Archive of SID

Iranian Journal of Irrigation and drainage
No. 2, Vol. 5, Summer 2011, p. 263-275

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره ۲، جلد۵، تابستان ۱۳۹۰، ص. ۲۷۵-۲۶۳

بررسی شاخص‌های بهره‌وری آب در مزارع تحت آبیاری گندم
(مطالعه موردی: دشت نیشابور)

هادی دهقان[۱*]، امین علیزاده[۲]، حسین انصاری[۳] و سید ابوالقاسم حقایقی مقدم[۴]

چکیده

اندازه‌گیری و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی در ایران به علت محدودیت کمی و کیفی این ماده ارزشمند از جایگاه خاصی برخوردار است. این تحقیق به منظور شبیه‌سازی اجزای بیلان آب در مقیاس مزرعه‌ای، پیش‌بینی رطوبت در نیمرخ خاک و همچنین تجزیه و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب در مزارع تحت آبیاری گندم در دشت نیشابور انجام شد. بدین منظور ۳ مزرعه در بخش‌های مختلف دشت در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ برای جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز مدل SWAP انتخاب گردید. مدل در هر کدام از مزارع جداگانه نسبت به پارامترهای هیدرولیکی خاک و همچنین خصوصیات زراعی گندم واسنجی شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی رطوبت در نیمرخ خاک نشان داد که مدل توانسته است مقدار رطوبت را در عمق‌ها و زمان‌های مختلف به خوبی شبیه‌سازی کند. میزان شاخص‌های بهره‌وری آب با استفاده از اجزای بیلان آب و عملکرد شبیه‌سازی شده توسط مدل محاسبه گردید. متوسط شاخص‌های مذکور تحت عبارات WP_T (نسبت عملکرد به تعرق واقعی گیاه)، WP_{ET} (نسبت عملکرد به تبخیر- تعرق واقعی گیاه)، WP_{ETQ} (نسبت عملکرد به مجموع تبخیر- تعرق واقعی گیاه به اضافه نفوذ عمقی) و WP_{Irr} (نسبت عملکرد به مجموع آب کاربردی) به ترتیب ۱/۲۸، ۰/۹۹، ۰/۶ و ۰/۸۸ محاسبه گردید. نتایج نشان داد که در صورت اصلاح برنامه‌ریزی آبیاری، عملکرد محصول به میزان ۱۴درصد افزایش می‌یابد. علاوه بر این، با اعمال کم‌آبیاری به میزان ۳۰ درصد، عملکرد محصول تفاوت معنی‌داری نداشت. این نتایج حاکی از آن است که در صورت برنامه‌ریزی صحیح آبیاری، ضمن کاهش آب مصرفی، شاخص‌های WP_{ETQ} و WP_{Irr} به ترتیب حدود ۴۸ و ۶۱ درصد افزایش می‌یابد. مقدار بالای تبخیر در ابتدای دوره رشد گیاه به دلیل روش آبیاری سنتی مزارع به طور متوسط باعث کاهش ۲۸ درصدی WP_{ET} نسبت به WP_T شد. با بهبود عملیات کشاورزی مانند مالچ پاشی خاک یا بهره‌گیری از روش آبیاری زیرسطحی می توان WP_{ET} را بهبود بخشید. کاهش عمق آب کاربردی تأثیر چندانی بر شاخص‌های WP_{ET} و WP_T نداشت، اما شاخص‌های WP_{ETQ} و WP_{Irr} به طور چشمگیری افزایش پیدا کردند.

واژه‌های کلیدی: گندم، شاخص‌های بهره‌وری آب، برنامه‌ریزی آبیاری، مدل SWAP، دشت نیشابور

مقدمه [۱]

گندم استراتژیک‌ترین محصول کشاورزی ایران محسوب می‌گردد. به طوری که تقریباً همه ساله حدود ۵ تا ۶ میلیون هکتار، یعنی حدود ۶۰ درصد کل اراضی، زیر کشت گندم قرار می‌گیرد. اندازه‌گیری و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی در ایران به علت محدودیت کمی و کیفی این ماده ارزشمند از جایگاه خاصی برخوردار است (احسانی و خالدی،۱۳۸۲).

در حال حاضر بهره‌وری آب کشاورزی در ایران در وضعیت مطلوبی قرار ندارد. موضوع ارتقای بهره‌وری آب در تولید مواد غذایی از مسائل اساسی در کشورهای مختلف جهان و به خصوص کشورهای کم آب نظیر ایران است (احسانی و خالدی،۱۳۸۲). بهره‌وری آب در واقع بیان‌کننده مقدار محصول یا سود به دست آمده از مصرف آب می‌باشد و شامل جنبه‌های مختلف مدیریتی آب می‌باشد. همچنین بهره‌وری آب شاخص مناسبی برای ارزیابی منابع آب به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (Molden et al., 2001 ، Singh et al., 2006، Vazifedoust et al., 2008). آزمایش‌های صحرائی برای تعیین و تحلیل مدیریت‌های مختلف آبیاری مفید بوده اما پرهزینه و زمان‌بر می‌باشند، در صورتی که مدل‌های شبیه‌سازی می‌توانند پس از واسنجی برای گزینه‌های مختلف آبیاری با هزینه کم و زمان کوتاه مورد استفاده قرار گیرند (Droogers et al., 2001). مدل SWAP مدلی است یک بعدی که نسخه جدید آن کاربردوست

۱و۲و۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: Dehghan63.ha@gmail.com
۴- مربی پژوهش بخش فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

www.SID.ir

Archive of SID

بوده و قابلیت استفاده برای شبیه‌سازی حرکت آب، املاح، گرما و برنامه‌ریزی آبیاری را داشته و عمدتاً در مقیاس‌های بزرگ مورد استفاده قرار گرفته است. معادلات حاکم بر این مدل به روش اختلافات محدود حل شده‌اند (Van Dam et al., 1997). مدل SWAP به منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی عملکرد محصول و جریان آب و املاح در سیستم‌های هیدرولوژیکی کشاورزی در کشورهای مختلف و همچنین ایران مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج خوبی در مقایسه با اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای داشته است (Singh et al., 2006; Vazifedoust et al., 2008; Mandare et al., 2008).

اکبری و همکاران (۱۳۸۸) تأثیر برنامه‌ریزی آبیاری بر بهره‌وری آب کشاورزی با استفاده از مدل SWAP را در شبکه آبشار اصفهان مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با اصلاح برنامه آبیاری، عملکرد محصول جو و گندم به مقدار ۱۵درصد افزایش می‌یابد. از طرف دیگر با بهبود مدیریت زراعی و کاهش ۲۰ درصدی عمق آب آبیاری، عملکرد محصول تغییر معنی‌داری نداشت. Vazifedoust et al. (2008) در تحقیقی در منطقه برخوار اصفهان برای شبیه‌سازی مقادیر بیلان آبی مانند تعرق، تبخیر از خاک و نفوذ عمقی و پیش‌بینی عملکرد محصولات، مدل SWAP را ارزیابی و واسنجی کردند. نتایج نشان داد مدل می‌تواند برای پیش‌بینی متغیرهای گیاهی مانند عملکرد گیاه و وزن خشک مورد استفاده قرار گیرد. Mandare et al. (2008) در تحقیقی با استفاده از مدل SWAP گزینه‌های مدیریتی آب در شرایط مختلف کمی و کیفی، بر عملکرد محصول گندم و شوری خاک را در مزارع شمال غربی هند بررسی کردند. نتایج نشان داد کاربرد آبیاری مکرر به میزان دقیق در مزارع، عملکرد محصول را تا ۱۰ درصد حتی زمانی که شوری آب زیرزمینی بیشتر از ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر باشد، افزایش می‌دهد.

Singh et al. (2006) در منطقه Sirsa در هند مدل SWAP را در تجزیه و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب (WP) در شرایط مزرعه‌ای ارزیابی و واسنجی کردند. پنج مزرعه گندم، برنج و پنبه به عنوان الگو برای آنالیز WP در منطقه مورد مطالعه در طول فصل زراعی ۲۰۰۲-۲۰۰۱ انتخاب شدند. مدل اگروهیدرولوژیک SWAP شامل شبیه‌سازی مدل تفصیلی رشد گیاه در ترکیب با داده‌های مشاهداتی مزرعه برای تعیین متغیرهای مورد نیاز هیدرولوژیک مانند تعرق، تبخیر و تعرق، نفوذ عمقی و متغیرهای بیوفیزیکی مانند ماده خشک یا محصول خشک استفاده شد. نتایج نشان داد تغییرات قابل توجه خاصی در مقدار WP برای گیاهان مختلف و همچنین برای گیاهان یکسان حاکم می‌باشد. دلیل اصلی کاهش فاکتورهای بهره‌وری آب مقادیر بالای تبخیر در عامل تبخیر- تعرق مخصوصا برای برنج و نفوذ عمقی در مزارع تحت آبیاری می‌باشد. در تحقیقی مدل SWAP به مدت دو سال زراعی (۸۱-۱۳۸۰ و ۸۲-۱۳۸۱) در زمین تحت کشت گندم در شمال گرگان توسط کیانی و همایی (۱۳۸۶) مورد ارزیابی قرار گرفت. به استناد تحلیل‌های آماری، با وجود متغیرهای گوناگون در شرایط مزرعه‌ای، مدل SWAP مقدار رطوبت، شوری خاک و عملکرد نسبی گندم را به خوبی شبیه‌سازی کرد. در همه موارد ضریب همبستگی بالاتر از ۸۰ درصد و میانگین مربعات خطا کمتر از انحراف معیار داده‌ها بود. مطالعه‌ای در منطقه زاراگوسای اسپانیا به منظور مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق به روش‌های پنمن- مانتیث و پریستلی- تیلور با مقدار شبیه‌سازی شده با مدل SWAP توسط Utset et al.(2004) انجام شد و نشان دادند که این مدل قادر است با استفاده از داده‌های ورودی صحیح، به خوبی مقادیر تبخیر و تعرق را پیش‌بینی کند. Eitzinger et al.(2004) در تحقیقی کارایی سه مدل پرکاربرد گیاهی WOFOST ، CERES و SWAP را در شبیه‌سازی مقدار آب خاک در طول فصل رشد با هم مقایسه کردند. برای ارزیابی مدل‌ها خروجی هر سه مدل با داده‌های به دست آمده از آزمایش لایسیمتر روی سه نوع خاک مختلف در سال زراعی ۲۰۰۱ -۲۰۰۰ برای دو گیاه گندم زمستانه و جو بهاره در منطقه اصلی کشاورزی مارچفلد در استرالیا مقایسه گردید. نتایج نشان داد که : ۱- هر دو مدلSWAP و CERES برخلاف WOFOST وزن دانه جو و گندم را خوب شبیه سازی کردند، ۲- هر سه مدل مقدار آب خاک را در پروفیل با نتایج مشابه برآورد کردند، ۳- هیچ یک از مدل‌ها مقدار کل آب خاک پروفیل را خوب پیش‌بینی نکردند و ۴- دو مدل CERES و SWAP حرکت آب را در عمق ۰/۳ متری بالایی خاک، خوب برآورد کردند.

تاکنون مطالعات متعددی در دشت نیشابور در رابطه با پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی، مدیریت منابع آب و حوضه‌های آبریز انجام شده است (ایزدی و همکاران، ۱۳۸۶; فرج زاده و همکاران، ۱۳۸۴). گرچه این مطالعات به خوبی وضعیت هیدرولوژی و مدیریت منابع آبهای زیرزمینی در محدوده دشت را تشریح می‌کند، اما در مقیاس مزرعه‌ای نتوانسته است راهکار مناسبی برای برنامه‌ریزی آبیاری و افزایش بهره‌وری آب کشاورزی ارائه نماید. لذا هدف از تحقیق حاضر در مرحله اول شبیه‌سازی اجزای بیلان آب و همچنین پیش‌بینی رطوبت در نیمرخ خاک و در مرحله دوم ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری آب در شرایط فعلی و اعمال برنامه‌ریزی آبیاری توسط مدل می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت نیشابورکه یکی از دشت‌های مهم استان خراسان رضوی می‌باشد، به عنوان منطقه مورد مطالعه در این تحقیق انتخاب گردید (شکل۱). بحران آب دشت نیشابور در نتیجه بهم خوردن تعادل هیدرولوژیک و افزایش تقاضا از منابع آب از سال ۱۳۶۵ به بعد نمود پیدا کرده است. این دشت جزئی از حوضه آبریز کال شور است که در

www.SID.ir

Archive of SID

دامنه جنوبی ارتفاعات بینالود و در شمال شرق کویر مرکزی واقع شده است. وسعت کل حوضه ۷۳۰۰ کیلومتر مربع است که ۳۹۰۰ کیلومتر مربع آن را دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهند. آب و هوای منطقه نیمه‌خشک و خشک، متوسط دمای هوا ۱۲ درجه سانتیگراد و میزان بارندگی آن به طور متوسط برای کل حوضه ۲۹۲ میلی‌متر گزارش شده است. میزان تبخیر به علت بالا بودن دمای هوا زیاد بوده و متوسط آن برای کل حوضه ۲۳۳۵ میلی‌متر در سال است. منبع اصلی تأمین آب مورد نیاز منطقه چاه‌ها هستندکه از آبخانه زیرزمینی دشت نیشابور تغذیه می‌شوند. بحران آب با وجود اعلام ممنوعیت دشت کماکان تداوم یافته است که می‌تواند پیامدهای فراوانی را برای منطقه به دنبال داشته باشد. اگرچه رهایی کامل از این بحران و بازگشت به حالت اولیه غیرمحتمل به نظر می‌رسد، اما پس از مطالعه و بررسی وضعیت کنونی منابع آب و بحران شکل گرفته، راهکارهای جلوگیری از تشدید بحران و برون‌رفت احتمالی از آن قابل ارائه می‌باشد (فرج زاده و همکاران، ۱۳۸۴).

این دشت از سال ۱۳۷۱ به بعد به طور متوسط هر ساله با حدود ۰/۲ متر افت سطح آب زیرزمینی مواجه بوده است. کل تخلیه دشت ۷۸۸ میلیون متر مکعب می‌باشد، که حدود ۹۵٪ آن به مصارف کشاورزی می‌رسد. در منطقه مورد مطالعه بیش از ۸۰٪ اراضی قابل آبیاری و مناسب برای کشت و زرع است که باعث شده این دشت موقعیت کشاورزی مطلوبی را در استان خراسان رضوی داشته باشد. بیش از ۷۰٪ کشت‌ها در نیشابور آبی است. بیشترین سطح زیر کشت را غلات و محصولات صنعتی و باغی به خود اختصاص می‌دهند که از نظر نیاز آبی در حد بالایی بوده و با شرایط کم آبی منطقه، سازگار نمی‌باشند (فرج زاده و همکاران، ۱۳۸۴).

جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز مدل SWAP

SWAP یک مدل اگروهیدرولوژیک بسیار جامع برای انتقال آب، گرما و محلول در محیط اشباع و غیر اشباع می‌باشد. SWAP شامل مدل‌های فیزیکی برای شبیه‌سازی عملیات آبیاری و رشد گیاه است. حرکت آب براساس معادله ریچاردز شبیه‌سازی می‌شود. برای حل این معادله از روش عددی تفاضل‌های محدود و اعمال شرایط مرزی و استفاده از توابع هیدرولیکی خاک استفاده می‌گردد. توابع هیدرولیکی خاک به عنوان روابط بین هدایت هیدرولیکی، رطوبت خاک و بار فشاری آب خاک تعریف می‌شوند. در SWAP توابع تحلیلی ارائه شده توسط معادله ون-گنوختن برای تعریف منحنی مشخصه استفاده می‌شوند (Van Dam et al., 1997). شرایط مرزی لایه سطحی نیز با استفاده از شار تبخیر و تعرق ($ET_p(mmd^{-1})$)، میزان آب آبیاری ($I(mmd^{-1})$) و بارندگی ($P(mmd^{-1})$) تعیین می‌شود. تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_p) از روش پنمن- مانتیث با استفاده از داده‌های روزانه هواشناسی تشعشع، دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد در ارتفاع ۲ متری و همچنین مشخصات گیاهی از قبیل حداقل مقاومت گیاه، آلبیدوی سطحی و ارتفاع گیاه محاسبه می شود (Allen et al., 1998).

در دشت نیشابور گندم با تولید بیش از ۵۲ هزار تن بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است و لذا این محصول برای ارزیابی و واسنجی مدل SWAP انتخاب شد. تعداد ۳ مزرعه گندم به نام‌های فاروب‌رومان، حاجی‌آباد و سلیمانی با مشورت کارشناسان خبره محلی به عنوان نماینده کل سطح دشت، به منظور جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز مدلSWAP انتخاب گردیدند (شکل۱). برای تأمین داده‌های هواشناسی شامل تشعشع خورشیدی، بارندگی، دمای حداقل، دمای حداکثر، رطوبت نسبی و سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، از اطلاعات روزانه ایستگاه سینوپتیک نیشابور برای فصل زراعی ۸۸-۱۳۸۷ استفاده شد. به منظور تهیه اطلاعات زراعی موردنیاز مدل در طول فصل رشد، تاریخ آبیاری، میزان و شوری آب آبیاری، عمق توسعه ریشه، شاخص سطح برگ و ارتفاع گیاه در مزارع انتخابی اندازه‌گیری شدند. همچنین در انتهای فصل رشد، تاریخ برداشت و میزان عملکرد محصول اندازه‌گیری و ثبت گردید. عمق آبیاری با استفاده از حاصل‌ضرب دبی آب در زمان آبیاری و تقسیم آن بر مساحت مزرعه تعیین شد. روش آبیاری استفاده شده در مزرعه فاروب‌رومان شیاری، در مزرعه حاجی‌آباد کرتی و در مزرعه سلیمانی نواری (روی خطوط تراز) بود.

برای به دست آوردن پارامترهای هیدرولیکی خاک از بسته نرم‌افزاری RETC استفاده شد. به طوری که مشخصات هر لایه خاک مانند بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری و درصد رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی (FC) به عنوان ورودی به مدل داده شد و پارامترهای معادله ون-گنوختن شامل رطوبت باقی مانده θ_{res}، درصد رطوبت اشباع خاک θ_{sat}، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک $K_{sat}(cmd^{-1})$ و پارامترهای $\alpha(cm^{-1})$، $\lambda(-)$، $n(-)$ به عنوان خروجی به دست آمد (Van Genuchten et al., 1997). بعضی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در مزارع مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. رطوبت خاک به طور مستقیم از اعماق ۱۰-۰، ۲۰-۱۰، ۳۰-۲۰، ۴۰-۳۰، ۵۰-۴۰، ۶۰-۵۰، ۷۰-۶۰ و ۸۰-۷۰ سانتی‌متری در طول فصل رشد در کلیه مزارع آزمایشی با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج از نوع TRIME-FM در فواصل زمانی یک تا دو هفته اندازه‌گیری شد. برای ارزیابی نتایج مقادیر رطوبت شبیه‌سازی شده توسط مدل در مقایسه با مقادیر اندازه گیری شده، از معیار ریشه میانگین مربعات خطا با رابطه زیر استفاده شد (Singh et al., 2006; Vazifedoust et al. ,2008).

www.SID.ir

Archive of SID

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\{\theta_{obs}(t_i) - \theta_{sim}(t_i)\}^2}{N}} \quad (۱)$$

در معادله بالا θ_{obs} رطوبت مشاهداتی و θ_{sim} رطوبت شبیه‌سازی شده به وسیله مدل می‌باشد.

محاسبه شاخص‌های بهره‌وری آب

برای آنالیز بهره‌وری در بخش کشاورزی ابتدا می‌بایست عامل یا عوامل کمیاب را شناسایی کرده و در ادامه برنامه‌ریزی و تحقیقات در جهت ارتقای بهره‌وری آن عامل یا عوامل کمیاب صورت گیرد. به عنوان مثال در آمریکا به دلیل فراوانی زمین و گرانی کارگر، تحقیقات و برنامه‌ریزی در راستای بهبود بهره‌وری نیروی کارگر استوار بوده و به همین دلیل ماشین آلات کشاورزی در این کشور توسعه فراوانی پیدا کرده است. در کشور ژاپن به دلیل کمبود زمین، سعی شده است تا بهره‌وری زمین افزایش یابد. در این راستا استفاده از کودهای شیمیایی توسعه زیادی پیدا کرده است. در ایران به دلیل محدود بودن منابع آب شیرین برنامه‌ریزی‌ها و تحقیقات بایستی در جهت افزایش بهره‌وری آب باشد (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲). در سیستم‌های تولیدی کشاورزی، بهره‌وری آب از تقسیم محصول تولیدی در واحد مقدار آب مصرف شده به دست می‌آید (Molden, 1977). از طرفی، بهره‌وری آب را می‌توان از روش‌های مختلف با معادلات متفاوت تعریف کرد. به عنوان مثال محصول تولیدی را می‌توان ماده خشک یا بیوماس کل و مقدار آب مصرف شده را می‌توان تعرق، تبخیر–تعرق، آبیاری و تبخیر–تعرق به اضافه نفوذ عمقی در نظر گرفت (Molden et al., 2001). قابلیت انعطاف تعاریف بهره‌وری آب، شاخص‌های مفیدی برای ارزیابی سودمندی آب فراهم می‌کند و از روی این شاخص‌ها می‌توان تشخیص داد که کی و چه موقع می‌توان در مصرف آب صرفه‌جویی کرد. شاخص‌های محاسبه شده در این تحقیق به صورت زیر هستند:

$$WP_T = \frac{Y(kgha^{-1})}{T(mm)} \quad (۲)$$

$$WP_{ET} = \frac{Y(kgha^{-1})}{ET(mm)} \quad (۳)$$

$$WP_{ETQ} = \frac{Y(kgha^{-1})}{ETQ(mm)} \quad (۴)$$

$$WP_{Irr} = \frac{Y(kgha^{-1})}{I(mm)} \quad (۵)$$

در معادلات بالا Y عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار، T میزان تعرق گیاه، ET تبخیر–تعرق واقعی گیاه، ETQ مجموع تبخیر–تعرق واقعی و نفوذ عمقی و I میزان آب آبیاری می‌باشد.

WP_T مقدار محصول تولیدی را در واحد مقدار تعرق گیاه بیان می‌کند و به طور کلی حد کمی از آب استفاده شده توسط گیاه (فقط تعرق گیاه) را شامل می‌شود. WP_T به نوع گیاه (C_3 یا C_4) و واریته آن وابسته می‌باشد و عملکرد فیزیولوژیکی گیاه خاصی را بیان می‌کند. WP_Tرا همچنین می‌توان به نام راندمان تعرق گیاه تعریف کرد که به سرعت پخشیدگی مولکول‌های CO_2 و H_2O بستگی دارد. این شاخص متناسب با مقدار بازشدگی روزنه‌ها در برگ تغییر می‌کند. تغییرات مداوم شرایط زیست‌محیطی مانند غلظت CO_2 در جو، تابش، دما و کمبود فشار بخار همچنین بر سرعت پخشیدگی مولکول‌های CO_2 و H_2O برای یک گیاه خاص تأثیرگذار هستند. با بهبود واریته‌های گیاهی، انتخاب تاریخ کشت مناسب و کاربرد آب کافی می‌توان افزایش WP_T را برای یک گیاه خاص انتظار داشت (Singh et al., 2006). تبخیر– تعرق واقعی گیاه بستگی به مقدار آب استفاده شده برای تولید محصول دارد. WP_{ET} مقدار محصول تولیدی را در واحد تبخیر–تعرق واقعی گیاه بیان می‌کند. تلفات اجتناب‌ناپذیر آب به واسطه تبخیر مستقیم از سطح خاک بهره‌وری آب را از WP_T به WP_{ET} کاهش می‌دهد. با لحاظ کردن نفوذ عمقی (Q_{bot}) در مخرج کسر بهره‌وری آب از WP_{ET} به WP_{ETQ} کاهش می‌یابد. لحاظ کردن نفوذ عمقی به عنوان افت بستگی به عمق و کیفیت آب زیرزمینی منطقه دارد. به عنوان مثال، در مناطقی که کیفیت آب زیرزمینی خوب و عمق آب زیرزمینی کم باشد، نفوذ عمقی باعث تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌شود و می‌توان این آب را دوباره از طریق پمپاژ مورد استفاده قرار داد. اگر آب زیرزمینی از کیفیت خوبی برخوردار نباشد، برگشت آب ممکن است امکان نداشته باشد و نفوذ عمقی را بایستی به عنوان افت در نظر گرفت (Singh et al., 2006).

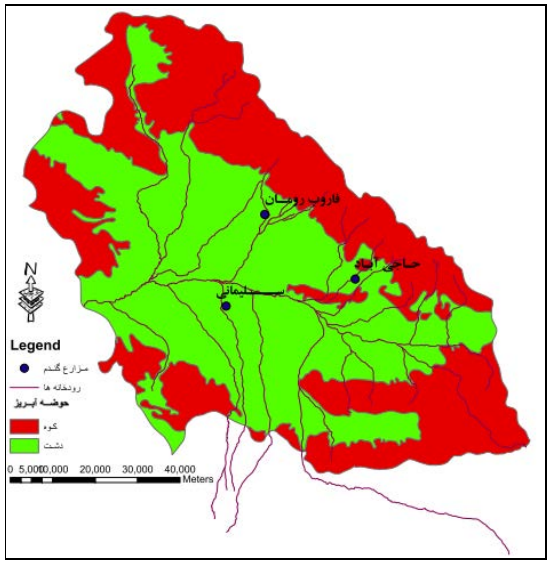
ارزیابی و واسنجی مدل

برای استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی تحلیل حساسیت، واسنجی و صحت‌سنجی مدل ضروری می‌باشد. در این پژوهش برای انجام این مراحل از بخش‌های مربوط به انتقال آب و رشد محصول استفاده شد. آنالیز حساسیت مدل به روش پیشنهادی لین و همکاران (Lane et al., 1990) انجام شد. قابل ذکر است این روش در مطالعات دیگر نیز مورد استفاده قرار گرفته است (اکبری و همکاران، ۱۳۸۸). برای تحلیل حساسیت مدل نسبت به پارامترهای هیدرولیکی خاک، داده‌های خروجی مدل RETC در لایه‌های مختلف و همچنین در مزارع منتخب به عنوان مبنا در نظر گرفته شد. در هر نوبت یکی از داده‌های ورودی مقداری تغییر داده شد (برای هر مؤلفه دو تغییر مثبت و منفی به میزان ۵۰ درصد انجام گرفت) و بقیه داده‌ها ثابت نگه داشته شدند و مدل با استفاده از شرایط جدید اجرا گردید. نتایج به دست آمده در دو حالت مذکور با نتایج به دست آمده در حالت مبنا

www.SID.ir

Archive of SID

مقایسه و پارامترهای حساس مدل تعیین شد.



شکل ۱- محدوده دشت نیشابور و مزارع انتخابی در بخش‌های مختلف آن

در این تحقیق داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت خاک به دو دسته تقسیم گردید. دسته اول برای واسنجی مدل (از ابتدا تا اواسط دوره رشد) و دسته دوم برای صحت‌سنجی مدل (از اواسط تا انتهای دوره رشد) مورد استفاده قرار گرفت. بعد از عملیات واسنجی و صحت-سنجی مدل نسبت به پارامترهای هیدرولیکی خاک، برای واسنجی عملکرد گندم با مقادیر مختلف آبیاری از مدل ساده رشد گیاهی SWAP استفاده شد. بدین ترتیب که از کلیه پارامترهای اندازه‌گیری شده در مزارع مختلف شامل تاریخ‌های آبیاری، میزان و شوری آب آبیاری، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، عمق توسعه ریشه و تاریخ برداشت محصول استفاده شد. با استفاده از اطلاعات مزارع مختلف، داده‌های ورودی مورد نیاز تهیه و واسنجی به صورت زیر انجام شد: ۱- اجرای مدل و تعیین عملکرد شبیه‌سازی شده در شرایط مختلف مزارع آزمایشی، ۲- مقایسه عملکرد اندازه‌گیری شده با عملکرد شبیه‌سازی شده در همان شرایط، ۳- در صورت عدم تطابق عملکرد شبیه‌سازی شده با عملکرد اندازه‌گیری شده، با تغییر ضریب حساسیت گیاه به عملکرد محصول (K_y) مراحل فوق تکرار گردید تا نتایج عملکرد شبیه‌سازی شده بر عملکرد اندازه‌گیری شده کاملاً منطبق گردد و ۴- از مدل واسنجی شده برای بررسی تأثیر برنامه‌ریزی‌های مختلف آبیاری بر عملکرد محصول استفاده شد.

نتایج و بحث

شبیه‌سازی رطوبت در نیمرخ خاک

آنالیز حساسیت مدل نسبت به پارامترهای هیدرولیکی خاک به روش لین و همکاران (۱۹۹۰) نشان داد مدل نسبت به پارامترهای α، n و θ_{sat} از حساسیت با درجه متوسط و برای سایر پارامترهای ورودی از حساسیت کم برخوردار است. از میان پارامترهای با حساسیت متوسط α و n حساس‌ترین پارامترها بودند. بنابراین در مرحله واسنجی مدل این پارامترها آنقدر تغییر داده شدند تا بهترین تطابق بین رطوبت مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده حاصل گردد.

جدول ۱- برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع آزمایشی

مزارع	خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک							
	عمق خاک (سانتی‌متر)	چگالی ظاهری (gr/cm^3)	بافت خاک	رس	سیلت	شن	درصد وزنی رطوبت در ظرفیت زراعی	EC (ds/m)
				درصد				
فاروب رومان	۰-۳۰	۱/۵۱	سیلتی لوم	۱۸	۵۲	۳۰	۲۰/۱	۱/۰۶
	۳۰-۶۰	۱/۵۷	لوم	۲۲	۴۴	۳۴	۱۷/۱	۰/۶۸
	۶۰-۹۰	۱/۷۸	لوم	۲۰	۴۶	۳۴	۱۹/۷	۰/۸
حاجی آباد	۰-۳۰	۱/۴۳	لوم	۱۸	۳۶	۴۶	۱۵/۵	۱/۵۶
	۳۰-۶۰	۱/۴۹	لوم شنی	۱۸	۲۲	۶۰	۱۲/۹	۲/۶۹
	۶۰-۹۰	۱/۷۱	لوم	۱۶	۳۶	۴۸	۱۱/۷	۲/۰۲
سلیمانی	۰-۳۰	۱/۷۲	سیلت لوم	۱۷	۵۵	۲۸	۱۷	۶/۹۶
	۳۰-۶۰	۱/۷۰	سیلت لوم	۱۶	۶۲	۲۲	۲۳	۷/۵
	۶۰-۹۰	۱/۷۱	سیلت لوم	۱۶	۶۰	۲۴	۱۸/۲	۸/۲

www.SID.ir

Archive of SID

مقادیر پارامترهای واسنجی شده و سایر پارامترهای هیدرولیکی خاک (θ_{res} ، θ_{sat}، K_{sat} و λ) در جدول ۲ نشان داده شده است. مقدار ریشه میانگین مربعات خطای رطوبت خاک (RMSE) در مزارع مختلف بین ۰/۰۲۰ تا ۰/۰۳۹ در نوسان بود (جدول۳). این نتایج حاکی از آن است که مدل توانسته رطوبت خاک را در زمان‌ها و اعماق مختلف به خوبی شبیه‌سازی کند. مقداری از اختلاف بین مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده ممکن است ناشی از محدودیت‌های ذاتی مدل‌ها باشد. برای مثال، تأثیر پدیده پس‌ماند رطوبت (Hysteresis) و جریان ترجیحی آب از میان حفره‌های بزرگ در مدل منظور نشده است. دلیل دیگر کاهش دقت مدل ممکن است به علت ساده‌سازی‌های مرتبط با بعضی داده‌های ورودی باشد. به طور مثال مقادیر روزانه بارندگی با این فرض توسط مدل استفاده می‌شود که باران به طور یکنواخت در تمام طول روز توزیع شده باشد، در حالی که عدد ثابتی که ممکن است دقت زیادی هم نداشته باشد در مدل وارد می شود (خاکساری و همکاران، ۱۳۸۵). همچنین تغییرپذیری و خطای مشاهدات مزرعه‌ای ممکن است در تفاوت بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نقش اساسی داشته باشد. به عنوان مثال در شکل ۲، نمودار مربوط به شبیه‌سازی رطوبت در مزرعه فاروب‌رومان در طول مراحل واسنجی و صحت‌سنجی نشان داده شده است. مقدار RMSE در طول مراحل واسنجی و صحت‌سنجی در مزرعه فاروب‌رومان به ترتیب ۰/۰۳۵ و ۰/۰۲۰ محاسبه شد. ملاحظه می‌شود مقدار RMSE در طول هر دو مرحله نسبتاً کم و قابل قبول می‌باشد.

مقایسه اجزای بیلان آب شبیه‌سازی شده توسط مدل

با استفاده از داده‌های ورودی جمع‌آوری شده مانند پارامترهای هیدرولیکی خاک، عمق‌های آبیاری و سایر داده‌ها اجزای بیلان آب در مزارع مختلف توسط مدلSWAP شبیه‌سازی گردید. شبیه‌سازی دقیق اجزای بیلان آب برای محاسبه شاخص‌های بهره‌وری ضروری می‌باشد. جدول ۴ اجزای بیلان آب شبیه‌سازی شده در مزارع مختلف در دشت نیشابور را نشان می‌دهد. بارندگی در طول فصل رشد گندم منبع مهمی برای تبخیر–تعرق گیاهی می‌باشد. مقدار بارندگی در طول فصل رشد ۲۸۰ میلی‌متر بوده است. با این میزان بارندگی می‌توان آبیاری‌های غیرضروری در فصل زمستان را حذف کرد. مقدار آب آبیاری بین ۴۰۰ تا ۹۲۰ میلی‌متر می‌باشد. در شرایط مزرعه‌ای تبخیر–تعرق واقعی گندم بین ۴۵۱ تا ۴۹۸ میلی‌متر متغیر بود. به طور متوسط مقدار تبخیر–تعرق گندم ۴۷۲ میلی متر برآورد گردیده است. مقدار تبخیر–تعرق در مزارع حاجی‌آباد و سلیمانی به دلیل کاربرد میزان یکسان آب تقریباً مشابه می‌باشد. در مزرعه فاروب‌رومان به دلیل انجام آبیاری‌های سنگین و عدم طراحی صحیح سیستم آبیاری سطحی، از مجموع آب آبیاری و بارندگی حدود ۶۰ درصد به صورت نفوذ عمقی و رواناب سطحی از دسترس گیاه خارج شده است. لذا مشاهده می‌شود در عین حالی که مقدار آبیاری در این مزرعه نسبت به سایر مزارع بالاتر است، تبخیر–تعرق واقعی به دلیل تلفات غیر قابل اجتناب نفوذ عمقی و رواناب سطحی تقریباً در حدود سایر مزارع می‌باشد. به دلیل آبیاری سنگین در مزرعه فاروب رومان در این مزرعه نفوذ عمقی و رواناب بالاتر از سایر مزارع بوده است.

مدل SWAP قادر به تفکیک تبخیر– تعرق گیاهی به تبخیر (آب مصرفی غیر مؤثر) و تعرق (آب مصرفی مؤثر) با استفاده از شاخص سطح برگ در مراحل مختلف رشد گیاه می‌باشد. در شکل ۳ مقدار تعرق و تبخیر روزانه در طول فصل رشد در مزرعه فاروب‌رومان نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود در ابتدای فصل به دلیل کوچک بودن پوشش گیاهی، سهم تبخیر بیشتر از تعرق است. هرچه به اواسط یا انتهای دوره رشد نزدیک می‌شویم از مقدار تبخیر کاسته شده و به مقدار تعرق افزوده می‌شود، 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 که می تواند از طریق مالچ‌پاشی خاک یا استفاده از روش‌های آبیاری زیر سطحی در مدیریت آب در مزرعه لحاظ شود.

بهره‌وری آب تحت شرایط مدیریت کشاورز

شاخص‌های بهره‌وری آب با استفاده از اجزای بیلان آب شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAP مانند آبیاری، تعرق واقعی، تبخیر و تعرق گیاهی، نفوذ عمقی، رطوبت ذخیره شده در نیمرخ خاک و عملکرد اندازه‌گیری شده در مزرعه محاسبه گردید. جدول ۵ مقادیر شاخص‌های بهره‌وری آب در مزارع مختلف دشت نیشابور را نشان می‌دهد. مقدار WP_T بین ۰/۸۵ تا ۱/۶۷ متغیر می‌باشد. متوسط مقدار WP_T، ۱/۲۸ محاسبه گردید. Vazifedoust et al. (2008) مقدار WP_T برای گندم در منطقه برخوار اصفهان را ۱/۱۸ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد کردند که مشابه با رقم به دست آمده در این تحقیق می‌باشد.

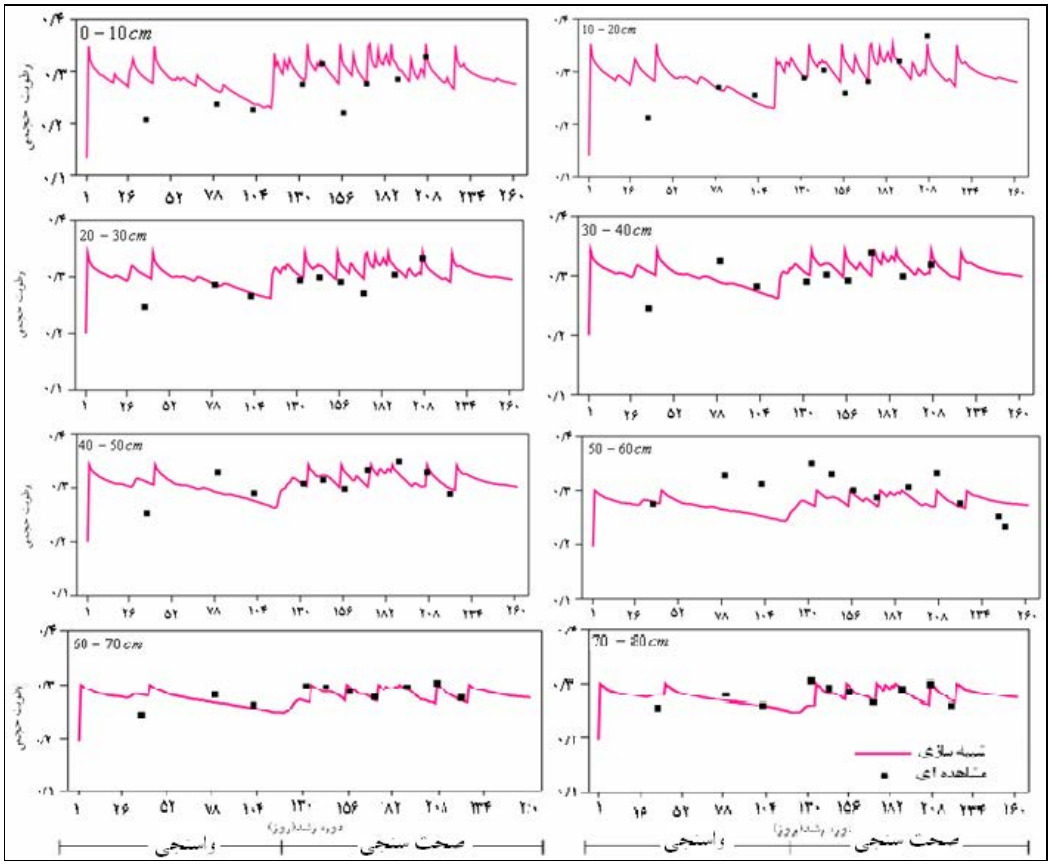
در این مطالعه متوسط شاخص‌های WP_{ET}، WP_{ETQ} و WP_{Irr} برای گندم به ترتیب ۰/۹۹، ۰/۶ و ۰/۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه گردید. مقدار بالای تبخیر در ابتدای دوره رشد گیاه به دلیل روش‌های آبیاری سنتی در مزارع مورد مطالعه باعث کاهش ۲۸ درصدی WP_{ET} نسبت به WP_T شد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- خصوصیات هیدرولیکی لایه های مختلف خاک مزارع آزمایشی

مزارع	عمق خاک (سانتی متر)	θ_{res} (cm^3cm^{-3})	θ_{sat} (cm^3cm^{-3})	K_{sat} (cmd^{-1})	α (cm^{-1})	λ (–)	n (–)
فاروب رومان	۰–۳۰	۰/۰۴۴	۰/۳۵۳	۲۰/۶۱	۰/۰۲۱	۰/۵	۱/۳۹
	۳۰–۶۰	۰/۰۵۰	۰/۳۴۳	۲۰/۴۴	۰/۰۲۶	۰/۵	۱/۱۳
	۶۰–۹۰	۰/۰۴۱	۰/۳۰۰	۹/۰۴	۰/۰۳۷	۰/۵	۱/۲۴
حاجی آباد	۰–۳۰	۰/۰۵۱	۰/۳۸۱	۴۱/۵۱	۰/۰۳۹	۰/۵	۱/۸۰
	۳۰–۶۰	۰/۰۵۹	۰/۳۸۲	۱۱۵/۴۱	۰/۰۴۸	۰/۵	۱/۱۰
	۶۰–۹۰	۰/۰۴۲	۰/۳۰۴	۴۱/۴۰	۰/۰۶۲	۰/۵	۱/۴۴
سلیمانی	۰–۳۰	۰/۰۳۶	۰/۲۹۸	۱۵/۹۵	۰/۰۳۸	۰/۵	۱/۲۷
	۳۰–۶۰	۰/۰۴۰	۰/۳۲۱	۱۱/۹۶	۰/۰۰۸	۰/۵	۱/۱۰
	۶۰–۹۰	۰/۰۳۵	۰/۳۰۲	۱۶/۲۹	۰/۰۳۱	۰/۵	۱/۲۷



شکل ۲- رطوبت مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مزرعه فاروب‌رومان در اعماق مختلف خاک

با بهبود عملیات کشاورزی مانند مالچ‌پاشی خاک یا آبیاری زیرسطحی می‌توان WP_{ET} را بهبود بخشید. علاوه بر آن مهمترین دلیل کاهش WP_{Irr} و WP_{ETQ} نسبت به WP_{ET} مقدار بالای نفوذ عمقی به دلیل آبیاری‌های سنگین خصوصاً در مزرعه فاروب‌رومان می‌باشد. Zwart and Bastiaanssen(2004) بر پایه اطلاعات و آزمایش مزرعه‌ای در ۸۲ نقطه مختلف دنیا در ۲۵ سال گذشته، مقدار WP_{ET} گندم را ۱/۰۸ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد کردند. مقدار متوسط WP_{ET} برای گندم در دشت نیشابور ۰/۹۹ محاسبه گردید. Singh et al. (2006) مقادیر شاخص‌های WP_T، WP_{ET} و WP_{ETQ} را برای محصول گندم در منطقه Sirsa هند به ترتیب ۱/۸۸، ۱/۳۹ و

www.SID.ir

Archive of SID

۱/۰۴ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه نمودند. این مقادیر در مقایسه با شاخص‌های محاسبه شده در این تحقیق بیشتر هستند که می‌تواند به دلیل افزایش تبخیر و تعرق گیاهی و نفوذ عمقی در این مطالعه نسبت به تحقیق انجام شده در هند باشد. دلیل دیگر احتمالاً به علت مقادیر عملکرد بیشتر گندم در منطقه Sirsa است، به طوری که متوسط عملکرد گندم در منطقه Sirsa، ۵/۴ تن در هکتار و در منطقه نیشابور ۴/۷ تن در هکتار می‌باشد. قابل ذکر است منطقه Sirsa از لحاظ اقلیمی مشابه به منطقه نیشابور (خشک و نیمه‌خشک) می‌باشد، با این تفاوت که در منطقه نیشابور سطح آب زیرزمینی عمیق و در منطقه Sirsa ، کم‌عمق می‌باشد.

نتایج حاصل از مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که بهبود مدیریت آب، گام مهم و مؤثر در مصرف بهینه آب و افزایش بازده و کارایی مصرف آب آبیاری و تولید محصولات کشاورزی می‌باشد. Zwart and Bastiaanssen (2004) بهره‌وری آب (WP_{ET}) گندم را در دنیا بین ۱/۷– ۰/۶ و به طور متوسط ۱/۰۹ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد کردند و نتیجه این تحقیق نشان داد که شاخص بهره‌وری آب به مقدار زیادی می‌تواند در صورت کاهش مقدار آب آبیاری و اعمال کم‌آبیاری افزایش یابد. حیدری و همکاران (۱۳۸۴) در تحقیقی با هدف تعیین مقدار کارایی مصرف آب محصولات کشاورزی عمده مناطق کشور (کرمان، همدان، مغان، گلستان و خوزستان) و در شرایط مدیریت زراعی کشاورزان را اجرا نمودند. براساس نتایج آنها متوسط شاخص کارایی مصرف آب گندم ۰/۷۵ کیلوگرم بر متر مکعب اندازه گیری گردید. قابل ذکر است در این مطالعه منظور از کارایی مصرف آب همان بهره‌وری آب نسبت به آب آبیاری (WP_{Irr}) می‌باشد.

حیدری و حقایقی مقدم (۱۳۸۰) براساس نتایج دو پروژه ملی انجام شده در زمینه تعیین بازدهی (راندمان) آبیاری در کشور توسط کارشناسان مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کارایی مصرف آب آبیاری محصولات زراعی مختلف در روش‌های آبیاری سطحی با مدیریت زارعین را محاسبه نمودند. نتایج بررسی مذکور نشان داد که روش و مدیریت آبیاری تأثیر بسزایی در افزایش کارایی مصرف آب آبیاری داشته و قسمت عمده مسایل و مشکلات بازدهی آبیاری و کارایی مصرف آب در کشور مربوط به مسایل مدیریت آبیاری است که بهبود و اصلاح آنها نیاز به سرمایه‌گذاری چندانی نداشته و بلکه به یک اهتمام و برنامه‌ریزی مدیریتی صحیح نیاز دارد. ایشان کارایی مصرف آب آبیاری گندم را در استان خراسان به طور متوسط ۰/۵۷ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه نمودند. در این تحقیق مقدار کارایی مصرف آب آبیاری برای محصول گندم در دشت نیشابور به طور متوسط ۰/۸۸ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد گردید. این رقم در مقایسه با ارقام ذکر شده در تحقیقات قبلی به دلیل پیشرفت‌های به عمل آمده در طول دهه اخیر در بخش‌های مختلف و به‌ویژه توسعه تحقیقات کشاورزی ارتقاء یافته به طوری که مقدار این شاخص در کشور ۱۷٪ و در استان خراسان رضوی ۵۴٪ افزایش را نشان می‌دهد.

جدول ۳- میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE) و تعداد مشاهدات در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی رطوبت

مزارع	واسنجی رطوبت (cm^3cm^{-3})		صحت سنجی رطوبت (cm^3cm^{-3})	
	تعداد مشاهدات	RMSE	تعداد مشاهدات	RMSE
فاروب رومان	۱۸	۰/۰۳۵	۱۳	۰/۰۲۰
حاجی آباد	۲۱	۰/۰۳۹	۲۱	۰/۰۳۷
سلیمانی	۱۷	۰/۰۳۳	۱۲	۰/۰۳۲

جدول ۴- اجزای بیلان آب شبیه‌سازی شده (میلی‌متر) در مزارع مورد مطالعه (شرایط مدیریت کشاورز)

اجزای بیلان آب	مزارع		
	فاروب رومان	حاجی آباد	سلیمانی
بارندگی	۲۸۰	۲۸۰	۲۸۰
آبیاری	۹۲۰	۴۰۰	۴۲۰
تبخیر واقعی	۱۰۸	۱۰۹	۱۰۱
تعرق واقعی	۳۵۹	۳۸۹	۳۵۰
تبخیر– تعرق واقعی	۴۶۷	۴۹۸	۴۵۱
رواناب	۱۸۸	۲۵	۲۶
رطوبت ذخیره شده	–۲۰	–۳	–۱۹
نفوذ عمقی	–۵۶۵	–۱۶۰	–۲۴۲
عملکرد (kg/ha)	۶۰۰۰	۵۲۳۰	۳۰۰۰

www.SID.ir

Archive of SID

سناریوی برنامه‌ریزی آبیاری

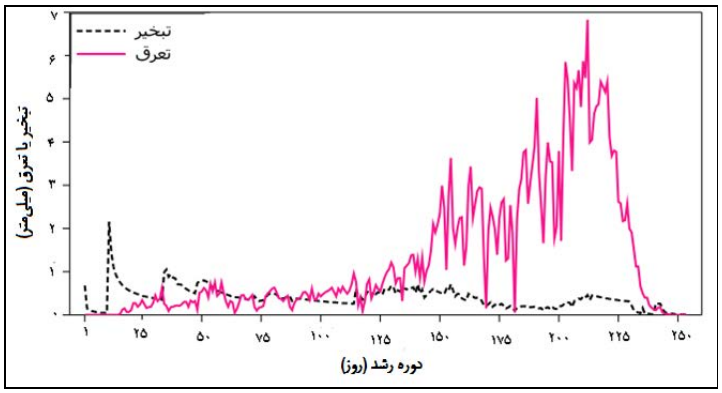
براساس اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷، میزان آب کاربردی و همچنین تاریخ‌های آبیاری در مزارع حاجی‌آباد و سلیمانی در حد بهینه و مناسب می‌باشد و اعمال سناریوی برنامه‌ریزی آبیاری توسط مدل بر عملکرد محصول گندم تاثیر معنی‌داری نداشت. بیشترین میزان آب مصرفی در مزرعه فاروب‌رومان بود که در نوبت اول ۲۳۰ میلی‌متر و در سایر نوبت‌ها (۶ نوبت) حدود ۱۱۵ میلی‌متر برآورد گردیده است. نفوذ عمقی و رواناب سطحی حاصل از این میزان آب کاربردی در مزرعه فاروب‌رومان نشان داد که زمان انجام آبیاری در این مزرعه به دلیل وقوع بارندگی در فصل رشد گیاه مناسب نبوده و با انجام آبیاری در زمان مناسب (برنامه‌ریزی پیشنهادی مدل) نفوذ عمقی و رواناب سطحی به ترتیب به میزان ۴۲ و ۴۰ درصد کاهش و عملکرد محصول به میزان ۱۴درصد افزایش می‌یابد.

در شکل ۴ میزان عملکرد محصول در شرایط مزرعه کشاورز (W1) و سناریوهای در نظر گرفته شده توسط مدل (W2 : سناریوی برنامه‌ریزی آبیاری توسط مدل، W3 ، W4 و W5 به‌ترتیب سناریوی کم‌آبیاری به میزان ۱۰، ۲۰ و۳۰ درصد کاهش عمق آب آبیاری) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد عمق آب کاربردی با توجه به خصوصیات خاک مزرعه و همچنین خصوصیات زارعی گندم بیشتر از مقدار مورد نیاز می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی انجام شده توسط مدل SWAP تحت سناریوهای مختلف آبیاری نشان داد که کاهش عمق آب کاربردی تا ۳۰ درصد تأثیر معنی‌داری بر عملکرد نداشت. اگر چه کاهش عمق آبیاری سبب کاهش نفوذ عمقی و رواناب سطحی درسطح مزرعه گردید که در درازمدت ممکن است باعث تجمع املاح و شوری خاک گردد. بنابراین در مقدار کاهش عمق آبیاری بایستی محتاطانه عمل کرد. با توجه به نظام آبیاری سنتی و توزیع گردشی آب بین کشاورزان و حقابه‌داران، کاهش عمق آبیاری چندان معقول و عملیاتی به نظر نمی‌رسد و بهترین گزینه قابل توصیه در شرایط فعلی، برنامه‌ریزی صحیح آبیاری یعنی انجام آبیاری به مقدار و در زمان مناسب است.

شاخص‌های بهره‌وری آب (WP_T و WP_{ET}) مستقل از سناریوهای برنامه‌ریزی آبیاری و کم آبیاری بوده و اعمال این سناریوها تأثیری بر این شاخص‌ها نشان نمی‌دهد (شکل ۵). این نتایج توسط محققین دیگر از جمله Vazifedoust et al., (2008) نیز تأیید شده است. کم آبیاری باعث افزایش چشمگیری در شاخص‌های WP_{ETQ} و WP_{Irr} به دلیل کاهش نفوذ عمقی می‌گردد. به عنوان مثال با اعمال برنامه‌ریزی صحیح آبیاری و کم‌آبیاری به میزان ۳۰٪، شاخص‌های WP_{ETQ} و WP_{Irr} به ترتیب حدود ۴۸ و ۶۱ درصد افزایش می‌یابند.

جدول ۵- شاخص‌های بهره‌وری آب در مزارع مورد مطالعه در شرایط مدیریت کشاورز ($kg\ m^{-1}$)

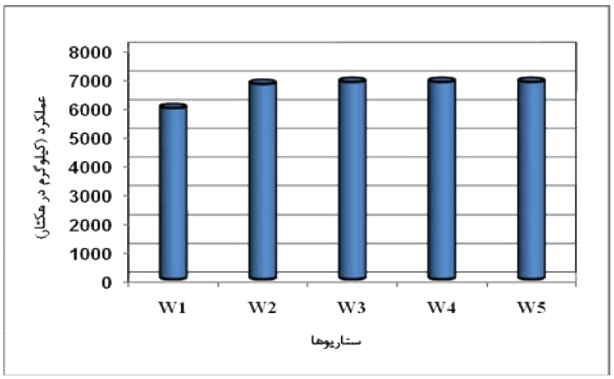
شاخص‌های	مزارع		
بهره‌وری آب	فاروب رومان	حاجی آباد	سلیمانی
WP_T	۱/۶۷	۱/۳۴	۰/۸۵
WP_{ET}	۱/۲۸	۱/۰۵	۰/۶۶
WP_{ETQ}	۰/۵۸	۰/۷۹	۰/۴۳
WP_{Irr}	۰/۶۵	۱/۳	۰/۷۱



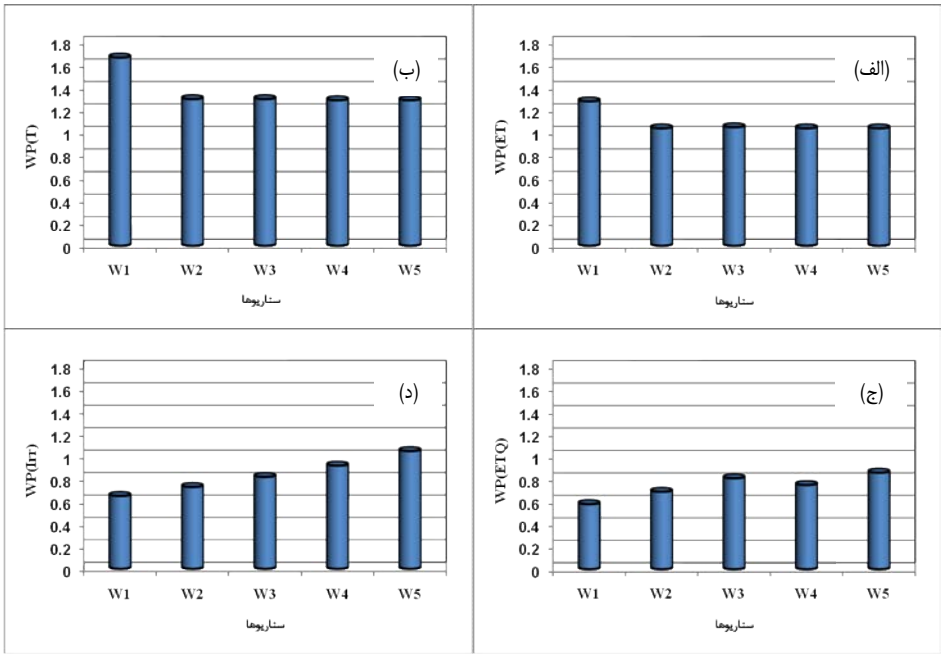
شکل ۳- مقدار تعرق و تبخیر روزانه شبیه‌سازی شده توسط مدل در مزرعه فاروب‌رومان

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴- مقدار عملکرد در شرایط مدیریت کشاورز و سناریوهای مختلف در مزرعه فاروب‌رومان



شکل ۵- روابط بین شاخص‌های بهره‌وری آب در شرایط مدیریت کشاورز و سناریوهای مختلف در مزرعه فاروب‌رومان (الف) WP_{ET}، (ب) WP_T، (ج) WP_{ETQ}، (د) WP_{Irr} (W1 : شرایط مدیریت کشاورز، W2 : سناریوی برنامه‌ریزی آبیاری، W3 ، W4 و W5 به ترتیب ۱۰ ، ۲۰ و ۳۰ درصد کم‌آبیاری)

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این تحقیق نشان داد که بهبود مدیریت و بهره‌وری آب از طریق برنامه‌ریزی صحیح آبیاری امکان‌پذیر می‌باشد. همچنین در برخی از مزارع دشت نیشابور با اعمال مدیریت کم آبیاری، ضمن کاهش ۳۰ درصدی از عمق آب آبیاری، عملکرد محصول به میزان ۱۴ درصد و شاخص‌های WP_{ETQ} و WP_{Irr} به ترتیب حدود ۴۸ و ۶۱ درصد ارتقاء می‌یابد. کم‌آبیاری تأثیر چندانی بر شاخص‌های WP_{ET} و WP_{ET} ندارد. با توجه به اینکه در دشت نیشابور سطح آب زیرزمینی عمیق می‌باشد، تأثیر نفوذ عمقی در تغذیه آب‌های زیرزمینی ممکن است سال‌ها به طول انجامد. لذا پیشنهاد می‌شود با تسطیح دقیق اراضی کشاورزی، استفاده از روش‌های آبیاری سطحی مکانیزه و یا بهره‌گیری از روش‌های آبیاری تحت‌فشار، تلفات نفوذ عمقی و رواناب سطحی را در سطح مزرعه تا حد امکان کاهش داد و در نتیجه بهره‌وری آب را بهبود بخشید. با توجه به نظام آبیاری سنتی و توزیع گردشی آب بین کشاورزان و حقابه‌داران، توصیه می‌شود برای بهبود بهره‌وری آب، شیوه‌های برنامه‌ریزی صحیح آبیاری، بهبود مدیریت آب در مزرعه و همچنین مدیریت کود و سایر نهاده‌های کشاورزی از

www.SID.ir

Archive of SID

طریق کلاسهای ترویجی به کشاورزان آموزش داده شود. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی این مدل برای سایر گیاهان اصلی دشت نیشابور مانند ذرت علوفه‌ای، جو، چغندرقند، پنبه و گوجه‌فرنگی نیز واسنجی و صحت‌یابی گردد و نتایج حاصله به صورت نشریات ترویجی در اختیار کشاورزان قرار گیرد.

مراجع

احسانی، م. و ه. خالدی. ۱۳۸۲. بهره‌وری آب کشاورزی. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی،۱۱۰صفحه.

اکبری، م. ، ح. دهقانی سانیج و س.م. میرلطیفی. ۱۳۸۸. تأثیر برنامه‌ریزی آبیاری بر بهره‌وری آب در کشاورزی (مطالعه موردی در شبکه آبشار اصفهان). مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱ (۳): ۶۹-۷۹.

ایزدی، ع.، ک. داوری، ا. علیزاده، ب. قهرمان و س.ا. حقایقی مقدم. ۱۳۸۶. پیش‌بینی سطح ایستابی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: دشت نیشابور). مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱(۲): ۵۹-۷۱.

بی‌نام. آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی سال ۸۷-۱۳۸۶، دفتر هماهنگی امور استانها. خلاصه اطلاعات سیمای استان خراسان رضوی.

حیدری، ن. و س.ا. حقایقی مقدم. ۱۳۸۰. کارایی مصرف آب آبیاری محصولات عمده مناطق مختلف کشور. گزارش ارائه شده به معاونت زراعت وزارت جهاد کشاورزی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

حیدری، ن.، ع. کشاورز، و ح. دهقانی سانیج. ۱۳۸۴. مدیریت مصرف بهینه آب کشاورزی در ایران با در نظر گرفتن خشکی و خشکسالی. مجموعه مقالات دومین همایش روش‌های پیشگیری از اتلاف منابع ملی، ۲۶-۲۵ خرداد ۱۳۸۴، فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران، تهران.

حیدری، ن. ۱۳۸۸. برنامه راهبردی بهبود بهره‌وری آب کشاورزی. وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.

خاکساری، و.، س.ع.ا. موسوی، س.ع.م. چراغی، ع.ا. کامکار حقیقی و ش. زند پارسا. ۱۳۸۵. ارزیابی مدل‌های رایانه‌ای SWAP و LEACHC در آبشویی مزرعه‌ای املاح خاک در منطقه چاه افضل یزد. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی،۱۰(۲): ۵۷-۶۸.

فرج زاده، م.، س. ولایتی و آ. حسینی. ۱۳۸۴. تحلیل بحران آب در دشت نیشابور با رویکرد برنامه‌ریزی محیطی. طرح پژوهشی کمیته تحقیقات، شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی.

کیانی، ع.ر. و م. همایی. ۱۳۸۶. ارزیابی مدل SWAP در شبیه‌سازی انتقال آب و املاح در نیم‌رخ خاک. تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۸(۱): ۱۳-۳۰.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56, Rome, Italy, 300 p.

Droogers, P., M. Torabi, M. Akbari and E. Pazira. 2001. Field-scale modeling to explore salinity problems in irrigated agriculture. Irrigation and Drainage 50: 77-90.

Eitzinger, J., Trnka, M., Hosch, J., Zalud, Z., and Dubrovsky, M. 2004. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. Ecological Modelling, 171(3): 223-246.

Lane, J. W., and Ferrira, V.A. 1990. Sensitivity in CREAMS: A filed scale model for chemical runoff and erosion from agricultural management systems. Ed. W. G. Knisel, 113-158. Vol. A. Model Documentation. USDA Conservation Res. Report No. 26. Washington D.C.

Mandare, A.B., Ambast, S.K., Tyagi, N.K., and Singh, J. 2008. On-farm water management in saline groundwater area under scarce canal water supply condition in the Northwest India. Agricultural Water Management, 95: 516-526.

Moldem, D., 1997. Accounting for water use and productivity. SWIM Paper 1. International Irrigation Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 16 p.

Moldem, D., Murray-Rust, H., Sakthivadivel, R., and Makin, I. 2001. A Water Productivity framework for understsnding and action. Workshop on water productivity, Wadduwa, Sri Lanka, November 12-13.

Mostafazadeh-Fard, B., H. Mansouri, S.F. Mousavi and M. Feizi. 2008. Application of SWAP model to predict yield and soil salinity for sustainable agriculture in an arid region. Int. J. Sus. Dev. Plann. 3(4): 1-9.

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.

Utset, A., Farre, L., Martinez-Cob, A., and Cavero, J. 2004. Comparing Penman-Monteith and Priestley-Taylor approaches as reference-evapotranspiration inputs for modeling maize water- use under

www.SID.ir

Archive of SID

Protection Agency, 85 p.

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.

Zwart, S.J., and Bastiaanssen, W.G.M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. Agricultural Water Management, 69(2): 115-133.

Mediterranean conditions. Agricultural Water Management, 66(3): 205-219.

Van Dam, J.C., Huygen, J., Wesseling, J.G., Feddes, R.A., Kabat, P., VanWalsum, P.E.V., Groenendijk, P., and Van Diepen, C.A. 1997. Theory of SWAP version 2.0. Technical Document 45. Wageningen Agricultural University and DLO Winand Staring Center.

Van Genuchten, M., and Yates, S.R. 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. US Enviromental

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۲/۱۸
تاریخ پذیرش: ۹۰/۴/۸

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Irrigation and drainage
No. 2, Vol. 5, Summer 2011, p. 263-275

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره ۲، جلد۵، تابستان ۱۳۹۰، ص. ۲۷۵-۲۶۳

Evaluation of Water Productivity Indicators in Wheat Irrigated Fields (Case study: Neyshabur plain)

H. Dehghan[1*], A. Alizadeh[2], H. Ansari[3] and S.A. Haghayeghi Moghaddam[4]

Abstract

Because of the scarcity of water resources in Iran, agricultural water productivity indices measuring and analyzing is very important. Purposes of this study, are to simulate the components of water balance in field level, to predict moisture in soil profile and to analyze water productivity indices in wheat irrigated fields for Neyshabur plain. Three wheat farms were selected at different parts of Neyshabour plain in 2008-2009. All required data for running SWAP model were collected. The model was calibrated and validated for all soil hydraulic parameters and wheat agricultural characteristics in each field, separately. Results show that SWAP could predict moisture profiles satisfactorily, in different times and depths. Water productivity indices were calculated using components of water balance, by SWAP. Averages of these indices that hereafter we called as WP_T (yield to crop actual transpiration ratio), WP_{ET} (yield to crop actual evapotranspiration ratio), WP_{ETQ} (yield to crop actual evapotranspiration plus deep percolation ratio) and WP_{Irr} (yield to total applied water ratio) were 1.28, 0.99, 0.6 and 0.88, respectively. According to results of this study, it is possible to increase wheat yield by 14% if irrigation scheduling is planned correctly. Moreover, deficit irrigation by 30% show no significant effect on yield. These results indicate that using a appropriate irrigation scheduling, in addition to reducing consumptive water, WP_{ETQ} and WP_{Irr} indices will increase up to 48 and 61 percent, respectively. High evaporation rete at initial stages of crop growth due to traditional irrigation method, has decreased WP_{ET} by 28% compared to WP_T. The WP_{ET} value could be improved employing agricultural practices like mulching or using subsurface irrigation. Decreasing applied water depth did not have notable effect on WP_{ET} and WP_T indices, but resulted in increasing WP_{ETQ} and WP_{Irr} values remarkably.

Key words: Wheat, Water Productivity Indicators, Irrigation Scheduling, SWAP Model, Neyshabur plain

1,2,3- Ph.D Student, Professor and Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
(*Corresponding Author Email: Dehghan63.ha@gmail.com)
4- Scientific Member, Agricultural Eng. Dept. of Khorasan Razavi Agricultural Research Center

www.SID.ir