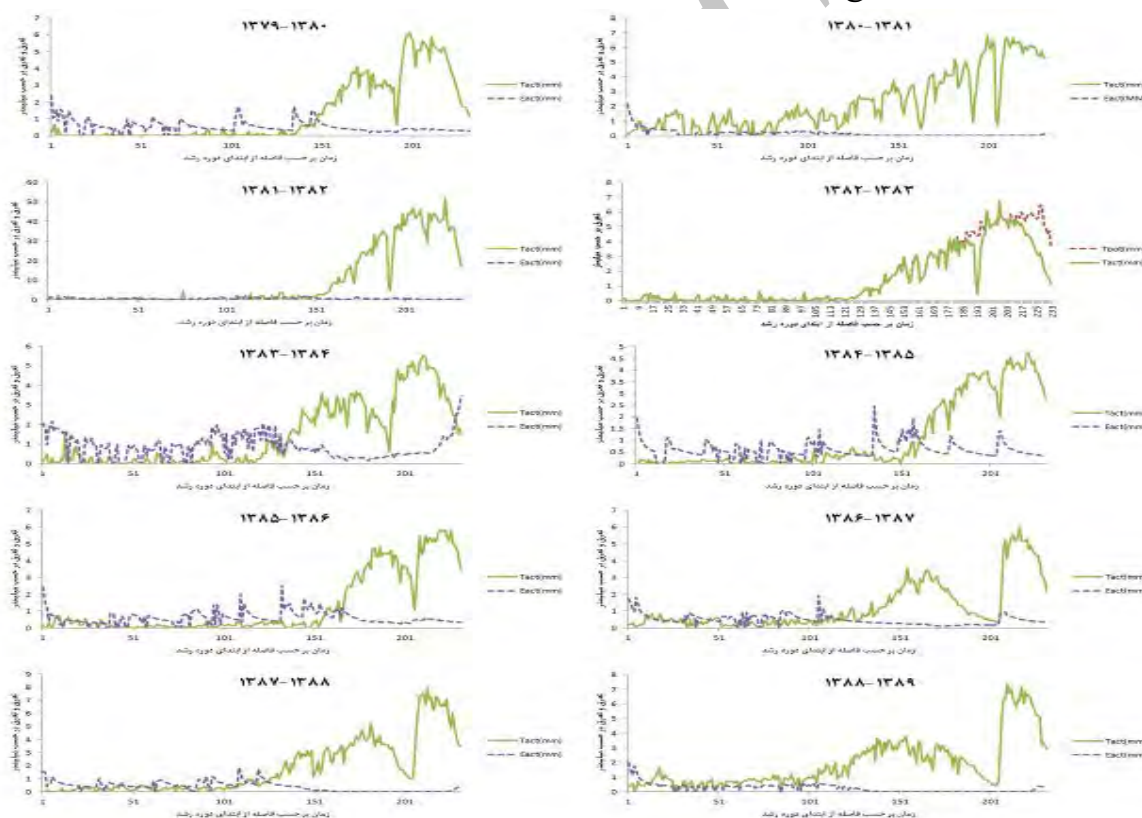
سال‌ها میزان تلفات ناشی از هزآب کاسته شده و استفاده بهینه از آب آبیاری به عمل آمده است. این اتفاق به این علت می‌تواند باشد که در این سال‌ها آب تحویلی به مزارع کمتر از سال‌های نرمال و مرطوب است و وقتی کشاورز آب آبیاری کافی در اختیار ندارد تا فاصله بین آبیاری و نیاز آبی گیاه را پر کند، به صورت جدی به استفاده 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<sub>ET</sub> در مقابل WP<sub>I</sub> شود. از سویی، مقادیر نفوذ عمقی و رطوبت ذخیره به عنوان تلفات در نظر گرفته شده و باعث کاهش WP می‌شود. مقدار R<sup>2</sup> حدود ۰/۹۸ و براساس آزمون مقایسه میانگین t-test در سطح پنج درصد تفاوت معنی دار نبود (P>۰/۰۵) و مقدار RMSE و RMSE<sub>n</sub> به ترتیب ۲۳۴ 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 می‌توان 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 سال‌های اخیر به طور کل نیاز به آموزش برای کشاورزان برای بهبود بهره‌وری آب توصیه می‌شود.

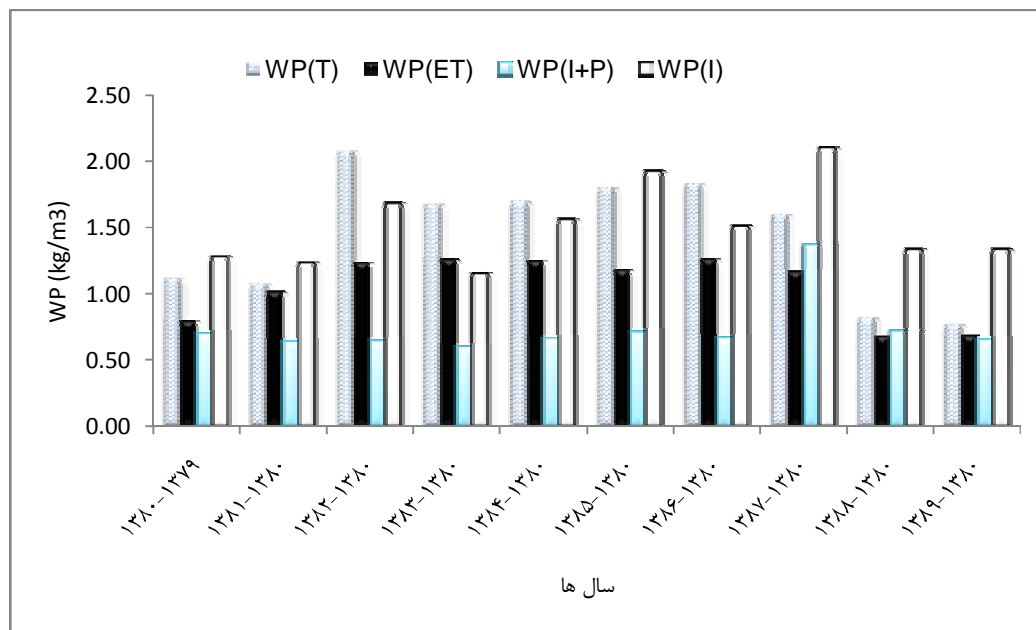


شکل ۲- میزان تعرق واقعی و میزان تبخیر



بهره وری بارندگی + آبیاری به ترتیب بین ۰/۷۷ تا ۲/۰۸،  
۱/۱۵ تا ۲/۱۰، ۰/۶۸ تا ۱/۲۶ و ۰/۶ تا ۱/۳۷ کیلوگرم بر  
مترمکعب بدست آمد.

در شرایط مزرعه ای - تعرق واقعی گندم بین  
۴۰۳ تا ۵۵۲ میلی-متر 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



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

### فهرست منابع

۱. اکبری، م. ۱۳۸۳. بهبود مدیریت آبیاری مزارع با استفاده از تلفیق اطلاعات ماهواره ای، مزرعه ای و مدل شبیه سازی SWAP. رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس. ص ۱۸۰.
۲. امیری، ا.، م. کاووسی و ف. کاوه. ۱۳۸۸. ارزیابی مدل های گیاهی SWAP.OYRZA2000 و WOFOST در مدیریت های مختلف آبیاری. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۲۸-۱۳.
۳. بابازاده ح. و م. سرائی تبریزی. ۱۳۹۱. واسنجی مدل SWAP برای شبیه سازی عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب سویا، مجله علوم و مهندسی آبیاری ۳۵(۴): ۸۳-۹۶.
۴. دهقان، ه.، ا. علیزاده و س. ا. حقایقی مقدم. ۱۳۸۹. تخمین اجزای بیلان آب در مقیاس مزرعه با استفاده از مدل شبیه سازی SWAP (مطالعه موردی: منطقه نیشابور). نشریه آب و خاک، ۲۴(۶): ۱۲۷۵-۱۲۶۵.
۵. شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۱۳۹۰. مطالعات ارزیابی عملکرد و پایش مدیریت بهره برداری و نگهداری، بهبود، ترمیم و بهسازی شبکه آبیاری و زهکشی درودزن.
۶. کیانی، ع. ر.، م. همایی. ۱۳۸۶. ارزیابی مدل SWAP در شبیه سازی انتقال آب و املاح در نیمرخ خاک. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۱۸(۱): ۱۳-۳۰.
۷. نحوی نیا، م. ج.، ع. شهیدی، م. پارسا 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 ۶: ۵۸-۴۳.

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. ۱(۲۰): ۹۷-۱۱۱.
۱۰. وظیفه دوست، م.، ا. علیزاده، غ.ع. کمالی و م. فیضی، ۱۳۸۷. افزایش بهره‌وری آب کشاورزی در مزارع تحت آبیاری منطقه برخوار اصفهان. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۲(۲): ۴۸۴-۴۹۵.
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 Moghadam 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., Vazifehdoust, 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, Wageningen 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. Vazifehdoust, 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 transport 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.

Archive of SID