

برنامه ریزی آبیاری نیشکر با استفاده از تلفیق داده‌های سنجش از دور و مدل SWAP در کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان خوزستان

ساناز محمدی، سید مجید میرلطیفی^{۱*} و مهدی اکبری

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

sanaz.mohamadi@modares.ac.ir

دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

Mirlat_m@modares.ac.ir

دانشیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

Akbari_m43@yahoo.com

چکیده

منظور از برنامه‌ریزی آبیاری ارائه مقادیر مناسب آب آبیاری و تاریخ‌های مناسب آبیاری در یک منطقه می‌باشد. در این تحقیق میزان مطابقت وضعیت موجود برنامه‌ریزی آبیاری با نیاز آبی گیاه در منطقه کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان اهواز با استفاده از مدل شبیه‌سازی SWAP مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور واسنجی و صحت‌یابی مدل SWAP در شرایط محدودیت دسترسی به داده‌های اندازه‌گیری شده مزرعه‌ای از تصاویر ماهواره LANDSAT 7 ETM+ و الگوریتم SEBAL برای ۱۲ تاریخ در طی فصل رشد نیشکر استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی اجزای بیلان آب توسط مدل واسنجی شده SWAP نشان داد که مقدار آب مصرفی در منطقه (۲۶۴۰ میلی‌متر) بیش از نیاز آبی گیاه بوده و حجم زیادی از آن به صورت نفوذ عمقی از منطقه توسعه ریشه گیاه خارج می‌شود. کارآیی مصرف آب نیشکر در شرایط مدیریت زارع ۰/۳۵ تن نیشکر (ساقه) در هکتار در سانتی‌متر به دست آمد. شش گزینه برنامه‌ریزی آبیاری شامل: (۱) برنامه آبیاری مطابق با مدیریت زارع، (۲) تغییر تاریخ‌های آبیاری بر اساس مقادیر تنش مجاز روزانه، (۳) حذف تعدادی از نوبت‌های آبیاری، (۴) تغییر تاریخ‌های آبیاری بر اساس حداکثر مقدار تخلیه مجاز نیشکر، (۵) کاهش ۱۰٪ تا ۴۰٪ عمق آبیاری و (۶) کاهش ۲۰٪ عمق آبیاری در ۴ گزینه‌ی اول با استفاده از مدل SWAP مورد بررسی قرار گرفت و تقویم بهینه آبیاری (شامل تاریخ و عمق آبیاری که منجر به افزایش کارایی مصرف آب می‌گردد) برای منطقه پیشنهاد شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی اجزای بیلان آب در شرایط اعمال تقویم بهینه آبیاری، نشان داد که با تغییر تاریخ‌های آبیاری می‌توان به طور متوسط میزان آب مصرفی در منطقه را ۲۷٪ کاهش و کارآیی مصرف آب را ۳۰٪ افزایش داد، کاهش ۲۰٪ عمق آب آبیاری نیز باعث افزایش ۲۶٪ کارایی مصرف آب می‌گردد. هم‌چنین در صورت ترکیب این دو گزینه میزان آب مصرفی به طور متوسط ۴۲٪ کاهش و کارآیی مصرف آب ۶۸٪ افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم SEBAL، کارایی مصرف آب.

۱- آدرس نویسنده مسئول: دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران

* دریافت: اسفند ۱۳۹۱ و پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۳

مقدمه

مصرف آب را ۱/۵ برابر افزایش داد. اکبری و همکاران (۱۳۸۷) نیز با استفاده از مدل SWAP نشان دادند که در صورت اصلاح تقویم آبیاری در شبکه آبیاری آبشار، عملکرد محصول ۱۵ درصد و کارایی مصرف آب ۴۰ درصد افزایش خواهد یافت. وظیفه دوست و همکاران (۲۰۰۸) نیز مدل SWAP را برای منطقه برخوار اصفهان واسنجی و صحت‌یابی کردند و با استفاده از اجزای بیلان آب شبیه‌سازی شده توسط مدل مقادیر کارایی مصرف آب را برای منطقه برآورد کردند.

نتایج نشان داد که در شرایط کمبود آب کاهش سطح زیر کشت نسبت به کم‌آبیاری مقادیر کارایی مصرف آب بالاتری خواهد داشت. دهقان و همکاران (۲۰۱۱) شاخص‌های کارایی مصرف آب در مزارع گندم دشت نیشابور را با استفاده از مدل SWAP مورد بررسی قرار دادند و اظهار داشتند که در صورت برنامه‌ریزی صحیح آبیاری ضمن کاهش آب مصرفی، شاخص‌های WP_{PETQ} و WP_{Irr} به ترتیب ۴۸ و ۶۱ درصد افزایش می‌یابد.

دقت مدل‌های شبیه‌ساز عمدتاً به دقت داده‌های ورودی بستگی دارد و در صورتی که به درستی واسنجی شوند، بدون محدودیت زمانی و مکانی موجود در آزمایش‌های مزرعه‌ای و نیز صرف زمان و هزینه زیاد، می‌توانند برای شبیه‌سازی سناریوهای مختلف مدیریت آبیاری به کار گرفته شوند (مصطفی زاده و همکاران، ۲۰۰۹). واسنجی مدل‌های شبیه‌ساز نیاز به داده‌های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای دارد که در برخی موارد یا در دسترس نمی‌باشند و یا از نظر زمانی متفاوت می‌باشند، لیکن در دسترس بودن داده‌های سنجش از دور امکان استفاده از روش ترکیب داده‌ها را فراهم کرده است.

دروگوز و باستیانسن (۲۰۰۲) برای منطقه‌ای در غرب ترکیه به منظور برآورد اجزای بیلان آب از تلفیق مدل SWAP و الگوریتم SEBAL استفاده کردند. با استفاده از مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق واقعی به دست آمده از دو تصویر LANDSAT و مدل SWAP و حداقل

برآوردهای جهانی در رابطه با مصرف آب در بخش‌های مختلف بیان‌گر این نکته است که ۸۵٪ از مصرف آب در بخش کشاورزی و ۱۵٪ در سایر بخش‌ها صورت می‌گیرد (دروگوز و باستیانسن، ۲۰۰۲). با توجه به محدودیت منابع آب در کشور و سهم بالای مصرف آب در بخش کشاورزی باید به دنبال راهکارهایی برای بهبود مدیریت آبیاری در مزارع و ارتقاء کارایی مصرف آب کشاورزی بود. بنابراین بایستی برای افزایش کارایی مصرف آب در شرایط مختلف کمی و کیفی دسترسی به آب، دور و عمق بهینه آبیاری را تعیین نمود. به منظور بررسی گزینه‌های مختلف می‌توان از آزمایش‌های مزرعه‌ای و یا مدل‌های شبیه‌سازی استفاده کرد. انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای با محدودیت‌هایی از قبیل: هزینه‌بر و زمان‌بر بودن، عدم امکان انجام گزینه‌های متعدد و پیچیده مدیریت آبیاری و محدود بودن صحت نتایج به دست آمده به یک منطقه خاص و شرایط آزمایش، همراه است. از مدل‌های شبیه‌سازی می‌توان برای غلبه بر این محدودیت‌ها استفاده کرد. از جمله مدل‌های هیدرولوژی شبیه‌ساز جریان آب در خاک و انتقال املاح می‌توان به مدل SWAP که به وسیله دانشگاه واگنینگن^۱ و موسسه آلترا^۲ تهیه شده است، اشاره کرد. قریشی و همکاران (۲۰۰۲) برای شبیه‌سازی اجزای بیلان آب خاک مزرعه نیشکر در منطقه سیند پاکستان از مدل SWAP93 استفاده کردند. در این تحقیق ۱۲ گزینه متشکل از ترکیب‌های مختلف عمق و فواصل آبیاری بررسی شد و گزینه‌ی عمق آبیاری ۱۶۵۰ میلی‌متر با فواصل آبیاری ۱۵ روزه به عنوان بهترین برنامه‌ریزی آبیاری برای منطقه انتخاب شد.

سینگ و همکاران (۲۰۰۶) نیز به منظور بررسی شاخص کارایی مصرف آب در منطقه Sirsa هند از مدل SWAP استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که در مزارع گندم با بهبود مدیریت‌های گیاهی می‌توان میزان کارایی

^۱. Wageningen

^۲. Alterra

مزرعه‌ای واقع در جنوب اسپانیا از تلفیق داده‌های سنجنش از دور، مدل SWAP و برنامه PEST استفاده کردند. با توجه به موفقیت استفاده از داده‌های سنجنش از دور در واسنجی مدل SWAP و رضایت بخش بودن نتایج تحقیقات انجام شده در رابطه با کاربرد مدل SWAP در برنامه‌ریزی‌های آبیاری در مناطق مختلف جهان، در این تحقیق نیز از مدل SWAP واسنجی شده با استفاده از تصاویر سنجنش از دور برای ارائه برنامه‌ریزی آبیاری بهینه (یعنی تعیین دور و عمق آبیاری که باعث کاهش آب مصرفی و افزایش کارایی مصرف آب گردد) در منطقه کشت و صنعت نیشکر میرزاکوچک‌خان اهواز استفاده شد. هدف از این تحقیق بررسی وضعیت موجود آب مصرفی در منطقه کشت و صنعت میرزاکوچک خان اهواز و ارائه راهکارهایی (تعیین عمق و دور آبیاری بهینه) برای بهبود کارایی مصرف آب در این کشت و صنعت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان در اراضی ساحل رودخانه کارون واقع شده و فاصله آن تا اهواز حدود ۷۵ کیلومتر است (شکل ۱). متوسط بارندگی و تبخیر سالانه به ترتیب ۱۶۱ و ۳۲۲۲ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. به‌طور کلی بافت خاک در منطقه سنگین و میزان رس و سیلت خاک عمدتاً زیاد می‌باشد. کل آب مورد نیاز این کشت و صنعت حدود ۶۴۳ میلیون متر مکعب در سال است که ۳۷۹ میلیون متر مکعب آن برای آبیاری اراضی تحت کشت در نظر گرفته شده است که از رودخانه کارون تامین می‌شود. در این تحقیق باتوجه به در دسترس نبودن داده‌های اندازه‌گیری شده‌ی رطوبت خاک و یا عملکرد محصول، برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAP از داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. مراحل انجام کار بدین ترتیب بود که در مرحله اول مقادیر تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat7ETM+ و الگوریتم SEBAL برآورد

کردن اختلاف بین آن‌ها، پارامترهای تاریخ کشت و عملیات آبیاری را بهینه نمودند و از مدل SWAP بهینه شده برای برآورد اجزای بیلان آب و شاخص‌های عملکرد محصول استفاده کردند. محققین مذکور اعلام داشتند این روش به دلیل نیاز به داده‌های زراعی کمتر، می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. دورجی (۲۰۰۵) نیز از طریق حداقل کردن اختلاف بین تبخیر-تعرق واقعی به دست آمده از مدل SWAP و الگوریتم SEBAL با استفاده از برنامه PEST، پارامترهای معادله معلم-ون-گن-ختن (n, K_{sat}) را برای سه تاریخ در طی فصل رشد واسنجی کرد.

نتیجه کار ارائه برنامه‌ریزی آبیاری بهینه با استفاده از مدل واسنجی شده SWAP برای منطقه مورد مطالعه بود. اینس و همکاران (۲۰۰۶) نیز پارامترهای ورودی مدل SWAP (تاریخ‌های کشت، عملیات آبیاری، ویژگی‌های خاک، عمق آب زیرزمینی و کیفیت آب) را با حداقل کردن اختلاف بین تبخیر-تعرق به دست آمده از مدل SWAP و الگوریتم SEBAL، از طریق الگوریتم ژنتیک برآورد کردند. داده‌های به دست آمده به‌عنوان ورودی برای تعیین گزینه‌های مدیریتی آب مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد در شرایط موجود در منطقه در صورتی که کشاورزان قبل از آبیاری تنش آبی معادل ۰.۲۷٪ اعمال کنند، عملکرد حدود ۸/۵٪ در منطقه افزایش می‌یابد و کارایی مصرف آب به $1/6 \text{ kg.m}^{-3}$ می‌رسد.

ایرماک و کمبل (۲۰۰۹) نیز از مدل SWAP واسنجی شده با استفاده از داده‌های سنجنش از دور، برای ارائه برنامه‌ریزی آبیاری و برآورد بهره‌وری محصول تحت گزینه‌های آبیاری مختلف استفاده کردند. نتایج نشان داد که به‌طور کلی در صورت استفاده از پارامترهای بهینه سازی شده در شرایط اعمال آبیاری بر مبنای تقاضا، مدل SWAP میزان راندمان کاربرد آب و بهره‌وری محصول را بیشتر از شرایطی که آبیاری بر مبنای معیارهای کشاورز صورت گیرد، پیش‌بینی می‌کند. دروگرز و همکاران (۲۰۱۰) نیز برای برآورد مقدار واقعی آب کاربردی

مدل شبیه‌سازی SWAP

مدل SWAP یک مدل هیدرولوژیکی با مبنای فیزیکی است که توانایی شبیه‌سازی رشد محصولات، جریان آب در خاک^۱، انتقال املاح^۲، انتقال حرارت^۳، تبخیر تبخیر از خاک و تعرق گیاه در طول فصل رشد، در مقیاس صحرایی را دارد.

در مدل SWAP حرکت آب در پروفیل خاک براساس معادله ریچاردز و حل آن به روش اجزای محدود و با در نظر گرفتن شرایط اولیه و مرزی معین و روابط بین میزان رطوبت، هدایت هیدرولیکی و بار هیدرولیکی صورت می‌گیرد. در مدل SWAP از توابع تحلیلی ارائه شده توسط ون-گن-ختن (۱۹۸۰) معادله (۱) برای تعریف منحنی مشخصه رطوبتی و مدل کاپیلاری معلم (۱۹۷۶) معادله (۲) برای منحنی هدایت آبی غیراشباع استفاده می‌شود (۱۰):

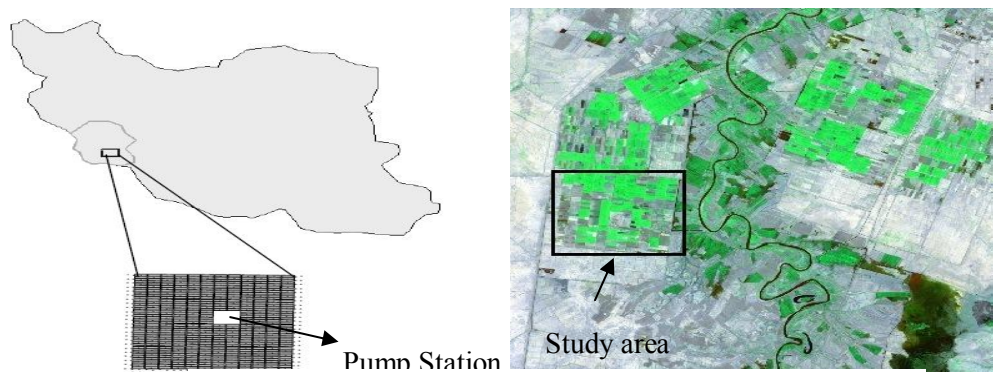
$$\theta(h) = \theta_{res} + \frac{\theta_{sat} - \theta_{res}}{\left[1 + |\alpha h|^n\right]^{1-1/n}} \quad (1)$$

θ_{res} رطوبت باقیمانده ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)، θ_{sat} رطوبت اشباع

شدند. سپس به‌منظور واسنجی مدل SWAP، مقادیر تبخیر-تعرق واقعی شبیه‌سازی شده توسط مدل با مقادیر تبخیر-تعرق واقعی به‌دست آمده از الگوریتم SEBAL مورد مقایسه قرار گرفت و در صورت عدم تطابق، با تغییر مقادیر پارامترهای هیدرولیکی خاک اختلاف بین مقادیر تبخیر-تعرق واقعی شبیه‌سازی شده با مدل و به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای حداقل شد. برای صحت‌یابی مدل نیز از مقادیر تبخیر-تعرق واقعی به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. و در مرحله آخر از مدل SWAP واسنجی شده و صحت‌سنجی شده به‌منظور ارزیابی برنامه آبیاری موجود در منطقه، بررسی گزینه‌های مختلف آبیاری، ارائه برنامه‌ریزی بهینه آبیاری و برآورد شاخص-های کارایی مصرف آب استفاده شد. مزرعه انتخابی جهت انجام تحقیق، مزرعه شماره ۴-۱۸ به وسعت تقریبی ۲۵ هکتار دارای کشت پلنت نیشکر رقم Cp48 در سال زراعی ۸۳-۱۳۸۴ بود.

برآورد تبخیر-تعرق واقعی با الگوریتم SEBAL

یکی از الگوریتم‌هایی که برای برآورد تبخیر-تعرق تصاویر ماهواره‌ای مورد توجه بسیار قرار گرفته الگوریتم سبال (SEBAL) است. با توجه به قدرت تفکیک زمینی بالا در تصاویر ماهواره Landsat 7 +ETM+ (۳۰×۳۰ متر) ترجیح داده شد از تصاویر این ماهواره برای ۱۲ تاریخ در طی فصل رشد نیشکر در سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ استفاده شود (جدول ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی مزارع شرکت کشت و صنعت میرزا کوچک خان

- 1- Soil Water Transport
- 2- Solute Transport
- 3- Soil Heat Transport

^۱ -Surface Energy Balance Algorithm

حالی که الگوریتم ساده تنها عملکرد نسبی را شبیه‌سازی می‌کند. اینس و هوندا (۲۰۰۶).

داده‌های ورودی مدل SWAP

داده‌های هواشناسی مورد نیاز برای مرز بالای شامل: حداکثر و حداقل دمای هوا، رطوبت هوا، میزان تشعشع، سرعت باد و بارندگی روزانه از ایستگاه هواشناسی اهواز که نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی سینوپتیک به منطقه مورد مطالعه است، جمع‌آوری گردید. شرایط مرزی پایین‌دست شامل حضور سطح ایستابی است که به صورت سری زمانی ماهانه به مدل داده شد.

تغییرات سطح ایستابی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از چاهک‌های مشاهداتی حفر شده در محل اندازه‌گیری شده و نوسانات آن از ۶۵ سانتی‌متر در ماه‌های حداکثر آبیاری تا ۱۸۰ سانتی‌متر در ماه‌های غیر آبیاری متغیر بود. براساس بافت خاک، تعداد لایه‌های نیم‌رخ خاک مشخص و به مدل معرفی گردید. از بین پارامترهای هیدرولیکی خاک حساس‌ترین پارامترها (n, θ_{sat}, K_{sat}) شناسایی و سپس بر اساس بافت خاک با استفاده از توابع انتقالی موجود در مدل SWAP برای هر لایه خاک یک

α (پارامتر تجربی شکل (cm^{-3})) و n نیز پارامتر تجربی شکل (بدون بعد) می‌باشد.

$$K(\theta) = K_{sat} S_e^\lambda \left[1 - (1 - S_e^{n/n-1})^{1-1/n} \right]^2 \quad (2)$$

K_{sat} هدایت آبی اشباع خاک ($cm d^{-1}$)، λ ضریب تجربی (بدون بعد) و S_e اشباع نسبی (بدون بعد) می‌باشد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S_e = \frac{(\theta - \theta_{res})}{(\theta_{sat} - \theta_{res})} \quad (3)$$

شرایط مرزی بالا دست در مدل به وسیله تبخیر-تعرق، میزان آبیاری، بارش و در نظر گرفتن معادله بیلان آب در خاک تعریف شد. شرایط مرزی پایین‌دست نیز می‌تواند به صورت سری زمانی عمق آب زیرزمینی، شدت جریان از کف و یا زهکشی آزاد تعریف شود که در این تحقیق به صورت سری زمانی ماهانه به مدل داده شد. برای شبیه‌سازی رشد محصول در مدل SWAP، دو الگوریتم وجود دارد. یکی الگوریتم ساده دورنوس و کسام (۵) می‌باشد و الگوریتم دوم با استفاده از یک مدل گیاهی

جدول ۱- تاریخ و ساعت تصویربرداری ماهواره Landsat 7 ETM+

تاریخ (میلادی)	ساعت تصویربرداری (گرینویچ)	تاریخ (میلادی)	ساعت تصویربرداری (گرینویچ)	تاریخ (میلادی)	ساعت تصویربرداری (گرینویچ)
۲۰۰۵/۰۴/۱۸	۰۷:۰۵:۵۸	۲۰۰۵/۰۶/۱۲	۰۷:۱۱:۰۷	۲۰۰۵/۰۹/۰۹	۰۷:۰۵:۱۸
۲۰۰۵/۰۵/۰۴	۰۷:۰۵:۲۸	۲۰۰۵/۰۶/۲۱	۰۷:۱۱:۰۳	۲۰۰۵/۰۷/۰۷	۰۷:۰۵:۱۷
۲۰۰۵/۰۵/۱۱	۰۷:۱۱:۱۶	۲۰۰۵/۰۶/۲۸	۰۷:۰۵:۱۷	۲۰۰۵/۰۷/۲۳	۰۷:۰۵:۲۴
۲۰۰۵/۰۵/۲۰	۰۷:۰۵:۲۹				
۲۰۰۵/۰۶/۰۵	۰۷:۰۵:۲۴				

جدول ۲- اطلاعات مربوط به شرایط آبیاری موجود در منطقه

کشت	برداشت	نویت آبیاری	عمق آبیاری	عمق توسعه ریشه	دوره رشد گیاه	عمق سطح ایستابی
اوایل مهر	اواخر مهر	۲۰-۲۵ نویت	۱۱۰ میلی‌متر	۱۰۰ سانتی‌متر	۳۶۰ روز	۱۲۰ سانتی‌متر

تخمین اولیه برای پارامترهای هیدرولیکی خاک صورت گرفت. به منظور شبیه‌سازی رشد محصول از مدل گیاهی پیشرفته موجود در مدل SWAP استفاده شد. برنامه آبیاری نیز براساس تاریخ‌های آبیاری و عمق آبیاری مرسوم در منطقه، به صورت برنامه آبیاری ثابت به مدل

پیشرفته (WOFOST) رشد محصول را شبیه‌سازی می‌کند. مزیت الگوریتم دوم، شبیه‌سازی بیوماس پتانسیل و واقعی و نیز عملکرد پتانسیل و واقعی دانه می‌باشد؛ در

الگوریتم SEBAL می‌باشد که بصورت رابطه زیر تعریف گردید:

$$\Phi(ET_{act}, b) = \sum \{w_i [ET_{act}(t_i) - ET_{act}(b, t_i)]\}^2 \quad (4)$$

در این رابطه، b بردار مجهولات $(K_{sat}$ و $n \cdot \theta_{sat})$ ، $ET_{act}(t_i)$ تبخیر-تعرق واقعی به دست آمده از تصاویر ماهواره ای و $ET_{act}(b, t_i)$ تبخیر-تعرق واقعی شبیه‌سازی شده توسط مدل با استفاده از آرایه‌های بردار مجهولات W_i تابع وزنی برای هر پارامتر می‌باشد که برابر با یک در نظر گرفته شد.

صحت‌یابی SWAP

به منظور صحت‌یابی مدل از مقادیر تبخیر-تعرق واقعی برآوردی به روش SEBAL در شش تاریخ به غیر از تاریخ‌هایی که برای انجام واسنجی مدل استفاده شده بود، استفاده گردید. همچنین به منظور ارزیابی مدل، از شاخص‌های ارزیابی ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، ضریب مقدار باقی‌مانده (CRM)، انحراف معیار (Sd)، حداکثر خطا (ME) و کارایی مدل‌سازی (EF) استفاده شد.

گزینه‌های برنامه‌ریزی آبیاری

برای ارزیابی مدیریت آبیاری موجود در منطقه و ارائه برنامه‌ریزی بهینه آبیاری در شرایط مختلف مزرعه-ای و بررسی تاثیر تغییرات کمی آب آبیاری بر کارایی مصرف آب از گزینه‌های برنامه‌ریزی آبیاری موجود در مدل واسنجی شده SWAP استفاده شد. به طور کلی شش گزینه مورد بررسی قرار گرفت و براساس میزان افزایش کارایی مصرف آب، بهترین مورد در هر گزینه انتخاب شد:

گزینه اول: تاریخ‌ها و عمق آبیاری بر اساس برنامه آبیاری موجود در منطقه به مدل داده شد که به عنوان گزینه‌ی مبنا در نظر گرفته شد.

داده شد. اطلاعات مربوط به شرایط آبیاری موجود در منطقه در جدول (۲) ارائه شده است.

برنامه PEST

بخش‌های اصلی برنامه PEST شامل تعریف و شناسایی پارامترهای مجهول، تعریف داده‌های مشاهده‌ای و نهایتاً اجرای مدل و برآورد پارامترها می‌باشد. پارامترهای مجهول در فایل الگو تعریف می‌گردد. اطلاعاتی از قبیل تعداد پارامترهای مجهول، مقادیر اولیه پارامترهای مجهول، حداقل و حداکثر مقدار پارامترهای مجهول، مقادیر داده‌های مشاهده‌ای و نام فایل‌های مورد نیاز در فایل کنترل مشخص می‌شود. آدرس مقادیر کمی پارامترهای شبیه‌سازی شده در فایل ساختاری مشخص می‌گردد که این فایل به فایل کنترل متصل می‌باشد. مدل با یک تقریب اولیه از پارامترهای مجهول اجرا می‌شود، سپس با مقایسه مقادیر واقعی در فایل کنترل و مقادیر شبیه‌سازی شده در فایل ساختاری، اجرای مدل بصورت تکرار ادامه می‌یابد تا زمانی که بهترین مقدار برای بردار مجهولات توسط مدل برآورد شود.

واسنجی مدل SWAP

واسنجی مدل با استفاده از پارامترهای هیدرولیکی خاک و به روش مدل‌سازی معکوس انجام شد، لذا مدل SWAP به برنامه PEST لینک گردید. سه پارامتر حساس n ، θ_{sat} و K_{sat} برای هردولایه خاک، با استفاده از برنامه PEST و مقایسه داده‌های تبخیر-تعرق واقعی برآوردی مدل SWAP و تبخیر-تعرق واقعی به دست آمده از الگوریتم SEBAL برای شش تاریخ در طی فصل زراعی ۸۴-۸۳ واسنجی شدند. برای سایر پارامترهای هیدرولیکی خاک مقادیر تخمین اولیه حاصل از توابع انتقالی مورد استفاده قرار گرفت. تابع هدف برای برآورد پارامترها و واسنجی مدل، کمینه کردن اختلاف بین تبخیر-تعرق واقعی و شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAP و تبخیر-تعرق واقعی به دست آمده از

$$WP_T = \frac{Y(\text{ton / ha})}{T(\text{cm})} \quad (5)$$

$$WP_{ET} = \frac{Y(\text{ton / ha})}{ET(\text{cm})} \quad (6)$$

$$WP_{ETQ} = \frac{Y(\text{ton / ha})}{ETQ(\text{cm})} \quad (7)$$

$$WP_{Irrg} = \frac{Y(\text{ton / ha})}{Irrg(\text{cm})} \quad (8)$$

Y عملکرد محصول بر حسب تن در هکتار، T میزان تعرق گیاه، ET میزان تبخیر-تعرق گیاه، ETQ مجموع تبخیر-تعرق واقعی و نفوذ عمقی و Irrg میزان آب آبیاری بر حسب سانتی متر می‌باشند.

نتایج

نتایج واسنجی و صحت سنجی مدل

مقادیر تبخیر-تعرق واقعی برآوردی به روش الگوریتم SEBAL که برای انجام مراحل واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAP مورد استفاده قرار گرفت، در جدول (۳) ارائه شده است. مقادیر بهینه شده پارامترهای هیدرولیکی خاک در طی مراحل واسنجی نیز در جدول (۴) ارائه شده است. شکل (۲) نتایج حاصل از واسنجی مدل با استفاده از داده‌های سنجش از دور برای شش تاریخ در طی فصل رشد را نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از صحت‌یابی مدل SWAP نیز برای شش تاریخ دیگر نیز در شکل (۳) و پارامترهای آماری مربوطه به آن در جدول (۵) ارائه شده است. نتایج حاصل از صحت‌یابی مدل نشان داد که مقدار ضریب تعیین داده‌ها (R^2) ۰/۹۳ می‌باشد که بیانگر هم‌بستگی بالا بین مقادیر تبخیر-تعرق شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAP و مقادیر برآوردی به روش سبال می‌باشد.

گزینه دوم: با فرض این‌که تاریخ‌های آبیاری در منطقه مورد مطالعه قابل تغییر است، عمق آب آبیاری ثابت و برابر عمق آبیاری مرسوم در منطقه در نظر گرفته شد و براساس مقادیر تنش مجاز روزانه (T_{re}) (۰/۴ تا ۰/۹۹) تقویم برنامه‌ریزی آبیاری توسط مدل SWAP تعیین شد و بهترین تقویم آبیاری برای منطقه مطالعاتی از بین موارد پیشنهادی مدل انتخاب شد.

گزینه سوم: فرض شد که امکان تغییر تاریخ و عمق آب آبیاری در منطقه وجود ندارد و زارع فقط می‌تواند تعدادی از نوبت‌های آبیاری را حذف کند. گزینه-های حذف ترکیب‌های مختلف نوبت‌های آبیاری مورد بررسی قرارگرفت و بهترین مورد حذف نوبت آبیاری بر اساس افزایش میزان کارایی مصرف آب برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد شد.

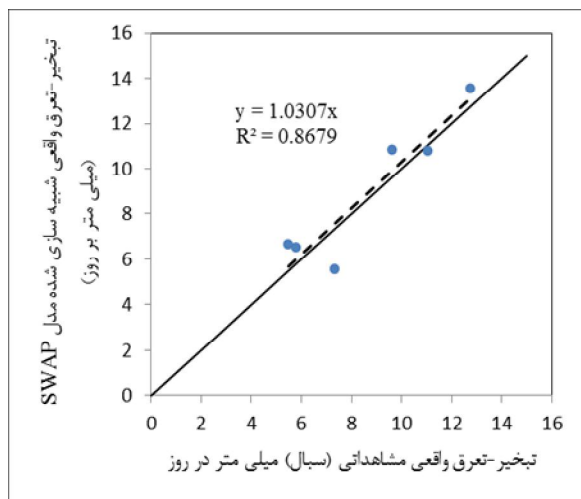
گزینه چهارم: با توجه به مقدار حداکثر تخلیه مجاز گیاه نیشکر (۰/۶۵) از گزینه مدیریتی تخلیه مجاز از کل آب در دسترس (TAW) برای ارائه تقویم برنامه‌ریزی آبیاری توسط مدل استفاده شد. عمق آب آبیاری نیز ثابت و برابر عمق مورد استفاده در منطقه در نظر گرفته شد.

گزینه پنجم: با در نظر گرفتن سیستم آبیاری سنتی در منطقه، گزینه‌های کاهش ۱۰ تا ۴۰ درصدی عمق آب آبیاری مورد بررسی قرار گرفت و بهترین مورد انتخاب شد. تاریخ آبیاری‌ها ثابت و برابر با تاریخ‌های آبیاری موجود در منطقه در نظر گرفته شد.

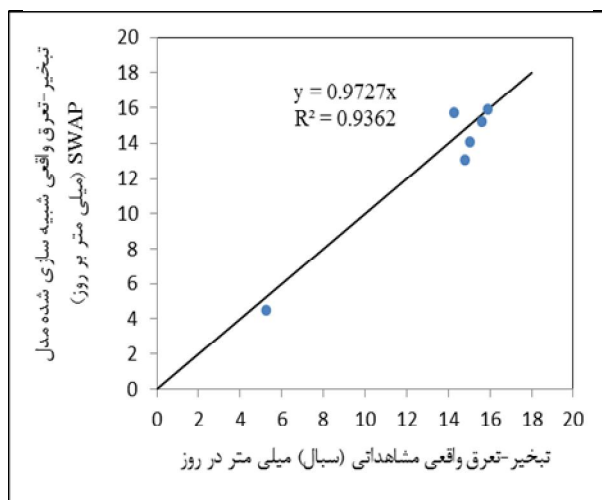
گزینه ششم: پس از انتخاب بهترین مورد در هر یک از گزینه‌ها (به جز گزینه پنجم)، میزان عمق آب آبیاری در موارد انتخابی هر گزینه ۲۰ درصد کاهش داده شد و نتایج به دست آمده مورد بررسی قرار گرفت.

به منظور ارزیابی سودمندی آب در منطقه، مقادیر شاخص‌های کارایی مصرف آب محاسبه گردید. شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق به صورت زیر می‌باشند:

SWAP مقادیر تبخیر-تعرق واقعی را حدود ۳٪ کمتر از مقادیر به دست آمده از الگوریتم سبال برآورد می‌کند. هم-چنین شاخص‌های میانگین خطای مطلق و انحراف مدل مبین آن است که مدل SWAP مقادیر تبخیر-تعرق واقعی را با خطای ۰/۹ میلی‌متر در روز و انحراف ۰/۴۳ میلی‌متر در روز برآورد می‌کند و از دقت خوبی برخوردار است.



شکل ۲. نتایج واسنجی مدل SWAP سال زراعی (۸۳-۸۴)



شکل ۳. نتایج صحت‌یابی مدل SWAP سال زراعی (۸۳-۸۴)

کاهش عمق آب آبیاری، میزان نفوذ عمقی را کاهش داد. به دلیل استفاده از روش آبیاری سستی در منطقه مورد مطالعه، مقدار تبخیر در ابتدای دوره رشد بالا می‌باشد که همین علت باعث کاهش ۱۴٪ WP_{ET} نسبت به WP_T شده است. هم‌چنین علت کاهش شاخص‌های WP_{Irrg} و WP_{ETQ} نسبت به شاخص WP_{ET} را می‌توان

بنابراین می‌توان گفت مدل SWAP قادر است مقادیر تبخیر-تعرق واقعی را با دقت قابل قبولی برآورد کند. آماره EF بیانگر کارایی مدل در امر شبیه‌سازی است که مقدار عددی ۰/۹۳ نیز حاکی از توانایی بالای مدل SWAP در شبیه‌سازی مقادیر تبخیر-تعرق واقعی است. مقدار مثبت آماره CRM نیز نشان می‌دهد مدل

جدول ۳- تبخیر-تعرق واقعی حاصل از الگوریتم SEBAL

تاریخ تصاویر	تبخیر-تعرق (میلی‌متر در روز)
۲۹ فروردین ۱۳۸۴	۵/۵
۱۵ اردیبهشت ۱۳۸۴	۵/۸
۲۱ اردیبهشت ۱۳۸۴	۷/۳۵
۳۰ اردیبهشت ۱۳۸۴	۱۲/۷۵
۱۵ خرداد ۱۳۸۴	۹/۶۴
۲۲ خرداد ۱۳۸۴	۱۵/۹
۳۱ خرداد ۱۳۸۴	۱۴/۸۲
۷ تیر ۱۳۸۴	۱۵/۰۸
۱۶ تیر ۱۳۸۴	۱۱/۰۵
۱ مرداد ۱۳۸۴	۱۵/۶۱
۸ مرداد ۱۳۸۴	۱۴/۳
۱۸ شهریور ۱۳۸۴	۵/۲۵

جدول ۴- مقادیر واسنجی شده پارامترهای هیدرولیکی خاک

θ_{sat}	K_{sat}	n	پارامترهای هیدرولیکی خاک
۰/۴۸	۳۲/۶۸	۱/۱۵	۰-۳۰
۰/۵۲	۳۱/۸۱	۱/۰۲	۳۰-۱۰۰

جدول ۵- مقادیر پارامترهای آماری ارزیابی مدل SWAP

EF	MAE (mm/d)	CRM	ME (mm/d)	RMSE (mm/d)
-۰/۹۳	۰/۹	۰/۰۳	-۰/۴۳	۱/۰۷

گزینه مینا

مقادیر اجزای بیلان آب و شاخص‌های کارایی مصرف حاصل از اجرای مدل واسنجی شده SWAP با هریک از شش گزینه مورد بررسی در جدول (۶) و (۷) ارائه شده است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که در شرایط اعمال مدیریت آبیاری موجود در منطقه، مقدار آب مصرفی زیاد بوده و حجم زیادی از آب آبیاری به صورت نفوذ عمقی از منطقه توسعه ریشه گیاه خارج می‌شود. بنابراین می‌توان با توزیع مناسب تاریخ‌های آبیاری و یا

مقدار بالای نفوذ عمقی به دلیل آبیاری‌های سنگین دانست.

برنامه‌ریزی بهینه آبیاری

با توجه به میزان بالای نفوذ عمقی در منطقه، به منظور افزایش کارایی مصرف آب گزینه‌های مختلف برنامه‌ریزی آبیاری توسط مدل SWAP مورد بررسی قرار گرفت. با فرض امکان تغییر تاریخ‌های آبیاری در منطقه، بررسی مقادیر مختلف تنش مجاز روزانه T_{re} (نسبت تبخیر-تعرق واقعی به پتانسیل) درگزینه دوم نشان داد که تنش مجاز روزانه ۰/۶ بالاترین میزان کارایی مصرف آب را نسبت به سایر مقادیر دارد. با اعمال برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تنش مجاز روزانه ۰/۶ مقدار نفوذ عمقی نسبت به گزینه مبنا ۰/۳۶ کاهش، مقدار آب مصرفی ۰/۲۱ کاهش و مقادیر شاخص‌های کارایی مصرف آب WP_{img} و WP_{ET+Q} به ترتیب ۰/۱۷ و ۰/۶ افزایش می‌یابند، هم‌چنین میزان عملکرد ۰/۹ کاهش خواهد یافت. تاریخ‌های آبیاری پیشنهادی مدل اجرا شده تحت شرایط تنش مجاز روزانه ۰/۶ در جدول (۸) ارائه شده است.

در گزینه سوم فرض شد که امکان تغییر تاریخ‌های آبیاری در منطقه مورد مطالعه وجود ندارد، لذا حذف تعدادی از نوبت‌های آبیاری مورد بررسی قرار گرفت. مدل برای ترکیب‌های مختلف حذف نوبت‌های آبیاری اجرا شد و مقادیر کارایی مصرف آب نیز برای تمامی ترکیب‌ها محاسبه گردید. نتایج نشان داد با حذف هفت نوبت از آبیاری‌ها (اول، سوم، هشتم، دهم، شانزدهم، هجدهم و بیست و یکم) می‌توان مقدار نفوذ عمقی را نسبت به گزینه مبنا ۰/۸۲ کاهش و میزان کارایی مصرف آب را ۰/۲۸/۶ افزایش داد، ضمن این‌که میزان آب مصرفی ۰/۲۹ و عملکرد محصول نیز ۰/۹ کاهش خواهد یافت.

در گزینه چهارم نیز با فرض این‌که امکان تغییر تاریخ‌های آبیاری در منطقه وجود دارد، نتایج به دست آمده از اعمال برنامه پیشنهادی مدل بر اساس تخلیه مجاز از آب سهل الوصول (۰/۶۵) نشان داد که میزان آب

مصرفی ۰/۲۵ و میزان نفوذ عمقی ۰/۸۵/۵ کاهش می‌یابد، هم‌چنین میزان کارایی مصرف آب ۰/۳۰/۵ افزایش خواهد یافت ضمن این‌که عملکرد محصول نیز ۰/۲ افزایش می‌یابد. تاریخ‌های آبیاری پیشنهادی توسط مدل اجرا شده بر اساس این گزینه در جدول (۹) ارائه شده است. در گزینه پنجم با توجه به سیستم آبیاری سنتی در منطقه، کاهش عمق آب آبیاری به میزان ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد مورد بررسی قرار گرفت و مدل مطابق برنامه آبیاری موجود در منطقه اجرا شد. نتایج نشان داد که با کاهش ۰/۴۰ عمق آب آبیاری میزان نفوذ عمقی ۰/۷۷ کاهش و میزان کارایی مصرف آب ۰/۷۷ نسبت به گزینه مبنا افزایش می‌یابد، ضمن این‌که عملکرد محصول نیز ۰/۵ افزایش خواهد داشت.

در گزینه ششم فرض شد که امکان تغییر تاریخ‌های آبیاری و عمق آب آبیاری به‌طور هم‌زمان در منطقه وجود دارد. بنابراین با توجه به این‌که در گزینه‌های قبلی به جز گزینه پنجم، عمق آب آبیاری همان عمق مورد استفاده در منطقه (۱۱۰ میلی‌متر) در نظر گرفته شده بود، در این گزینه برای هر یک از موارد انتخابی چهار گزینه قبلی، میزان عمق آب آبیاری ۰/۲۰ کاهش داده شد.

بررسی نتایج نشان داد که در صورت کاهش ۰/۲۰ عمق آب آبیاری در گزینه تنش مجاز روزانه (۰/۶) ضمن افزایش ۰/۶۳ کارایی مصرف آب، میزان نفوذ عمقی و آب مصرفی به ترتیب ۰/۶۴ و ۰/۴۰ کاهش می‌یابد. هم‌چنین در گزینه تخلیه مجاز از کل آب در دسترس، کاهش ۰/۲۰ عمق آب آبیاری علاوه بر افزایش کارایی مصرف آب در منطقه به میزان ۰/۸۰، مقدار نفوذ عمقی تقریباً ناچیز شده و میزان آب مصرفی حدود ۰/۴۳ کاهش یافت. در گزینه حذف نوبت‌های آبیاری نیز کاهش ۰/۲۰ عمق آب آبیاری باعث افزایش ۰/۶۳ کارایی مصرف آب، کاهش ۰/۴۳ آب مصرفی و کاهش ۰/۸۸ نفوذ عمقی گردید. در گزینه مبنا نیز کاهش ۰/۲۰ عمق آب آبیاری منجر به افزایش ۰/۲۵ کارایی مصرف آب و کاهش ۰/۶۱ نفوذ عمقی گردید.

جدول ۶- اجزای بیلان آب حاصل از اجرای مدل واسنجی شده SWAP به ازای گزینه‌های مختلف (سال زراعی ۸۳-۸۴)

تعمیر (mm)	تبخیر (mm)	نفوذ عمقی (mm)	آبیاری (mm)	بارندگی (mm)	گزینه‌های مورد بررسی
۱۸۵۹	۲۹۲	۶۹۱	۲۶۴۰	۱۱۵	گزینه مبنا
۱۶۸۹	۲۸۱	۴۴۱	۲۰۹۰	۱۱۵	گزینه دوم
۱۶۹۵	۲۶۷	۱۲۲	۱۸۷۰	۱۱۵	گزینه سوم
۱۷۹۲	۲۶۴	۳۳	۱۸۷۰	۱۱۵	گزینه چهارم
۱۹۱۵	۲۸۲	۱۶۱	۱۵۸۴	۱۱۵	گزینه پنجم
۱۸۵۳	۲۸۱	۲۶۹	۲۱۱۲	۱۱۵	مبنا با کاهش ۲۰٪ عمق آبیاری
۱۷۳۸	۲۷۳	۲۴۸	۱۵۸۴	۱۱۵	T _{re} با کاهش ۲۰٪ عمق آبیاری
۱۶۹۸	۲۶۵	۸۰	۱۴۹۶	۱۱۵	حذف با کاهش ۲۰٪ عمق آبیاری
۱۸۱۵	۲۶۵	۸	۱۴۹۶	۱۱۵	TAW با کاهش ۲۰٪ عمق آبیاری

جدول ۷- شاخص‌های کارایی مصرف آب و عملکرد محصول حاصل از اجرای مدل واسنجی شده SWAP (سال زراعی ۸۳-۸۴)

عملکرد محصول (ton/ha)	WP _{ET+Q} (kg/m ³)	WP _{Intg} (kg/m ³)	WP _{ET} (kg/m ³)	WP _T (kg/m ³)	گزینه‌های مورد بررسی
۹۳/۵	۳/۳	۳/۵	۴/۳	۵	گزینه مبنا
۸۴/۸	۳/۵	۴/۱	۴/۳	۵	گزینه دوم
۸۴/۹	۴/۱	۴/۵	۴/۳	۵	گزینه سوم
۹۳/۷	۴/۵	۵	۴/۵	۵/۲	گزینه چهارم
۹۸	۳/۸	۶/۲	۴/۵	۵/۱	گزینه پنجم
۹۵/۸	۴	۴/۵	۴/۵	۵/۲	مبنا با کاهش ۲۰٪ عمق آبیاری
۸۹/۷	۴	۵/۷	۴/۵	۵/۲	T _{re} با کاهش ۲۰٪ عمق آبیاری
۸۶	۴/۲	۵/۷	۴/۴	۵/۱	حذف با کاهش ۲۰٪ عمق آبیاری
۹۳/۵	۴/۴	۶/۳	۴/۵	۵/۲	TAW با کاهش ۲۰٪ عمق آبیاری

جدول ۸- تاریخ‌های آبیاری پیشنهادی توسط مدل SWAP در گزینه تنش مجاز روزانه ۰/۶

۱۳۸۴ تیر ۲۸	۱۳۸۴ اردیبهشت ۱۲	۱۳۸۳ مهر ۴
۱۳۸۴ مرداد ۹	۱۳۸۴ اردیبهشت ۲۸	۱۳۸۳ مهر ۷
۱۳۸۴ مرداد ۱۷	۱۳۸۴ خرداد ۹	۱۳۸۳ مهر ۱۴
۱۳۸۴ مرداد ۳۱	۱۳۸۴ خرداد ۲۱	۱۳۸۳ مهر ۲۴
۱۳۸۴ شهریور ۱۵	۱۳۸۴ خرداد ۳۱	۱۳۸۴ آبان ۹
	۱۳۸۴ تیر ۹	۱۳۸۴ اسفند ۲۰
	۱۳۸۴ تیر ۱۸	۱۳۸۴ فروردین ۲۱

جدول ۹- تاریخ‌های آبیاری پیشنهادی مدل در گزینه تخلیه مجاز ۰/۶۵

۱۳۸۴ مرداد ۵	۱۳۸۴ خرداد ۱۰	۱۳۸۳ آبان ۲
۱۳۸۴ مرداد ۱۵	۱۳۸۴ خرداد ۲۱	۱۳۸۳ دی ۲۰
۱۳۸۴ مرداد ۲۵	۱۳۸۴ خرداد ۳۰	۱۳۸۴ فروردین ۶
۱۳۸۴ شهریور ۷	۱۳۸۴ تیر ۷	۱۳۸۴ فروردین ۲۷
۱۳۸۴ شهریور ۲۱	۱۳۸۴ تیر ۱۶	۱۳۸۴ اردیبهشت ۱۵
	۱۳۸۴ تیر ۲۵	۱۳۸۴ اردیبهشت ۳۰

گیاه نیشکر در منطقه ۰/۳۵ تن در هکتار در سانتی متر به- دست آمد که با نتایج تحقیق رضانی اعتدالی و همکاران (۱۳۸۷) در منطقه کشت و صنعت میرزا کوچک خان اهواز که برای نیشکر رقم CP48 مقدار کارآیی مصرف آب آبیاری را ۰/۳۴ تن در هکتار در سانتی متر گزارش کرده بودند، مطابقت دارد. ارزیابی شرایط مدیریت آبیاری در کشت و صنعت میرزا کوچک خان اهواز با استفاده از مدل واسنجی شده SWAP نشان داد که زمان و میزان آبیاری‌ها در منطقه متناسب با نیاز آبی گیاه نمی‌باشد، لذا شش گزینه مختلف برنامه‌ریزی آبیاری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که می‌توان با توزیع مناسب تاریخ- های آبیاری یا کاهش عمق آب آبیاری در منطقه میزان کارآیی مصرف آب را به‌طور متوسط ۲۸٪ افزایش داد و در صورت ترکیب این دو میزان کارآیی مصرف آب نسبت به حالت مبنا ۶۸٪ افزایش خواهد داشت.

هم‌چنین در مواردی که امکان تغییر تاریخ‌های آبیاری و یا کاهش عمق آبیاری وجود نداشته باشد، حذف هفت نوبت از آبیاری‌ها پیشنهاد شد. شینی دشتگل و همکاران (۱۳۸۸) نیز گزارش کردند که با استفاده از روش آبیاری جویچه ای یک در میان می‌توان میزان کارآیی مصرف آب نیشکر را تا ۷۰٪ افزایش داد. برنامه‌ریزی آبیاری ارائه شده در این تحقیق بر اساس افزایش کارآیی مصرف آب می‌باشد، لذا پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات بعدی جنبه اقتصادی نیز در نظر گرفته شود و بررسی‌های اقتصادی عملکرد محصول نیز برای ارائه تقویم بهینه آبیاری صورت گیرد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که از مدل SWAP کالیبره شده با تصاویر ماهواره‌ای می‌توان برای ارزیابی شرایط آبیاری موجود در منطقه و ارائه تقویم بهینه آبیاری در شرایط مختلف با دقت قابل قبولی استفاده کرد.

به‌طور کلی بررسی نتایج حاصل نشان داد در صورتی که امکان تغییر توام تاریخ‌ها و عمق‌های آبیاری در منطقه مورد مطالعه وجود داشته باشد و از لحاظ دسترسی به آب آبیاری با محدودیت مواجه باشیم گزینه TAW با کاهش ۲۰٪ عمق آب آبیاری به‌عنوان گزینه برتر پیشنهاد می‌شود که دارای حداکثر کارآیی مصرف آب و کمترین میزان آب مصرفی است. چنانچه در منطقه امکان تغییر عمق آب آبیاری وجود نداشته باشد ولی بتوان تاریخ‌های آبیاری را تغییر داد، آبیاری مطابق با تاریخ‌های پیشنهادی مدل بر اساس تخلیه مجاز از کل آب در دسترس TAW گزینه چهارم پیشنهاد می‌شود. در صورتی که امکان تغییر تاریخ‌های آبیاری وجود نداشته باشد ولی بتوان عمق آب آبیاری را کاهش داد گزینه پنجم یعنی کاهش ۴۰ درصدی عمق آب آبیاری پیشنهاد می‌شود.

البته باید توجه داشت که اگرچه کاهش عمق آب آبیاری سبب کاهش نفوذ عمقی در سطح مزرعه می‌گردد ولی در درازمدت ممکن است باعث تجمع املاح و شوری خاک گردد. بنابراین در اعمال این گزینه باید محتاطانه عمل کرد. در صورتی که امکان تغییر هیچکدام از تاریخ‌های آبیاری‌ها و عمق آب آبیاری وجود نداشته باشد، گزینه سوم یعنی حذف هفت نوبت از نوبت‌های آبیاری پیشنهاد می‌شود. به‌طور کلی در صورت اعمال هر یک از گزینه‌های مورد بررسی در این تحقیق، میزان کارآیی مصرف آب نسبت به حالت مبنا افزایش و نفوذ عمقی کاهش خواهد یافت، درحالی که میزان عملکرد محصول کاهش چندانی نخواهد داشت.

بحث و نتیجه‌گیری

با استفاده از مدل SWAP واسنجی شده با داده‌های سنجش از دور مقدار کارآیی مصرف آب برای

فهرست منابع

۱. اکبری، م، دهقانی سانچ، ح، میرلطیفی، م. ۱۳۸۷. تاثیر اصلاح تقویم آبیاری در بهره‌وری آب در کشاورزی. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب در ایران. ۲۳-۲۵ مهرماه، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز.
۲. دهقان، ه، علیزاده، ا، انصاری، ح، نادریان‌فر، م. ۱۳۹۰. ارزیابی روش‌های افزایش عملکرد و بهره‌وری آب گندم با استفاده از گزینه‌های مدل SWAP (مطالعه موردی: منطقه نیشابور). چهارم کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۱۴-۱۳ اردیبهشت ۱۳۹۰، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
۳. رضایانی اعتدالی، ه، لیاقت، ع.م، ناصری، ع. ۱۳۸۷. بررسی کارایی مصرف آب در مزارع نیشکر (مطالعه موردی: واحد میرزا کوچک خان خوزستان). دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. ۸ الی ۱۰ بهمن ۱۳۸۷، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب.
۴. شینی دشتگل، ع، کشکولی، ح.ع، ناصری، ع.ع، برومندنسب، س. ۱۳۸۸. اثر آبیاری جویچه ای یک در میان روی کارایی مصرف آب و ویژگی‌های نیشکر در جنوب اهواز. مجله علوم آب و خاک. ۴۹: ۴۵-۵۷
5. Allen, R., Waters, R., Tasumi, M., Trezza, R., Bastiaanssen, W. 2002. SEBAL, Surface energy balance algorithms for land, Idaho Implementation. Advanced Training and User's Manual, version 1.0.
6. Dorji, M. 2005. Integration of SWAP model and SEBAL for evaluation of on-farm irrigation scheduling with minimum field data. M.Sc. thesis, international institute for geoinformation science and earth observation, Enscheda, The Netherlands, p. 51 + annexes.
7. Doorenbos, J. and Kassam, A. H. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33, FAO, Rome, Italy.
8. Droogers, P., Immerzeel, w.w., Lorite, I.J. 2010. Estimating actual irrigation application by remotely sensed evapotranspiration observations. Agriculture Water Management. 97:1351-1359.
9. Droogers, P., Bastiaanssen, W.G.M. 2002. Irrigation performance using hydrological and remote sensing modeling. Irrigation Drainage Engineering. ASCE. 128:11-18.
10. Ines, A.V.M., Honda, K., Das Gupta, A., Droogers, P., Clemente, R.S. 2006. Combining remote sensing-simulation modeling and genetic algorithm to explore water management options in irrigated agriculture. Agriculture Water Management. 83:221-232.
11. Irmak, A., and Kamble, B. 2009. Evapotranspiration data assimilation with genetic algorithms and SWAP model for on-demand irrigation. Irrigation Science. 28:101-112.
12. Kroes, J. G. and Van Dam, J. C. 2008. Reference manual SWAP version 3.2., Alterra Green World Research, Wageningen. Report 1649. Available at: www.alterra.nl/models/swap.
13. Mostafazadeh-fard, B., Mansouri, H., Mousavi, S. F. 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.
14. Qureshi, S.A., Madramootoo, C.A., Dodds, G. T. 2002. Evaluation of irrigation schemes for sugarcane in Sindh, Pakistan, using SWAP93. Agricultural Water Management. 54:37-48.
15. Singh, R., Van Dam, J.C., Feddes, R.A. 2006. Water Productivity analysis of irrigated crops in sirsa district, India. Agriculture Water Management. 82:253-278.
16. Supit, I., Hooyer, A.A., Van Diepen, C.A., 1994. System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS, vol. 1: Theory and Algorithms. EUR publication 15956, Agricultural series, Luxembourg, 146 pp.
17. 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. Journal of Agricultural Water Management. 95:89-102.