نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۲، مرداد - شهریور ۱۳۹۷، ص. ۶۲۳-۶۱۱

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 12, Agu.-Sep. 2018, p. 611-623

تدوین بنچ‌مارک کارآیی مصارف آب محصولات زراعی و باغی تحت استراتژی‌های مدیریتی مختلف در یک منطقه‌ی خشک

فهیمه شهسواری[۱]، فاطمه کاراندیش[۲*]، پرویز حقیقت‌جو[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۸

چکیده

بر اساس داده‌های موجود در یک بازه‌ی ۳۰ ساله، پتانسیل‌های صرفه‌جویی آب مصرفی در کشاورزی آبی در استان خوزستان بررسی شد. بدین منظور و بر اساس سیستم طبقه‌بندی فائو، کلیه‌ی محصولات زراعی و باغی به هشت گروه غلات، سبزیجات، حبوبات، دانه‌های روغنی، گیاهان قندی، گیاهان غده‌ای، آجیل و خشکبار و میوه‌ها تقسیم شدند. سپس، سناریوهای مدیریتی مختلف از تلفیق سه تاریخ کشت به‌هنگام (عرف منطقه)، زود و دیرهنگام، و سیستم‌های آبیاری فارو، بارانی و قطره‌ای و چهار سطح تامین نیاز آبیِ گیاه (۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد) تعریف شد. بهترین سناریو و الگوی کشت بر اساس شاخص‌های کارآیی مصرف آب و بهره‌وری آب آبیاری تعیین و سپس، مقادیرِ معادلِ این شاخص‌ها تحت سناریوهای منتخب، به‌عنوان مقادیر بنچ‌مارک در نظر گرفته شد. بالاترین مقادیر کارآیی مصرف آب برای گیاهان قندی، به دلیل دارا بودن عملکرد بالا و گیاهان غده‌ای، به دلیل دارا بودن نیاز آبی اندک و سبزیجات به دلیل نیاز آبی اندک و عملکرد بالا، بدست آمد. با وجود داشتن رتبه‌ی پنجم از منظر کارآیی مصرف آب، غلات، به دلیل داشتن سهمی فراتر از ۷۰ درصد در کل اراضی تحت کشت آبی، بزرگ‌ترین مصرف کننده‌ی آب در استان بودند. جایگزینی هر هکتار از سطوح آبی تحت کشت غلات با محصولات غده‌ای، به طور متوسط ۳/۸ هزار مترمکعب (۶۳ درصد) صرفه‌جویی در میزان آب خالص مصرفی به وسیله‌ی گیاه را به همراه خواهد داشت. تغییر سیستم آبیاری از حالت سطحی به قطره‌ای در مزارع تحت کشت محصولات قندی، حبوبات و دانه‌های روغنی، میزان کارآیی مصرف آب را افزایش داد، در حالی‌که این جایگزینی باعث کاهش میزان تولید به ازای واحد آب مصرفی در سایر گروه‌های گیاهان خواهد شد. اعمال ۱۵ درصد تنش رطوبتی به دلیل حفظ نیاز آبی در حد مطلوب و تنها ۸/۳-۱/۴ درصد کاهش در عملکرد گیاه، تغییر اندکی در میزان کارآیی مصرف آب را منتج خواهد شد. افزایش سطح تنش به ۳۰ درصد، منتج به حداکثر ۵/۶ درصد کاهش در میزان تولید به ازای واحد آب خالص مصرفی خواهد شد. صرف‌نظر از نوع سیستم آبیاری و سطح تنش، کشت‌های زودهنگام، به دلیل کاهش نیاز آبی گیاه تا ۲۰ درصد، میزان کارآیی مصرف آب را افزایش خواهد داد. به این ترتیب، اعمال تنش ملایم رطوبتی و تعدیل تقویم کشت و همچنین، اولویت‌بندی کشت محصولات زراعی و باغی بر اساس مقادیرِ کارآیی مصرف آب آن‌ها، می‌تواند به عنوان سناریوهای مدیریتی مطلوب در کاهش فشار بر منابع آب آبی استان خوزستان محسوب شود.

واژه‌های کلیدی: آب آبی، بهره‌وری آب آبیاری، تقویم کشت، خوزستان، سیستم‌های آبیاری تحت فشار، کم‌آبیاری، AquaCrop

مقدمه

در طول دهه‌های گذشته، رشد روز افزون جمعیت و متعاقبا افزایش تقاضای غذا منتج به تغییر کاربری اراضی و چرخه‌ی هیدرولوژیکی آب در کشورهای مختلف جهان شده است (Liu et al., 2012). نگاهی به آمارهای بین‌المللی نشان می‌دهد که در حال حاضر، معضل کمبود آب بر اساس شاخص‌های استاندارد موجود، در بسیاری از کشورهای جهان مشهود است (Bouwer et al., 2000; Arnell., 1999). کشاورزی، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، اغلب بیش‌ترین سهم را در اعمال فشار بر منابع آبی محدود دارد. این مساله به ویژه در کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان، که بخش اعظم تولید در آن‌ها متکی به کشاورزی آبی است، از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. در طول سال‌های گذشته و همگام با افزایش جمعیت در این کشورها و با شدت یافتن انگیزه‌ی افزایش تولید به ازای واحد سطح، افزایش چشم‌گیری در سطوح تحت کشت آبی ایجاد شد (Karandish and Hoekstra., 2017). در حال حاضر، نیاز آبی گیاهان در ۱۸ درصد از کل اراضی تحت کشت جهان از طریق آبیاری تامین می‌شود. این در حالی است که این اراضی، با مصرف ۷۰ درصد

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل
۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل
(*- نویسنده‌ی مسئول: Email: Karandish_h@yahoo.com)

از آب ناخالص استحصال شده و ۹۲ درصد از آب آبی خالص استخراج شده، ۴۰ درصد از کل محصولات کشاورزی جهان را تولید می‌کنند (Hoekstra and Mekonnen., 2012; De Werachien and Goli., 2015). به این ترتیب، آبیاری می‌تواند به‌عنوان راهکاری برای مقابله با گرسنگی در جهان در نظر گرفته شود. با این وجود و علی‌رغم اهمیت مساله‌ی امنیت غذایی در شرایط فعلی و نیاز به افزایش تولید در آینده‌ی نزدیک به دلیل روند صعودی افزایش جمعیت و گسترش فعالیت‌های اقتصادی – اجتماعی بشر، ادامه‌ی روند فعلی تهدیدی جدی برای پایداری کشاورزی محسوب می‌شود. گسترش سطوح تحت کشت آبی، علاوه بر اعمال فشار مضاعف بر منابع آبی محدود، سلامت محیط زیست را نیز در نتیجه‌ی آلوده شدن منابع آبی تحت فعالیت‌های زراعی نادرست و برداشت‌های غیرمجاز از منابع آب سطحی و زیرزمینی به مخاطره می‌اندازد (Haverkort *et al*., 2003; Daudén *et al*., 2004; Alva *et al*., 2006; Barton *et al*., 2006; Hutton *et al*., 2008; Wei *et al*., 2009; Gheysari *et al*., 2009; Jia *et al*., 2014). از این رو، محققان همواره با هدف دست‌یابی به کشاورزی پایدار در جهان، تلاش نموده‌اند تا راهکارهای مناسبی را برای حفظ هم‌زمان امنیت غذایی و آبی در یک منطقه ارایه نمایند.

از گذشته تاکنون، تلاش‌های بسیاری با هدف مذکور صورت گرفته و سطح موفقیت روش‌های ارایه شده، بر اساس شاخص‌های متعددی ارزیابی شده است. یکی از شاخص‌های پرکاربردی که توسط محققان متعددی در تحلیل راهکارهای پیشنهادی برای مدیریت آب در سطح مزرعه اتخاذ شده است، شاخص کارآیی مصرف آب می‌باشد (Ehsani and Khaledi., 2003). این شاخص، میزان محصول تولیدی به ازای واحد آب مصرفی به وسیله‌ی گیاه را نشان داده، و مقادیر بالاتر آن، به معنای استفاده‌ی کارآمدتر از آب در سطح مزرعه خواهد بود. از میان روش‌های متعددی که با هدف ارتقای کارآیی مصرف آب ارایه شده است، می‌توان به روش‌های آبیاری صرفه‌جو، هم‌چون روش‌های کم‌آبیاری و سیستم‌های آبیاری نوین اشاره نمود. در روش‌های متعدد کم‌آبیاری، گیاه، آبی کم‌تر از نیاز واقعی خود در طول فصل کشت دریافت نموده و سطح کاهش آب آبیاری باید به گونه‌ای تنظیم شود که کاهش معنی‌داری در میزان عملکرد محصول رخ ندهد (Stone., 2003; Klocke et al., 2004; Karandish and Šimůnek., 2016). در روش‌های آبیاری نوین هم‌چون سیستم‌های تحت فشار، تلاش بر آن است تا بخش غیرمفید آب، که به صورت تلفات از دسترس گیاه خارج می‌شود، کاهش یافته و میزان تولید به ازای واحد آب مصرفی در سطح مزرعه افزایش یابد (Allen et al., 2005; Ali and Talukder., 2008). علاوه بر روش‌های مذکور، فعالیت‌های مدیریتی و زراعتی مختلف، هم‌چون تنظیم تقویم کشت، مالچ‌پاشی، استفاده از ارقام گیاهی زودرس و دارای بهره‌وری محصول بالا و بسیاری از روش‌های دیگر نیز می‌تواند از جمله‌ی روش‌های کارآمد در کاهش حجم آب مصرفی در طول فصل رشد گیاه محسوب شده و کارآیی مصرف آب را افزایش دهد. با این وجود، توصیه‌ی اتخاذ این روش‌ها در سطوح وسیع بدون تحلیل آثار محتمل کاربرد آن‌ها و تایید تناسب آن‌ها برای منطقه‌ی مورد نظر، می‌تواند خسارت‌های اقتصادی و زیست‌محیطی جبران‌ناپذیری را به همراه داشته باشد.

انجام پژوهش‌های مزرعه‌ای با هدف یافتن سطوح مطلوب کارآیی مصرف آب برای محصولات زراعی مختلف، علاوه بر صرف زمان و هزینه‌ی زیاد، محقق را مجبور به محدود نمودن سناریوهای مدیریتی پیشنهادی به دلیل محدودیت امکانات موجود نموده و از این‌رو، میزان عدم قطعیت نتایج را افزایش می‌دهد. این در حالی است که استفاده از مدل‌های ریاضی، علاوه بر صرف زمان و هزینه‌ی محدودتر، دامنه‌ی آزمایش را افزایش داده و احتمال دست‌یابی به جواب‌های واقعی‌تر را می‌افزاید. از این رو، مدل‌های بسیاری توسعه داده شده که از میان آن‌ها، مدل گیاهی AquaCrop، از مدل‌های کارآمد در تحلیل پاسخ‌های گیاهی از منظر تولید و حجم آب مصرفی به استرس‌های محیطی و سناریوهای مدیریتی مختلف بوده که توسط سازمان خواروبار جهانی (فائو) ارایه شده است (Doorenbos and Kassam., 1979). این مدل به خوبی قادر به شبیه‌سازی مراحل رشد گیاه را به صورت تابعی از وضعیت رطوبتی خاک شبیه‌سازی نموده و قابلیت کاربرد آن برای دامنه‌ی وسیعی از گیاهان هم‌چون ذرت (Heng et al., 2009; Hisao et al., 2009)، آفتابگردان (Todorovic et al., 2009) و غلات (Rezaverdinejad et al., 2014) به اثبات رسیده است. سهولت به‌کارگیری مدل توسط کاربر، داده‌های اندک مورد نیاز به عنوان ورودی مدل، عدم پیچیدگی فرآیندهای واسنجی و صحت‌سنجی مدل و هم‌چنین، دقت مقبول نتایج، سبب کاربرد وسیع این مدل در مقایسه با دیگر مدل‌های گیاهی موجود شده است (Farahani et al., 2009; Geerts et al., 2009; Heng et al., 2009; Greaves and Wang., 2016). بنابراین در پژوهش حاصر نیز از این مدل در تحلیل سناریوهای پیشنهادی استفاده شد.

تحلیل سناریوهای مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی، در کشورهای در حال توسعه و کم‌آبی هم‌چون ایران، از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. ایران، دومین کشور پهناور در خاورمیانه بوده و با داشتن میانگین بارندگی ۲۲۸ میلی‌متر در سال (FAO., 2017)، در زمره‌ی کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد. در طول ۲۰ سال گذشته، سرانه‌ی آب تجدیدپذیر در کشور، با ۲۹/۱ درصد کاهش، به ۱۷۳۲ مترمکعب در سال ۲۰۱۴ رسیده که این مقدار، بسیار کم‌تر از میانگین جهانی آن (۷۰۰۰ مترمکعب در سال) (AQUASTAT., 2017). بر اساس آمار منتشر شده توسط سازمان خواروبار جهانی

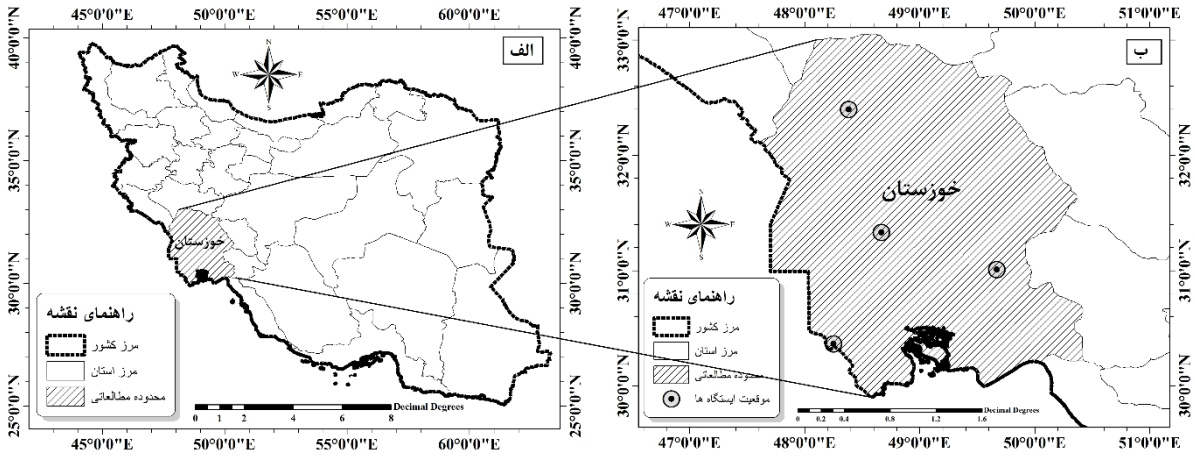
(فائو)، در سال ۲۰۱۰ بیش از ۹۰ درصد از منابع آب تجدیدپذیر به بخش کشاورزی اختصاص یافته و بخش‌های صنعت و شرب، کم‌تر از ۱۰ درصد از این منابع را به خود اختصاص دادند. بنابراین، مدیریت آب در این بخش می‌تواند سهم بسزایی در کاهش بحران فعلی آب در کشور داشته باشد. نگاهی به آمارهای ملی و بین‌المللی نشان می‌دهد که سه استان خوزستان، خراسان رضوی و گلستان، رتبه‌های یک تا سه در تولید محصولات زراعی در کشور را به خود اختصاص می‌دهند. این استان‌ها علاوه بر تامین نیازهای درونی، بخش اعظم نیاز غذایی در کشور را نیز تامین می‌کنند. استان خوزستان، بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، در زمره‌ی نواحی اقلیمی خشک کشور قرار دارند (Karandish and Hoekstra., 2017). به همین دلیل، عدم اتخاذ تدابیر مدیریتی بهینه در کنترل مصرف آب در بخش کشاورزی در این استان می‌تواند تهدیدی جدی برای پایداری منابع آب در این استان محسوب شود. به همین دلیل در پژوهش حاضر، ضمن تحلیل وضعیت فعلی از دیدگاه مصرف آب در تولید محصولات زراعی و باغی و درآمدهای اقتصادی، به تدوین و تحلیل سناریوهای مدیریتی محتمل با هدف افزایش تولید و درآمد اقتصادی به ازای واحد آب مصرفی در استان خوزستان پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

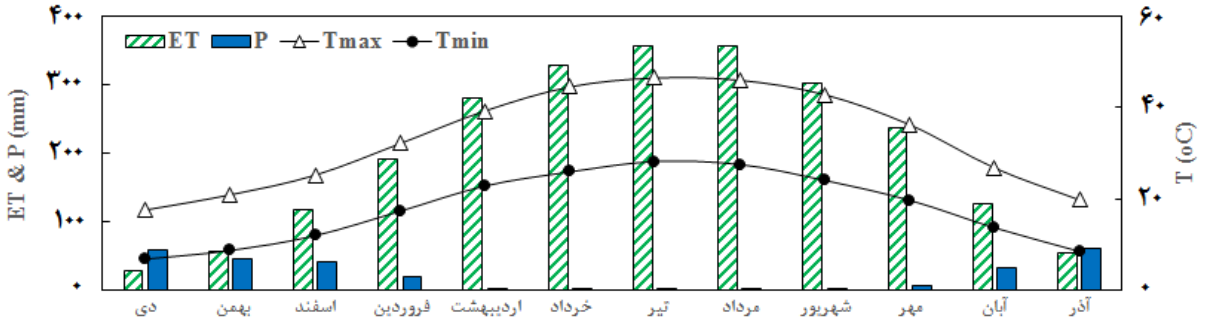
معرفی منطقه‌ی مطالعاتی

محدوده‌ی پژوهش، استان خوزستان، به‌عنوان دارنده‌ی رتبه‌ی اول در تولید محصولات زراعی در ایران، انتخاب شد. کلیه‌ی محصولات زراعی و باغی منتخب به هشت گروه مشتمل بر غلات (گندم، جو، برنج، ذرت)، حبوبات (لوبیا، عدس، نخود)، سبزیجات (گوجه‌فرنگی و پیاز)، محصولات غده‌ای (سیب‌زمینی)، دانه‌های روغنی (کلزا و کنجد)، گیاهان قندی (نیشکر و چغندرقند)، میوه‌ها (سیب، مرکبات، خرما و انگور) و خشکبار (بادام، فندق، پسته) تقسیم شدند. آمار بلندمدت سطح زیرکشت، عملکرد محصول، تقویم کشت و سایر فعالیت‌های زراعی برای تمام محصولات منتخب در سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۶۰ از سازمان جهاد کشاورزی تهیه شد. آمار هواشناسی در مقیاس روزانه و در بازه‌ی زمانی مذکور در سه ایستگاه سینوپتیک با نام‌های آبادان، اهواز و دزفول تهیه شد. مقادیر نیاز آبی پتانسیل، بر اساس روش فائو – پنمن مانتیث و با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT در ایستگاه‌های منتخب برآورد گردید. بر اساس آمار بلندمدت ۳۰ ساله، مجموع بارش و تبخیر – تعرق پتانسیل ماهانه و میانگین دمای حداقل و حداکثر ماهانه در ایستگاه‌های منتخب در محدوده‌ی پژوهش در شکل ۲ ارایه شد.

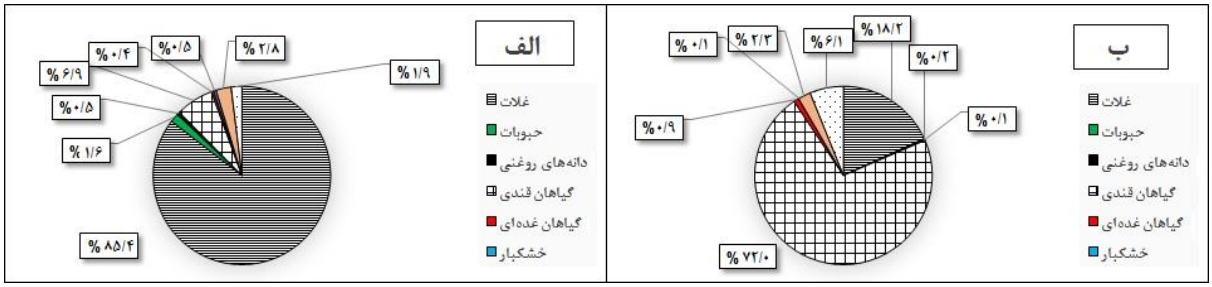
استان خوزستان، با داشتن ۸/۵ درصد از کل سطح زیرکشت محصولات زراعی کشور، سالانه ۱۴/۲ درصد از کل تولیدات کشاورزی در ایران را تامین می‌کند. بر اساس آمار منتشر شده از سوی سازمان جهاد کشاورزی، مجموع سطوح زیرکشت محصولات زراعی در این استان در سال ۱۳۹۰ بالغ بر ۱/۱۵ میلیون هکتار بوده که منتهی به تولید ۱۰/۵ میلیون تن محصول شده است. بر اساس آمار ۳۰ ساله در حدفاصل سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۶۰، غلات با داشتن ۸۵/۴ درصد از کل سطح زیرکشت (۴۱ درصد دیم)، بیش‌ترین سطح زیرکشت را به خود اختصاص داده است (شکل ۲). گیاهان قندی، با داشتن ۶/۹ درصد از کل سطح زیرکشت در این استان، رتبه‌ی دوم را پس از غلات به خود اختصاص داده و گیاهان غده‌ای و دانه‌های روغنی، هریک با داشتن سطحی کم‌تر از یک درصد از کل سطوح تحت کشت، رتبه‌ی آخر را از این منظر داراست. این در حالی است که عملکرد پایین غلات منتج به سهم کم‌تر آن‌ها (۱۸/۲ درصد) در کل تولید استان در مقایسه با سهم گیاهان قندی (۷۲ درصد) شد.



شکل ۱- موقعیت استان خوزستان در ایران (الف) و ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در استان خوزستان (ب)



شکل ۲- میانگین بلند مدت مجموع بارش، مجموع تبخیر - تعرق و میانگین دمای حداقل و حداکثر ماهانه در محدوده‌ی پژوهش



شکل ۳- سهم گروه‌های مختلف محصول در سطح زیرکشت (الف) و مجموع تولید محصولات کشاورزی (ب) در استان خوزستان

تخمین کارآیی مصرف آب در سناریوهای منتخب

تخمینِ شاخص‌های کارآیی مصرفِ آب و بهره‌وری آب آبیاری در هریک از سناریوهای مورد بررسی آب با استفاده از روابط ۱ و ۲ صورت گرفت.

$$WUE = \frac{Y}{ET} \quad (۱)$$

$$WP = \frac{Y}{I} \quad (۲)$$

در این روابط، WUE کارآیی مصرف آب ($m^3\ t^{-1}$)، WP بهره‌وری آب آبیاری ($m^3\ t^{-1}$)، Y عملکرد محصول ($t\ ha^{-1}$)، ET نیاز آبی گیاه در طول فصل رشد ($m^3\ y^{-1}$) و I حجم آب آبیاری در طول فصل کشت ($m^3\ y^{-1}$) می‌باشد. مقادیرِ عملکرد محصول، عمق آب آبیاری و نیاز آبی گیاه در سناریوی پایه (شرایط فعلی) موجود بود، لکن این مقادیر در سناریوهای تعریف شده با استفاده از مدل AquaCrop بدست آمد. کاراندیش و هوکسترا (۲۰۱۷) این مدل را بر اساس آمار بلندمدت عملکرد محصول، برای تمامی محصول کشت شده در استان‌های ۳۰ گانه‌ی کشور واسنجی و صحت‌سنجی نمودند. بنابراین، برای اطمینان از صحت نتایج مدل، در ورود اطلاعات مربوط به پارامترهای مورد نیاز، از نتایج پژوهش ایشان استفاده شد.

اساس استخراج مدل AquaCrop، معادله ارایه شده توسط دورنبوس وکسام در نشریه‌ی شماره‌ی ۳۳ فائو به شرح رابطه ۳ می‌باشد (Doorenbos and Kassam, 1979).

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x}\right) = K_y \left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right) \quad (۳)$$

در این معادله، Y_x بیش‌ترین عملکرد مورد انتظار از یک گیاه در شرایط مطلوب مدیریتی، Y_a عملکردواقعی، ET_x تبخیر - تعرق حداکثر، ET_a تبخیر و تعرق واقعی و K_Y حساسیت گیاه به کم‌آبی می‌باشد. یکی از مزایای نسبی مدل AquaCrop در مقایسه با سایر مدل‌های گیاهی، مجزا کردن تبخیر و تعرق از یکدیگر است که باعث می‌شود تا بخش غیرموثر آب آبیاری و یا بارندگی در تولید محصول در نظر گرفته نشود. این موضوع به‌ویژه زمانی‌که هنوز پوشش‌گیاهی تکمیل نشده، از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. علاوه بر محاسبه‌ی اجزای بیلان آب، میزان زیست توده‌ی گیاهی نیز در مقیاس روزانه با استفاده از رابطه‌ی ۴ محاسبه می‌شود (FAO., 33):

$$B_i = WP^* \left(\frac{Tr_i}{ET_{o,i}}\right) \quad (۴)$$

که در آن، WP شاخص بهره‌وری آب، Tr_i تعرق روزانه، $ET_{o,i}$ تبخیر - تعرق روزانه می‌باشد. داده‌های ورودی به این مدل در سه بخش داده‌های اقلیمی، داده‌های گیاهی و داده‌های مدیریتی وارد مدل شد. سپس، مقادیر عملکرد، نیاز آبی و نیاز آبیاری در هریک از سناریوهای منتخب محاسبه و در نهایت، مقادیر کارآیی مصرف آب و بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری بر اساس روابط ۱ و ۲ محاسبه شد.

تدوین سناریوهای مدیریتی

به منظور تعیین بنچمارک کارآیی مصرف آب برای محصولات زراعی منتخب در منطقه، سه استراتژی شامل روش آبیاری، عمق آب آبیاری و تقویم کشت به عنوان روش‌های سازگاری با روند کاهشی

حجم منابع آبی در استان خوزستان انتخاب شد. روش‌های آبیاری شامل روش‌های آبیاری فارو، بارانی و قطره‌ای بود. در اختصاص عمق آب آبیاری، سه شیوه‌ی آبیاری کامل، کم‌آبیاری با تامین ۸۵، ۷۰، ۵۵ درصد از نیاز آبی گیاه انتخاب شد. در تعیین تقویم کشت، کشت بهنگام مطابق با عرف منطقه، کشت زودهنگام (دو هفته زودتر از عرف) و کشت دیرهنگام (دو هفته دیرتر از عرف) انتخاب شد. برای هریک از سناریوها و برای تمامی محصولات منتخب در هر یک از سال‌ها (۳۰ سال منتخب در حد فاصل سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۶۰)، دو شاخص کارآیی مصرف آب و بهره‌وری آب آبیاری محاسبه و میانگین سی ساله‌ی این شاخص‌ها تعیین شد. سپس، بهترین سناریو برای هر گروه محصول تعیین و در نهایت، به اولویت‌بندی الگوی کشت در محدوده‌ی پژوهش بر اساس شاخص‌های مذکور در سناریوهای منتخب پرداخته شد.

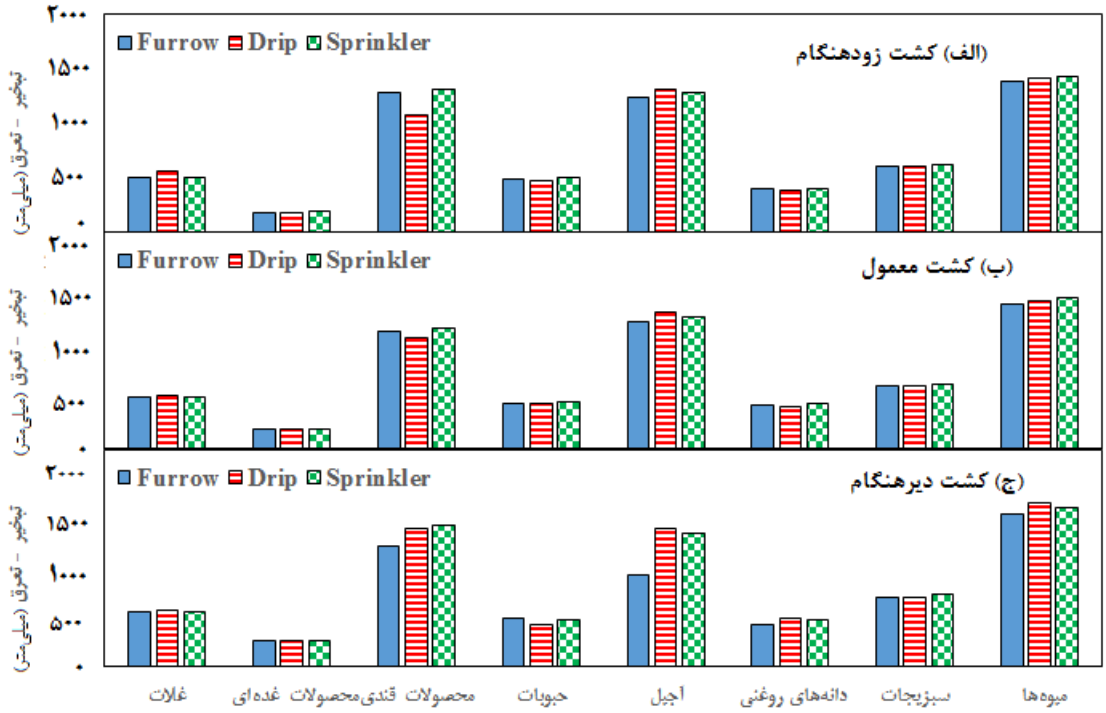
نتایج و بحث

آب مصرفی در طول فصل رشد گیاه

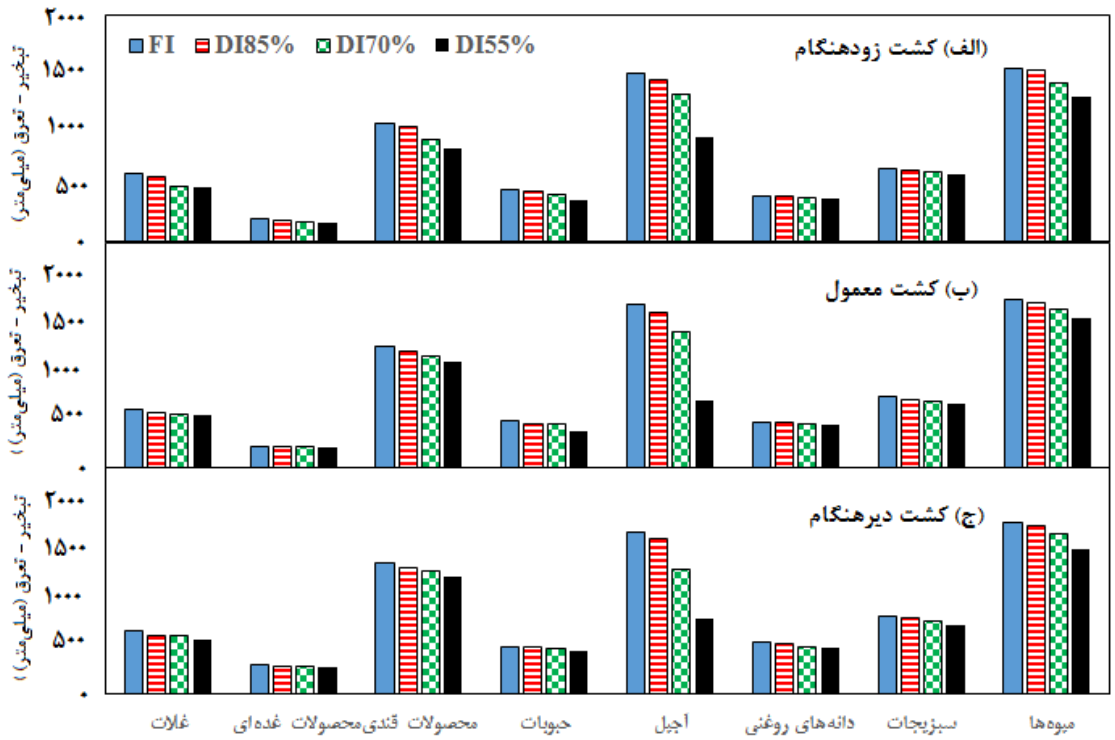
صرف‌نظر از نوع سناریوی مدیریتی، میوه‌ها اغلب دارای بیش‌ترین نیاز آبی (۱۷۳۰-۱۲۶۰ میلی‌متر در سال) در بین محصولات مورد بررسی بوده و محصولات قندی، با داشتن نیاز آبی در محدوده‌ی ۱۴۹۶-۸۲۱ میلی‌متر در سال، در رتبه‌ی دوم قرار داشتند (شکل‌های ۴ و ۵). محصولات غده‌ای را می‌توان کم‌مصرف‌ترین گروه محصول، از منظر نیاز آبی دانست. کاراندیش و همکاران (Karandish et al., 2015) و کاراندیش و هوکسترا (Karandish and Hoekstra., 2017) نیز طی پژوهش‌هایی در کشور ایران، گیاهان این گروه را گیاهانی با نیاز آبی پایین معرفی نمودند. لکن، با وجود داشتن نیاز آبی خالص پایین‌تر از گروه میوه‌ها و محصولات قندی، سطح زیرکشت بالای غلات، آن‌ها را به بزرگ‌ترین مصرف‌کننده‌ی آب آبی در منطقه تبدیل نموده است. بر اساس آمار جهاد کشاورزی در سال ۲۰۱۰، مجموع سطح زیرکشت غلات ۵۰۷ هزار هکتار بوده و بیش از ۷۰ درصد از کل آب خالص مصرفی در مزراع محصولات منتخب را به خود اختصاص داده است.

اگرچه اعمال سیستم‌های آبیاری تحت فشار، علاوه بر کاهش هزینه‌های مزرعه، کاهش تلفات ناشی از تبخیر و یا نفوذ عمقی آب به دلیل راندمان آبیاری بالاتر را به همراه خواهد داشت، لکن نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که به استثنای محصولات قندی و دانه‌های روغنی، اعمال روش آبیاری قطره‌ای نیاز آبی خالص گیاه را افزایش داده است. با بیانی دیگر، کاهش فواصل آبیاری و حفظ رطوبت در محدوده‌ی ریشه‌ی گیاه در حد مطلوب، توانایی ریشه را در جذب آب از خاک افزایش داده و علی‌رغم کاهش تبخیر از سطح خاک، میزان تعرق را افزایش می‌دهد. احمدزاده و همکاران (Ahmadzadeh et al., 2016) نیز طی پژوهشی در حوضه‌ی آبریز زرینه‌رود بیان داشتند که تغییر سیستم آبیاری از سطحی به تحت فشار، علی‌رغم افزایش اندک محصول، میزان تبخیر - تعرق واقعی گیاه را تاحدی افزایش می‌دهد. آن‌ها بیان داشتند که چنین تغییری می‌تواند حتی افت آب زیرزمینی را به شدت افزایش دهد. با این وجود، اعمال تنش رطوبتی اثر قابل توجهی بر تغییر نیاز آبی گیاه داشت. اعمال تنش رطوبتی در سطح ۱۵ درصد، قادر خواهد بود تا میزان نیاز آبی گیاه را در حد مطلوب حفظ نموده و حداکثر تا ۷/۶ درصد از میزان آن در مقایسه با آبیاری کامل بکاهد. این در حالی است که افزایش سطح تنش به ۳۰ درصد، بین ۲۳-۴ درصد کاهش در نیاز آبی خالص را به همراه داشته، و میزان این کاهش در شرایط تامین ۵۵ درصد از نیاز آبی گیاه، تا ۶۰ درصد نیز قابل انتظار خواهد بود. حفظ نیاز آبی در حد مطلوب در شرایط تنش، متضمن پیش‌گیری از مواجهه‌ی زارعان با خسارات اقتصادی خواهد بود (Stone, 2003; Klocke et al., 2004; Karandish and Šimůnek, 2016). بسیاری از محققان پیشین بیان داشتند که شدت اثرات منفی کم‌آبیاری در کاهش محصول به طور مستقیم و معنی‌داری با حد تاثیر آن بر نیاز آبی گیاه در ارتباط است (Payero et al., 2006; Klocke et al., 2004; Stone, 2003). دانه‌های روغنی نگاهی به نتایج ارایه شده در شکل‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهد که کشت زودهنگام، می‌تواند اغلب به عنوان روشی برای کاهش آب مصرفی در کشاورزی آبی در نظر گرفته شود. دو هفته کشت زودتر گیاهان منتخب تحت سیستم‌های آبیاری فارو، قطره‌ای و بارانی، مقادیر نیاز آبی خالص را به ترتیب ۱۵/۳-۷/۷، ۱۶/۰-۱/۶، ۱۷/۰-۷/۷ درصد کاهش می‌دهد. این در حالی است که تعویق کشت در سیستم‌های مذکور، به ترتیب ۳۰/۵-۱/۹، ۲۵/۳-۱/۲ و ۲۸/۵-۳/۹ درصد افزایش در آب خالص مصرفی در این اراضی را به همراه خواهد داشت. بدیهی است که با لحاظ راندمان‌های آبیاری تحت سیستم‌های مذکور، میزان آب ناخالص صرفه‌جویی شده تحت این شرایط بسیار بیش‌تر بوده و تلفات آبیاری به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. کشت زودهنگام تحت کم‌آبیاری نیز می‌تواند بین ۰/۳ (حبوبات تحت ۱۵ درصد تنش رطوبتی) تا ۲۴/۵ (محصولات قندی تحت ۴۵ درصد تنش رطوبتی) درصد از نیاز آبی خالص گیاهان بکاهد. این تاثیر در سطوح بالاتر تنش، مشهودتر است. هم‌چنین، تعویق کشت می‌تواند اثرات مثبت روش‌های کم‌آبیاری در کاهش حجم آب ناخالص مصرفی در کشاورزی آبی را کاهش داده و منتج به ۳۵/۸-۰/۴ درصد افزایش در نیاز آبی خالص گیاه شود. عدم تطبیق تقویم کشت با شرایط اقلیمی و محیطی منطقه، علاوه بر اتلاف آب، تلفات اقتصادی زیادی را نیز به همراه خواهد داشت؛ زیرا کلیه‌ی فعالیت‌های کشاورزی و مدیریتی دیگر در سطح مزرعه اغلب بر اساس تقویم کشت تنظیم می‌شود (Karandish et al., 2017; Yegbemey et al., 2014). به عنوان مثال، کشت دیرهنگام می-

تواند حجوم آفات و بیماری‌ها را افزایش داده (Akowuah et al., 2015) و یا از کیفیت محصول بکاهد (Kaaya and Gaile., 2010; Kyamuhangire., 2006).



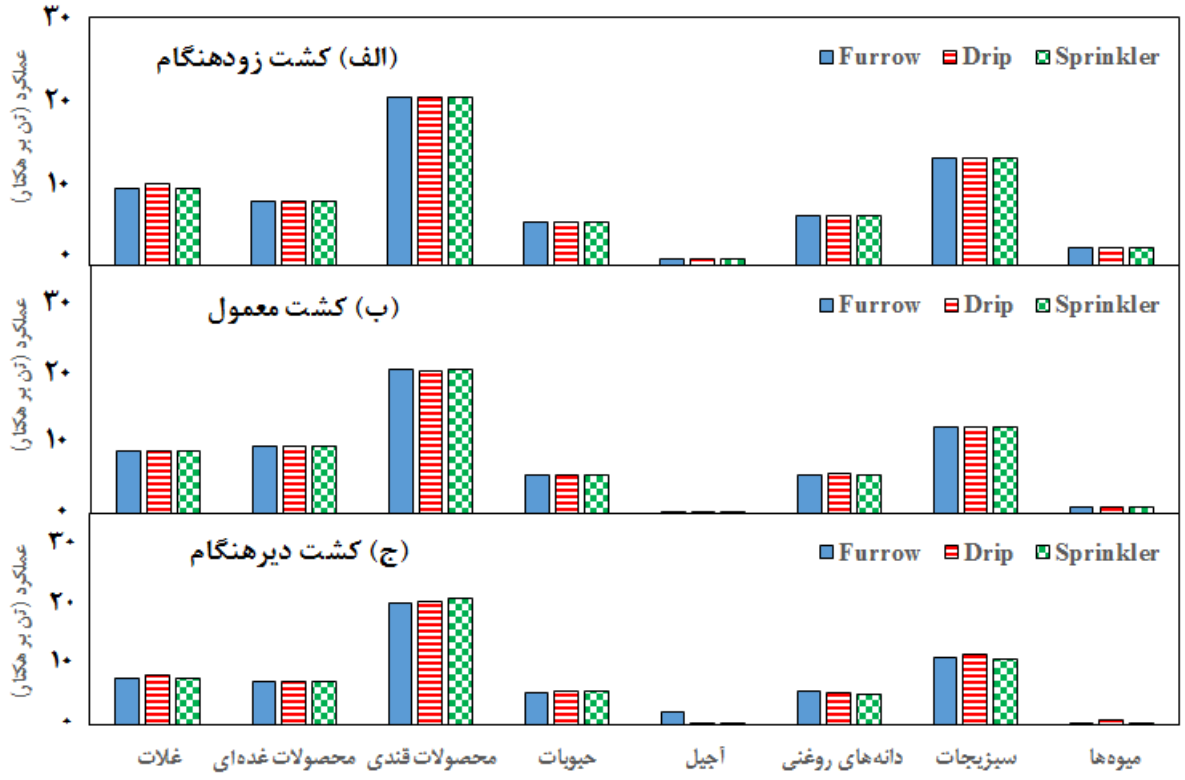
شکل ٤- نیاز آبی خالص گروه‌های مختلف محصول در طول فصل رشد گیاه تحت سیستم‌های مختلف آبیاری و تقویم‌های مختلف کشت



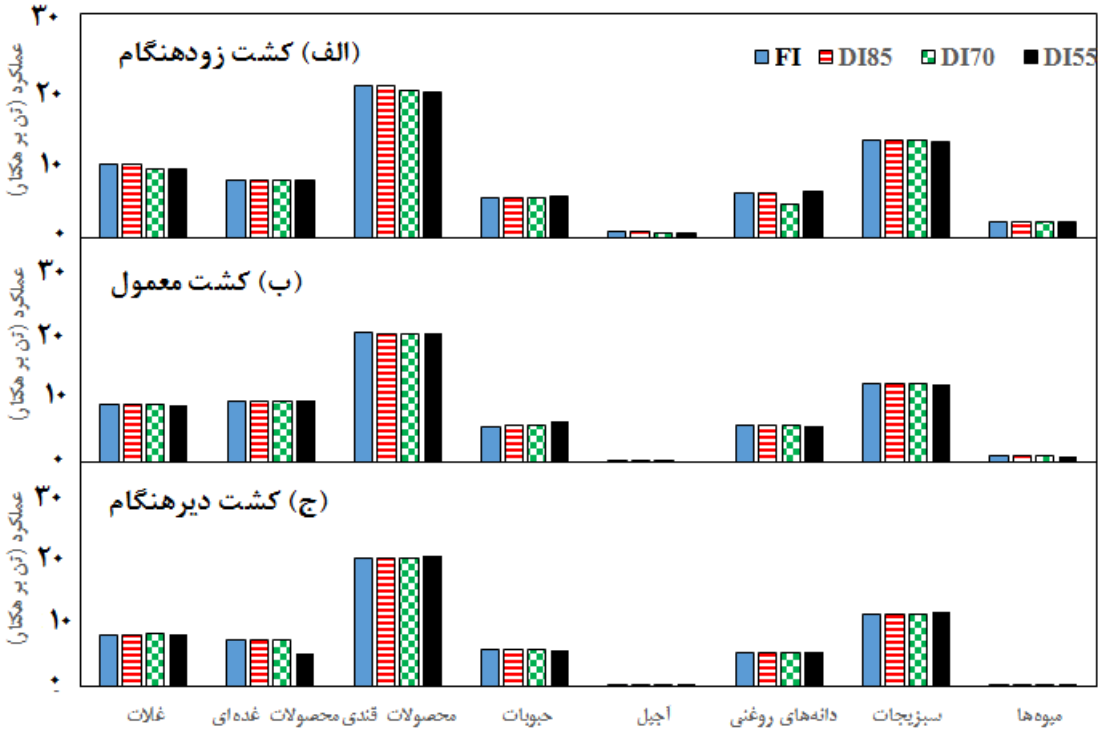
شکل ٥- نیاز آبی خالص گروه‌های مختلف محصول در طول فصل رشد گیاه تحت سناریوهای کم‌آبیاری و تقویم‌های مختلف کشت

عملکرد محصول

شکل‌های ۶ و ۷، به ترتیب تاثیر سیستم‌های آبیاری و سطوح مختلف تنش رطوبتی بر میزان عملکرد محصول را نشان می‌دهد. به استثنای برخی موارد محدود، تغییر سیستم آبیاری تاثیر قابل توجهی بر تغییر میزان عملکرد محصول نداشت. این در حالی است که کم-آبیاری، اغلب منتج به کاهش محصول شده است. همگام با حفظ جذب آب به وسیله‌ی ریشه در حد مطلوب، اعمال تنش در سطح ۱۵ درصد، تنها ۸/۳-۱/۴ درصد از میزان عملکرد محصول خواهد کاست. این کاهش در کشت‌های زودهنگام بیش‌تر از کشت‌های معمول و دیرهنگام خواهد بود. بر اساس آمار سطوح تحت کشت آبی در سال ۱۳۸۹، تامین ۸۵ درصد از نیاز آبی گیاه، مجموع تولید در استان خوزستان را در تاریخ کشت معمول در منطقه، از ۲/۶ به ۲/۵ میلیون تن (۵/۲ درصد) کاهش می‌دهد. لکن در کشت‌های زود و دیرهنگام، این کاهش به ترتیب ۶/۸ و ۳/۶ درصد خواهد بود. چنان‌چه تا ۱۶ درصد کاهش در میزان محصول و خسارات اقتصادی متعاقب آن برای زارع قابل پذیرش باشد، تا ۳۰ درصد تنش رطوبتی در کشت محصولات منتخب نیز قابل اعمال خواهد بود. لکن افزایش سطح تنش به ۴۵ درصد، کاهش قابل توجهی در میزان عملکرد محصول ایجاد نموده و بر اساس آمار سال ۱۳۸۹، تا ۴۰ درصد کاهش در مجموع تولید در مزارع تحت کشت آبی را به همراه خواهد داشت. تاثیر منفی کم‌آبیاری بر کاهش محصول و اهمیت سطح تنش در پیش‌گیری از خسارات اقتصادی شدید در این استراتژی آبیاری توسط دیگر محققان نیز به اثبات رسیده است (Karandish and Šimůnek., 2016; Bozkurt et al., 2006; Boz., 2001; Yazar., 2009). کاهش رطوبت خاک و عدم دسترسی ریشه به آب مورد نیاز، به تدریج از قابلیت جذب آب به وسیله‌ی ریشه کاسته و هدایت هیدرولیکی آن را کاهش می‌دهد (North and Nobel., 1991). همگام با کاهش معنی‌دار جذب آب در شرایط تنش شدید رطوبتی، شدت فتوسنتز نیز کاهش یافته (Gianquinto et al., 2003; Rodriguez and Grady., 2000) و در نهایت باعثِ کاهش محصول می‌شود.



شکل ٦- عملکرد گیاه در گروه‌های مختلف محصول در طول فصل رشد گیاه تحت سیستم‌های مختلف آبیاری و تقویم‌های مختلف کشت



شکل ۷- عملکرد گیاه در گروه‌های مختلف محصول در طول فصل رشد گیاه تحت سناریوهای کم‌آبیاری و تقویم‌های مختلف کشت

تدوین بنچ‌مارک کارآیی مصرف آب

جدول ۱ مقادیر کارآیی مصرف آب تحت سیستم‌های مختلف آبیاری و سطوح مختلف تنش رطوبتی در کشت محصولات مختلف را نشان می‌دهد. صرف‌نظر از نوع سناریوی منتخب، محصولات غده‌ای و قندی، به ترتیب به دلایل داشتن نیاز آبی اندک و بهره‌وری بالای محصول، اغلب بیش‌ترین میزان کارآیی مصرف آب را در میان محصولات مختلف داشتنه و سبزیجات در رتبه‌ی بعدی قرار داشت. مطابق با پژوهش‌های پیشین (Karandish et al., 2015; Karandish and Hoekstra., 2017)، حبوبات و دانه‌های روغنی به دلیل داشتن نیاز آبی بالا و بهره‌وری پایین محصول، اغلب کم‌ترین کارآیی مصرف آب را داشتند. با این وجود، غلات علی‌رغم داشتن مقادیر بالاتر کارآیی مصرف آب در مقایسه با حبوبات و دانه‌های روغنی، به دلیل داشتن بیش‌ترین سطح زیرکشت در استان، فشار بیش‌تری بر منابع آب آبی وارد می‌کند. جایگزینی هر هکتار از سطوح آبی تحت کشت غلات با محصولات غده‌ای، به طور متوسط ۳/۸ هزار مترمکعب (۶۳ درصد) صرفه‌جویی در میزان آب خالص مصرفی به وسیله‌ی گیاه را به همراه خواهد داشت. این در حالی است که جایگزینی یک هکتار از سطح تحت کشت غلات با محصولات قندی، به دلیل بهره‌وری بالای محصول، حجم آب خالص مصرفی را تا ۶ هزار مترمکعب در هر هکتار افزایش می‌دهد. با این وجود، ۳۷ برابر تولید بیش‌تر در یک هکتار مزارع تحت کشت محصولات قندی در مقایسه با غلات می‌تواند این افزایش آب مصرفی را توجیه کند.

جدول ۱ نشان می‌دهد که تغییر سیستم آبیاری از حالت سطحی به قطره‌ای در مزارع تحت کشت محصولات قندی، حبوبات و دانه-های روغنی، میزان کارآیی مصرف آب را افزایش داده و در سایر گروه‌های گیاهان، باعث کاهش میزان تولید به ازای واحد آب مصرفی خواهد شد. این در حالی است که جایگزینی سیستم‌های آبیاری سطحی با بارانی، به دلیل بالا بودن میزان تبخیر و هم‌چنین افزایش قابلیت جذب آب به وسیله‌ی ریشه به دلیل موجودیت مطلوب آب در محدوده‌ی ریشه در دورهای کوتاه‌تر آبیاری، اغلب با کاهش کارآیی مصرف آب خالص به همراه خواهد بود. با این وجود، بر اساس شاخص بهره‌وری آب آبیاری، اعمال سیستم‌های آبیاری تحت فشار، به دلیل کاهش تلفات آب ناشی از رواناب، تبخیر و یا نفوذ عمقی، میزان تولید به ازای واحد آب عرضه شده به مزرعه را افزایش می‌دهد. بر این اساس، سیستم‌های آبیاری قطره‌ای، بارانی و فارو، به ترتیب رتبه‌های اول تا سوم را به خود اختصاص می‌دهند.

جدول ۱- کارایی مصرف آب و بهره‌وری آب آبیاری تحت سیستم‌های مختلف آبیاری در کشت‌های زودهنگام، معمول و دیرهنگام

تقویم کشت	گروه محصول	کارآیی مصرف آب ($kg\ m^3$)			بهره‌وری آب آبیاری ($kg\ m^3$)		
		بارانی	قطره‌ای	فارو	بارانی	قطره‌ای	فارو
زودهنگام	غلات	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۵۲	۰/۴۴	۰/۴۸	۰/۲۱
	محصولات غده‌ای	۶/۶۴	۶/۸۱	۶/۸۴	۵/۶۴	۶/۴۷	۲/۷۴
	محصولات قندی	۵/۹۴	۷/۲۸	۶/۱۲	۵/۰۵	۶/۹۲	۲/۴۵
	حبوبات	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۰	۰/۲۴	۰/۱۰
	آجیل	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۷	۰/۳۰	۰/۳۳	۰/۱۵
	دانه‌های روغنی	۰/۴۱	۰/۴۲	۰/۴۱	۰/۳۵	۰/۴۰	۰/۱۶
	سبزیجات	۴/۰۲	۴/۰۶	۴/۱۰	۳/۴۲	۳/۸۶	۱/۶۴
	میوه‌ها	۱/۰۵	۱/۰۶	۱/۰۹	۰/۸۹	۱/۰۱	۰/۴۴
معمول	غلات	۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۴۵	۰/۳۸	۰/۴۲	۰/۱۸
	محصولات غده‌ای	۶/۸۹	۶/۸۷	۷/۱۳	۵/۸۶	۶/۵۳	۲/۸۵
	محصولات قندی	۶/۱۱	۶/۵۷	۶/۲۷	۵/۱۹	۶/۲۴	۲/۵۱
	حبوبات	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۲۴	۰/۱۰
	آجیل	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۴
	دانه‌های روغنی	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۲۶	۰/۳۲	۰/۱۳
	سبزیجات	۳/۴۲	۳/۴۴	۳/۴۸	۲/۹۱	۳/۲۷	۱/۳۹
	میوه‌ها	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۴۳	۰/۳۶	۰/۴۰	۰/۱۷
دیرهنگام	غلات	۰/۳۷	۰/۳۹	۰/۳۸	۰/۳۱	۰/۳۷	۰/۱۵
	محصولات غده‌ای	۴/۰۷	۴/۱۵	۴/۱۰	۳/۴۶	۳/۹۴	۱/۶۴
	محصولات قندی	۵/۴۳	۵/۳۸	۶/۰۷	۴/۶۲	۵/۱۱	۲/۴۳
	حبوبات	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۲۶	۰/۰۹
	آجیل	۰/۰۸	۰/۱۹	۱/۲۸	۰/۰۷	۰/۱۸	۰/۵۱
	دانه‌های روغنی	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۳۴	۰/۲۴	۰/۲۷	۰/۱۴
	سبزیجات	۲/۷۳	۳/۰۵	۲/۸۷	۲/۳۲	۲/۹۰	۱/۱۵
	میوه‌ها	۰/۱۱	۰/۳۸	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۳۶	۰/۰۴

جدول ۲، مقادیر کارآیی مصرف آب تحت سطوح مختلف تنش رطوبتی در گروه‌های مختلف محصول را تحت کشت‌های معمول، زود و یا دیرهنگام نشان می‌دهد. بر اساس شاخص کارآیی مصرف آب، تا ۳۰ درصد کاهش در میزان آب آبیاری قابل‌قبول خواهد بود؛ زیرا افزایش شدت تنش تا این سطح حداکثر ۵/۶ درصد کاهش در میزان تولید به ازای واحد آب مصرفی ایجاد خواهد نمود. لکن، افزایش سطح تنش به سطوح بالاتر، به دلیل کاهش معنی‌دار کارآیی مصرف آب، میزان آب خالص مورد نیاز برای تولید واحد محصول را ۳۸ درصد افزایش خواهد داد. بر اساس آمار سازمان جهاد کشاورزی در سال ۱۳۸۹، مجموع تولید غلات، محصولات غده‌ای، محصولات قندی، حبوبات، آجیل و خشکبار، دانه‌های روغنی، سبزیجات و میوه‌ها در اراضی تحت کشت آبی در این سال به ترتیب ۱/۲، ۰/۰۷، ۵/۵، ۰/۰۲، ۰/۰۰۷، ۰/۰۰۷، ۰/۵ و ۰/۲ میلیون تن بود. بر این اساس، مجموع آب خالص مصرفی در آبیاری کامل (تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) برای تولید کلیه‌ی محصولات منتخب بر اساس تقویم کشت معمول، معادل ۴/۷۲ میلیارد مترمکعب خواهد بود. تولید این مقدار محصول تحت کم‌آبیاری با تامین ۸۵ درصد از نیاز آبی گیاه، ضمن کاهش ۱۵ درصدی در حجم ناخالص آب آبیاری، تغییر محسوسی در حجم آب خالص مصرفی به وسیله‌ی گیاه ایجاد نمی‌کند. این در حالی است که افزایش سطح تنش به ۷۰ و ۵۵ درصد، به دلیل تاثیر قابل توجه بر کاهش میزان کارآیی مصرف آب، میزان آب خالص مصرفی در تولید ۷/۵ میلیون تن از محصولات زراعی منتخب را به ترتیب ۳ و ۴۸ درصد افزایش خواهد داد.

جدول ۲- کارایی مصرف آب تحت کم‌آبیاری در کشت‌های زودهنگام، معمول و دیرهنگام در گروه‌های مختلف محصول

تقویم کشت	گروه محصول	سطح تامین نیاز آبی			
		%۱۰۰	%۸۵	%۷۰	%۵۵
زودهنگام	غلات	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۳۲
	محصولات غده ای	۶/۲۶	۶/۲۱	۶/۱۵	۴/۹۴
	محصولات قندی	۷/۵۰	۷/۴۷	۷/۲۶	۴/۵۷
	حبوبات	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۱۷
	آجیل	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۰۴
	دانه‌های روغنی	۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۳۷
	سبزیجات	۳/۷۸	۳/۷۷	۳/۷۵	۳/۳۰
	میوه‌ها	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۷۰
معمول	غلات	۰/۴۱	۰/۴۱	0.41	۰/۳۶
	محصولات غده ای	۰/۸۳	۶/۸۱	6.8	۶/۴۵
	محصولات قندی	۶/۳۰	۶/۲۸	6.19	۵/۰۵
	حبوبات	۰/۲۵	۰/۲۵	0.25	۰/۱۶
	آجیل	۰/۰۸	۰/۰۸	0.08	۰/۱۰
	دانه‌های روغنی	۰/۳۲	۰/۳۲	0.32	۰/۳۰
	سبزیجات	۳/۲۳	۳/۲۲	3.21	۲/۸۶
	میوه‌ها	۰/۳۹	۰/۳۹	0.39	۰/۳۲
دیرهنگام	غلات	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۲۷
	محصولات غده ای	۳/۷۸	۳/۷۵	۳/۷۵	۴/۶۱
	محصولات قندی	۵/۸۲	۵/۸۰	۵/۷۴	۴/۹۶
	حبوبات	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۲
	آجیل	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷
	دانه‌های روغنی	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۳
	سبزیجات	۲/۶۷	۲/۶۷	۲/۶۶	۲/۲۳
	میوه‌ها	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸

به طور کلی می‌توان بیان داشت بهترین مقادیر کارآیی مصرف آب، در کشت‌های زودهنگام و تحت ۱۵ و ۳۰ درصد تنش رطوبتی در استان خوزستان بدست می‌آیند. هم‌چنین، علی‌رغم عدم تاثیر معنی‌دار تغییر سیستم آبیاری بر این شاخص، سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و فارو به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر بهره‌وری آب آبیاری را منتج خواهند شد. بر اساس هر دو شاخص و تحت سناریوهای مذکور، گیاهان قندی، گیاهان غده‌ای، سبزیجات، میوه‌ها، غلات، دانه‌های روغنی، خشکبار و حبوبات به ترتیب رتبه‌های اول تا هشتم را در الگوی کشت پیشنهادی برای منطقه دارا می‌باشند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مقادیر نیاز آبی خالص و ناخالص، عملکرد، کارآیی مصرف آب و بهره‌وری آب آبیاری برای هشت گروه محصول بر اساس طبقه‌بندی فائو تحت سناریوهای مدیریتی مختلف بررسی شد. بدین منظور، مقادیر پارامترهای مذکور تحت تقویم‌های مختلف کشت، تحت سطوح مختلف تنش رطوبتی و تحت سیستم‌های مختلف آبیاری بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که دو هفته کشت زودهنگام و تلفیق آن با ۱۵ تا ۳۰ درصد کاهش در میزان آب آبیاری، می‌تواند علاوه بر صرفه‌جویی در حجم خالص و ناخالص آب مصرفی در کشت آبی در استان خوزستان، میزان تولید به ازای واحد آب مصرفی را در حد مطلوب حفظ نماید. هم‌چنین، جایگزینی سیستم آبیاری سطحی با تحت فشار، می‌تواند با کاستن میزان تلفات ناشی از تبخیر، رواناب و نفوذ، حجم آب ناخالص مصرفی را کاهش دهد. لکن این جایگزینی، به ویژه تحت سیستم آبیاری قطره‌ای، افزایش حجم آب خالص مصرفی به وسیله‌ی گیاه را به همراه خواهد داشت. نتایج این پژوهش هم‌چنین اهمیت اولویت‌بندی کشت محصولات زراعی و باغی و تاثیر آن در کاهش فشار بر منابع آب آبی در استان را به اثبات رساند. بنابراین، تدوین بنچ‌مارک ردپای آب تحت

سناریوهای مدیریتی مختلف می‌تواند پتانسیل‌های موجود در کاهش آب آبی مصرفی در منطقه را مشهود سازد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه زابل جهت انجام این پژوهش قدردانی می‌گردد. هزینه‌های انجام این پژوهش از محل گرنت با شماره‌ی UOZ_GR_9517_6 پرداخت شد.

منابع

Ahmadzadeh,H., Morid,S., Delavar,M., Srinivasan,R. 2016. Using the SWAT model to assess the impacts of changing irrigation from surface to pressurized systems on water productivity and watersaving in the Zarrineh Rud catchment. Agricultural Water Management. 175: 15-28.

Akowuah,J.O., Mensah,L.D., Chan,C., Roskilly,A. 2015. Effects of practices of maize farmers and traders in Ghana on contamination of maize by aflatoxins: case study of Ejura-Sekyeredumase municipality. African Journal of Microbiological Research. 9: 1658–1666.

Ali,M.H., Talukder,M.S.U. 2008. Increasing water productivity in cropproduction a synthesis. Agricultural Water Management. 95.11: 1201–1213.

Allen,R.G., Clemmens,A.J., Willardson,L.S. 2005. Agro-Hydrology and Irrigation Efficiency. ICID Working Group Water and Crops.

Alva,A.K., Paramasivam,S., Obreza,T.A., Schumann,A.W. 2006. Nitrogen best management practice for citrus trees I. Fruit yield, quality, and leaf nutritional status. Scientia Horticulture. 107: 233–244.

AQUASTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 2017, http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm.

Arnell,N. 1999. Climate change and global water resources. Global Environmental Change. 9: 31–49.

Barton,L., Colmer,T.D. 2006. Irrigation and fertilizer strategies for minimizing nitrogen leaching from turfgrass. Agricultural Water Management. 80: 160–175.

Bouwer,H. 2000. Integrated water management: emerging issues and challenges. Agricultural Water Management. 45: 217–228.

Boz,B. 2001. Validation of the Ceres-Maize Growth Model under Cukurova Region Conditions, Department of Agricultural Structures and Irrigation, Institute of Natural and Applied Sciences, Cukurova University, MSc Thesis, 59, Adana.

Bozkurt,Y., Yazar,A., Gencel,B., Sezen,S.M. 2006. Optimum lateral spacing for drip irrigated corn in the Mediterranean Region of Turkey, Agricultural Water Management. 85: 113–120.

Daudén,A., Quilez,D. 2004. Pig slurry versus mineral fertilization on corn yield and nitrate leaching in a Mediterranean irrigated environment. European Journal of Agronomy. 21, 7–19.

De-Wrachien,D., Goli,M.B. 2015. Global warming effects on irrigation development and crop production: a world-wide view. Agricultural Sciences. 6.7: 734–747.

Doorenbos,J., Kassam,A.H. 1979. Yield Response to Water; Food and Agriculture Organization: Rome, Italy.

Ehsani,M., Khaledi,H. 2003. Agricultural Water Productivity, first edit. Irrigationand Drainage National Council of Iran, Tehran, Iran.

FAO. FAOSTAT. 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, http://www.fao.org/faostat/en/

Farahani,H.J., Izzi,G., Oweis,T.Y. 2009. Parameterization and evaluation of the AquaCrop model for full and deficit irrigated cotton. Journal of Agronomy. 101: 469–476.

Gaile,Z. 2010. The role of maize harvest timing for high-quality silage production (summary). Proceedings of Latvia University Agriculture. 25: 116–128.

Geerts,S., Raes,D., Garcia, M., Miranda, R., Cusicanqui, J.A., Taboada,C., Mendoza,J., Huanca,R., Mamani,A.; Condori,O. 2009. Simulating yield response of quinoa to water availability with AquaCrop. Journal of Agronomy. 101: 499–508.

Gheysari,M., Mirlatifi,S.M., Homaee,M., Asadi,M.E., Hoogenboom,G. 2009. Nitrate Leaching in a Silage Maize Field under Different Irrigation and Nitrogen Fertilizer Rates. Agricultural Water Management. 96.6: 946-954.

Gianquinto,G., Sambo,P., Pimpini,F. 2003. The use of SPAD-502 chlorophyll meter for dynamically optimising the nitrogen supply in potato crop. Acta Horticulturae. 627: 225-230.

Greaves,G., Wang,Y. 2016. Assessment of FAO AquaCrop model for simulating maize growth and productivity under deficit irrigation in a tropical environment. Water. 8.557:1-18

Haverkort,A.J., Vos,J., Booij,R. 2003. Precision management of nitrogen and water in potato production through monitoring and modeling. In: Proceedings of the XXVI International Horticultural

Klocke,N.L., Schneekloth,J.P., Melvin,S., Clark,R.T., Payero,J.O. 2004. Field scale limited irrigation scenarios for water policy strategies. Applied Engineering in Agriculture. 20: 623-631.

Liu,C., Kroezea,C., Hoekstra,A.Y., Leenes,W.G. 2012. Past and future trends in grey water footprints of anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs to major world rivers. Ecological Indicators. 18: 42–49.

North,G.B., Nobel,P.S. 1991. Changes in hydraulic conductivity and anatomy caused by drying and rewetting roots of Agave-Deserti (Agavaceae). American Journal of Botany.78: 906‑915.

Payero,J.O., Melvin,S.R., Irmak,S., Tarkalson,D. 2006. Yield response of corn to deficit irrigation in a semiarid climate. Agricultural Water Management. 84: 101–112.

Rezaverdinejad,V., Khorsand,A., Shahidi,A. 2014. Evaluation and comparison of AquaCrop and FAO models for yield prediction of winter wheat under environmental stresses. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences. 4: 438–449.

Rodriguez,I.R., Grady,L.M. 2000. Using a chlorophyll meter to determine the chlorophyll concentration nitrogen concentration and visual quality of St. Horticultural Science. 35: 751-754.

Stone,L.R. 2003. Crop water use requirements and water use efficiencies. In: Proceedings of the 15th annual Central Plains Irrigation Conference and Exposition, Colby, Kansas. 127-133.

Todorovic,M., Albrizio,R., Zivotic,L., Abi Saab,M.T., Stöckle,C., Steduto,P. 2009. Assessment of AquaArop, CropSyst, and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. Agronomy Journal. 101: 509–521.

Wei,Y.P., Chen,D.L., Hu,K.L., Willett,I.R., Langford,J. 2009. Policy incentives for reducing nitrate leaching from intensive agriculture in desert oases of Alxa, InnerMongolia, China. Agricultural Water Management. 96: 1114–1119.

Yazar,A., Gokcel,F.,Sezen,M.S. 2009. Corn yield response to partial rootzone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system. Plant and Soil Environment. 55 .11: 494–503.

Yegbemey,R.N., Kabir,H., Awoye,O.H.R., Yabi,J.A., Paraïso,A.A. 2014. Managing the agricultural calendar as coping mechanism to climate variability: A case study of maize farming in northern Benin, West Africa. Climate Risk Management. 3: 13–23.

Congress: Potatoes, Healthy Food for Humanity: International Developments in Breeding, Production, Protection and Utilization, Toronto, Canada.

Heng,L.K., Hsiao,T., Evett,S., Howell,T., Steduto,P. 2009. Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. Journal of Agronomy. 101: 488–498.

Hoekstra,A.Y., Mekonnen,M.M. 2012. The water footprint of humanity, Proceedings of the National Academy of Sciences. 109.9: 3232–3237.

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. Journal of Agronomy. 101: 448–459.

Hutton,R., Holzapfel,B., Smith,J., Hutchinson,P., Barlow,K., Bond,W. 2008. Influence of irrigation and fertilizer management on the movement of water and nutrients within and below root zone of vines for sustainable grape production. Cooperative Research Center for Viticulture Report. S2.3.6.

Jia,X., Shao,L., Liu,P., Zhao,B., Gu,L., Dong,S.H., Bing,S.H., Zhang,J., Zhao,B. 2014. Effect of different nitrogen and irrigation treatments on yield and nitrate leaching of summer maize (Zea mays L.) under lysimeter conditions. Agricultural Water Management. 137 : 92–103.

Kaaya,A.N., Kyamuhangire,W. 2006. The effect of storage time and agroecological zone on mould incidence and aflatoxin contamination of maize from traders in Uganda. International Journal of Food Microbiology. 110:217–223.

Karandish,F., Salari,S., Darzi-Naftchali,A. 2015. Application of virtual water trade to evaluate cropping pattern in arid regions. Water Resource Management. 29.11: 4061–4074.

Karandish,F., Darzi-Naftchali,A., Asgari,A. 2016. Application of machine-learning models for diagnosing health hazard of nitrate toxicity in shallow aquifers. Paddy and Water Environment. 15.1: 201-215.

Karandish,F., Hoekstra,A.Y. 2017. Informing National Food and Water Security Policy through Water Footprint Assessment: The Case of Iran. Water. 9 .831: 1-25.

Karandish,F., Šimůnek,J. 2016. A field-modeling study for assessing temporal variations of soil-water-crop interactions under water-saving irrigation strategies. Agricultural Water Management. 178: 291-303.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 12, Agu.-Sep. 2018, p. 611-623

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۲، مرداد - شهریور ۱۳۹۷، ص. ۶۲۳-۶۱۱

Benchmarking Water use Efficiencies of Agricultural and Horticultural Crops Under Various Management Strategies in an Arid Region

F. Shahsavari[1], F. Karandish[2*], P. Haghighatjou[3]
Recived: Dec.26, 2017 Accepted: Jun.18, 2018

Abstract

Based on a 30-year available data during 1980-2010, water saving potentials consumed in the irrigated agriculture of Khuzestan province was investigated. To this end and based on FAO classification system, all agricultural and horticultural crops were divided into 8 groups of cereals, vegetables, legumes, oil crops, sugar crops, root and tubers, nuts and fruits. Then, different management scenarios were defines by combining three planting dates of on time cultivation (local date), early and late plating dates, and furrow, sprinkler and drip irrigation systems, and four levels of supplying crop water demand (100, 85, 70 and 55 percent). The best scenario and cropping pattern were determined based on water use efficiency and irrigation water productivity indices, and then, the corresponding indices under the selected scenarios were considered as the benchmark levels. The highest values of water use efficiencies were obtained for sugar crops had the highest water use efficiencies due to their high crop productivity, root and fiber due to their low water requirement, and vegetables due to their low water requirement and high yield. While taking the fifth place regarding water use efficiency, cereals were the largest fresh water consumer in the province due contributing more than 70% in total irrigated harvested lands. Substituting one hectare of irrigated lands under cereals with root and tuber productions, results in an average 3.8 thousand cub meter (63%) saving in net crop water consumption. substituting surface irrigation system with drip irrigation system led to an increase in water sue efficiency in sugar crops, legumes and oil, while such substitution caused a reduction in the amount of produced crop per unit consumed water. A 15% water stress results in a negligible change in water use efficiency due to maintaining crop water requirement at the favorable rates and reducing crop yield by only 1.4-8.3%. Increasing the water stress level up to 30% result in a maximum reduction of 5.6% in crop production per net consumed water. Regardless of the irrigation systems and water stress levels, early planting will increase water use efficiency up to 20%. Hence, a mild water stress and adjusting planting date as well as prioritizing the cultivation of agricultural and horticultural crops based on their water use efficiency could be considered as favorable management scenarios for alleviating pressure on blue water resources in Khuzestan province.

Keywords: AquaCrop, Blue water, Cropping calendar, Deficit irrigation, Irrigation water productivity, Khuzestan, Pressurized irrigation systems

1- MSc student, Water Engineering Department, University of Zabol
2- Associate Professor Water Engineering Department, University of Zabol
3- Assistant Professor, Water Engineering Department, University of Zabol
(*- Corresponding Author Email: Karandish_h@yahoo.com & F.Karandish@uoz.ac.ir)