نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۳، آذر - دی ۱۳۹۸، ص. ۱۴۲۵-۱۴۱۰

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 13, Dec.-Jan. 2019, p. 1410-1425

ارزیابی سیاست‌های کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب کشاورزی در چارچوبی همبسته

لیلا گلی رئیسی[۱]، سعید مرید[۲*] و مجید دلاور[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۸

چکیده

کمبود آب به عنوان یک تهدید جدی در حفظ امنیت غذایی کشور مطرح می‌باشد. از این رو، راهبردهای مختلفی برای صرفه‌جویی آب و افزایش بهره‌وری در نظر گرفته شده است. در این تحقیق، برخی از اقداماتی که در برنامه‌های بالادستی کشور مطرح شده، براساس مفهوم «صرفه‌جویی واقعی آب» و تفکیک برداشت و مصرف (بهره‌وری آب و بهره‌وری فیزیکی آب) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این خصوص ابتدا مدل SWAT برای شبیه‌سازی‌های موردنیاز به کار گرفته شده است. اما از منظری SWAT، ضعف‌هایی را برای سناریوی مقیاس مزرعه دارد که از این بابت مدل AquaCrop نیز مورد استفاده قرار گرفته است. اقدامات مختلفی که ارزیابی می‌شود شامل؛ کم‌آبیاری (سناریو ۲۰، ۴۰ و ۵۰ درصد)، آبیاری قطره‌ای و مدیریت کشت گلخانه‌ای می‌باشد. برای پیاده‌سازی چارچوب این تحقیق، زیرحوضه مرودشت-خرامه از زیرحوضه‌های طشک-بختگان در استان فارس انتخاب شده است. نتایج مدل‌سازی نشان داد راهکار کم‌آبیاری در بالاترین شدت (سناریو ۵۰ درصد کم‌آبیاری) منجر به ۱۲ درصد صرفه‌جویی آب شده درحالیکه راهکار افزایش راندمان ۸/۳ درصد افزایش مصرف داشته و به طور مشابه مدیریت کشت گلخانه با ۲۴ درصد کاهش در تبخیر-تعرق بالاترین ظرفیت در کاهش مصرف آب را دارد. نقش اقدامات کم‌آبیاری و افزایش راندمان در تغییر میزان بهره‌وری قابل ملاحظه نبوده اما بهره‌وری فیزیکی آب افزایش یافته است که به دلیل کاهش در مصرف آب نمی‌باشد. نتایج نشان می‌دهد چارچوب مدل‌سازی این تحقیق، چارچوب مناسبی برای ارزیابی‌های مقیاس مزرعه و حوضه می‌باشد که ابعاد مختلف مولفه‌های بیلان و بهره‌وری آب را درنظر می‌گیرد. بنابراین، توصیه می‌شود که برای انجام تحقیقات مشابه در زمینه سیاست‌های صرفه‌جویی آب و بهره‌وری آب مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، صرفه‌جویی واقعی آب، مدل SWAT، مدل AquaCrop، استان فارس

مقدمه

چالش کمبود آب بطور عام و در بخش کشاورزی بطور خاص، همواره از دغدغه‌های سیاست‌گذاران در حفظ امنیت غذایی کشور بوده است و در برنامه‌های بالادستی (مانند برنامه ۵ ساله ششم توسعه) نیز جایگاه خاصی داشته است. در این راستا، اقداماتی که منجر به صرفه‌جویی آب و افزایش بهره‌وری آن گردند، از اولویت‌ها بوده و گزارشات متنوعی نیز از آنها قابل مشاهده است. مانند اخبار بسیار متنوع در خصوص توفیقات در افزایش بهره‌وری آب و صرفه‌جویی آب در سایت‌های رسمی دستگاه‌های اجرایی[۴] و رسانه‌های خبری[۵].

اما، ارزیابی کارکرد این اقدامات با نگاهی جامع و همبسته، حلقه مفقوده آنها می‌باشد. در این خصوص Molden و همکاران (۲۰۰۱) مفهوم «صرفه‌جویی واقعی آب»[۶] را به عنوان مبنایی برای این برنامه‌ریزی و ارزیابی‌های مربوط ارائه داده‌اند و تاکید می‌کنند در کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری؛ «کاهش تبخیر» است که باید ملاک باشد نه «برداشت» و همچنین باید با نگاهی جامع و ملاحظه اثرات جانبی آنها مورد بررسی قرار گیرند.

توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار با هدف افزایش راندمان‌های آبیاری نمونه‌ای از اقدامات مورد توجه برای صرفه‌جویی آب بوده است (Kulkarni, 2011)، که بدلیل نبود چنین نگاهی در ارزیابی آنها می‌تواند حتی موجب افزایش مصرف هم بشوند. در این خصوص Scott و همکاران (۲۰۱۴) نیز به عنوان نمونه گزارش کردند که در شیلی، جنوب غربی امریکا و اسپانیا؛ افزایش راندمان آبیاری منجر به افزایش مصرف شد. گزارش اخیر سازمان کشاورزی و خواربار جهانی تحت عنوان «آیا سامانه‌های مدرن آبیاری منجر به

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس
۲- استاد گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس
۳- استادیار گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس
(*- نویسنده مسئول: (Email: morid_Sa@modares.ac.ir

4- http://zeraat.maj.ir/index.aspx
5-http://www.farsnews.com/newstext.php?nn=13940424001097

6- Real Water Saving

صرفه‌جویی آب می‌شوند؟» (Perry and Steduto, 2017) به خوبی این مهم را مورد تاکید قرار می‌دهد. گذشته از افزایش راندمان، راهکارهای دیگری نیز برای صرفه‌جویی آب مطرح می‌باشد. در تحقیق Kiziloglu و همکاران (۲۰۰۶) تاثیر کم‌آبیاری و حذف آن بر تبخیر-تعرق محصول سیب‌زمینی بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که با اعمال این راهکار، میزان تبخیر-تعرق و عملکرد به ترتیب از ۴۴۵/۲ میلی‌متر و ۲۶/۴۳ تن در هکتار در سناریوی آبیاری کامل؛ به ۱۹۲/۵میلی‌متر و ۸/۲۸ تن در هکتار در سناریوی حذف کامل آبیاری (دیم) کاهش می‌یابد. گلخانه‌ها نیز در مقایسه با مزارع روباز، ظرفیت‌هایی برای کاهش مصرف آب غیرمفید (مانند تبخیر از خاک) را دارد. در این‌باره نیز Fernandes و همکاران (۲۰۰۳) میزان تبخیر-تعرق داخل گلخانه را حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد کشت باز آن گزارش کردند. از طرفی نیز Seckler (۱۹۹۹) تاکید می‌کند که در ارزیابی اقدامات می‌بایست مقیاس مزرعه و حوضه تواما مورد توجه قرار گیرد. بدین معنا که برخی نتایج که در مقیاس مزرعه انجام می‌شوند و می‌توانند نتایج مثبت داشته باشند، در مقیاس حوضه آبریز نتایج متفاوتی را دارد. در این خصوص طلوعی و همکاران (۱۳۹۱) به ارزیابی این دو مقیاس در حوضه آبریز زرینه‌رود پرداختند و نشان دادند که درشرایطی که راندمان مزرعه حدود ۴۰ درصد است، راندمان حوضه ۷۸ درصد می‌باشد. این بدین معناست که حوضه ظرفیتی برای صرفه‌جویی آب ندارد.

علاوه بر اندازه‌گیری‌های مستقیم صرفه‌جویی واقعی آب که معمولا با مشکلاتی همراه است؛ مهم‌ترین ابزار دیگر در این‌باره، استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی می‌باشد. ویژگی این رویکرد در آن است که به لحاظ زمان و هزینه بسیارکارآمدتر و ظرفیت بالایی هم برای سناریوسازی دارد. نهایتا هم می‌تواند بطور همزمان، شبیه‌سازی مولفه‌های مهم بیلان و بهره‌وری را مورد ارزیابی قرار دهد. از مدل‌های مناسب دراین خصوص SWAT[1] (Arnold et al., 1998) می‌باشد. به عنوان نمونه Yu lei و همکاران (۲۰۱۵) با توجه به مشکل کمبود آب در منطقه‌ای در شمال چین، اقدامات صرفه‌جویی آب برای کاهش تبخیر-تعرق را با استفاده از مدل SWAT مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق تاثیر هر کدام از سناریوها شامل کم‌آبیاری، تغییر الگوی کشت، تنظیم منبع آب آبیاری و سناریوی ترکیبی بر میزان صرفه‌جویی واقعی آب مورد ارزیابی قرار گرفت. Ahmadzadeh و همکاران (۲۰۱۵) نیز با استفاده از این مدل، نقش تغییر سیستم‌های آبیاری را بر کاهش مصرف آب و رسیدن آب بیشتر به دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار دادند. اما از منظری این مدل ضعف‌هایی برای سناریو مقیاس مزرعه دارد که از این بابت مدل‌هایی مانند AquaCrop (Steduto et al,. 2009) می‌توانند برتری داشته باشند. سابقه این مدل در شبیه‌سازی اقدامات مدیریتی در کاهش مصرف آب در مراجع؛ علیزاده و همکاران (۱۳۸۹)؛ Chukalla و همکاران (۲۰۱۵)؛ Pareek و همکاران (۲۰۱۷) قابل مشاهده هستند.

با توجه به موارد فوق، هدف از تحقیق حاضر ارائه چارچوبی مناسب برای مدل‌سازی اقدامات مدیریتی در قالب «صرفه‌جویی واقعی آب» و «افزایش بهره‌وری» می‌باشد که در آن بطور همزمان مولفه‌های مربوط در مقیاس مزرعه و حوضه مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. بدین منظور تعدادی از اقداماتی که در اسناد بالادستی و بخصوص برنامه ششم توسعه ۵ ساله کشور در دستور کار بوده است، در این چارچوب مورد بررسی قرار می‌گیرند. متذکر می‌گردد که برای ارائه نتایج تحقیق، حوضه طشک-بختگان به عنوان منطقه مطالعاتی و محصول گندم و گوجه‌فرنگی به عنوان محصولات معرف کشت باز و گلخانه‌ای مورد استفاده قرار گرفتند.

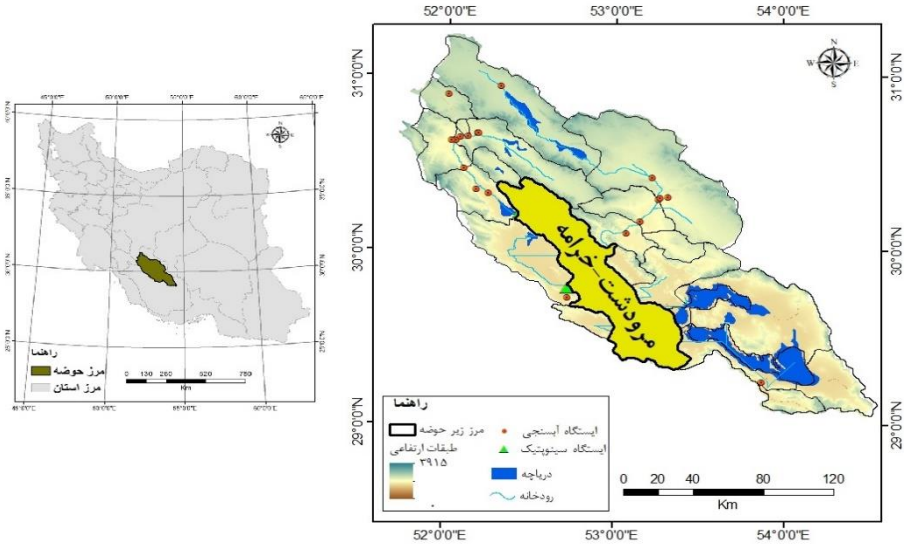
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی و داده‌ها

حوضه آبریز طشک-بختگان (شکل ۱) به عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی کشور می‌باشد که دهه‌های اخیر با توسعه و از طرفی خشکسالی‌های مستمری مواجه شده است. گزارشات موجود نیز نشان می‌دهد که علی‌رغم سرمایه‌گذاری‌های نسبتا بالای انجام شده، منابع آب زیرزمینی آن بشدت درحال کاهش است (وزارت نیرو، ۱۳۹۳). برای این تحقیق، بخشی از آن شامل زیرحوضه «مرودشت-خرامه» با وسعت ۳۹۴۱ کیلومتر مربع مورد توجه قرار گرفت. متوسط بارش سالانه آن ۳۶۰ تا ۳۸۰ میلی‌متر و دمای مربوط، ۱۵ درجه سانتی‌گراد با اقلیم «خشک بیابانی» معتدل است. سطوح زیرکشت آبی این منطقه با ۱۰۷۵۹۵ هکتار بالاترین سطح را در بین ۲۲ منطقه مطالعاتی این حوضه را دارا است (وزارت نیرو، ۱۳۹۳).

بخشی از داده و اطلاعاتی که در این تحقیق استفاده شده شامل: داده‌های هواشناسی و هیدرومتری، لایه‌های رقومی مربوط به مرز محدوده‌های مطالعاتی، ارتفاع، کاربری اراضی، خاک، شبکه رودخانه-ای، موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری و سدها هستند. فهرست ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران‌سنجی و همچنین ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد استفاده نیز در جدول ۱ قابل مشاهده هستند. مجموعه این داده‌ها پس از تصحیح و تکمیل، جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT مورداستفاده قرار گرفت.

1- Soil and Water Assessment



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی زیرحوضه مرودشت-خرامه

به همین ترتیب داده‌های متنوعی برای کشاورزی شامل: نوع و سطح زیرکشت محصولات غالب، تاریخ کشت و برداشت محصولات، میزان کود مصرفی آنها و برنامه‌ریزی آبیاری برای انجام مدل‌سازی‌های گیاهی مورد نیاز بودند که در جدول ۲ به بخشی از آنها اشاره شده است. علاوه بر این موارد، برخی اطلاعات گیاهی برای اجرای مدل AquaCrop مورد نیاز می‌باشد. اطلاعاتی از قبیل: تاریخ سبز شدن، مراحل فنولوژیک رشد، تراکم و میزان بذر، زمان پیری و رسیدگی فیزیولوژیک محصول، دمای پایه و حداکثر دمای مجاز رشد از آن جمله هستند که از مراجع محلی و گزارشات طرح جامع آب (۱۳۹۳) جمع‌آوری شدند (جدول ۳).

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی و آبسنجی در حوضه طشک-بختگان (دلاور و همکاران، ۱۳۹۵)

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	طول دوره آماری	نوع ایستگاه
سد درودزن	۵۲ ° ۲۶´	۳۰° ۱۳´	۱۶۲۰	۲۰۰۰-۲۰۰۹	سینوپتیک
زرقان	۵۲ ° ۴۳´	۲۹° ۴۷´	۱۵۹۶	۱۹۸۹-۲۰۰۸	سینوپتیک
تخت جمشید	۵۲°۵۴´	۲۹°۵۶ ´	۱۶۰۵	۱۹۷۰-۱۹۸۷	کلیماتولوژی
خرامه	۵۴° ۱۹´	۲۹° ۳۱´	۱۶۳۰	۱۹۶۸-۱۹۸۰	کلیماتولوژی
جهان آباد بختگان	۵۳° ۲۰´	۲۹° ۳۰´	۱۵۸۰	۱۹۶۷-۲۰۱۴	باران سنجی
سهل آباد	۵۳° ۵۴´	۲۹° ۱۶´	۱۵۶۶	۱۹۸۷-۲۰۱۵	باران سنجی
پل خان	۵۲° ۴۷´	۲۹° ۲۰´	۱۶۰۶	۱۹۶۴-۲۰۱۴	آبسنجی
حسن آباد-خرامه	۵۳° ۲۰´	۲۹° ۳۵´	۱۵۷۳	۱۹۹۷-۲۰۱۴	آبسنجی

جدول ۲- مشخصات مدیریت زراعی محصولات عمده در حوضه طشک-بختگان (دلاور و همکاران، ۱۳۹۵)

گیاه	تاریخ کشت	تاریخ برداشت	سطح زیرکشت(٪)	کود (کیلوگرم در هکتار)			نیاز آبی (میلی‌متر)
				ازته	فسفاته	دامی	
گندم	آبان	خرداد	۴۹/۲	۲۰۰	۱۰۰	۲۵۰۰۰	۴۷۶
جو	آبان	خرداد	۴/۴	۲۰۰	۱۰۰	۲۵۰۰۰	۴۱۰
چغندرقند	فروردین	مهر	۳/۴	۱۷۰	۲۶۰	۱۹۰۰	۱۱۶۸
گوجه فرنگی	اردیبهشت	شهریور	۲/۶	۸۰	۱۰۰	۱۰۰۰۰	۷۷۲
سیب زمینی	فروردین	مهر	۰/۹	۱۵۰	۱۰۰	_	۸۵۳

جدول ۳- پارامترهای گیاهی مربوط به مراحل فنولوژیکی گندم در منطقه مرودشت-خرامه

تراکم کشت (بوته در هکتار)	روزهای پس از کاشت						طول دوره گلدهی (روز)
	سبز شدن	حداکثر تاج پوشش گیاهی	گل-دهی	شروع پیری پوشش گیاهی	رسیدگی فیزیولوژیکی	حداکثر عمق ریشه (سانتی‌متر)	
۴۵۰۰۰۰	۳۱	۱۰۴	۱۱۱	۱۳۶	۱۷۰	۱۵۰	۱۲

ساختار مدل‌های تلفیقی SWAT و AqauCrop

همانطور که اشاره شد برای پیاده‌سازی اهداف تحقیق، ابزارهای محاسباتی متنوعی لازم خواهد بود که در این تحقیق مدل‌های SWAT و AquaCrop استفاده شده است.

مدل SWAT

مدل SWAT مدلی جامع برای شبیه‌سازی فرآیندهای مختلف درون حوضه می‌باشد و در مرکز تحقیقات کشاورزی آمریکا توسعه داده شده است (Arnold et al., 1998). این مدل قابلیت پیش‌بینی اثر اقدامات مدیریتی بر کمیت و کیفیت آب و رسوب در حوضه‌های مختلف و پیچیده، با شرایط متنوع خاک و پوشش گیاهی در درازمدت را داراست. مدل جهت شبیه‌سازی در سطح حوضه ابتدا آن را به چند زیرحوضه تقسیم می‌کند. هر زیرحوضه نیز بسته به میزان تنوع به چند قسمت دیگر به نام واحد هیدرولوژیکی یکسان HRU ۱ تقسیم می‌شوند. معادله بیلان از روابط اصلی در شبیه‌سازی‌های مدل SWAT است که به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t}(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})_i \quad (۱)$$

در این معادله، SW_t مقدار نهایی آب در خاک (mm) در روز t، SW_0 مقدار اولیه آب در خاک (mm)، t زمان بر حسب روز، R_{day} میزان بارندگی در روز i (mm)، W_{seep} مقدار آبی که در روز i از منطقه ریشه خارج می‌گردد (mm) و Q_{gw} مقدار جریان برگشتی در روز i (mm) می‌باشند.

مدل اجزاء بسیار زیادی را دارد که در اینجا تنها به بخشی از آنها که بیشتر برای این تحقیق مورد نیاز بودند، اشاره می‌شود.

شبیه‌سازی تبخیر-تعرق

تبخیر-تعرق شامل تبخیر از رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، خاک لخت و سطح برگ گیاه می‌باشد. در مدل SWAT محاسبه تبخیر از خاک جداگانه انجام می‌شود. تبخیر ذخیره آب خاک با استفاده از توابع نمایی عمق خاک و میزان رطوبت برآورد می‌شود. مقدار تبخیر پتانسیل در پروفیل خاک ($E^{"}$) در هر نقطه با توجه به عمق آن از سطح خاک متغیر بوده و مقدار آن از بالا به پایین کاهش می‌یابد. جهت محاسبه مقدار تبخیر پتانسیل از خاک از لایه ly در یک روز مشخص می‌توان از رابطه (۲) استفاده کرد:

$$E_{soil.ly} = E_{soil.zl} - E_{soil.zu} \quad (۲)$$

در این رابطه $E_{soil.ly}$ ، $E_{soil.zl}$ و $E_{soil.zu}$ به ترتیب مقدار پتانسیل تبخیر از خاک در لایه ly (mm)، پتانسیل تبخیر از خاک در عمق پایینی لایه (mm) و پتانسیل تبخیر از خاک در عمق بالایی آن (mm) می‌باشند.

در مدل SWAT تعرق گیاه بصورت تابع خطی از پتانسیل تبخیر-تعرق و شاخص سطح برگ شبیه‌سازی می‌شود. مقدار تعرق پتانسیل از گیاهان در هر روز به شاخص سطح برگ آن‌ها در آن روز بستگی دارد. مقدار تعرق واقعی گیاه برابر با مقدار آب واقعی جذب شده توسط گیاه درنظر گرفته می‌شود:

$$E_{t.act} = W_{actualup} \quad (۳)$$

در این رابطه $E_{t.act}$ تعرق واقعی از گیاه (mm) و $W_{actualup}$مقدار آب واقعی جذب شده توسط گیاه است (mm).

شبیه‌سازی عملکرد گیاهی

در مدل SWAT ابتدا برای هر روز از دوره شبیه‌سازی پتانسیل رشد و عملکرد گیاهی برای گیاهان مختلف محاسبه شده و سپس رشد و عملکرد واقعی آنها شبیه‌سازی می‌شوند. جهت محاسبه عملکرد واقعی ابتدا مقدار واقعی تغییرات مقدار کل ماده خشک گیاهی تولید شده (Δbioact) در یک روز مشخص با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$\Delta bio_{act} = \Delta bio \times \gamma_{reg} \quad (۴)$$

که در رابطه فوق γ_{reg} ضریب رشد گیاهی است و مقدار آن بین صفر تا یک متغیر است. از محاسبه مقدار واقعی تغییرات مقدار کل ماده گیاهی موجود (Δbioact) مقدار کل ماده گیاهی واقعی موجود در سیستم (bioact) از رابطه ۵ و همچنین مقدار کل ماده گیاهی در بالای سطح زمین (bioagact) با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌شوند.

$$bio_{act} = \sum_{i=1}^{d} \Delta bio_{act(i)} \quad (۵)$$

$$bio_{agact} = (1 - fr_{root}) \times bio_{act} \quad (۶)$$

در این رابطه froot مربوط به سهم ریشه در کل توده گیاهی

1- Hydrological Response Unit

تولید شده است. در مرحله بعد مقدار شاخص برداشت (HIact) با استفاده از رابطه ۷ محاسبه می‌گردد.

$$HI_{act} = HI_{min} + ((HI - HI_{min}) \times \frac{\gamma_{wu}}{\gamma_{wu} + \exp(6.13 - (0.883 \times \gamma_{wu}))}) \quad (۷)$$

در این رابطه HImin مقدار شاخص برداشت برای گیاهان در شرایط خشک بوده و γwu ضریب کمبود آب است. پس از محاسبه شاخص برداشت واقعی (HIact) و همچنین مقدار کل تولید ماده گیاهی واقعی در بالای سطح زمین (bioagact) مقدار عملکرد واقعی گیاه(yldact) از رابطه ۸ بدست می‌آید.

$$yldact = HIact \times bioagact \quad (۸)$$

مدل AquaCrop

مدل AquaCrop، جهت بررسی و ارزیابی تاثیر مدیریت‌های گوناگون بر تولید محصول توسط سازمان خواربار و کشاورزی (FAO) توسعه داده شده است. هدف اصلی مدل شبیه‌سازی اثرات متقابل گیاه و خاک است، مدیریت مزرعه و آبیاری نیز به دلیل تاثیر بر این اندرکنش‌ها درنظر گرفته می‌شوند. در مطالعات بیلان آب خاک، ناحیه ریشه اغلب به صورت یک مخزن درنظر گرفته می‌شود. تغییر رطوبت خاک بوسیله جریان‌های ورودی و خروجی در مرزهای مخزن بیان می‌شود. بدین ترتیب رابطه بیلان آب در این مدل، بصورت معادله ۹ تعریف می‌شود:

$$W_{r.t+1} = W_{r.t} + (P - RO) + I + CR - E - Tr - DP \quad (۹)$$

در این رابطه $W_{r.t}$ و $W_{r.t+1}$ آب موجود در ناحیه ریشه در زمان t و t+1 می باشد. اگر بعد از بارش قابل توجه یا آبیاری بیش از حد رطوبت خاک ناحیه ریشه (Wr) از ظرفیت مزرعه تجاوز کند، تلفات نفوذ عمقی (DP) رخ می‌دهد.

شبیه‌سازی تبخیر-نعرق

تبخیر–تعرق محصول مجموعی از حداکثر مقدار آبی است که می‌تواند بوسیله تبخیر از خاک (Epot) و تعرق گیاه (Tpot) از دست برود:

$$ETcrop = Epot + Tpot \quad (۱۰)$$

حداکثر مقدار آبی که بوسیله تبخیر از خاک ممکن است از دست رود ($Epot$) با استفاده از معادله Ritchie-type، برآورد می‌گردد. تبخیر–تعرق واقعی کوچکتر یا مساوی تبخیر–تعرق گیاه است. تعرق گیاه (Tr) با ضرب ET0 در ضریب تعرق گیاهی (Kc_{Tr}) و با درنظر گرفتن تاثیر تنش‌های آبی (Ks) و سرمایی (Ks_{Tr}) محاسبه شده است:

$$Tr = (Ks\ Ks_{Tr} Kc_{Tr}) ETo \quad (۱۱)$$

در این رابطه Ks، ضریب تنش آبی است که کوچکتر از ۱ می‌باشد. Ks_{Tr}، ضریب تنش سرمایی است. درصورتیکه درجه رشد کافی در روز وجود نداشته باشد، کوچکتر از ۱ می‌گردد. و Kc_{Tr}، ضریب تعرق گیاهی است که متناسب با پوشش تاج گیاه می‌باشد. تبخیر از خاک (E) بوسیله ضرب ET0 در ضریب تبخیر خاک (Ke) و درنظر گرفتن تاثیر تنش آبی (Kr) محاسبه شده است:

$$E = (Kr\ Ke)\ ET0 \quad (۱۲)$$

در این رابطه، Kr ضریب کاهش تبخیر، زمانیکه آب کافی در خاک در دسترس نباشد تا به تقاضای تبخیر جو پاسخ دهد، کوچکتر از ۱ شده و تبخیر خاک را کاهش می‌دهد. ضریب تبخیر خاک Ke متناسب است با بخشی از سطح خاک که توسط پوشش کانوپی پوشیده نشده است (1-CC).

شبیه‌سازی عملکرد گیاهی

در مدل AquaCrop به جای استفاده از شاخص سطح برگ (LAI)، از پوشش کانوپی گیاه استفاده می‌شود. سبزینگی پوشش کانوپی (CC) بخشی از سطح خاک پوشیده شده توسط کانوپی است. مقدار CC از صفر در مرحله کاشت به حداکثر مقدار ۱ در اواسط فصل زمانی که به پوشش کانوپی کامل رسید متغیر است. معادله مفهومی در مدل AquaCrop، بیان می‌کند که تولید ماده خشک (B) متناسب با مقدار تجمعی آب تعرق یافته است ($\sum Tr$)، تعرق محصول بر اساس معادله ۱۱ در قسمت قبل محاسبه می‌شود.

$$B = WP^* \sum (\frac{Tr_i}{ETo_i}) \quad (۱۳)$$

که در آن، WP^* ، بهره‌وری آب است که توسط تبخیر و تعرق مرجع و غلظت دی اکسید کربن نرمال شده است. عملکرد نهایی محصول (Y) با ضرب B در یک شاخص برداشت (HI) شبیه‌سازی می‌شود که بصورت یک درصدی از کل ماده خشک در سطح زمین بیان می‌شود. ماده خشک شبیه‌سازی شده اشاره به ترکیب ساقه‌ها، برگ‌ها، گل‌ها و... دارد.

$$Y = HI\ B \quad (۱۴)$$

بهره‌وری آب

درخصوص بهره‌وری دو تعریف مطرح می‌باشد. یکی "بهره‌وری فیزیکی آب" است که در آن مبنا میزان تولید تقسیم بر آب برداشت شده برای آبیاری و دیگری، "بهره‌وری آب" می‌باشد که براساس میزان تولید تقسیم بر تبخیر–تعرق واقعی حاصل می‌شود (Perry and Steduto, 2017). از منظر اهداف این تحقیق، آن هنگام بهره‌وری بالا می‌رود که به ازای تولید یکسان، تبخیر–تعرق واقعی کم شود و یا به ازای تبخیر–تعرق واقعی ثابت، عملکرد بالا برود. معادلات مربوط به تعاریف فوق در ادامه ارائه شده است.

$$\text{بهره‌وری فیزیکی} = \frac{\text{مقدار محصول تولید شده (کیلوگرم)}}{\text{برداشت آب (مترمکعب)}} \quad (۱۵)$$

$$\text{بهره‌وری آب} = \frac{\text{مقدار محصول تولید شده (کیلوگرم)}}{\text{تبخیر_تعرق (مترمکعب)}} \quad (۱۶)$$

واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌ها

مدل SWAT

مبنای کار این بخش، مدل واسنجی شده حوضه طشک-بختگان تحت عنوان SWAT-FARS می‌باشد (دلاور و همکاران، ۱۳۹۵). جزئیات مربوط به مدل و مراحل واسنجی آن نیز در همین مرجع قابل دسترس می‌باشد. به عنوان نمونه نتایج واسنجی دبی در تعدادی از ایستگاه‌های اصلی در محدوده زیرحوضه مرودشت-خرامه در جدول ۴ قابل مشاهده است. همانگونه که قبلا اشاره شد، در این تحقیق فقط محصولات گندم و گوجه فرنگی جهت ارزیابی اقدامات در صرفه‌جویی و بهره‌وری آب در دستور کار بوده که نتایج واسنجی مربوطه در جدول ۵ اشاره شده است.

جدول ٤- نتایج واسنجی و اعتبارسنجی دبی در ایستگاه‌های موجود در حوضه (دلاور و همکاران، ۱۳۹۵)

نام ایستگاه	دوره واسنجی			دوره اعتبارسنجی		
	R^2	RMSE(m^3/s)	NS	R^2	RMSE(m^3/s)	NS
پل خان	۰/۹	۱۱۸/۹۴	۰/۷۶	۰/۸۹	۱۹/۵۸	۰/۷۹
حسن آباد-خرامه	۰/۷۳	۱/۰۴	۰/۵۸	۰/۷	۰/۹	۰/۵۱

جدول ٥- متوسط عملکرد و تبخیر-تعرق پتانسیل محصولات منتخب در منطقه مرودشت- خرامه (دلاور و همکاران، ۱۳۹۵)

محصول	متوسط تبخیر-تعرق پتانسیل (میلی‌متر)	متوسط عملکرد (تن در هکتار)	متوسط تبخیر-تعرق پتانسیل شبیه‌سازی (میلی‌متر)	متوسط عملکرد شبیه-سازی (تن در هکتار)
گندم	۶۰۰	۳/۷	۵۹۶	۳/۷
گوجه-فرنگی	۷۷۲	۳۳	۷۷۲	۳۳/۵

مدل AquaCrop

بعد از آماده‌سازی مدل؛ واسنجی پارامترهای خاک، گیاه با استفاده از مقادیر پیشنهادی توسعه دهنده مدل به عنوان ارقام اولیه، انجام شده است (Hsiao et al., 2009; Raes et al., 2012). بررسی‌ها نشان داد که حساسیت مدل نسبت به تغییرات بعضی از پارامترها بیشتر است. مقادیر واسنجی‌شده این پارامترها برای گندم در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ٦- واسنجی پارامترهای گیاهی برای شبیه‌سازی عملکرد گندم در منطقه مرودشت-خرامه

پارامتر	مقدار	واحد
ضریب گیاهی برای تعرق (Kc-Tr)	۰/۹۵	(%day)
ضریب تبخیر (Ke)	۶۰	(%day)
بهره‌وری آب نرمال شده (*WP)	۱۵	gr/cm^2
شاخص برداشت (HIo)	۴۵	%
حداکثر عمق ریشه	۱/۵	m
ضریب کاهش پوشش (CDC)	۸/۲	(%day)
ضریب رشد پوشش (CGC)	۶/۷	(%day)
دمای پایه (Tbase)	۰	°C
دمای آستانه بالا (Tupper)	۲۶	°C

اعمال راهکارهای صرفه‌جویی آب در مدل‌ها

همانطور که قبلا تاکید شد، در این مقاله مبنای ارزیابی هراقدامی در صرفه‌جویی آب کاهش تبخیر یا «صرفه‌جویی واقعی آب» بوده است. از میان راهکارهای مختلف صرفه‌جویی آب نیز ۱) کم‌آبیاری، ۲) افزایش راندمان و ۳) توسعه کشت گلخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفته‌اند. یادآوری می‌شود که راهکار ۱ از نوع اقدامات موثر و عملی است که با برنامه‌ریزی مناسب، امکان حداقل آب مصرفی را با عملکرد قابل قبول محصول محقق می‌نماید (شعبانی و همکاران، ۱۳۸۷). راهکارهای ۲ و ۳ نیز جزء اقداماتی هستند که صراحتا در برنامه توسعه ششم آمده‌اند. شرح اعمال راهکارهای فوق در ادامه می‌آید.

برای مدل‌سازی راهکارهای ۱ و ۲ براساس محصول گندم، میزان نیاز آن و براساس سند ملی آب به میزان ۵۹۶ میلی‌متر و راندمان ۴۲ درصد؛ برابر ۱۰۰۰ میلی‌متر درنظر گرفته شد. دور آبیاری هم به استناد اطلاعات محلی ۱۰ روزه قرار داده شد. اعمال کم‌آبیاری، تحت سناریوهای ۲۰، ۴۰ و ۵۰ درصد مقدار آبیاری به ترتیب ۸۰۰، ۶۰۰ و ۵۰۰ میلی‌متر مد نظر قرار گرفت که در تحقیق Lei و همکاران (۲۰۱۵) نیز مورد استفاده قرار گرفته است. برای معرفی سامانه‌های نوین آبیاری (در اینجا فقط قطره‌ای) نیز از طریق تغییر در عمق و دور آبیاری در طول فصل رشد اعمال می‌شود. اما برای شبیه‌سازی کشت گلخانه‌ای نیاز به تمهیدات بیشتری بود، زیرا که مدل فعلی SWAT این گزینه مدیریتی را دارا نمی باشد. بدین منظور لازم شد تا تغییراتی در کد مدل اعمال شود که در ادامه تشریح می‌شود.

شبیه سازی مولفه‌های بیلان و بهره‌وری آب تحت مدیریت گلخانه در مدل SWAT

گزینه‌های مدیریتی موجود در مدل SWAT ، گلخانه را دارا نمی‌باشد، لذا برای اولین بار این گزینه به مدل اصلی افزوده شد. با توجه به تغییر برخی از پارامترها از قبیل تبخیر–تعرق، تابش خورشیدی، کمبود فشار بخار آب و سرعت باد در محیط گلخانه نسبت به مزرعه، لازم بود تا معادلات مربوط اصلاح گردند. دراین راستا، از تفاوت‌های اصلی کشت گلخانه که نهایتا بر نیاز آبی گیاهان موثر است، میزان تبخیر–تعرق پتانسیل است. دراین خصوص، از روش‌های مطرح مربوط به Stanghellini (۱۹۸۷) می‌باشد که مدل اصلاح شده پنمن مانتیث برای شرایط گلخانه است که مطابق زیر تعریف می‌شود:

$$ET = 2\,LAI\,\frac{1}{\lambda}\left(\frac{s\,(R_n - G) + K_t\,(\frac{VPD\,\rho\,C_p}{r_R})}{s + \gamma\,(1 + r_c/r_a)}\right) \qquad (۱۷)$$

در این رابطه،ET تبخیر تعرق مرجع ($mm\ day^{-1}$)، R_n تابش خالص در سطح محصول ($MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$)، G شار حرارتی خاک ($MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$)، K_t فاکتور تبدیل واحد مساوی با $3600\ s\ h^{-1}$، VPD کمبود فشار بخار ساعتی و روزانه (kPa)، ρ دانسیته متوسط اتمسفر ($kg\ m^{-3}$)، C_p گرمای ویژه هوا ($MJ\ kg^{-1}\ C^{-1}$)، r_R مقاومت تابشی ($s\ m^{-1}$)، r_c مقاومت تاج پوشش گیاه ($s\ m^{-1}$)، r_a مقاومت هوا ($s\ m^{-1}$)، λ گرمای نهان تبخیر ($MJ\ kg^{-1}$)، s شیب منحنی فشار بخار اشباع ($kPa\ C^{-1}$)، γ ثابت سایکرومتریک ($kPa\ C^{-1}$) و LAI شاخص سطح برگ ($m^2\ m^{-2}$) می‌باشد. اصلاحات مربوط به تبخیر–تعرق پتانسیل در زیربرنامه etpot.f انجام شده است. برای اعمال آن لازم بود برخی دیگر از پارامترها شامل تابش خالص در سطح محصول (R_n)، تابش خالص امواج کوتاه (R_{ns})، دمای سطح برگ (T_0) و مقاومت تابشی (r_R) نیز اصلاح یا به معادلات اضافه گردد.

همچنین، با توجه به شرایط موجود در گلخانه و فرض نفوذناپذیری آن، میزان نفوذ از لایه خاک در زیربرنامه perc.f، صفر درنظر گرفته شد. در ادامه، با توجه به نفوذپذیری نزدیک به صفر در سطح گلخانه‌ها، شماره منحنی HRU (CN) موردنظر در فایل اطلاعات مدیریتی (MGT.) برابر ۱۰۰ قرار داده شد.

از پارامترهای دیگری که موردتوجه قرار گرفته است عبارتند از تشعشع و کمبود فشار بخار آب که مقادیر آن‌ها در شرایط گلخانه و مزرعه متفاوت می‌باشد. پوشش محافظ گلخانه، از طریق به دام انداختن امواج بلند ورودی و ایجاد یک مانع برای تلفات رطوبتی، بیلان انرژی (شامل تابش خورشیدی دریافتی، انتقال حرارت و بخار از تاج پوشش گیاهی) کل سیستم در گلخانه را تغییر داده و تبخیر–تعرق محصول را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Fazlil-Ilahil, 2009). پوشش استفاده شده در گلخانه منجر به کاهش تبخیر–تعرق از طریق کاهش باد، افزایش رطوبت نسبی و کاهش تشعشع دریافتی توسط گیاهان می‌شود. بدین صورت که از نظر فیزیکی مانع باد و باعث گیرافتادگی رطوبت می‌شود و نور مستقیم خورشید را فیلتر می‌کند (O'Connor and Mehta, 2016). تغییرات مربوط به تاثیر تشعشع و فشار بخار آب نیز با توجه به معادلات مربوط در راهنمای مرجع مدل SWAT در زیربرنامه grow.f لحاظ شده است.

نتایج

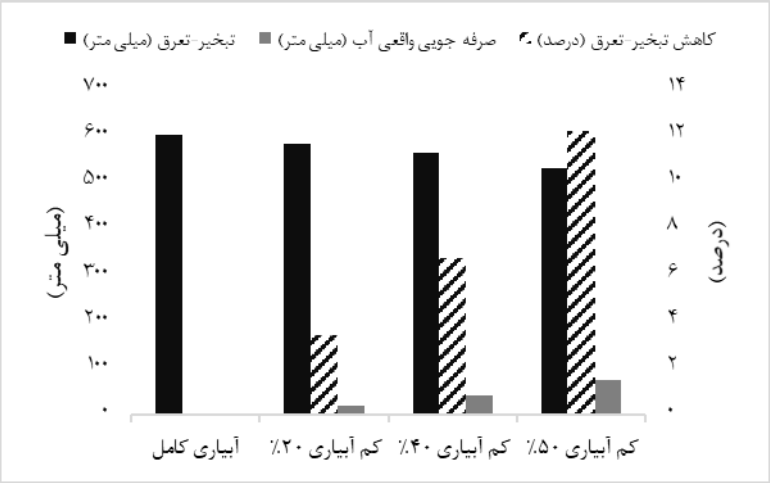
در این قسمت به نتایج تحقیق و نقش اقدامات انجام شده در کاهش مصرف آب، افزایش بهره‌وری آب و تاثیر آنها برخروجی آب از زیرحوضه پرداخته می‌شود. کلیه ارزیابی‌ها براساس مفهوم «صرفه-جویی واقعی آب» و تفکیک برداشت و مصرف (بهره‌وری آب و بهره-وری فیزیکی آب) خواهد بود. همچنین بررسی نقش اقدامات در تغییر میزان «آب برگشتی» بخش دیگری از بررسی‌ها می‌باشد که آب برگشتی در مقیاس مزرعه با مدل AquaCrop و در مقیاس حوضه با

SWAT برآورد شده است. در خصوص مدیریت گلخانه متذکر می‌گردد، یک HRU با مساحت ۶۸۸ هکتار در زیرحوضه به عنوان سطح زیرکشت گوجه‌فرنگی درنظر گرفته شده است.

کم‌آبیاری

صرفه‌جویی واقعی آب

واقعیت‌های منطقه نشان می‌دهد که کم‌آبیاری هم‌اکنون بطور گسترده‌ای بدلیل کاهش منابع آبی (خواسته و یا ناخواسته) در حال انجام است (دلاور و همکاران، ۱۳۹۵). براساس روش‌شناسی تحقیق و شرحی که قبلا آمد، برای این گزینه مدیریتی کم‌آبیاری ۲۰، ۴۰ و ۵۰ درصد نسبت به آبیاری کامل سطحی برای محصول گندم برابر ۱۰۰۰ میلیمتر (۶۰۱ میلی‌متر خالص آبیاری براساس سند) اعمال شد. نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که میزان تبخیر-تعرق واقعی تحت این مدیریت‌ها به ۵۸۱، ۵۶۱ و ۵۲۸ میلی‌متر تقلیل می‌یابد (شکل ۲). بدین ترتیب، «صرفه‌جویی واقعی آب» این راهکار (درصد کاهش تبخیر-تعرق واقعی) در بهترین شرایط کم‌آبیاری- یعنی ۵۰ درصد، تنها ۱۲ درصد می‌باشد.



شکل ۲- میزان صرفه‌جویی واقعی آب از کشت محصول گندم تحت سناریوهای مختلف کم‌آبیاری برای دوره شبیه‌سازی (۲۰۰۸-۱۹۹۱) در منطقه مرودشت-خرامه

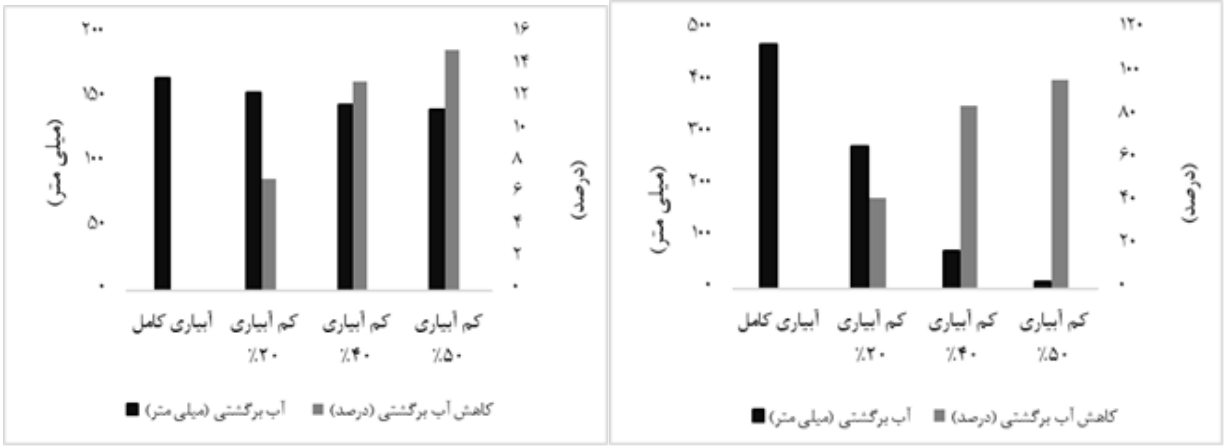
آب برگشتی و خروجی از حوضه

اما، بررسی‌ها نشان داد که مهمترین مابه‌التفاوت آبیاری کامل و کم‌آبیاری، ناشی از تفاوت آب‌های برگشتی می‌باشد تا صرفه‌جویی آب. شکل۳-الف گویای آن است که در مقیاس مزرعه، این مقدار از ۴۷۲ در آبیاری کامل به ۱۵ میلی‌متر در شرایط کم‌آبیاری ۵۰ درصد می‌رسد. از شکل۳-ب نیز آب خروجی از حوضه در این مدیریت قابل ملاحظه می‌باشد. به عنوان مثال مشاهده می‌گردد که با اعمال ۵۰ درصد کم‌آبیاری، این مقدار از مقدار ۱۶۶ به ۱۴۱ میلی‌متر کاهش یافته است.

بهره‌وری آب

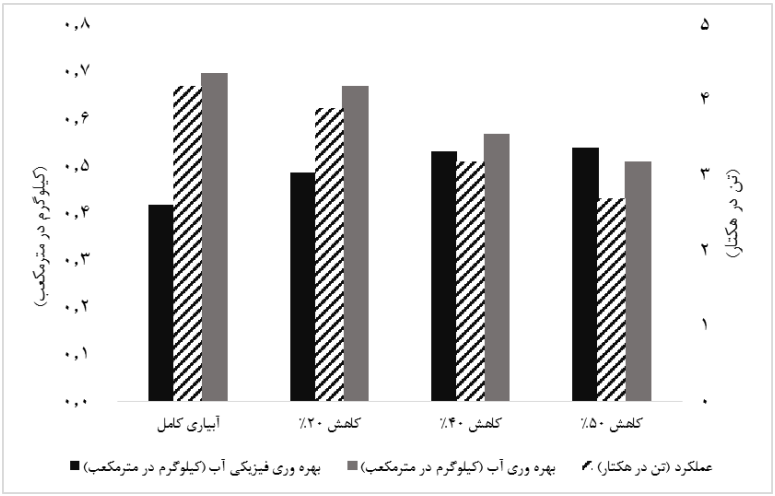
متناسب با شدت کم‌آبیاری، مقدار عملکرد از ۴/۲ تن در هکتار با آبیاری کامل، تحت سناریوهای ۲۰، ۴۰ و ۵۰ درصد به ترتیب به ۳/۹، ۳/۲ و ۲/۷ تن در هکتار کاهش می‌یابد. بدین ترتیب به عنوان مثال با اعمال کم‌آبیاری ۵۰ درصد، تا ۱/۵ تن (معادل ۳۶ درصد) از محصول گندم کسر می‌گردد. در تحقیق سالمی و همکاران (۱۳۸۴) نیز جهت بررسی اثر کم‌آبیاری بر عملکرد ارقام جدید گندم نتیجه نسبتا مشابهی گزارش شد و تحت سناریوی کم‌آبیاری ۶۰ درصد، عملکرد محصول ۱/۳ تن در هکتار کم شد.

شکل۴ میزان تغییرات بهره‌وری آب (فیزیکی و غیرفیزیکی) را تحت سناریوهای مختلف کم‌آبیاری نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد، با اعمال سناریوهای کم‌آبیاری بهره‌وری فیزیکی از ۰/۴۲ به ۰/۵۴ کیلوگرم در مترمکعب افزایش می‌یابد. اما، بهره‌وری آب (مبنای تبخیروتعرق واقعی) از ۰/۶۹ (آبیاری کامل) به ۰/۵۱ کیلوگرم در مترمکعب (آبیاری ۵۰ درصد) کاهش می‌یابد.



(ب) (الف)

شکل ۳- الف) میزان آب برگشتی از کشت محصول گندم (مقیاس مزرعه) و ب) خروجی آب از حوضه تحت سناریوهای مختلف کم‌آبیاری برای دوره شبیه‌سازی (۲۰۰۸-۱۹۹۱) در منطقه مرودشت-خرامه



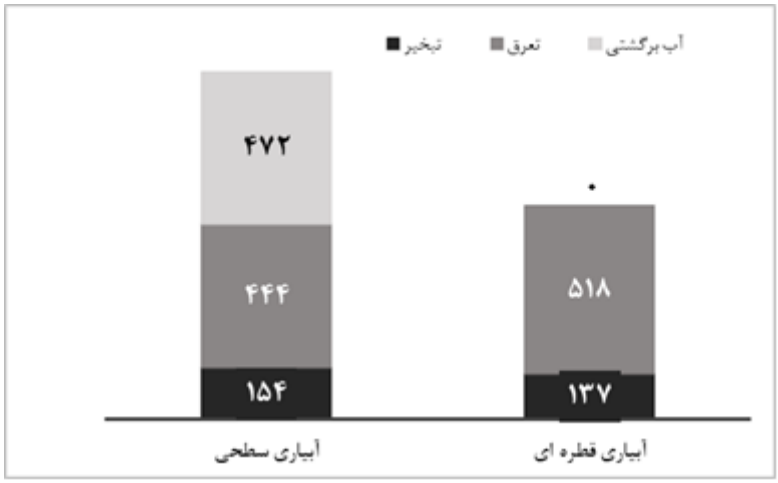
شکل ٤- تغییرات عملکرد و بهره‌وری آب از کشت محصول گندم تحت سناریوهای مختلف کم‌آبیاری برای دوره شبیه‌سازی (۲۰۰۸-۱۹۹۱) در منطقه مرودشت-خرامه

افزایش راندمان

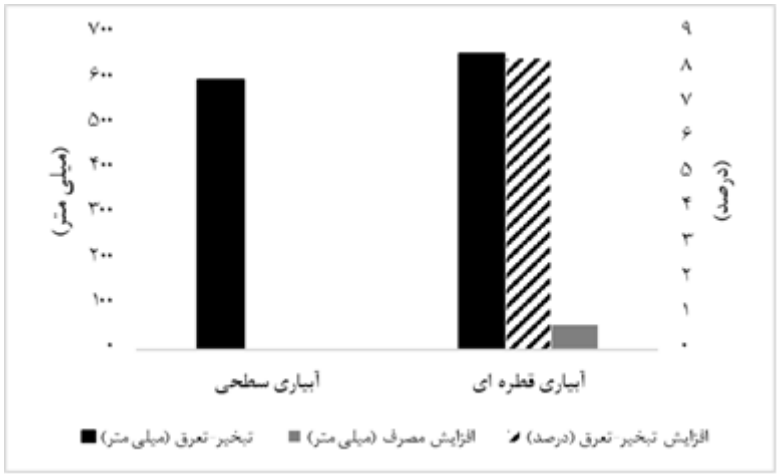
صرفه‌جویی واقعی آب

افزایش راندمان براساس آبیاری قطره‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد که راندمان مزرعه را از ۴۲ درصد به ۸۰ درصد ارتقاء می‌بخشد. مقایسه مولفه‌های مورد بررسی در دو سیستم سطحی و قطره‌ای در شکل ۵ قابل مقایسه هستند. اگرچه سیستم قطره‌ای به عنوان یکی از راهکارهای صرفه‌جویی آب مطرح می‌شود، اما همانطور که از شکل ملاحظه می‌گردد، با افزایش راندمان میزان تبخیر-تعرق نسبت به آبیاری سطحی ۸/۳ درصد افزایش می‌یابد که مشخصا ناشی از افزایش تعرق از ۴۴۴ به ۵۱۸ میلیمتر می‌باشد. اما درمقایسه با سیستم آبیاری سطحی از تبخیر (مصرف غیرمفید) می‌کاهد. برای این منطقه بطور متوسط این مقدار از ۱۵۴ به ۱۳۷ میلی‌متر رسیده است.

نتایج این بخش نشان داد که در شرایط آبیاری قطره‌ای گندم با ۷۴۲ میلی‌متر ؛ نسبت تبخیر به تبخیر-تعرق (E/ET) ۲۱ درصد حاصل می‌شود. در تحقیق مشابهی نیز توسط Li و همکاران (۲۰۱۶) با آبیاری ۷۵۰ میلی‌متر و همین سیستم، میزان تبخیر-تعرق گندم ۷۳۳ میلی‌متر حاصل شد و نسبت (E/ET) حدود ۲۶ درصد بوده که با نتایج بدست آمده مطابقت دارد. این بدین معنی است که بر خلاف تصور، در این سیستم‌ها بخش مصرف غیرسودمند، همچنان قابل توجه می‌باشد. نهایتا میزان صرفه‌جویی واقعی آب براساس این راهکار در شکل ۶ قابل ملاحظه می‌باشد.



شکل ۵- تفکیک بخش مصرفی آب مفید و غیرمفید تحت افزایش راندمان برای دوره شبیه‌سازی (۲۰۰۸-۱۹۹۱) در منطقه مرودشت-خرامه



شکل ٦- میزان صرفه‌جویی واقعی آب از کشت محصول گندم تحت افزایش راندمان برای دوره شبیه‌سازی (۲۰۰۸-۱۹۹۱) در منطقه مرودشت-خرامه

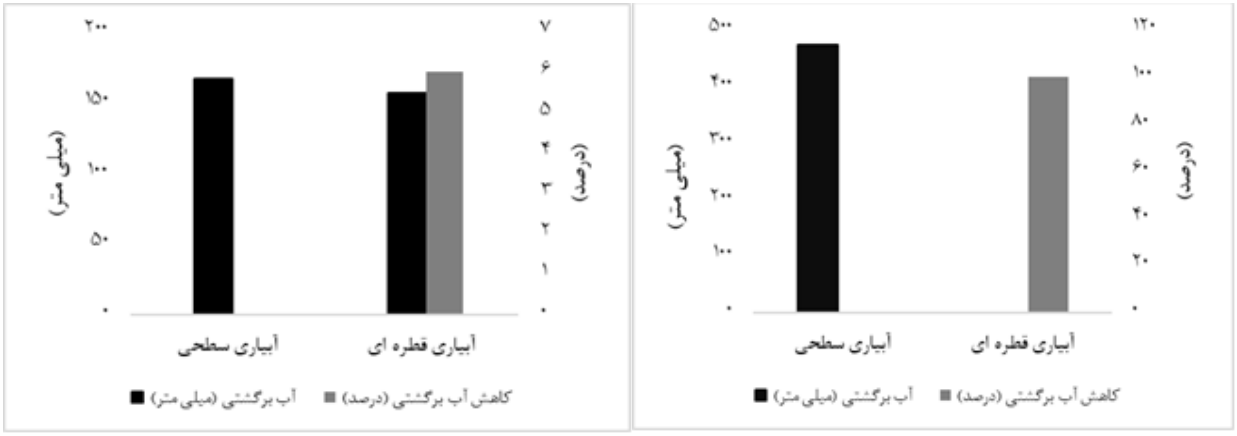
آب برگشتی و خروجی از حوضه

همانطور که قابل انتظار بود، با اعمال آبیاری قطره‌ای میزان آب برگشتی به شدت کاهش می‌یابد. در شکل ۷ -الف نیز درصد کاهش آن نشان داده شد که این جریان به صفر نزدیک می‌شود. در تحقیقاتی مانند Ward و Velazquez (۲۰۰۸) نیز اشاره شده که با تکنولوژی‌های بالا و همزمان افزایش راندمان، جریان‌های برگشتی کاهش می‌یابد و تبعات منفی بر تغذیه به آبخوان دارد. در شکل ۷ - ب تغییرات خروجی از حوضه تحت توسعه سیستم آبیاری قطره‌ای نشان داده شده است. خروجی تغییرات قابل توجهی ندارد و از مقدار ۱۶۶ میلی‌متر به ۱۵۶ میلی‌متر کاهش یافته است.

بهره‌وری آب

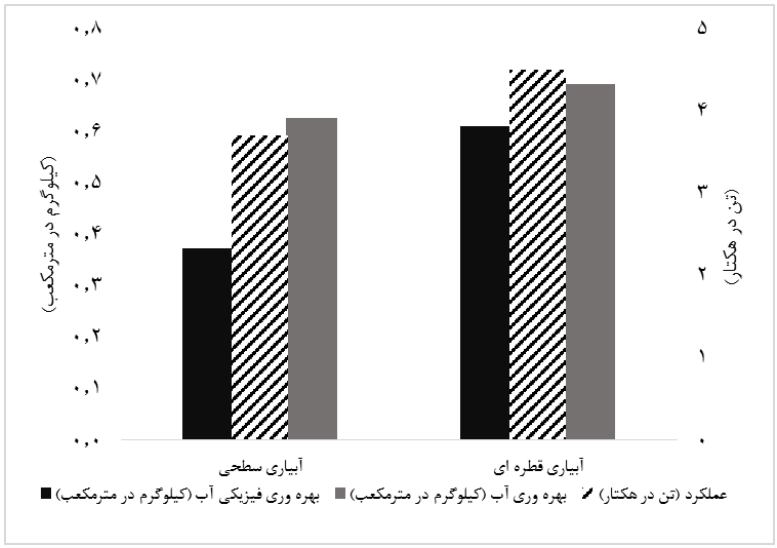
از منظر بهره‌وری، نتایج همچنین نشان داد که با اعمال سیستم آبیاری قطره‌ای، میزان عملکرد بدلیل افزایش تعرق، بطور متوسط تا ۱۷ درصد افزایش یافته است (شکل ۸). در مطالعه احمد زاده و همکاران (۱۳۹۱) نیز درصد افزایش عملکرد محصول گندم تحت افزایش راندمان نسبت به سناریوی پایه ۱۹ درصد گزارش شد. علاوه براین، در شکل نشان داده شده که میزان بهره‌وری آب فیزیکی با اعمال آبیاری قطره‌ای از ۰/۳۷ به ۰/۶۱ کیلوگرم در مترمکعب افزایش می‌یابد. اما، بهره‌وری آب (تبخیر-تعرق مبنا) را تنها از ۰/۶۲ در آبیاری سطحی به ۰/۶۹کیلوگرم در مترمکعب ارتقاء می‌دهد که گویای اهمیت توجه به تفاوت‌های دو روش ارزیابی بهره‌وری می‌باشد. مقایسه نتایج نشان داد، در حالیکه نسبت افزایش بهره‌وری فیزیکی

آب حدود ۱/۹۶ برابر بواسطه اعمال این سیستم‌ها بوده، بهره‌وری آب (تبخیر مبنا) تنها ۱/۱۱ (۱۱درصد افـزایش) مـی‌باشـد. ایـن ارقـام در تحقیق Ward و Velazquez (۲۰۰۸) به ترتیب برابر ۲ و ۱ گـزارش شده است.



(ب) (الف)

شکل ۷- الف) میزان آب برگشتی از کشت محصول گندم (مقیاس مزرعه) و ب) خروجی آب از حوضه تحت افزایش راندمان برای دوره شبیه‌سازی (۲۰۰۸-۱۹۹۱) در منطقه مرودشت-خرامه

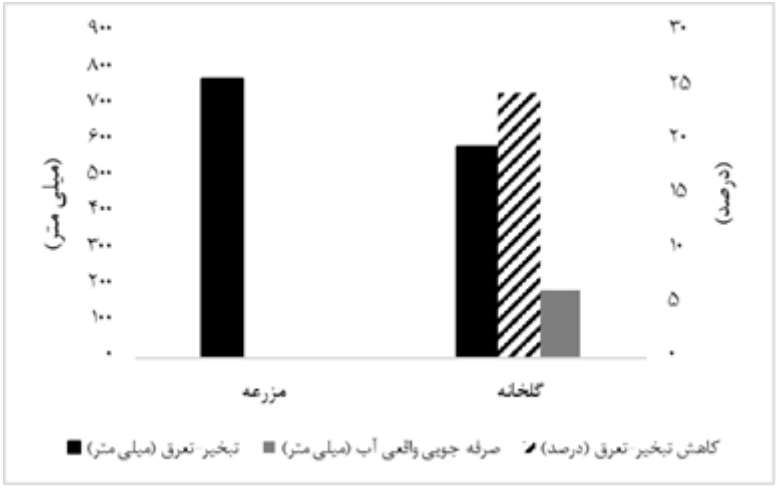


شکل ۸- تغییرات عملکرد و بهره‌وری آب از کشت محصول گندم تحت افزایش راندمان برای دوره شبیه‌سازی (۲۰۰۸-۱۹۹۱) در منطقه مرودشت-خرامه

کشت گلخانه‌ای

صرفه‌جویی واقعی آب

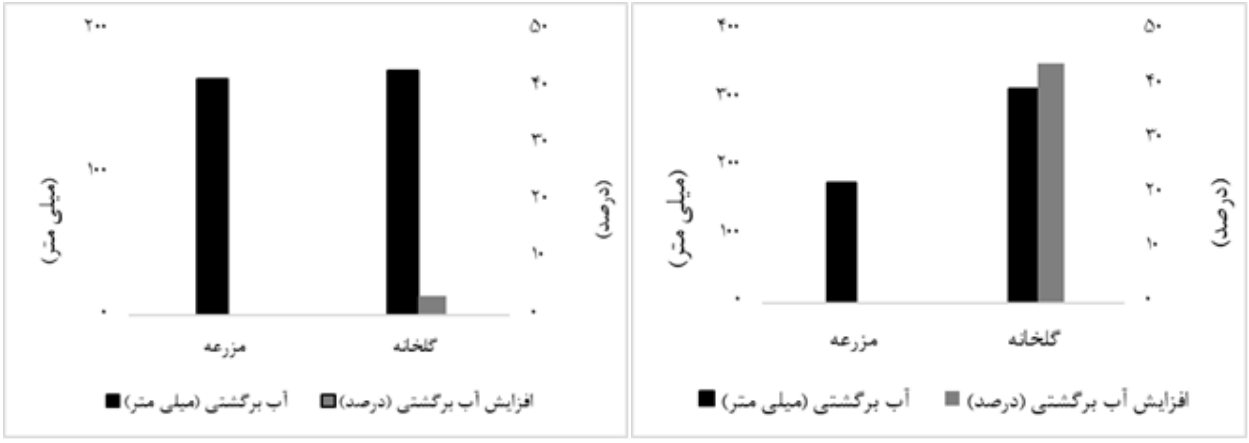
نتایج برای کشت گلخانه‌ای گوجه‌فرنگی و بـاز در شـکل ۹ آمـده است. ملاحظه می‌گردد که مقدار تبخیر-تعـرق از ۷۷۲ میلـی‌متـر بـه ۵۸۳/۸ میلی‌متر (حدود ۲۴ درصد) کاهش یافته اسـت کـه مـی‌توانـد راهکـار مناسـبی از منظـر صـرفه‌جـویی واقعـی آب باشـد. کوپـایی و همکاران (۱۳۹۰) نیز تبخیر-تعرق گوجـه‌فرنگـی را در شـرایط بـاز و گلخانـه در اصـفهان برابـر ۶۸۹ و ۵۲۴ میلـی‌متـر گـزارش کردنـد. همچنین، مطالعات Salokhe و همکـاران (۲۰۰۵) نیـز بـرای همـین کشت، ۲۵ درصد کاهش تبخیر-تعرق گزارش نموده است کـه بطـور نسبی با نتایج این تحقیق شباهت دارد.



شکل ۹- میزان صرفه‌جویی واقعی آب از کشت محصول گوجه فرنگی تحت مدیریت کشت گلخانه برای دوره شبیه‌سازی (۲۰۰۸-۱۹۹۱) در منطقه مرودشت-خرامه

آب برگشتی و خروجی از حوضه

همانطورکه اشاره شده میزان نفوذپذیری در شرایط گلخانه صفر فرض گردید. در شکل ۱۰-الف، میزان جریان برگشتی برای شرایط گلخانه و مزرعه آمده است. ملاحظه می‌گردد که با به کارگیری مدیریت گلخانه میزان جریان برگشتی از ۱۷۶ میلی‌متر مزرعه به ۳۱۵ میلی‌متر حدود ۴۴ درصد افزایش یافته و این جریان ناشی از رواناب حاصل از بارش در محیط بیرون گلخانه است. از شکل ۱۰-ب مشاهده می‌شود، مقدار خروجی حوضه نیز در این شرایط با افزایش ۳/۴ درصدی مواجه است که تغییر قابل توجهی نمی‌باشد.

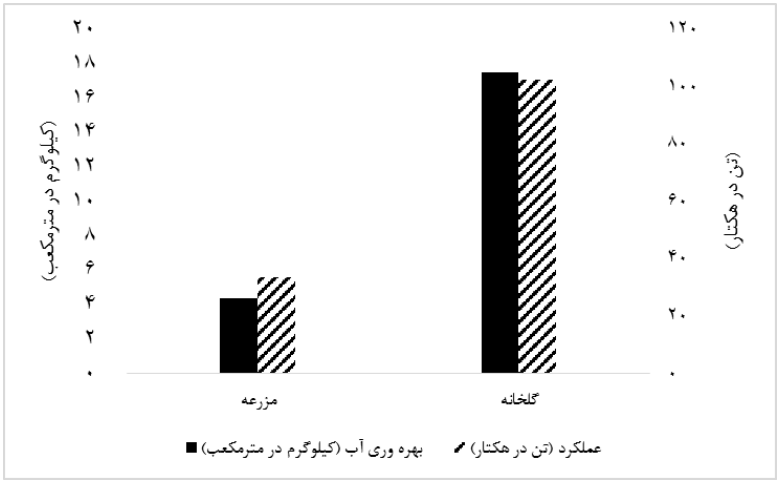


(ب) (الف)

شکل ۱۰- الف) میزان آب برگشتی از کشت محصول گوجه فرنگی (مقیاس HRU) و ب) خروجی آب از حوضه تحت مدیریت کشت گلخانه برای دوره شبیه‌سازی (۲۰۰۸-۱۹۹۱) در منطقه مرودشت-خرامه

بهره‌وری آب

مقایسه نتایج عملکرد گوجه‌فرنگی در مزرعه و گلخانه در شکل ۱۱ آمده است. ملاحظه می‌گردد، میزان تولید آن از ۳۳/۵ به ۱۰۲ تن در هکتار برای یک فصل کشت ۵ ماهه افزایش یافته است. این اختلاف با اطلاعات محلی هماهنگی لازم را دارد، هرچند در برخی مراجع آن را تا ۶ برابر (فصل کشت ۹ ماهه) و ۱۲ برابر (فصل کشت ۹ ماهه) نیز در دیگر کشورها گزارش کرده‌اند (کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۶). علاوه بر عملکرد، بهره‌وری آب محصول گوجه فرنگی در شرایط مزرعه و گلخانه در شکل قابل مشاهده است و گویای ارتقاء بهره‌وری از ۴/۳ کیلوگرم در مترمکعب به ۱۷/۴ کیلوگرم در مترمکعب می‌باشد.



شکل ۱۱- تغییرات عملکرد و بهره‌وری آب از کشت محصول گوجه فرنگی تحت مدیریت کشت گلخانه برای دوره شبیه‌سازی (۲۰۰۸-۱۹۹۱) در منطقه مرودشت-خرامه

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر تلاشی بود حتی‌الامکان جامع، جهت ارزیابی تعدادی از اقدامات جاری کشور در صرفه‌جویی واقعی آب، افزایش بهره‌وری و نقش آنها در کاهش مصرف آب در حوضه‌ها که شاید بتوانند عاملی برای افزایش جریان محیط‌زیستی هم باشند. منطقه مطالعاتی نیز حوضه طشک-بختگان مد نظر قرار گرفت. در این راستا سه راهکار شامل: کم‌آبیاری، افزایش راندمان آبیاری وکشت گلخانه‌ای بررسی شد. دو راهکار اول روی کشت گندم و راهکار سوم برای کشت گوجه فرنگی مورد ارزیابی قرار گرفتند، براین اساس نتایج زیر قابل ارائه هستند:

کم‌آبیاری در ۳ سناریوی کاهش ۲۰، ۴۰ و ۵۰ درصد آبیاری نسبت به کامل آن (۱۰۰۰ میلی‌متر) ارزیابی شد. در بالاترین شدت اعمال آن (کم‌آبیاری ۵۰ درصد) یعنی کاهش عمق آبیاری گندم از ۱۰۰۰ به ۵۰۰ میلی‌متر، تبخیر-تعرق از ۶۰۱ میلی‌متر آبیاری کامل به ۵۲۸ میلی‌متر کاهش می‌یابد (بارش موثر حدود ۱۰۰ میلی‌متر است). بدین ترتیب، حداکثر مقدار صرفه‌جویی واقعی آب ۱۲ درصد و برابر ۷۳ میلی‌متر می‌شود. تاثیر این اقدام در کمترشدن تعرق، عملکرد ۴/۲ تن در هکتار شرایط آبیاری کامل را تا ۱/۵ تن کاهش می‌دهد. اما نکته قابل توجه مقایسه بهره‌وری آب در دو حالت فیزیکی و غیرفیزیکی می‌باشد که برای حالت اول (بهره‌وری فیزیکی) برابر ۰/۴۸، ۰/۵۳ و ۰/۵۴ کیلوگرم در مترمکعب و برای دوم به ۰/۶۷، ۰/۵۷ و ۰/۵۱ کیلوگرم در مترمکعب برای سه سناریوی کم‌آبیاری تغییر می‌کند. این تفاوت اهمیت توجه به تعریف بهره‌وری را گویا می‌باشد که توسط سازمان جهانی کشاورزی و خواربار هم مورد تاکید بوده است (Perry and Steduto, 2017). مقدار آب برگشتی در مقیاس مزرعه، از ۴۷۲ میلی‌متر در شرایط آبیاری کامل، به ۱۵ میلی‌متر در شرایط کم‌آبیاریِ ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. اما این مقادیر در مقیاس حوضه، از ۱۶۶ به ۱۴۱ میلی‌متر می‌رسد. لذا، تاکیدی است برآنکه نتایج مدیریت‌ها در مقیاس مزرعه نمی‌تواند برای حوضه قابل تعمیم باشد، به عبارتی رفتارها خطی نیستند.

استفاده از سیستم‌های قطره‌ای و افزایش راندمان تا ۸۰ درصد نشان داد که به دلیل افزایش مقدار تبخیر-تعرق واقعی و کاهش آب برگشتی در این سیستم‌ها؛ صرفه‌جویی چندانی رخ نمی‌دهد و حتی تا ۸/۳ درصد برابر ۵۴ میلی‌متر، افزایش مصرف را هم دنبال دارد. متعاقبا نیز عملکرد گندم ۱۷ درصد افزایش داشته است. در این شرایط بهره‌وری آب و بهره‌وری فیزیکی آب به ترتیب از ۰/۶۲ به ۰/۶۹ و ۰/۳۷ به ۰/۶۱ کیلوگرم در متر مکعب افزایش می‌یابد. میزان آب برگشتی در مقیاس مزرعه تحت سیستم قطره‌ای از ۴۷۲ میلی‌متر به تقریبا صفر و در مقیاس حوضه از ۱۶۶ میلی‌متر به ۱۵۶ میلی‌متر کاهش می‌یابد.

نتایج نشان داد که کشت گلخانه‌ای می‌تواند در شرایط منطقه مطالعاتی تا ۲۴ درصد تبخیر-تعرق را کاهش دهد که بیانگر ظرفیت مناسب آن برای «صرفه‌جویی واقعی آب» می‌باشد. متعاقبا عملکرد نیز افزایش یافته و از ۳۳ تن گوجه فرنگی در هکتار مزرعه به ۱۰۲ تن در هکتار می‌رسد. بدین ترتیب بهره‌وری آب نیز با افزایش قابل توجهی از ۴/۳ به ۱۷/۴ کیلوگرم در مترمکعب می‌رسد. همچنین مدیریت گلخانه در مقیاس مزرعه، منجر به ۴۴ درصد افزایش جریان برگشتی شده در حالی‌که در مقیاس حوضه، مقدار آب خروجی از حوضه با افزایش ۳/۴ درصدی مواجه است که تغییر قابل توجهی نمی‌باشد.

چارچوب مدل‌سازی این تحقیق، چارچوب مناسبی برای لحاظ

مقیاس مزرعه و حوضه و دیدن ابعاد مختلف مولفه‌های بیلان و بهره‌وری آب بود. شبیه‌سازی عملکرد محصولات، تبخیر–تعرق واقعی و آب برگشتی از این جمله بودند که می‌تواند برای تحقیقات مشابه و از همه مهم‌تر ارزیابی سیاست‌گذاری‌های کلان مورد توجه قرار گیرند.

منابع

دلاور، م.، مرید، ر.، محمودی، ی.، مهرآذر، آ.، (۱۳۹۵)، گزارش شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آب و کشاورزی حوضه طشک بختگان، گزارش مطالعات بخش ششم.

احمدزاده، ح.، (۱۳۹۱)، ارزیابی بهره‌وری آب کشاورزی با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبریز زرینه‌رود. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس.

شعبانی، م.ح.، هنر، ت. و سپاسخواه، ع.ر.، (۱۳۸۷). بهینه‌سازی مصرف آب و الگوی کشت با استفاده از تکنیک کم‌آبیاری در سطح مزرعه؛ مطالعه موردی شبکه آبیاری درودزن فارس. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد نهم. شماره سوم.

طلوعی، ظ.، (۱۳۹۲)، ارزیابی توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار بر افزایش ورودی رودخانه زرینه‌رود به دریاچه ارومیه. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس.

وزارت نیرو (الف)، معاونت امور آب و آبفا، دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا، مطالعات بهنگام‌سازی طرح جامع آب، (۱۳۹۴)، گزارش تلفیق مطالعات و تهیه و تنظیم برنامه‌های حوضه آبریز مهارلو طشک– بختگان، بسته شماره ۶.

علیزاده ح.ع.، نظری ب.، پارسی‌نژاد م.، رمضانی اعتدالی ه. و جانباز ح.ر.، (۱۳۸۹)، ارزیابی مدل AquaCrop در مدیریت کم‌آبیاری گندم در منطقه کرج. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۴(۲) :(۲۷۳–۲۸۳

سالمی، ح.، افیونی، د.، (۱۳۸۳)، اثر تیمارهای کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ارقام جدید گندم. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. سال دوازدهم. شماره سوم.

انتصاری، م.ر.، حیدری، ن.، خیرابی، ج.، علایی، م.، فرشی، ع.ا. و وزیری، ژ.، (۱۳۸۶)، گزارش کارایی مصرف آب در کشت گلخانه‌ای. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

کوپایی، ج.، اسلامیان، س.، زارعیان، م.، (۱۳۹۰)، اندازه‌گیری و مدل‌سازی نیاز آبی و ضریب گیاهی خیار، گوجه فرنگی و فلفل با استفاده از میکرولایسیمتر در گلخانه. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای.سال دوم. شماره هفتم.

Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., & Williams, J. R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 34(1), 73-89.

Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Srinivasan, R., Williams, J. R., Haney, E. B., and Neitsch, S.L. (2012). Input/Output Documentation Version 2012, Soil and Water Assessment Tool.

Chukalla, A. D., Krol, M. S., & Hoekstra, A. Y. (2015). Green and blue water footprint reduction in irrigated agriculture: effect of irrigation techniques, irrigation strategies and mulching. Hydrology and earth system sciences, 19(12), 4877.

Fazlil-Ilahil, W. F. (2009). Evapotranspiration models in greenhouse (Doctoral dissertation, M. Sc. Thesis. Wageningen Agricultural University, The Netherlands).

Fernandes, C., Corá, J. E., & Araújo, J. A. C. D. (2003). Reference evapotranspiration estimation inside greenhouses. Scientia Agricola, 60(3), 591-594.

Hsiao, T. C., Heng, L., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D., & Fereres, E. (2009). AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. Agronomy Journal, 101(3), 448-459.

Kiziloglu, F. M., Sahin, U., Tune, T., & Diler, S. (2006). The Effect of Deficit Irrigation on Potato Evapotranspiration and Tuber Yield under Cool Season and Semiarid Climatic Conditions. Journal of Agronomy, 5(2), 284-288.

Kulkarni, S. (2011). Innovative technologies for water saving in irrigated agriculture. International journal of water resources and arid environments, 1(3), 226-231.

Lei, Y., Zhonggen, W., & Shengjun, C. (2015). Study on Real Water-Saving in Agricultural Region Based on Improved SWAT Model. Physical and Numerical Simulation of Geotechnical Engineering, (20), 59.

Li, J., Cui, J., Chen, R., Yang, P., Wu, Y. H., Chai, S. X., & Wangsomboondee, T. (2016). Evapotranspiration and crop coefficient of drip-irrigated winter wheat in China's Xinjiang Province. SCIENCEASIA, 42(5), 303-314.

Molden, D., Sakthivadivel, R., & Habib, Z. (2001). Basin-level use and productivity of water: Examples from South Asia (Vol. 49). IWMI.

Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., and Williams, J. R. (2011). Soil and Water assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009.

O'Connor, N., & Mehta, K. (2016). Modes of greenhouse water savings. Procedia

& Varela-Ortega, C. (2014). Irrigation efficiency and water-policy implications for river basin resilience. Hydrology and Earth System Sciences, 18(4), 1339.

Seckler, D. (1999). Revisiting the\IWMI paradigm:\ Increasing the efficiency and productivity of water use (No. H024042). International Water Management Institute.

Stanghellini, C. (1987). Transpiration of greenhouse crops. An aid to climate management (Doctoral dissertation, IMAG).

Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D., & Fereres, E. (2009). AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. Agronomy Journal, 101(3), 426-437.

Ward, F. A., & Pulido-Velazquez, M. (2008). Water conservation in irrigation can increase water use. Proceedings of the National Academy of Sciences, pnas-0805554105.

engineering, 159, 259-266.

Pareek, N., Roy, S., Saha, S., and Nain, A. (2017). Calibration & validation of Aquacrop model for wheat crop in Tarai region of Uttarakhand. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry; 6(5): 1442-1445

Perry, C., Steduto, P., & Karajeh, F. (2017). Does improved irrigation technology save water. FAO: Cairo, Egypt, 36-39.

Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., & Fereres, E. (2012). Reference Manual AquaCrop (Version 4.0). AquaCrop Website http://www. fao. org/nr/water/aquacrop. html.

Salokhe, Harmanto V. M., M. S. Babel, & H. J. (2005). Tantau Water Requirement of Drip Irrigated Tomatoes Grown in Greenhouse in Tropical Environment. Agricultural Water Management 71, 225 – 242.

Scott, C. A., Vicuña, S., Blanco-Gutiérrez, I., Meza, F.,

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 13, Dec.-Jan. 2019, p. 1410-1425

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۳، آذر - دی ۱۳۹۸، ص. ۱۴۲۵-۱۴۱۰

Assessment of Water Saving and Increasing Agriculture Water Productivity Policies in an Integrated Framework

L.GoliRaeisi[1], S.Morid[2]*, M.Delavar[3]

Recived: Oct.31, 2018 Accepted: Feb.27, 2019

Abstract

Water scarcity is a serious threat for the food security of Iran. Hence, different strategies are considered to save more water and increase water productivity. In this research work, some of the measures that are more pointed out in the country's high level plans are evaluated based on the concept of "real water savings" and water productivity as well as physical water productivity. The criteria that emphasize on actual evapotranspiration and distinction of water depletion from withdrawal. With this aim, the SWAT model was first applied for the required simulations. However, it was found some deficits in its field scale modeling. So, for some the management scenarios AquaCrop model was also used. The evaluated measures include: deficit irrigation (scenario 20, 40 and 50 percent), substitution of drip irrigation with surface irrigations and greenhouse cultivation. To show the methodology, the Marvdasht and Kharame subbasins- located in Fars province, are selected. The results showed that the deficit irrigation at its highest rate (i.e. 50%) saves water up to 12%. While, implementing drip irrigation led to increase 8.3% in water consumption. Similarly, greenhouse can result up to 24% reduction in evapotranspiration, which has the highest capacity for real water saving. Notably, the water productivity does not change significantly, while applying deficit irrigation and increasing irrigation efficiency. But, it is physical water productivity that increases that cannot be due decrease in water depletion. The modeling framework of this research was found suitable for the field and basin scales assessments. It considers various aspects of water balance and water productivity components. So, it is recommended to be considered for similar research works regarding water saving and water productivity policies.

Keywords: Water Productivity, Real Water Saving, SWAT, AquaCrop, Fars Province

1- MSc Graduated of Water Resources Engineering Department., Tarbiat Modares University
2- Prof. of Water Resources Engineering Department., Tarbiat Modares University
3- Assistant prof. Department., Tarbiat Modares University
Water Resources Engineering Department., College of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: morid_Sa@modares.ac.ir)