شبیه‌سازی شاخص‌های بهره‌وری آب با استفاده از مدل اگروهیدرولوژیکی SWAP و مقایسه آن با شرایط مزرعه‌ای در خاک شالیزاری

آدینه عبدی[۱]، صفورا اسدی کپورچال[۲]، مجید وظیفه دوست[۳] و مجتبی رضایی[۴]

تاریخ ارسال:۱۳۹۹/۰۶/۰۸
تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۱۱/۱۱

مقاله پژوهشی

چکیده

در دهه‌های اخیر مدل‌های زیادی برای شبیه‌سازی مدیریت آب در مزرعه بسط یافته و تمرکز اصلی پژوهش‌گران به‌دست آوردن محصول بیشتر به ازای واحد آب مصرفی است. بهره‌وری آب بیان‌گر مقدار عملکرد محصول به ازای هر واحد آب کاربردی است. با توجه به محدودیت منابع آب و مصرف بهینه آن در راستای صرفه‌جویی و افزایش بهره‌وری آب، پژوهش حاضر با هدف شبیه‌سازی شاخص‌های بهره‌وری آب برای محصول برنج رقم هاشمی با استفاده از مدل آگروهیدرولوژیکی SWAP در خاک‌های شالیزاری در مقیاس مزرعه‌ای انجام شد. برای اندازه‌گیری مقدار تبخیر-تعرق واقعی از دو لایسیمتر ته بسته استفاده شد. مقدار تبخیر-تعرق به‌صورت روزانه اندازه‌گیری و بهره‌وری آب آبیاری (WP_{ir}) و بهره‌وری بر حسب تبخیر-تعرق (WP_{ET}) محاسبه گردید. سپس مقادیر اندازه‌گیری‌شده با برآوردشده از مدل SWAP مقایسه شدند. نتایج نشان داد که مدل SWAP از دقت بسیار خوبی در برآورد میزان عملکرد (R^2=۰/۹۰ و RMSE= ۶۴۸/۷۳) و میزان آب مصرفی در فرایند تبخیر-تعرق (R^2=۰/۸۹ و RMSE=۱۶۴/۰۷) برخوردار می‌باشد. با استفاده از مدل واسنجی شده SWAP، شاخص‌های بهره‌وری آب حاصل از تقسیم عملکرد بر تبخیر- تعرق (WP_{ET}) و عملکرد بر آب آبیاری (WP_{ir}) در مزرعه مورد مطالعه به‌ترتیب برابر با مقدار ۰/۸۷۶ و ۰/۵۵۳ کیلوگرم بر متر مکعب تخمین زده شد. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش راندمان آبیاری، حذف نفوذ عمقی و کاهش تبخیر کارایی مصرف آب به میزان ۳۰٪ افزایش می‌یابد. به‌طور کلی به‌منظور مدیریت صحیح مزارع شالیزاری در سطح نسبتا وسیع و با در نظرداشتن عملکرد مطلوب محصول در زمان برداشت، توجه جدی به بهره‌وری آب و ارتقای آن با اعمال روش‌های کارآمد یکی از مؤثرترین راه‌های مقابله با بحران کم آبی و افزایش کمّی و کیفی تولیدات برنج می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای هیدرولیکی خاک، بهره‌وری آب، مدل SWAP، مدیریت آب

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران ۰۹۰۲۶۷۷۲۸۷۸ adinehabdi@yahoo.com
[۲] استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران ۰۹۱۲۶۸۷۳۳۶۷ safooraasadi@guilan.ac.ir (نویسنده مسئول)
[۳] استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت ایران۰۱۳-۳۳۶۹۰۲۷۴ majid.vazifedoust@yahoo.com
[۴] موسسه تحقیقات برنج کشور. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت ، ایران ۰۱۳-۳۳۶۹۰۰۵۲ mrezaeii@yahoo.com

مقدمه

امروزه کمبود آب به صورت یک تهدید واقعی برای زندگی انسان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک در کشورهای در حال توسعه است. آب اولین و مهم‌ترین عامل محدودیت در افزایش تولیدات کشاورزی است، نگاهی به مناطق برنج‌کاری در کشور نشان می‌دهد که بیش از دو سوم اراضی شالیزاری در شمال کشور قرار دارد. در این مناطق از دیر باز وجود خاک‌های سنگین و رودخانه‌های پر آب موجب رواج شالی‌کاری گردیده است. لیکن در سال‌های اخیر به دلیل تشدید پدیده کم‌آبی، افزایش نیاز به آب شرب به دلیل افزایش جمعیت، نیاز فزآینده بخش صنعت و برداشت از سرشاخه‌های رودخانه‌هایی که به دریای خزر می‌ریزند تأمین آب برای اراضی شالیزاری با مشکل جدی مواجه شده است. هرچند که تلاش برای رسیدن به محصول زیادتر در بیشتر اوقات همراه با افزایش بهره‌وری که نسبت محصول تولیدی به حجم آب مصرف شده است، نمی‌باشد. امروزه مطالعات زیادی در مورد ذخیره آب، بیلان آب و بهره‌وری آب انجام شده است. با توجه به پیش‌بینی تغییرات بهره‌وری آب برنج در جهان تا سال ۲۰۲۵ بر اساس بررسی‌های بین المللی، سهم آب کشاورزی در جهان در حدود ۲۷۰۰ میلیارد مترمکعب است و پیش‌بینی می‌شود این رقم تا سال ۲۰۵۰ میلادی به دو برابر افزایش یابد (Cai and Rosegrant, 2003). بیش‌ترین مقدار مصرف آب در بین محصولات کشاورزی به برنج اختصاص دارد. با محدود شدن منابع آبی و اثر تغییرات اقلیمی در چند سال اخیر شاخص بهره‌وری آب از دیدگاه تولید به ازای واحد مصرف آب به طور مستقیم یا غیرمستقیم مورد توجه قرار گرفته است. طی سال‌های اخیر تحقیقات مفیدی با هدف بازبینی و بررسی مقادیر بهره‌وری آب کشاورزی در نقاط مختلف دنیا انجام شده است. توجه به بهره‌وری آب و ارتقای آن با به کار بستن روش‌های مناسب یکی از راهکارهای مهم افزایش کمّی و کیفی محصولات کشاورزی و نیز مقابله با بحران کم‌آبی است. با توجه به نیاز آبی بالای گیاه برنج، بهره‌وری آب آن کمتر از سایر غلات می‌باشد به‌طوری‌که بهره‌وری آب برنج در مقیاس جهانی حدود ۰/۱۵ تا ۰/۶ کیلوگرم بر متر مکعب و برای سایر غلات ۰/۲ تا ۲/۴ کیلوگرم بر متر مکعب است (حیدری، ۱۳۹۳).

استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی در بسیاری از مسائل مربوط به مدیریت آبیاری کاربرد داشته است و مدل‌های متعددی برای مسائل مربوط به حرکت آب در خاک و رشد محصول طراحی شده است. یکی از این مدل‌ها، مدل SWAP است که قابلیت بالایی در شبیه‌سازی حرکت آب در خاک و اجزای بیلان آب دارد. امروزه برآورد بهره‌وری آب شاخصی مهم در ارزیابی سیستم‌های آبیاری و عملکرد در کشاورزی است و به عنوان یک شاخص صرفه‌جویی آب در مراحل مختلف بهره‌برداری در بخش کشاورزی در نظر گرفته می‌شود (Waqas et al., 2020). مدل SWAP در مقیاس‌های مختلف مانند مزرعه، شبکه آبیاری و حوضه مورد استفاده قرار گرفته‌است. نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که مدل SWAP مدلی توان‌مند برای شبیه‌سازی جریان آب در خاک و همچنین بیلان آب در سطح مزرعه می‌باشد. Vazifedoust et al., 2008 در تحقیقی در منطقه برخوار اصفهان برای شبیه سازی مقادیر بیلان آبی مانند تعرق، تبخیر از خاک و نفوذ عمقی و پیش‌بینی عملکرد برخی محصولات شامل گندم، ذرت علوفه‌ای، آفتاب‌گردان و چغندرقند، مدل SWAP را ارزیابی و واسنجی کردند. نتایج آنها نشان داد که به علت نفوذ عمقی و رطوبت ذخیره شده در پروفیل خاک مقادیر WP_I نسبت به مقادیر WP_{ET} حدود ۲۴ تا ۴۲ درصد کاهش داشته است.

شاخص بهره‌وری، به‌کارگیری آب در کشاورزی، عملکرد، درآمد اقتصادی، شرایط اجتماعی، کار و فعالیت را به ازای واحد آب به‌کار رفته بیان می‌کند و در جایی که تنها شاخص عملکرد به ازای مصرف آب مد نظر باشد، کارایی مصرف آب مطرح می‌شود (کشاورز و دهقانی سانیج، ۱۳۹۱). در سیستم‌های تولید کشاورزی، بهره‌وری آب برای گیاهان، برابر میزان عملکرد (دانه) تولید شده به ازای هر واحد آب مصرفی تعریف می‌شود

(Molden et al., 2001). با توجه به خشک‌سالی‌های چند سال اخیر و کمبود منابع آبی و رشد بی‌سابقه‌ی تقاضا برای مصرف آب در بخش‌های صنعتی و شرب حجم آب قابل دسترس برای آبیاری شالیزارها نیز به‌طور فزاینده‌ای کاهش یافته است. اعمال مدیریت صحیح و متناسب با رشد گیاه برنج در اراضی شالیزاری منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب، افزایش بهره‌وری آب در اراضی شالیزاری، توسعه کشاورزی پایدار و افزایش امنیت غذایی و نیز توسعه اقتصادی می‌شود. بر پایه پژوهش‌های محققان موسسه بین المللی تحقیقات برنج، کشت برنج در شرایط غرقاب دائم با عمق ایستابی ۲-۷ سانتی‌متر در سطح کرت طی دوره رشد گیاه با وجود تأمین آب و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه برنج و کنترل رشد علف‌های هرز به دلیل وجود بحران کم آبی، مقرون به صرفه و امکان پذیر نمی‌باشد. Liu et al., (2008) در پژوهشی بهره‌وری فیزیکی آب برای محصولات گندم، برنج و پنبه را در کشور هند به‌ترتیب ۱/۰۴، ۰/۸۴ و ۰/۲۱ کیلوگرم بر متر مربع به‌دست آوردند.

Abbasi and Sepaskhah (2011) مقدار بهره‌وری آب مبتنی بر آب آبیاری (WP_I) را برای برخی ارقام برنج در ایران در شرایط آبیاری غرقاب و آبیاری نوبتی در محدوده ۰/۰۹ تا ۰/۵۲ کیلوگرم دانه بر متر مکعب آبیاری گزارش کردند.

در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی برای برآورد دقیق ویژگی‌های هیدرولیکی خاک جهت استفاده در شبیه‌سازی عددی انتقال آب و املاح برای اهداف کشاورزی، اکولوژیکی و زیست‌محیطی، انجام شده است. ویژگی‌های هیدرولیکی خاک با تاثیر بر حرکت آب در خاک، نقشی مهم در چرخه آب و انرژی در سطح زمین ایفا می‌کنند. آگاهی از این ویژگی‌ها برای پیش‌بینی حرکت آب و املاح در خاک، مسائل مختلف آبیاری و زهکشی، تعیین نیاز آبی گیاهان، مقدار آب موجود در خاک، کنترل شوری و مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری اهمیت زیادی دارد. دقت برآورد و مدل‌سازی جریان آب و املاح در خاک به دقت در برآورد پارامترهای هیدرولیکی خاک بستگی دارد. همچنین حساس‌ترین پارامترها در مدل SWAP مربوط به ویژگی‌های هیدرولیکی خاک است (Van Lier et al., 2015).

بهره‌گیری از آبیاری تناوبی در اراضی شالی‌کاری سبب بهبود ویژگی‌های خاک و افزایش عملکرد محصول می‌شود. بر اساس شاخص مؤسسه بین المللی مدیریت آب نیز، ایران در وضعیت بحران شدید آبی قرار دارد (کشاورز و دهقانی سانیج، ۱۳۹۱). با توجه به روند افزایشی محدودیت آب، تولیدکنندگان برنج سعی دارند تا با مصرف کمتر آب بتوانند در راستای صرفه‌جویی آب، افزایش بهره‌وری آب و تولید بیشتر محصول برنج را داشته باشند. بنابراین لازم است که مقدار شاخص بهره‌وری آب اندازه‌گیری شود (Kijne et al., 2003).

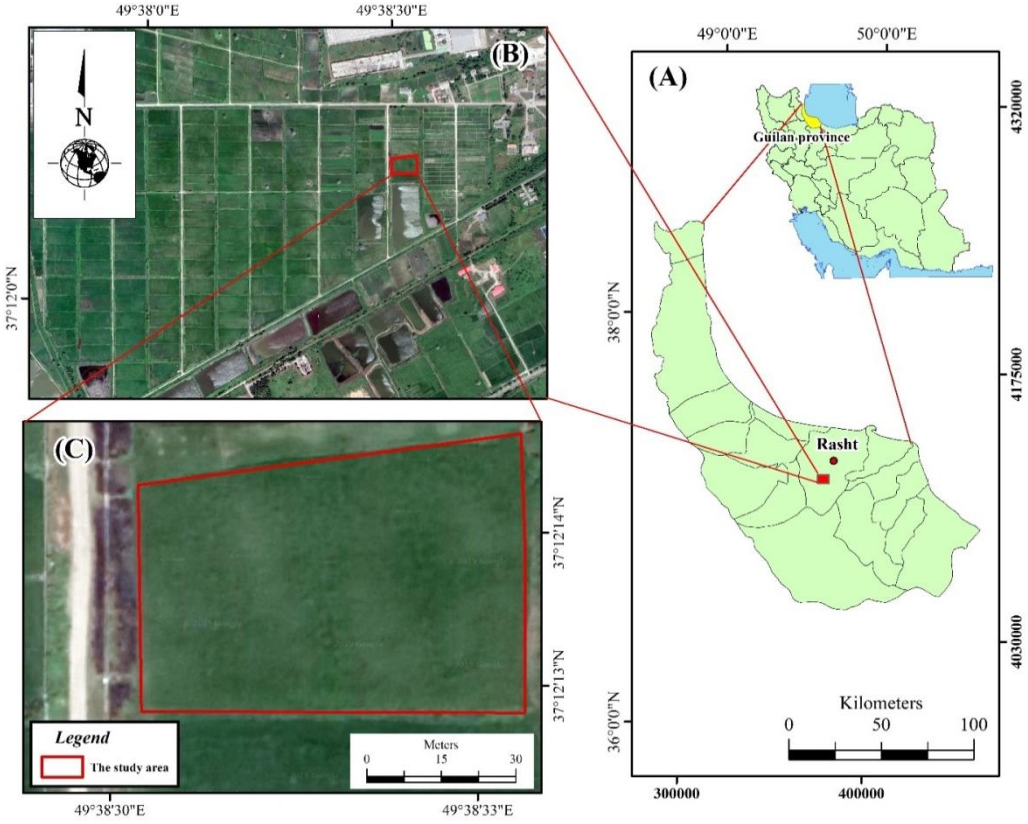
طی سالیان اخیر مطالعات مختلفی در رابطه با دیدگاه‌های مختلف بهره‌وری آب در بخش کشاورزی انجام شده است. مقدار آب مورد نیاز برنج به طور مستقیم به میزان آب تبخیر شده از طریق برگ‌ها وابسته است بنابراین میزان آب مورد نیاز برنج بر اساس دوره رشد گیاه تغییر می‌کند. آب مورد نیاز کشت برنج بسته به بافت خاک، شرایط زهکشی، اقلیمی و اکولوژیکی منطقه کشت، نوع رقم، روش کاشت، ابعاد کرت و تراکم بوته متفاوت است. پیش‌بینی می شود که در کشورهای در حال توسعه، برداشت آب برای بخش کشاورزی تا سال ۲۰۲۵ به مقدار ۵۰٪ و در کشورهای توسعه یافته به ۱۸٪ افزایش یابد (Gheewala et al, 2014). با توجه به این موضوع که کمبود آب یکی از عمده‌ترین محدودیت‌های کشت برنج در سراسر جهان است و نیز برنج سازگاری نسبتا کمی با شرایط محدودیت آب دارد و با توجه به بحران آب در جهان، محققان در تلاش برای یافتن زمان مناسب برای اعمال تنش خشکی هستند به گونه‌ای که کمترین تأثیر را بر عملکرد محصول برنج بگذارد. اعمال مدیریت صحیح آبیاری در مراحل مختلف رشد، گامی موثر در راستای کاهش مصرف بی‌رویه آب و بهبود بهره‌وری مصرف آب آبیاری است. پژوهش حاضر با هدف شبیه‌سازی شاخص‌های بهره‌وری آب با استفاده از مدل SWAP و مقایسه آن با مقدار بهره‌وری محاسبه شده از داده‌های

مزرعه‌ای در خاک‌های شالیزاری و بررسی کارایی مدل در افزایش بهره‌وری آب محصول برنج انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در یکی از مزارع شالیزاری به مساحت تقریبی ۴۹۶۴ متر مربع در مؤسسه تحقیقات برنج کشور با موقعیت جغرافیایی بین طول شرقی ً۳۰ ′۳۸ °۴۹ تا ً۳۳ ′۳۸ °۴۹ و عرض شمالی ً۱۳ ′۱۲ °۳۷ تا ً۱۵ ′۱۲ °۳۷ و همچنین ارتفاع تقریبی ۲۴ متر پایین‌تر از سطح دریا در سال زراعی ۹۶-۹۷ طراحی و اجرا شد. رقم برنج مورد استفاده در این پژوهش رقم هاشمی بود که در تاریخ ۲۷ اردیبهشت ماه نشاءها به زمین منتقل و در تاریخ ۲۷ مرداد ماه عملیات برداشت انجام شد. در محیط ARC GIS ver 10.6 با تعریف یک فضای مجازی متناسب با سیستم حقیقی زمین، مکان هندسی زمین مورد مطالعه مشخص شد (شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

اندازه‌گیری میزان تبخیر-تعرق واقعی در لایسیمترها از تاریخ ۹۷/۲/۳۱ با فواصل دو روزه انجام شد. به این صورت که تعداد ۲ عدد تشتک تبخیر (لایسیمتر) در داخل زمین و با فاصله ۲۰ متر از هم گذاشته شد و با توجه به تراکم کاشت در هر لایسیمتر تعداد ۷ نشاء با فاصله ۲۰ سانتی‌متر کشت شد. در این مطالعه به‌منظور محاسبه پارامترهای هیدرولیکی خاک با استفاده از نرم‌افزار RETC از اطلاعات درصد اجزای تشکیل‌دهنده خاک تا عمق توسعه ریشه در سه لایه ۰-۱۰، ۱۰-۲۰ و ۲۰-۳۰ سانتی‌متری و جرم ویژه ظاهری خاک استفاده شد.

محاسبه مقدار بهره‌وری آب:

بهره‌وری آب بیان‌گر مقدار محصول تولید شده یا میزان عملکرد محصول به ازای هر واحد آب کاربردی است. در جایی که هدف تولید بیشتر باشد، شاخص بهره‌وری آب (WP) به‌صورت رابطه ذیل بیان می‌شود.

$$WP = \frac{Y}{W} \quad (۱)$$

که در آن، Y بیانگر کل ماده تولید شده توسط گیاه بر حسب کیلوگرم بر هکتار یا مقدار ماده خشک تولیدی گیاه است و متغیر W بسته به سطح مورد ارزیابی گیاه، مزرعه، حوضه و یا دشت می‌تواند مقادیر مختلف آب شامل مقدار آب تعرق یافته به‌وسیله گیاه، مقدار تبخیر-تعرق، مقدار آب آبیاری (I) و یا مقدار بارندگی مؤثر (Re)، باشد (Molden et al., 2007).

در پژوهش حاضر برای محاسبه میزان بهره‌وری آب مصرفی از روابط ۲ و ۳ که توسط Kijne et al., (2003) ارائه شده است استفاده شد.

$$WP_{ir} = \frac{y_a}{(IR+P)} \quad (۲)$$

$$WP_{ET} = \frac{y_a}{ET_a} \quad (۳)$$

که در آنها y_a عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)، IR مقدار آب آبیاری (متر مکعب در هکتار)، P مقدار بارندگی (متر مکعب در هکتار)، ET_a تبخیر-تعرق واقعی (متر مکعب در هکتار)، WP_{ir} بهره‌وری مبتنی‌بر آب آبیاری (کیلوگرم در متر مکعب) و WP_{ET} بهره‌وری بر حسب تبخیر-تعرق (کیلوگرم در متر مکعب) می‌باشند.

ورودی و خروجی‌های مدل SWAP:

داده‌های موردنیاز در این مدل شبیه‌ساز شامل اطلاعات خاک، آبیاری، پارامترهای گیاهی و داده‌های هواشناسی است.

داده‌های خاک: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در خاک شالیزار مورد مطالعه شامل درصد اجزای تشکیل‌دهنده خاک، ماده آلی و جرم ویژه ظاهری خاک بوده که در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول (۱): ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مورد نیاز برای محاسبه پارامترهای هیدرولیکی خاک مزرعه

جرم ویژه ظاهری (g/cm^3)	ماده آلی (٪)	رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	بافت خاک	عمق خاک (cm)
۱/۱۰	۱/۷۲	۴۷	۳۹	۱۴	رسی	۱۰-۰
۱/۲۰	۱/۵۴	۴۴	۳۹	۱۷	رسی	۲۰-۱۰
۱/۳۲	۱/۲۵	۴۷	۴۴	۹	رس سیلتی	۳۰-۲۰

پس از اینکه اطلاعات مورد نیاز برای مدل RETC فراهم شد، پارامترهای هیدرولیکی مورد نیاز برای زیر مدل خاکی مدل SWAP برای هر لایه از خاک مزرعه مورد پژوهش با استفاده از نرم‌افزار RETC بدست آمد (جدول ۲).

جدول (۲): پارامترهای هیدرولیکی برآورد شده توسط مدل RETC

عمق لایه خاک (cm)	رطوبت باقی مانده (cm^{-1}/cm^{-1})	رطوبت اشباع (cm^{-1}/cm^{-1})	هدایت هیدرولیکی اشباع ($cm.d^{-1}$)	پارامتر n در مدل ون گنوختن	**پارامتر α در مدل ون گنوختن (cm^{-1})**
۰-۱۰	۰/۱۰۴	۰/۵۶۰	۵۱/۲۲	۱/۳۵۰	**۰/۰۱۶۸**
۱۰-۲۰	۰/۰۹۹	۰/۵۲۲	۳۰/۴۱	۱/۳۸۰	**۰/۰۱۴۴**
۲۰-۳۰	۰/۰۹۹	۰/۴۹۸	۱۳/۲۵	۱/۳۶۵	**۰/۰۱۳۷**

داده‌های گیاهی: شامل تاریخ کاشت، گل‌دهی و رسیدگی محصول به ترتیب تاریخ‌های ۹۷/۰۲/۲۷، ۹۷/۰۴/۱۳ و ۹۷/۰۵/۱۷، زمان کاشت تا سبز شدن، زمان لازم برای رسیدن به حداکثر رشد یا حداکثر پوشش گیاهی، عمق ریشه در دوره اول رشد، عمق نهایی ریشه، تراکم کاشت، ضریب گیاهی، شاخص سطح برگ که به صورت هفتگی اندازه‌گیری شد، وزن تر و خشک اجزای گیاه (ساقه، برگ، ریشه و خوشه) و ارتفاع گیاه در فواصل ۶ روزه در مراحل مختلف رشد گیاه (مراحل رویشی، پنجه‌زنی، زایشی و رسیدگی) است. خلاصه این اطلاعات در جدول ۳ ارائه شده است.

داده‌های آبیاری: شامل دبی آب آبیاری که با استفاده از فلوم اندازه‌گیری شد، ارتفاع آب غرقاب در هر دوره آبیاری با فواصل روزانه، مدت زمان هر آبیاری و مدت زمان غرقاب مزرعه است. در پژوهش حاضر فواصل آبیاری پس از کاهش مقدار آب به اندازه ۲ سانتی‌متر از سطح خاک صورت گرفت و مقدار شوری آب آبیاری برابر با ۱/۶۱ دسی‌زیمنس بر متر بود.

داده‌های هواشناسی: با گام زمانی روزانه منطقه شامل تابش خورشیدی، دمای کمینه و بیشینه روزانه، درصد رطوبت نسبی، ، بارندگی، میانگین سرعت باد در ارتفاع ۲ متری و تبخیر-تعرق مرجع می‌باشد که در پژوهش حاضر این پارامترها از ایستگاه سینوپتیک رشت که در مجاور مؤسسه تحقیقات برنج کشور قرار دارد، به‌عنوان نزدیک‌ترین و قابل اعتمادترین ایستگاه هواشناسی دریافت شد. میزان تابش روزانه نور خورشید با استفاده از مدل آنگستروم و داده‌های ساعات آفتابی محاسبه گردید. میانگین ماهانه اطلاعات مذکور برای دوره رشد برنج در سال زراعی مورد آزمایش در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول (۳): خلاصه اطلاعات گیاهی طی دوره رشد برنج

مرحله رشد گیاه	تاریخ	LAI	ارتفاع گیاه (cm)	وزن خشک اجزای گیاه (Kg/ha)			
				ریشه	ساقه	برگ	خوشه
کاشت	۹۷/۰۲/۲۷	۰/۰۵۵	۳۰/۵۰	۱۴/۴۳	۲۶/۲۲	۴/۶۷	۰
پنجه‌زنی	۹۷/۰۳/۰۸	۱/۱۹۴	۳۸/۲۰	۶۰/۷۰	۵۰/۶۷	۷۰/۰۰	۰
گل‌دهی	۹۷/۰۴/۱۳	۲/۲۲۲	۴۲/۰۰	۶۵/۰۰	۱۰۱/۵۰	۷۰/۰۰	۰
خوشه‌دهی	۹۷/۰۴/۲۰	۱/۸۸۳	۱۴۸/۰۰	۴۵۶/۵	۱۷۴۳/۰۰	۷۲۴/۶۷	**۱۸/۱۸**
رسیدگی	۹۷/۰۵/۱۷	۰/۶۴۹	۱۶۱/۰۰	۷۹۱/۴	۴۰۰۳/۰۰	۱۰۲۹/۶۲	**۳۶۳۰/۰۰**

جدول (۴): میانگین داده‌های هواشناسی برای دوره رشد برنج در منطقه مورد مطالعه در سال زراعی ۱۳۹۶

Month	Rs (radiation) KJ/m²/day	T_{min} °c	T_{max} °c	RH min %	RH max %	Average Wind m/s	Rain mm	ET_0 mm
اردیبهشت	۱۶۱۴۱/۵	۱۴/۲	۲۴/۵۱	۵۴/۶۷	۹۲/۴۸	۱/۹۷	۳۷/۲	۱۰۶/۰۶
خرداد	۱۹۹۱۲/۳	۱۸/۲	۲۷/۸۷	۵۵/۹۶	۹۳/۱۶	۲/۰۲	۴۸/۷	۱۳۱/۹۵
تیر	۲۲۵۰۴/۸	۲۲/۹۵	۳۳/۳۳	۵۳/۳۲	۹۱/۷۴	۲/۰۳	۳۰/۸	۱۶۳/۴۱
مرداد	۱۵۸۲۳/۰	۲۲/۷۸	۳۱/۳۹	۶۰/۲۶	۹۳/۲۰	۲/۰۸	۶۸/۳	۱۱۴/۸۰

کالیبراسیون مدل:

برای استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی تحلیل حساسیت، واسنجی و صحت‌یابی مدل ضروری می‌باشد. از آنجایی که پارامترهای هیدرولیکی خاک تأثیر بسزایی در شبیه‌سازی اجزای بهره‌وری آب دارند، در این پژوهش برای انجام این مراحل از بخش‌های مربوط به حرکت آب در خاک استفاده شد (Vazifedoust et al., 2008). همچنین به منظور واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAP از مدل غیرخطی تخمین پارامتر PEST استفاده شد که در آن پارامترهایی که بر روی مقدار خروجی داده‌ها تاثیرگذار است و همچنین بر روی رشد گیاه تاثیر بسزایی دارد، نظیر سطح ویژه برگ (SLA)، شاخص سطح برگ در مرحله جوانه‌زنی (LAIEM) و راندمان مصرف نور (EFF) شناخته و انتخاب شدند. سپس با مشاهدات صحرایی پارامتر عملکرد محصول برنج مقایسه گردید و از ضرایب کالیبره شده آن برای کالیبراسیون مدل SWAP استفاده شد.

در این پژوهش، برای مزرعه مورد نظر در دو تکرار در سال زراعی ۹۶-۹۷ با استفاده از یک تخمین اولیه از پارامترهای حساس، مدل SWAP کالیبره شد و سپس با پارامترهای گیاهی و خاکی مشاهداتی مقایسه گردید.

جهت ارزیابی آماری مقادیر شبیه‌سازی شده از آماره‌های R^2، RMSE، NRMSE و EF استفاده شد بیان ریاضی آماره‌های مذکور به‌صورت روابط (۴) تا (۷) بیان می‌شوند (Krause et al., 2005; Remesan et al., 2008).

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N}(O_i-\bar{O})(P_i-\bar{P})}{\sum_{i=1}^{N}(O_i-\bar{O})^2 \sum_{i=1}^{N}(P_i-\bar{P})^2}\right]^2 \quad (۴)$$

$$\mathrm{RMSE} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(Pi-Oi)^2}{n}\right)^{0.5} \quad (۵)$$

$$\mathrm{nRMSE} = \frac{100\left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(Pi-Oi)^2}{n}\right)^{0.5}}{\bar{O}} \quad (۶)$$

$$\mathrm{EF} = \frac{(\sum_{i=1}^{n}(Oi-\bar{O})^2 - (Pi-Oi)^2)}{\sum_{i=1}^{n}(Oi-\bar{O})^2} \quad (۷)$$

که در آنها p_i و O_i به‌ترتیب مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری‌شده، n تعداد نمونه‌ها و $\bar{O}$ و $\bar{P}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی شده است.

نتایج و بحث

شاخص‌های بهره‌وری آب برای محصول برنج رقم هاشمی با استفاده از مدل آگروهیدرولوژیکی SWAP در خاک‌های شالیزاری برآورد و سپس بهره‌وری آب توسط مدل شبیه‌سازی شد. جهت ارزیابی دقت و کارایی مدل مقادیر شبیه سازی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده در سطح مزرعه مقایسه شد.

محاسبه شاخص‌های بهره‌وری آب در تولید محصول برنج با استفاده از اطلاعات مزرعه‌ای

نتایج مربوط به برخی ویژگی‌های مورد نیاز برای به دست آوردن مقدار بهره‌وری، شامل عملکرد دانه پر در هر متر مربع، مقدار آب مصرفی گیاه برنج، مقدار تبخیر-تعرق واقعی و میزان بارندگی در کل دوره‌ی رشد گیاه در جدول های ۵ و ۶ ارائه شده است.

جدول (۵): مقدار عملکرد محصول در پنج نقطه با استفاده از کوادرات

عملکرد دانه Kg/ha	عملکرد دانه Kg/m^2	مختصات مکانی نقاط نمونه‌برداری	نقاط نمونه‌برداری
۲۳۱۴/۱۹	۰/۲۳۱	۴۹° ۳۸´ ۳۳.۲۰۱" و ۳۷° ۱۲´ ۱۳.۰۲۴"	۱
۲۹۲۰/۶	۰/۲۹۲	۴۹° ۳۸´ ۳۲.۹۸۵" و ۳۷° ۱۲´ ۱۴.۲۹۱"	۲
۳۷۰۲/۷۱	۰/۳۷۰	۴۹° ۳۸´ ۳۰.۷۲۰" و ۳۷° ۱۲´ ۱۳.۰۹۶"	۳
۳۷۹۷/۵۳	۰/۳۷۹	۴۹° ۳۸´ ۳۰.۸۲۱" و ۳۷° ۱۲´ ۱۳.۸۵۲"	۴
۲۹۳۹/۱۱	۰/۲۹۳	۴۹° ۳۸´ ۳۰.۷۲۰" و ۳۷° ۱۲´ ۱۳.۰۹۶"	۵

جدول (۶): اطلاعات آبیاری اندازه‌گیری شده برروی زمین

مقدار آب آبیاری کل* m^3/ha	مقدار بارندگی m^3/ha	مقدار تبخیرتعرق واقعی m^3/ha
۴۱۷۱/۲	۱۲۲۲	**۴۱۵۰**

***برای عملیات پادلینگ معادل ۱۰۰ میلی‌متر آب در مقدار کل آب آبیاری لحاظ شده است.**

مقدار بهره‌وری مبتنی بر آب آبیاری (WP_{ir}) و تبخیر-تعرق (WP_{ET}) در هنگام برداشت محصول در ۵ نقطه مختلف در جدول ۷ ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده مقدار WP_{ET} با میانگین ۰/۷۶ بیشتر از مقدار WP_{ir} با میانگین ۰/۵۸ به‌دست آمد. مقدار بهره‌وری آب برنج بر حسب آب آبیاری در منطقه مورد مطالعه بین ۰/۴ تا ۰/۷ کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آمد که با نتایج Montazar and Kosari (2007) که مقدار بهره‌وری آب برای محصول برنج را ۰/۴۲ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش کردند، هم‌خوانی داشته است. در سال ۲۰۰۲ در کشور مصر نیز بهره‌وری آب برنج به طور متوسط ۰/۵۵ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد شد که مقدار آن در همان سال در ایران نیز حدود ۰/۳۲ کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آمد (حیدری، ۱۳۹۳). در کشت برنج بر اساس شیوه مدیریت آبیاری سنتی غرقاب دائم، به جهت زیاده‌روی در مصرف آب در سطح اراضی شالیزاری بهره‌وری آب مصرفی کاهش می‌یابد. در تحقیقی از رضایی و نحوی (۱۳۸۱) با مطالعه اثر دور آبیاری بر کشت برنج به این نتیجه رسیدند که یکی از راه‌های غلبه بر مشکل پایین بودن بهره‌وری آب آبیاری و مصرف بیش از اندازه آب در آبیاری غرقابی، استفاده از روش آبیاری تناوبی با استفاده از تر و خشک کردن مزارع برنج است.

همچنین در گزارش‌های مشابهی Belder et al., (2007)، Tuong et al., (2005) و Shi et al.,

(2002) نیز آبیاری تناوبی را دلیل صرفه‌جویی آب عنوان کردند. Bouman and Tuong (2001) در مطالعه‌ای مقدار WP_{I+R} برای برنج را ۰/۲ تا ۱/۱ کیلوگرم دانه به ازای هر متر مکعب آب ورودی به‌دست آوردند. امیری (۱۳۸۵) با بررسی مدیریت آبیاری برنج رقم هاشمی در استان گیلان، مقدار بهره‌وری آب بر اساس آب آبیاری (WP_I) را حدود ۰/۲۹-۰/۹۲ کیلوگرم دانه بر متر مکعب آبیاری به‌دست آورد. Abbasi and Sepaskhah (2011) در پژوهشی در شیراز، نشان دادند که بهره‌وری آب در رقم دورودزن (۰/۵۲کیلوگرم بر متر مکعب) بیشترین و ارقام کراس دم‌سیاه و عنبربو ۲۲ (با بهره‌وری ۰/۴۰ و ۰/۳۱ کیلوگرم بر متر مکعب) به ترتیب در مقام دوم و سوم قرار داشتند.

جدول (۷): مقدار شاخص‌های بهره‌وری آب محاسبه شده در ۵ نقطه مشخص در هنگام برداشت محصول

میزان افزایش قابل دست‌یابی (٪)	WP_{ET} Kg/m^3	WP_{ir} Kg/m^3	نقاط نمونه‌برداری
۲۹/۸	۰/۵۵۷	۰/۴۲۹	۱
۲۹/۹	۰/۷۰۳	۰/۵۴۱	۲
۳۰/۰	۰/۸۹۲	۰/۶۸۶	۳
۲۹/۹	۰/۹۱۵	۰/۷۰۴	۴
۳۰/۱	۰/۷۰۸	۰/۵۴۴	۵

با توجه به این‌که هدف کلی در مدیریت و بهره-برداری آب در بخش کشاورزی افزایش راندمان و بهره‌وری آن است، با افزایش راندمان آبیاری، حذف نفوذ عمقی و کاهش تبخیر می‌توان کارایی مصرف آب را به میزان ۳۰٪ افزایش داد (جدول ۷). به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که تعیین و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب شامل تبخیر-تعرق واقعی و بیوماس گیاه می‌تواند راهکار مناسبی جهت سیاست‌گذاری‌های صحیح برای تولید محصولات کشاورزی در راستای دست‌یابی به حداکثر سود، توسعه پایدار و امنیت غذایی باشد. امیری (۱۳۸۵) در پژوهشی مقدار بهره‌وری آب شامل WP_I و WP_{ET} را برای برنج رقم هاشمی در مدیریت‌های آبیاری مختلف، با استفاده از مدل به ترتیب ۰/۶۹ و ۰/۸۹ کیلوگرم دانه بر متر مکعب محاسبه کرد. اختلاف در بهره‌وری آب محصولات مختلف در استان‌های مختلف کشور و نیز در کشورهای مختلف ولی با شرایط اقلیمی مشابه، نشان‌دهنده وجود پتاسیل برای افزایش بهره‌وری آب کشاورزی است.

در حال حاضر بهره‌وری آب کشاورزی در کشور در حدود ۰/۸۸ کیلوگرم به ازای یک مترمکعب مصرف آب است که بر اساس برنامه‌ریزی‌های بلند مدت تا سال ۱۴۰۴ باید به یک کیلوگرم به ازای یک مترمکعب افزایش یابد (کشاورز و دهقانی سانیج، ۱۳۹۱).

محاسبه شاخص‌های بهره‌وری آب در تولید محصول برنج با استفاده از مدل SWAP

پارامترهای خروجی برآورد شده توسط مدل SWAP برای محاسبه بهره‌وری آب شامل عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم بر هکتار، مقدار آبیاری کل دوره رشد برنج بر حسب مترمکعب برهکتار و مقدار تبخیر- تعرق

واقعی بر حسب متر مکعب در هکتار به‌دست آمد (جدول ۸).

جدول (۸): شبیه‌سازی عملکرد، آب مصرفی و بهره‌وری آب با استفاده از مدل SWAP

تعداد تکرار	عملکرد دانه (kg/ha)	مقدار آب آبیاری کل* (m^3/ha)	مقدار بارندگی (m^3/ha)	مقدار تبخیرتعرق واقعی (m^3/ha)	WP_{ET} (kg/m^3)	WP_{ir} (kg/m^3)
۱	۲۸۰۰	۴۱۳۷/۸۵	۷۸۹	۳۱۷۳/۷۲	۰/۸۸۲	۰/۵۶۸
۲	۲۵۵۰	۳۹۳۷/۸۵	۷۸۹	۲۹۲۵/۶۴	۰/۸۷۱	۰/۵۳۹

* پادلینگ در مقدار آب آبیاری لحاظ شده است

همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از خروجی مدل SWAP مقدار بهره‌وری آب با دقت بالا و نزدیک به مقدار اندازه‌گیری‌شده محاسبه شد. نتایج حاصل از آماره‌های محاسبه شده در جدول ۹ نشان داد که پارامترهای خروجی مدل SWAP با دقت بسیار خوبی قادر به برآورد شاخص‌های بهره‌وری آب می‌باشند.

در مطالعه‌ای به‌منظور افزایش کارایی مصرف آب برنج در شمال کشور از مدل SWAP تحت سناریوهای مختلف آبیاری استفاده شد. نتایج نشان داد که مقدار RMSE برای عملکرد برنج برابر با ۴/۹۴ درصد بود و بیانگر قابلیت خوب این مدل برای شبیه‌سازی سناریوهای مختلف آبیاری بود (Jonubi et al., 2018). در صورت اعمال روش‌های مناسب مدیریت خاک، امکان افزایش میزان آبی که در خاک ذخیره می‌شود و کاهش مقدار آبی که از طریق نفوذ عمقی در خاک از دست می‌رود وجود دارد. همچنین امکان افزایش بهره‌وری آب در مزارع برنج با توجه به شرایط بافت خاک وجود دارد (Dagalo Hatiye et al., 2017).

جدول (۹): شاخص‌های آماری برای ارزیابی عملکرد و آب مصرفی (ET) اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل SWAP

پارامترهای مورد نیاز شاخص بهره‌وری آب	RMSE	NRMSE	EF	R^2
عملکرد برنج (kg/ha)	۶۴۸/۷۳	۲۵/۲۳	۰/۹۸	**۰/۹۰**
آب مصرفی (تبخیر-تعرق) (mm)	۱۶۴/۰۷	۱۳/۵۹۲	۰/۹۴	**۰/۸۹**

در مطالعه‌ای با هدف استفاده از مدل SWAP به منظور شبیه‌سازی چرخه آب زمین در شرایط کمبود آبیاری در منطقه بیجینگ کشور چین، خطای میانگین مربعات ریشه (RMSE) و میانگین خطای نسبی (MRE) مقدار پیش‌بینی شده آب خاک به ترتیب ۱/۱ تا ۴/۳ درصد و ۴/۳ تا ۱۴/۵ درصد بدست آمد. مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده برای هر دو مورد مقدار ذخیره آب در پروفیل و جریان آب در خاک به خوبی با هم مطابقت داشتند و مدل قادر به شبیه سازی تعادل آب زمین در شرایط کمبودهای مختلف آبیاری با دقت مناسب بود (Ma et al., 2011).

Gheewala et al., (2014) برای افزایش بهره‌وری آب برنج پیشنهاد کردند که بهره‌وری آب محصول برنج را می‌توان با توسعه کشت ارقام پر محصول و بهبود مدیریت زراعی مانند بهبود کنترل آفات، استفاده از خاک‌پوش‌های بقایای گیاهی و مدیریت کود جهت بهبود عملکرد، افزایش

داد. همچنین آب مورد نیاز جهت تهیه زمین را می‌توان از طریق تسطیح اراضی و کاهش طول دوره آماده سازی زمین یا تکنیک‌های خاک ورزی در زمین خشک کاهش داد. با توجه به اینکه کشور ایران در سال ۲۰۲۵ میلادی جزء کشورهای با بحران آب خواهد بود، نگاهی به شاخص سرانه منابع آب تجدید پذیر نشان دهنده کاهش منظم آن است و روش‌های ارتقای بهره‌وری آب در کشاورزی با توجه به این‌که حدود ۷/۸ میلیون هکتار از اراضی کشور به کشت آبی اختصاص دارد ضروری است.

نتیجه گیری

پژوهش حاضر با هدف استخراج پارامترهای مربوط به محاسبه شاخص‌های بهره‌وری آب توسط مدل SWAP برای گیاه برنج انجام شد. بر اساس نتایج این پژوهش متوسط بهره‌وری آب آبیاری حدود ۰/۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب و متوسط بهره‌وری بر حسب تبخیر-تعرق ۰/۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب اندازه‌گیری شد. همچنین مدل SWAP توانست پارامترهای مربوط به محاسبه شاخص‌های بهره‌وری آب شامل مقدار عملکرد (R^2=۰/۹۰ و RMSE=۶۴۸/۷۳) و میزان آب مصرفی در فرایند تبخیر-تعرق (R^2=۰/۸۹ و RMSE=۱۶۴/۰۷) را با دقت بالایی محاسبه کند و در نهایت مقدار بهره‌وری آب را با میانگین WP_{ir} برابر با ۰/۵۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب و میانگین WP_{ET} برابر با ۰/۸۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد کند. به‌طور کلی به‌منظور مدیریت صحیح مزارع شالیزاری در سطح نسبتا وسیع و با در نظر داشتن عملکرد مطلوب محصول در زمان برداشت برنج باید از میزان مصرف آب گیاه برنج از مرحله نشاء تا برداشت اطلاع کافی داشت تا بتوان در سال‌های بعد با در نظر داشتن این اطلاعات در راستای ارتقا و بهبود مصرف آب با توجه به عملکرد مطلوب محصول، اقدامات لازم را انجام داد. همچنین با توجه به اندازه‌گیری میزان آب مورد نیاز گیاه و با بهبود مدیریت مصرف آب در سطح وسیع زمین‌های کشاورزی و افزایش راندمان مصرف آن می‌توان به طور چشم‌گیری از هدررفت آب جلوگیری کرد. توجه جدی به بهره‌وری آب و ارتقای آن با اعمال روش‌ها و سیاست‌های کارآمد از جمله افزایش راندمان آبیاری، حذف نفوذ عمقی و کاهش تبخیر یکی از مؤثرترین راه‌کارهای مقابله با بحران آب و افزایش کمّی و کیفی تولیدات در بخش کشاورزی می‌باشد. به طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد می‌توان از مدل SWAP با دقت قابل قبولی برای مدیریت آبیاری و محاسبه بهره‌وری آب در مزرعه استفاده کرد.

منابع

امیری، ا. ۱۳۸۵. بررسی بیلان آب و عملکرد برنج در مدیریت‌های آبیاری در شالیزار با استفاده از مدل، رساله دکتری. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

حیدری، ن. ۱۳۹۳. ارزیابی شاخص بهره‌وری آب کشاورزی و عملکرد سیاست‌ها و برنامه‌های مدیریت آب کشور. مجلس و راهبرد، سال بیست و یکم، شماره ۷۸، ص ۱۹۹-۱۷۷.

رضایی، م و م. نحوی. ۱۳۸۲. اثر فاصله آبیاری بر استفاده آب و عملکرد گیاه برنج در گیلان. یازدهمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ص ۲۴۰-۲۳۳.

کشاورز، ع. و ح. دهقانی سانیج. ۱۳۹۱. شاخص بهره‌وری آب و راه‌کار آتیه کشاورزی کشور. راهبرد اقتصادی، جلد یکم، شماره ۱، ص ۲۳۳-۱۹۹.

Abbasi, M.R. and A.R. Sepaskhah. 2011. Response of different rice cultivars (oryza sativa L.) to watersaving irrigation in greenhouse conditions. International Journal of Plant Production, 5 (1): 37-47.

Belder, P., B. Bouman and J. Spiertz. 2007. Exploring options for water savings in lowland rice using a modelling approach. Agricultural Systems, 92(1-3): 91-114.

Bouman, B. and T.P. Tuong. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. Agricultural water management, 49(1): 11-30.

Cai, X. and M.W. Rosegrant. 2003. World Water Productivity: Current Situation and Future Options. CAB International. 163-178.

Dagalo Hatiye, S., K.S. Hari Prasad and C.S.P. Ojha. 2017. Water balance and water productivity of rice paddy in unpuddled sandy loam soil. Sustainable Water Resources Management, 3(2): 109-128.

Gheewala, S.H., T. Silalertruksa, P. Nilsalab, R. Mungkung, S.R. Perret and N. Chaiyawannakarn. 2014. Water Footprint and Impact of Water Consumption for Food, Feed, Fuel Crops Production in Thailand. Water, 6(6): 1698-1718.

Jonubi, R., V. Rezaverdinejad and H. Salemi. 2018. Enhancing field scale water productivity for several rice cultivars under limited water supply. Paddy and water environment, 16(1): 125-141.

Kijne, J.W., R. Barker and D.J. Molden. 2003. Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement. Wallingford, UK: CABI; Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). xix, 332p. (Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series 1)

Krause, P., D.P. Boyle and F. Bäse. 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. Advances in geosciences, 5: 89-97.

Liu, J., A.J. Zehnder and H. Yang. 2008. Drops for crops: modelling crop water productivity on a global scale. Global NEST Journal, 10(3): 295-300.

Ma, Y., S. Feng, Z. Huo and X. Song. 2011. Application of the SWAP model to simulate the field water cycle under deficit irrigation in Beijing, China. Mathematical and Computer Modelling, 54(3-4): 1044-1052.

Molden, D., H. Murry-Rust, R. Sakthivandival, and I. Makin. 2001. A water productivity framework for understanding and action. Workshop on Water productivity. Wadduwe, Sri Lanka.

Molden, D., T.Y. Oweis, S. Pasquale, J.W. Kijne, M.A. Hanjra, P.S. Bindraban, B.A. Bouman, S. Cook, O. Erenstein and H. Farahani. 2007. Pathways for increasing agricultural water productivity. In Molden, David (Ed.). Water for food, water for life: a Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. London, UK: Earthscan; Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). 279-310.

Montazar, A., and H. Kosari. 2007. Water productivity analysis of some irrigated crops in Iran, Proceedings of the international conference Water Saving in Mediterranean Agriculture & Future Research Needs.109-120.

Remesan, R., M.A. Shamim and D. Han. 2008. Model data selection using gamma test for daily solar radiation estimation. Hydrological Processes, 22: 4301-4309.

Shi, Q., X. Zeng, M. Li, X. Tan and F. Xu. 2002. Effects of different water management practices on rice growth. Water-wise rice production, 3-14.

Tuong, T.P., B. Bam and M. Mortimer. 2005. More rice, less water. Plant Production Science, 8(3): 231-241.

Van Lier, J.Q., O. Wendroth and J.C. Van Dam. 2015. Prediction of winter wheat yield with the SWAP model using pedotransfer functions: An evaluation of sensitivity, parameterization and prediction accuracy. Agricultural Water Management, 154: 29-42.

Vazifedoust M., J.C. Van Dam, R.A. Feddes and M. Feizi. 2008. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. Agricultural Water Management, 95: 89-102.

Waqas, M.M., S.H.H. Shah, U.K. Awan, M. Waseem, I. Ahmad, M. Fahad, Y. Niaz, S. Ali. 2020. Evaluating the Impact of Climate Change on Water Productivity of Maize in the Semi-Arid Environment of Punjab, Pakistan. Sustainability, 12(9): 3905-3918.

Simulation of Water Productivity Indices Using SWAP Agrohydrological Model and Comparison with Field Conditions in Paddy Soil

Adineh Abdi[1], Safoora Asadi Kapourchal[2], Majid Vazifedoust[3] and Mojtaba Rezaei[4]

Research Paper

Abstract

In recent decades, several models have been developed to simulate farm water management. The main focus of most researchers is obtaining more products per unit of water consumed. Water productivity defined as crop yield per unit of water consumption. Due to limitation of water resources and its optimal consumption in order to save water and increase its productivity, this study was conducted to simulate water productivity indices of rice (Hashemi caltiver) using SWAP model in paddy soils at field scale. For this purpose, two closed-ended lysimeters were used to measure the actual evapotranspiration. The quantity of evapotranspiration was measured daily and water productivity based on irrigation water (WP_{ir}) and evapotranspiration (WP_{ET}) was calculated and compared with the simulated values afterward. The obtained results indicated that the SWAP model had a high accuracy for estimating amount of yield (R^2=0.90 and RMSE=648.73) and the amount of water consumed in the evapotranspiration process (R^2=0.89 and RMSE=164.07). Using the calibrated SWAP model, the water productivity indices from division of yield on evapotranspiration (WP_{ET}) and yield on irrigation water (WP_{ir}) in the studied farm was estimated amount of 0.553 and 0.876 kg/m^3, respectively. Also, results showed that with increasing irrigation efficiency, elimination of deep percolation and reduction of evaporation, water use efficiency increases by 30%. In general, for optimal management of paddy soils in field scale and considering the optimal yield at harvest time, serious attention must be paid to water efficiency to come up with most effective ways to deal with water crisis and to increase the quantity and quality of rice production.

Keywords: Soil hydraulic parameters, SWAP model, Water management, Water productivity

[1] MSc Student, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University Of Guilan, Rasht, Iran. 09026772878 adinehabdi@yahoo.com

[2] Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University Of Guilan, Rasht, Iran. 09126873367 safooraasadi@guilan.ac.ir (Corresponding author)

[3] Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Sciences, University Of Guilan, Rasht, Iran. 013-33690274 majid.vazifedoust@yahoo.com

[4] Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran. 013-33690052 mrezaeii@yahoo.com

Research Paper

Adineh Abdi , Safoora Asadi Kapourchal , Majid Vazifedoust Mojtaba Rezaei Simulation of Water Productivity Indices Using SWAP Agrohydrological Model and Comparison with Field Conditions in Paddy Soil

Adineh Abdi[1], Safoora Asadi Kapourchal[2], Majid Vazifedoust[3] Mojtaba Rezaei[4]

[1] MSc Student, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University Of Guilan, Rasht, Iran. (Email: adinehabdi@yahoo.com)
[2] Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University Of Guilan, Rasht, Iran. (Email: safooraasadi@guilan.ac.ir) (Corresponding author)
[3] Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Sciences, University Of Guilan, Rasht, Iran. (Email: majid.vazifedoust@yahoo.com)
[4] Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran. (Email: mrezaeii@yahoo.com)

10.22125/IWE.2020.247055.1411

Received:
August.29.2020
Accepted:
January.30.2020
Available online:
March.13.2022

Keywords:
Soil hydraulic parameters, SWAP model, Water management, Water productivity.

Abstract

In recent decades, several models have been developed to simulate farm water management. The main focus of most researchers is obtaining more products per unit of water consumed. Water productivity defined as crop yield per unit of water consumption. Due to limitation of water resources and its optimal consumption in order to save water and increase its productivity, this study was conducted to simulate water productivity indices of rice (Hashemi caltiver) using SWAP model in paddy soils at field scale. For this purpose, two closed-ended lysimeters were used to measure the actual evapotranspiration. The quantity of evapotranspiration was measured daily and water productivity based on irrigation water (WP_{ir}) and evapotranspiration (WP_{ET}) was calculated and compared with the simulated values afterward. The obtained results indicated that the SWAP model had a high accuracy for estimating amount of yield (R^2=0.90 and RMSE=648.73) and the amount of water consumed in the evapotranspiration process (R^2=0.89 and RMSE=164.07). Using the calibrated SWAP model, the water productivity indices from division of yield on evapotranspiration (WP_{ET}) and yield on irrigation water (WP_{ir}) in the studied farm was estimated amount of 0.553 and 0.876 kg/m^3, respectively. Also, results showed that with increasing irrigation efficiency, elimination of deep percolation and reduction of evaporation, water use efficiency increases by 30%. In general, for optimal management of paddy soils in field scale and considering the optimal yield at harvest time, serious attention must be paid to water efficiency to come up with most effective ways to deal with water crisis and to increase the quantity and quality of rice production.

1. Introduction

Introduction, Due to the high water requirement of rice, its water productivity is less than other cereals, so that rice water productivity on a global scale is about 0.15 to 0.6 kg/m^3 and for other cereals are around 2.4 kg/m^3. Several models have been developed for water movement in soil and for crop growth. One of these models is SWAP which has a high capability in simulating the movement of water in the soil and water balance components (Vazifedoust et al., 2008). Yet, estimating water productivity is an important indicator in evaluating irrigation systems and its performance in agriculture and is considered as an indicator of water saving in different stages of exploitation in the agricultural sector (Waqas et al., 2020). In agricultural production systems, water productivity for plants is defined as the amount of yield (grain) produced per unit of water consumption (Molden et al., 2001). Abbasi and Sepaskhah (2011) reported the amount of irrigation water-based productivity (WP_I) for some rice cultivars in Iran under flood irrigation and intermittent irrigation is in the range of 0.09 to 0.52 kg/m^3. Due to the increasing trend of water restrictions, rice producers are trying to consume less water in order to save water, increase water productivity and produce more rice (Kijne et al., 2003). Consequently, it is necessary to measure the water efficiency indices. It is predicted that in developing countries, water abstraction for agricultural sector will increase to 50% by 2025 and in developed countries by 18% (Gheewala et al, 2014).

2. Materials and Methods

This research was conducted to simulate water productivity indices of rice using SWAP model in a paddy field at the Rice Research Institute of Iran with an approximate area of 4964 m^2 in 2018. In this study, in order to calculate the hydraulic parameters of the soil using RETC software, the information of the percentage of soil components to the depth of root development in three layers of 0-10, 10-20 and 20-30 cm and the specific bulk density of the soil were used. Required data in the SWAP model included soil information, irrigation, plant parameters and meteorological data. The rice cultivar used in this study, Hashemi, was planted on the May 17, and harvesting operations were carried out on August 18. During this period, two closed-ended lysimeters were used to measure the actual evapotranspiration. The quantity of evapotranspiration was measured daily and water productivity based on irrigation water (WP_{ir}) and evapotranspiration (WP_{ET}) was calculated and compared with the simulated values afterward.

3. Results

Results, The obtained results indicated that with using the calibrated SWAP model, the water productivity indices from division of yield on evapotranspiration (WP_{ET}) and yield on irrigation water (WP_{ir}) in the studied farm was estimated amount of 0.553 and 0.876 kg/m^3, respectively. Also, results showed that with increasing irrigation efficiency, elimination of deep percolation and reduction of evaporation, water use efficiency increases by 30%.

4. Discussion and Conclusion

In general, in order to optimal management of paddy fields on a large scale and considering the optimal yield at the time of rice harvest, the amount of water consumption of rice plants from transplanting to harvest should be sufficient information to be able to consider in later years to improve water consumption according to the optimal performance of the product. Also, by measuring the amount of water required by the plant and by improving water consumption management in a large area of agricultural lands and increasing its consumption efficiency, water loss can be significantly prevented. Serious attention to water efficiency and its promotion by applying efficient methods and policies such as increasing irrigation efficiency, eliminating deep percollation and reducing evaporation is one of the most effective ways to deal with water crisis and increase the quantity and quality of production in agriculture. In general, the results of this study showed that the SWAP model can be used with acceptable accuracy for irrigation management and calculation of water productivity in the field.

5. Six important references

1. Abbasi, M.R. and A.R. Sepaskhah. 2011. Response of different rice cultivars (*oryza sativa* L.) to watersaving irrigation in greenhouse conditions. International Journal of Plant Production, 5 (1): 37-47.

2. Gheewala, S.H., T. Silalertruksa, P. Nilsalab, R. Mungkung, S.R. Perret and N. Chaiyawannakarn. 2014. Water Footprint and Impact of Water Consumption for Food, Feed, Fuel Crops Production in Thailand. Water, 6(6): 1698-1718.
3. Kijne, J.W., R. Barker and D.J. Molden. 2003. Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement. Wallingford, UK: CABI; Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). xix, 332p. (Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series 1)
4. Molden, D., T.Y. Oweis, S. Pasquale, J.W. Kijne, M.A. Hanjra, P.S. Bindraban, B.A. Bouman, S. Cook, O. Erenstein and H. Farahani. 2007. Pathways for increasing agricultural water productivity. In Molden, David (Ed.). Water for food, water for life: a Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. London, UK: Earthscan; Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). 279-310.
5. Vazifedoust M., J.C. Van Dam, R.A. Feddes and M. Feizi. 2008. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. Agricultural Water Management, 95: 89-102.
6. Waqas, M.M., S.H.H. Shah, U.K. Awan, M. Waseem, I. Ahmad, M. Fahad, Y. Niaz, S. Ali. 2020. Evaluating the Impact of Climate Change on Water Productivity of Maize in the Semi-Arid Environment of Punjab, Pakistan. Sustainability, 12(9): 3905-3918.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.