

تشریح و بررسی شاخص بهره‌وری آب کشاورزی مبتنی بر تبخیر تعرق (مطالعه موردی حوزه آبخیز کرخه)

نادر حیدری^۱

دانشیار پژوهش مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی؛ سازمان تحقیقات، آموزش، و ترویج کشاورزی؛ کرج؛ ایران. nrheydari@yahoo.com

دریافت: شهریور ۱۳۹۷ و پذیرش: دی ۱۳۹۷

چکیده

اصطلاح کارایی مصرف آب (WUE) (به واحد کیلوگرم محصول تولید شده به متر مکعب آب تعرق شده) برای اولین بار توسط "د-ویت" (۱۹۵۸) ارائه گردید. بعد از آن واژه وسیع‌تر بهره‌وری آب (WP) توسط مولدن (۱۹۹۷) مطرح شد. هدف از ارائه این مفهوم جدید آن بود که بتوان توسط آن نتایج آزمایش‌های مزرعه‌ای مرتبط با آب و تمهیدات مدیریت آبیاری و همچنین فرصت‌ها برای صرفه‌جویی در مصرف آب و بهبود بهره‌وری آب، به همراه پشتیبانی فرایندهای تصمیم‌سازی برای تخصیص آب، را مشخص و ارائه نمود. در این تحقیق تعریف و تشریح کاملی از بحث بهره‌وری آب و چالش‌های استفاده از این شاخص در بحث صرفه‌جویی واقعی آب به منظور حل بحران آب کشور به عمل آمده است. برای حل بحران آب کشور ارزیابی‌های صرفاً مبتنی بر شاخص بهره‌وری آب که در مخرج کسر آن آب کاربردی و یا به اصطلاح آب برداشت شده از منبع (Withdrawal) قرار گرفته باشد (WPAW) تا حدی گمراه کننده بوده و مبین صرفه‌جویی واقعی و یا استفاده موثر از آب به خصوص در ارزیابی سیستم‌های آبیاری معروف به سیستم‌های آبیاری صرفه‌جو (نظیر آبیاری‌های تحت فشار) نمی‌باشد. لذا پیشنهاد می‌نماید که برای رفع این نقیصه بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیر تعرق (WPET) ملاک عمل قرار گیرد. به دنبال تبیین تئوری بهره‌وری آب، تحقیق برای محاسبه WPET متدولوژی محاسباتی ساده و مبتنی بر داده‌های موجود و کم هزینه نیاز آبی و عملکرد محصولات کشاورزی در کشور (یعنی به ترتیب داده‌ها و اطلاعات موجود در سند ملی آب و آمار عملکرد موجود در آمار نامه‌های کشاورزی) را ارائه می‌نماید. به عنوان مثال موردی از این روش و با استفاده از داده‌های موجود، WPET محصولات عمده حوزه آبخیز کرخه یعنی گندم، جو، یونجه، سیب زمینی، ذرت علوفه‌ای، شبدر، ذرت دانه‌ای، چغندر قند، پیاز، گوجه فرنگی، خیار و هندوانه، به ترتیب برابر ۱/۳۲، ۱/۴۹، ۱/۲۲، ۵/۷۴، ۷/۹۳، ۱/۷۳، ۱/۳۷، ۶/۱۷، ۶/۶۱، ۸/۲۴، ۵/۰۷، ۶/۹۴، و سپس مقدار آن برای کل حوزه آبخیز برابر ۲/۰۵ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه گردید. به منظور یافتن ارتباط ریاضی لازم بین WPET و WPAW، با استفاده از آمار و ارقام بهره‌وری آب، اندازه‌گیری شده به روش‌های معمول مزرعه (یعنی WPAW) برای محصولات مذکور در حوزه آبخیز کرخه و حتی کشور و ارائه شده در منابع علمی مختلف، رابطه رگرسیونی با برازش مناسبی ($R^2=0.96$) یافت شد و با استفاده از این رابطه مقدار WPAW حوزه آبخیز کرخه برابر ۱/۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه گردید که با مقادیر ذکر شده در منابع علمی مختلف همخوانی مناسبی دارد. این تحقیق پیشنهاد می‌نماید که این روش محاسباتی ساده که برای مقاصد کاربردی ضمن هزینه کم آن به دلیل استفاده از بانک داده‌های موجود در کشور، از دقت مناسبی نیز برای مقاصد کاربردی برخوردار است، در کنار سایر روش‌های اندازه‌گیری مستقیم مزرعه‌ای بهره‌وری آب (که صرفاً مقادیر WPAW را ارائه می‌نمایند) به عنوان روشی برای محاسبه WPET و به دنبال آن WPAW (با روشی بسیار کم هزینه‌تر) به کار برده شود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، تبخیر تعرق، صرفه‌جویی واقعی آب، حوضه کرخه، محصولات کشاورزی

مقدمه

بهره‌وری آب گیاه که در منابع علمی اساساً به آن کارایی مصرف آب^۱ (WUE) اطلاق می‌گردد، به صورت نسبت عملکرد اقتصادی (عملکرد ارائه شده به بازار) به تبخیر تعرق واقعی گیاه تعریف می‌گردد تعاریف و شاخص‌های مختلفی از بهره‌وری و کارایی مصرف آب در منابع و مقالات علمی ارائه شده و مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. لذا در منابع علمی WUE به عملکرد گیاه در مقابل تعرق گیاهی، تبخیر، تبخیر تعرق و حتی میزان آب آبیاری نسبت داده شده است (سکلر و همکاران، ۱۹۹۹).

اصطلاح کارایی مصرف آب (WUE) (به واحد کیلوگرم محصول تولید شده به متر مکعب آب تعرق شده) برای اولین بار توسط "د-ویت" (د-ویت، ۱۹۵۸) ارائه گردید. هدف از کاربرد شاخص کارایی مصرف آب آن است که بتوانیم مقایسه‌های سریعی بین سیستم‌های مصرف کننده آب در زمان و مکان هر دو، بعمل آوریم (تورال و همکاران، ۲۰۰۶).

بعد از ارائه تعریف کارایی مصرف آب توسط د-ویت (۱۹۵۸)، واژه وسیع‌تر بهره‌وری آب (WP)^۲ برای تجزیه و تحلیل مصرف آب در مقیاس‌های تو در تو^۳ مختلف، معرفی گردید (مولدن، ۱۹۹۷). هدف از ارائه مفهوم بهره‌وری آب آن بود که پشتیبان نتایج آزمایش‌های زراعی مرتبط با آب و تمهیدات مدیریت آبیاری بوده و همچنین فرصت‌ها برای صرفه‌جویی^۴ در مصرف آب و بهبود بهره‌وری آب، به همراه پشتیبانی فرایندهای تصمیم‌سازی برای تخصیص آب را مشخص سازد (بسم بایندر، ۲۰۰۵). استفاده از مفهوم بهره‌وری آب بستگی به مقیاس کار و استفاده از آن دارد؛ و لذا این چالش "کدام محصول و کدام قطره آب"^۵ نامیده شده است (مولدن، ۱۹۹۷).

شاخص بهره‌وری آب به صورت ساده بیانگر مقدار محصول تولید شده (Kg) به متر مکعب آب مصرفی (m³) برای تولید آن محصول می‌باشد. صرف نظر از پیچیدگی‌های صورت کسر از لحاظ اینکه مقدار (وزن) محصول تولیدی بر اساس وزن خشک یا تر مد نظر باشد یا مقدار کالری، پروتئین، ماده گیاهی^۶ تولیدی و غیره در صورت کسر قرار گیرد، چالش اصلی از لحاظ مدیریت مصرف آب ماهیت مخرج کسر این شاخص می‌باشد. مخرج کسر می‌تواند حجم (عمق) آب (خالص یا ناخالص) ورودی به مزرعه طی فصل رشد برای آبیاری و تولید محصول مورد نظر باشد (حیدری، ۱۳۹۰).

پس از تعریف شاخص بهره‌وری آب توسط مولدن (۱۹۹۷) این شاخص به میزان زیادی در بحث‌های مختلف تامین غذا از منابع آب محدود^۷ و ضرورت بهبود این شاخص برای مواجهه با کمبود منابع آب در جهان و اختصاص سهم آب بیشتر به محیط زیست، مورد استفاده قرار گرفته است.

امروزه با توجه به بحران شدید آب، بحث صرف جویی واقعی آب (Real water saving) مطرح گردیده است؛ یعنی مطالعات مختلف (نظیر پری و همکاران، ۲۰۱۷؛ پری، ۲۰۱۱؛ پری، ۲۰۰۷؛ ویلاردسون و همکاران، ۱۹۹۴؛ و مورای راست و همکاران، ۲۰۰۴) نشان داده‌اند که باید بین تلفات واقعی و ظاهری آب در مزرعه تفاوت قائل شد؛ یعنی بین آب مصرف شده واقعی (Consumed) و بخش مصرف نشده آب کاربردی (Non consumed) (که بخش قابل توجهی از آن می‌تواند قابل برگشت و استفاده مجدد (Recoverable) باشد) تفاوت باید قائل شد. همچنین در بخش آب مصرف شده، بین مصرف موثر (Beneficial consumption) که برای تولید محصول مستقیماً مورد استفاده قرار می‌گیرد و مصرف غیر موثر

⁵ - Which Crop and which Drop?

⁶ - Biomass

⁷ - Less drops per crop or more crops per drop, etc.

¹ - Water Use Efficiency

² - Water Productivity

³ - Aggregation Levels

^۴ - به عقیده بعضی از محققین اصطلاح صرفه جویی آب واژه غلطی است. یعنی صرفه جویی از چه چیزی و چه مقدار؟ امروزه در دنیا و متون علمی به جای واژه صرفه جویی آب از اصطلاح مصرف بهینه آب استفاده می‌شود.

بهرحال تحقیقات انجام شده در جهان در خصوص استفاده از شاخص بهره‌وری آب بر مبنای ET و به خصوص در مورد جداسازی مولفه‌های تبخیر از تعرق، کم شمار هستند. جدا کردن مولفه‌های تبخیر از تعرق از این جهت حائز اهمیت است که با افزایش عملکرد محصول (افزایش صورت کسر بهره‌وری آب)، تعرق (از مولفه‌های مخرج کسر بهره‌وری) نیز به همان نسبت افزایش خواهد یافت و شاید کاربرد بعضی از سیستم‌های آبیاری صرفاً با هدف افزایش عملکرد محصول و با وجود کاهش ظاهری مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب، مجدداً به صرفه جویی بیشتر آب منجر نگردد. نمونه آن کاربرد سیستم آبیاری قطره‌ای زیر سطحی می‌باشد. با کاربرد این سیستم‌ها راندمان آبیاری عملاً ۱۰۰ درصد بوده و حتی تلفات تبخیر از سطح خاک نیز تقریباً ناچیز می‌باشد و مصرف آب ظاهراً در حد تعرق گیاه است. ولی با افزایش چندین برابری عملکرد در این سیستم و به تناسب آن افزایش چندین برابری تعرق گیاهی ممکن است مصرف آب در مقیاس بزرگتر عملاً تغییری نکرده باشد و صرفاً تولید ماده گیاهی (بیوماس) (البته با صرف انرژی بیشتر جهت پمپاژ آب در مقایسه با روش آبیاری سطحی) در این حالت افزایش یافته باشد؛ یعنی بهره‌وری آب افزایش یافته ولی عملاً آبی در مقیاس بزرگتر صرفه جویی نشده است. به عنوان نمونه برای یک مزرعه یونجه با سیستم آبیاری زیر سطحی ممکن است مقدار "برداشت آب" از چاه در مزرعه با "آبیاری ثقلی" بیش از مزرعه "آبیاری زیرسطحی" باشد، ولی با توجه به نوع پوشش تراکم دو مزرعه و سایه‌افکنی بالای یونجه "مصرف آب غیر مفید" (به طور عمده تبخیر از سطح خاک) در دو مزرعه نباید تفاوت قابل توجهی داشته باشد، ولی نفوذ عمقی در مزرعه "آبیاری زیرسطحی" بسیار کمتر است، حتی می‌توان آن را صفر در نظر گرفت. اما نفوذ عمقی در مزرعه "آبیاری ثقلی" بالا است و بخش قابل توجهی از آن "آب قابل بازیافت" خواهد بود. اما نکته مهم تولید زیاد یونجه در مزرعه دارای سیستم "آبیاری زیرسطحی"، (تا ۵۰ درصد

(Non-Beneficial consumption) که در آن آب به صورت تلفات تبخیر (تبخیر غیر متمرکز) از محیط مزرعه خارج می‌شود، تفاوت وجود دارد (پری و همکاران، ۲۰۱۷). این مفاهیم و تعاریف پیچیدگی‌های زیادی در کاربرد شاخص بهره‌وری آب به شکل مرسوم آن و به عنوان شاخص و معیاری برای صرفه جویی آب، موجب می‌گردند.

امروزه با توجه به مفاهیم فوق مشخص گردیده است که در کاربرد فناوری‌های کاهش مصرف آب و استفاده از شاخص بهره‌وری آب به عنوان شاخص نمایانگر استفاده بهینه و مطلوب از آب آبیاری، باید در مخرج کسر بهره‌وری، آب مصرف شده واقعی (Consumption) که همانا تبخیر تعرق گیاه (ET) می‌باشد قرارگیرد؛ بنابراین اندازه‌گیری و کاربرد آب برداشت شده و یا منحرف شده از مخزن در مخرج کسر بهره‌وری در بسیاری از موارد، به خصوص در کاربرد تمهیدات و فناوری‌های آبیاری موسوم به "صرفه جو" (نظیر آبیاری‌های تحت فشار) و به منظور اثر بخشی آنها برای کاهش مصارف آب از طریق افزایش بهره‌وری آب، گمراه کننده است. به دلیل عدم توجه به این مفاهیم، امروزه ملاحظه می‌گردد که با کاربرد فناوری‌ها و تمهیدات مذکور، علی‌رغم کاهش ظاهری مصرف آب (Withdrawal) به دلیل افزایش ET یا تخلیه آب (Depletion) عملاً آب به معنای واقعی آن صرفه جویی نشده است و کاهش منابع آب شیرین (به خصوص افت مستمر آبهای زیرزمینی) کماکان ادامه دارد. لذا در شرایط بحران آب و به منظور حصول به صرفه جویی واقعی آب باید دید چه مقدار محصول به ازاء واحد تبخیر تعرق حاصل شده است (پری و همکاران، ۲۰۱۷). در صورت محاسبه شاخص بهره‌وری آب با این روش محاسبه (قرار دادن ET در مخرج کسر بهره‌وری) می‌توان در خصوص اثرگذاری راهکارهای صرفه جویی آب (نظیر استفاده از آبیاری‌های تحت فشار و غیره) قضاوت نمود و اقدامات را با یکدیگر مقایسه کرد.

هیدرولوژی و بیلان آب به نام سوات (SWAT) (برای تعیین تبخیر تعرق) برآورد گردید. براساس نتایج این تحقیق، بهره‌وری آب گندم آبی و دیم به ترتیب در دامنه‌های ۱/۵۵-۰/۱۵ و ۰/۷۵-۰/۲۸ کیلوگرم بر متر مکعب تغییر نموده و این دامنه تغییرات برای گندم دیم بیشتر بود (فرامرزی و همکاران، ۲۰۱۰).

سینگ (۲۰۰۵) با استفاده از مدل سوآپ (SWAP) و استفاده از نتایج آزمایشات مزرعه‌ای و کاربرد فناوری های RS و GIS کارایی مصرف آب گیاهان زراعی در منطقه "سیسرا" هندوستان را در مقیاس‌های مختلف و شکل‌های مختلف آن تعیین نمود. در نتایج بدست آمده تغییرات زیادی در مقادیر WP گیاهان مختلف مناطق و حتی گیاهان یکسان در مناطق مختلف وجود داشت. به عنوان نمونه WP بر مبنای تبخیر تعرق (WP_{ET}) گندم در مزارع کشاورزان منطقه "سیسرا" در طی سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۰۱ بین ۱/۵۶-۱/۲۲ کیلوگرم بر متر مکعب تغییر می‌نمود. در مقیاس مزرعه متوسط میزان WP_{ET} برای گندم، برنج و پنبه به ترتیب برابر ۰/۱، ۹۴/۳۹ و ۰/۲۳ کیلوگرم بر متر مکعب بود.

جمع‌بندی مطالب ذکر شده فوق حاکی از آن است که تعیین شاخص بهره‌وری آب در کشاورزی، علاوه بر پیچیدگی‌های مفاهیم این شاخص از جنبه‌های مختلف، از لحاظ روش‌ها و شیوه‌های اندازه‌گیری آن و ابزار اندازه‌گیری و در نهایت تفسیر و تعبیر نتایج نیز، پیچیدگی‌های زیادی را در بردارد. امروزه با ظهور مفهوم تلفات ظاهری آب در مقابل تلفات واقعی و بحث صرفه جویی واقعی آب، به پیچیدگی‌های کاربرد این شاخص به خصوص در بخش تفسیر نتایج افزوده نیز شده است.

مرور منابع نیز حاکی از آن هستند که به تبعیت از پیچیدگی‌های ذکر شده پژوهش‌های مختلف نیز رویکرد مختلفی داشته و از مفاهیم و ابزار مختلف اندازه‌گیری این شاخص (اندازه‌گیری بر مبنای مزرعه‌ای، کاربرد سنجش از دور، استفاده از آب کاربردی و یا تبخیر و تعرق در مخرج کسر و ...) استفاده کرده‌اند.

بیشتر) و تولید کمتر در مزرعه "آبیاری ثقلی" است. نتیجه این اختلاف معنی‌دار، مربوط به "مصرف آب مفید" (در اینجا مشخصاً تعرق) بیشتر در مزرعه "آبیاری زیرسطحی" نسبت به "آبیاری ثقلی" بوده است. زیرا یونجه در مزرعه "آبیاری زیرسطحی" عملاً بدون تنش آبی رشد پیدا کرده است. بدین ترتیب آنچه که "برداشت کمتر آب" در مزرعه با سیستم آبیاری زیر سطحی را سبب می‌گردد، عملاً حذف نفوذ عمقی و رواناب سطحی این مزرعه به دلیل ماهیت سیستم زیر سطحی و مدیریت خوب آن می‌باشد، ضمن اینکه مصرف از نوع تعرق گیاهی هم (با توجه به افزایش عملکرد) بالاتر رفته است.

مهدی و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی با هدف بررسی کارایی مصرف آب سه محصول گندم، جو و یونجه شهرستان‌های استان خوزستان، از آمارهای سطح زیر کشت، میزان تولید و عملکرد ارائه شده از سوی دفتر آمار و فناوری اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی در سال‌های زراعی ۸۱-۱۳۸۰ الی ۹۰-۱۳۸۹ استفاده نمودند. آنها همچنین میزان حجم خالص آبیاری هر شهرستان را بر اساس سند ملی آب جمع‌آوری نمودند. بر اساس نتایج تحقیق آنها، میانگین کارایی مصرف آب در استان خوزستان در سه محصول جو، گندم و یونجه به ترتیب ۰/۸۵، ۱/۰۴، ۰/۷۶ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه گردید.

کاوه و حسینی ابری (۱۳۸۸) بهره‌وری آب براساس نیاز آبی (WP_{ET}) را برای محصولات مختلف و بر اساس عملکرد سال زراعی ۸۱-۱۳۸۰ را برای استان‌های مختلف کشور محاسبه نمودند. آنها همچنین بهره‌وری آب آبیاری ناخالص و خالص مصرفی طی سال ۱۳۸۰ را در زیر حوضه‌های کشور محاسبه نموده و نتیجه‌گیری نمودند که مقایسه بهره‌وری آب بر اساس تبخیر تعرق واقعی باید از طرف وزارتین نیرو و جهاد کشاورزی به نحوی در تهیه الگوی کشت منطقه‌ای مورد استفاده قرار گیرد تا گیاهان با بازده مصرف آب پایین از الگوی کشت حذف گردد.

بهره‌وری آب گندم استان‌های مختلف کشور با استفاده از آمار دراز مدت عملکرد و استفاده از مدل

روش انجام تحقیق

در این پژوهش با توجه به اهمیت تعیین شاخص بهره‌وری آب بر مبنای تبخیر تعرق (WP_{ET})^۱ از لحاظ تاثیر آن بر تصمیم‌گیری‌های مدیریتی برای صرفه‌جویی واقعی آب، این شاخص برای محصولات عمده زراعی و باغی کشاورزی در سطح حوزه آبخیز کرخه محاسبه گردید و با آمار مقادیر شاخص بهره‌وری آب اندازه‌گیری شده این محصولات در مزرعه (بهره‌وری آب بر اساس آب کاربردی در مزرعه - WP_{AW}) مقایسه و تلاش گردید تا ارتباط ریاضی بین آنها برقرار شود. در ادامه روش تحقیق به صورت تفصیلی ارایه شده است.

در این تحقیق شاخص بهره‌وری آب بر اساس تبخیر تعرق از تقسیم عملکرد محصول مورد نظر بر تبخیر تعرق (نیاز آبی گیاه) حاصل شده است (رابطه ۱).

$$WP_{ET} = \frac{Y}{ET} \quad (1)$$

که در آن:

Y: متوسط عملکرد اقتصادی محصول (به کیلوگرم)

ET: نیاز آبی محصول مورد نظر در دشت مورد نظر (به مترمکعب یا میلیمتر در هکتار)

در رابطه ۱، مقدار Y متوسط عملکرد محصولات زراعی عمده تحت کشت در دشت‌های مختلف حوزه آبخیز کرخه می‌باشد که از متوسط‌گیری آمار ده ساله عملکرد (۱۳۸۰-۱۳۸۹) گزارش شده در آمار نامه وزارت جهاد کشاورزی برای استان‌های مختلف واقع در حوزه آبخیز (استان‌های لرستان، کرمانشاه، خوزستان، همدان، ایلام، کردستان و مرکزی) محاسبه گردیده است. همچنین مقدار ET با توجه به اهمیت استفاده از داده‌های بلندمدت، سهل‌الوصول، کم هزینه و با دقت مناسب برای اهداف این تحقیق که در سطح ملی و در مقیاس دشت و برای اکثر محصولات زراعی و باغی عمده کشور تهیه شده است، از آمار نیاز آبی سند ملی آب کشور استفاده به عمل آمده است.

حجم خالص آب مصرفی محصول در دشت مورد نظر از حاصلضرب نیاز آبی محصول (mm) در سطح زیرکشت کل محصول (ha) (قید شده در آمار نامه کشاورزی) محاسبه گردید. به این ترتیب محاسبه WP_{ET} محصول انتخابی در دشت مورد نظر امکان پذیر می‌گردد، یعنی:

$$WP_{ET} = \frac{Y_{total}}{V_{ET}} \quad (2)$$

که در آن:

Y_{total}: عملکرد (تولید) کل محصول در دشت مورد نظر (Kg)

V_{ET}: حجم کل نیاز آبی خالص (تبخیر تعرق) محصول در دشت مورد نظر (m³)

محصولات زراعی انتخابی شامل گیاهان زراعی سالانه عمده مورد کشت در اکثر مناطق حوزه آبخیز کرخه یعنی گندم، جو، یونجه، شبدر، چغندرقد، ذرت علوفه‌ای، ذرت دانه‌ای، سیب زمینی، پیاز، گوجه فرنگی، خیار و هندوانه بودند.

پس از محاسبه شاخص WP_{ET} محصولات زراعی انتخابی به تفکیک دشت‌های حوزه آبخیز (رابطه ۲)، با توجه به سطح زیر کشت کل، نیاز آبی و عملکرد (تولید) کل محصولات، شاخص WP_{ETB-Cx} حوضه‌ای هر محصول (WP_{ETB-Cx}) از طریق رابطه ۳ محاسبه گردید:

$$WP_{ETB-Cx} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_{ix}}{\sum_{i=1}^n \left(A_{ix} * \frac{ET_{ix}}{1000} \right)} \quad (3)$$

که در آن:

WP_{ETB-Cx}: شاخص کارایی مصرف آب پتانسیل حوضه‌ای محصول زراعی X (به واحد Kg/m³)

Y_{ix}: عملکرد (تولید کل) محصول زراعی X در دشت i ام (به kg)

A_{ix}: سطح زیر کشت کل محصول X در دشت i ام (به ha)

۱ - که در اینجا می‌توان آن را بهره‌وری آب پتانسیل (بالقوه) نیز نامید

ET_{ix} : نیاز خالص آبیاری محصول X در دشت i ام (به mm)

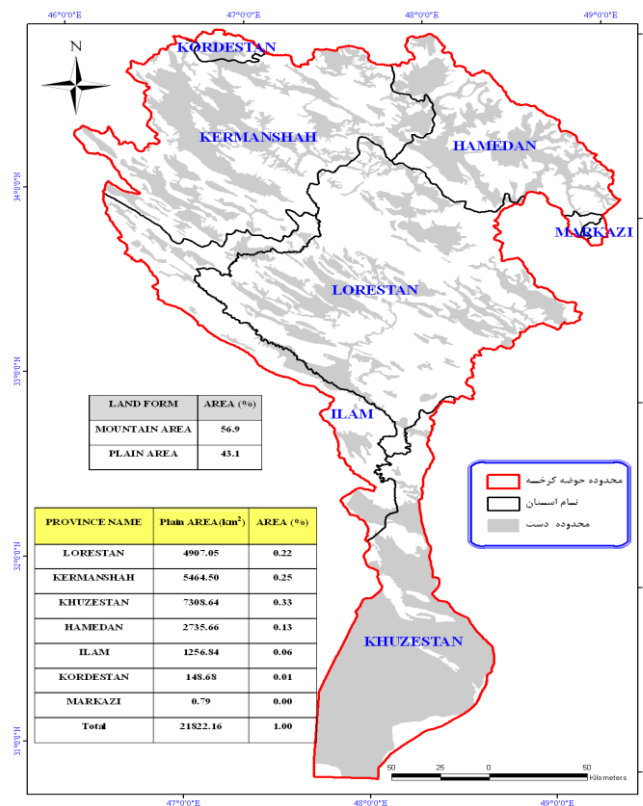
i: شماره دشت

n: تعداد کل دشت‌های مورد کشت با محصول X در حوزه آبخیز

در این تحقیق همچنین مقادیر شاخص WP_{ET} (محاسبه شده از رابطه ۳)، با مقادیر WP_{AW} واقعی اندازه‌گیری شده در آزمایشات نقطه‌ای درون مزرعه انجام شده در سایر تحقیقات و مطالعات مرتبط با موضوع در حوزه یا کشور مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت.

لازم به ذکر است به منظور تدقیق محاسبات تعیین WP_{ET} سهم مساحت دشت‌های هر استان در حوزه آبخیز در محاسبات مرتبط با میزان کل تولیدات و همچنین آب مصرفی برای تولید محصولات به صورت اعمال ضرایب مربوطه (ضرائب قید شده در جدول داخل شکل ۱)، دخیل شدند. لذا در ارقام مرتبط با تولید (کیلوگرم) و

تعیین حجم آب مصرفی، با توجه به سطح زیر کشت هر محصول در دشت مورد نظر در حوزه آبخیز (مترمکعب) این ضرائب در جدول‌های محاسباتی نتایج اعمال گردیدند. روش محاسبه این ضرائب به این شکل بود که با هم‌پوشانی نقشه تقسیمات استانی با نقشه دشت‌های کشور و نقشه حوزه آبخیز، نسبت درصد قرارگیری هر استان در حوزه آبخیز و همچنین نسبت درصد مساحت قرارگیری دشت‌های هر استان در حوزه آبخیز مشخص گردید (شکل ۱). با توجه به شکل ۱ نسبت مساحت‌های دشت‌های قرار گرفته در حوزه آبخیز کرخه مرتبط با استان‌های لرستان، کرمانشاه، خوزستان، همدان، ایلام، کردستان و مرکزی به ترتیب برابر ۰/۲۲، ۰/۲۵، ۰/۳۳، ۰/۱۳، ۰/۰۶، ۰/۰۱ و ۰/۰۰ می‌باشند. با توجه به سهم ناچیز استان مرکزی در حوزه آبخیز کرخه، لذا در محاسبات و نتایج ارائه شده در بخش نتایج، استان مرکزی از جریان محاسبات حذف گردید.



شکل ۱- نقشه دشت‌ها و مساحت و نسبت مساحت دشت‌های استان‌های مختلف واقع در حوزه آبخیز کرخه

نتایج و بحث

در جدول ۱ نحوه محاسبات مربوط به تعیین مقدار بهره‌وری آب بر مبنای تبخیر تعرق (WP_{PET}) گیاهان مختلف و در نهایت مقدار متوسط حوضه‌ای WP_{PET} محصول مورد نظر به عنوان نمونه برای گندم (WP_{PETB-Cx}) و نهایتاً سایر محصولات انتخابی حوزه آبخیز انجام که مقادیر نهایی آنها در جدول ۲ ارائه شده است.

در مرحله بعدی این تحقیق تلاش گردید با مقایسه نتایج بهره‌وری آب بر مبنای تبخیر تعرق (WP_{PET}) (جدول ۲) و مقادیر بهره‌وری آب مبتنی بر کاربرد آب

ناخالص (WP_{AW}) که معمولاً با وسائل اندازه‌گیری جریان (نظیر فلوم) در مزرعه مستقیماً اندازه‌گیری می‌شود (جدول ۳)، رابطه همبستگی معنی‌داری بین آنها یافته تا تفاوت این دو نگرش به بهره‌وری آب (آب مصرف شده واقعی و ظاهری) از نظر ارزیابی مقادیر آنها مشخص شده و همچنین بتوان بین مقادیر این دو شاخص رابطه معنی‌داری برقرار نموده و برای مقاصد مورد نظر آنها را به یکدیگر تبدیل نمود (شکل‌های ۲ و ۳). مقادیر ارائه شده در جدول ۳ مقادیر اندازه‌گیری شده مزرعه‌ای ذکر شده در تحقیقات و مطالعات مختلف در حوضه و یا سطح ملی بوده که با تجزیه و تحلیل‌ها و متوسط‌گیری‌های مختلف به شکل مقادیر نهایی آنها برای محصولات مختلف حاصل شده است.

جدول ۱- نمونه جدول داده‌ها و محاسبات بهره‌وری آب بر مبنای تبخیر تعرق (WP_{PET}) گندم در حوزه آبخیز کرخه (برای تعدادی از دشت‌های واقع در استان خوزستان) (۱۳۸۹-۱۳۸۰)*

محصول (۱)	زیرحوضه-دشت (۲)	نیاز آبی (متر مکعب بر هکتار) (۳)	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) (۴)	مساحت تحت کشت (هکتار) (۵)	تولید کل (تن) (۶)	حجم کل آب تبخیر تعرق شده (متر مکعب) (۷)	بهره‌وری آب بر مبنای تبخیر تعرق (WP _{PET}) (Kg/m ³) (۸) = (۶) × ۱۰۰۰ / (۷)
گندم	کرخه سفلی (دشت عباس-اوان)	۲۲۵۰	۳۱۲۹	۱۳۵۹۵۳۶	۴۲۵۴۴۰۲۳	۳۰۵۸۹۵۶۰۰۰	۱/۳۹
جو	کرخه سفلی (دشت عباس-اوان)	۱۸۰۰	۲۰۲۱	۹۶۶۹۳	۱۹۷۹۰۹	۱۷۴۰۴۶۸۰۰	۱/۱۴
یونجه	کرخه سفلی (دشت عباس-اوان)	۱۲۱۵۰	۱۱۴۰۶	۹۹۷۴	۱۱۸۵۲۲	۱۲۱۱۷۶۰۰	۰/۹۸
چغندر قند	کرخه سفلی (دشت عباس-اوان)	۳۲۵۰	۴۵۷۰۴	۳۹۱۵	۱۷۸۸۹۴	۱۲۷۲۱۰۴۲	۱۴/۰۶
ذرت علوفه‌ای	کرخه سفلی (دشت عباس-اوان)	۲۴۳۰	۴۶۸۲۸	۲۷۷۹۵	۱۳۵۵۰۴۳	۶۷۵۴۱۸۵۰	۲۰/۰۶
سیب زمینی	کرخه (دشت اریض-باغه)	۳۴۸۰	۲۳۴۱۵	۱۷۲۴۲	۴۰۶۳۳۵	۶۰۰۰۱۷۷۳	۶/۷۷
گندم	کرخه (دشت اریض-باغه)	۳۱۶۰	۳۱۲۹	۱۳۵۹۵۳۶	۴۲۵۴۰۲۳	۴۲۹۶۱۳۳۷۶۰	۰/۹۹
جو	کرخه (دشت اریض-باغه)	۲۵۷۰	۲۰۲۱	۹۶۶۹۳	۱۹۷۹۰۹	۲۴۸۵۰۰۱۵۳	۰/۸۰
یونجه	کرخه (دشت اریض-باغه)	۱۶۳۸۰	۱۱۴۰۶	۹۹۷۴	۱۱۸۵۲۲	۱۶۳۳۶۳۲۰۰	۰/۷۳
چغندر قند	کرخه (دشت اریض-باغه)	۴۵۵۰	۴۵۷۰۴	۳۹۱۵	۱۷۸۸۹۴	۱۷۸۰۹۴۵۸	۱۰/۰۴
ذرت علوفه‌ای	کرخه (دشت اریض-باغه)	۳۱۸۰	۴۶۸۲۸	۲۷۷۹۵	۱۳۵۵۰۴۳	۸۸۳۸۸۱۰۰	۱۵/۳۳
ادامه ... (**)

*: ماخذ: داده‌های تحقیق **: سایر محصولات و دشت‌ها

جدول ۲- بهره‌وری آب بر مبنای تبخیر تعرق محاسبه شده برای محصولات مختلف در کل حوزه آبخیز کرخه (WP_{ETB-CX})
*(۱۳۸۰-۱۳۸۹)

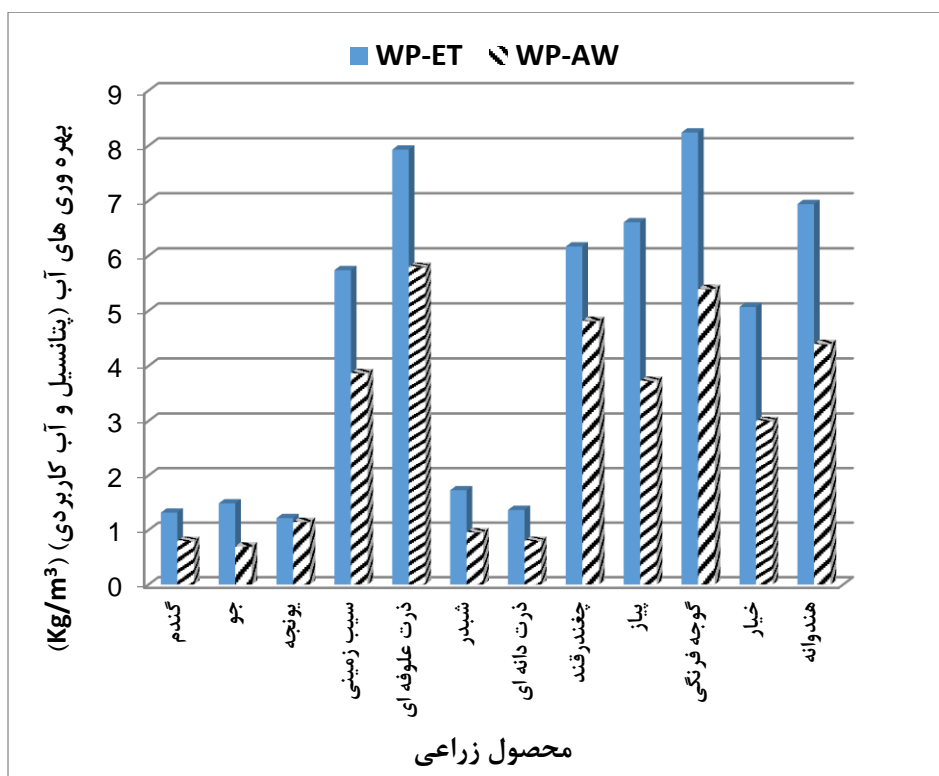
محصول	دامنه تغییرات نیاز آبی در حوزه آبخیز (متر مکعب بر هکتار)	دامنه تغییرات عملکرد در حوزه (کیلوگرم) (مکعب)	دامنه تغییرات WP _{ET} در دشت- های حوزه (کیلوگرم بر متر مکعب)	متوسط بهره‌وری آب محصول در حوزه** (WP _{ETB-CX}) (Kg/m ³)
گندم	۱۳۷۰-۴۰۷۰	۲۷۶۰-۴۵۸۷	۰/۷۳-۲/۶۳	۱/۳۲
جو	۹۷۰-۳۳۴۰	۱۹۴۱-۴۵۹۳	۰/۶۳-۳/۸۸	۱/۴۹
یونجه	۷۴۰-۱۶۲۸۰	۸۶۲۳-۱۳۰۲۵	۰/۷۳-۱/۷۵	۱/۲۲
سیب زمینی	۲۸۴۰-۸۲۸۰	۲۲۹۶۶-۴۱۸۹۳	۲/۹۸-۸/۳۰	۵/۷۴
ذرت علوفه‌ای	۲۴۳۰-۶۷۰۰	۵۳۵۶-۴۶۸۲۸	۰/۹۸-۲۰/۰۶	۷/۹۳
شیدر	۵۳۶۰-۹۶۴۰	۵۴۳۱-۲۲۵۳۷	۰/۵۶-۴/۲۰	۱/۷۳
ذرت دانه‌ای	۳۸۲۰-۷۳۵۰	۵۳۳۴-۸۷۱۶	۰/۷۳-۱/۸۵	۱/۳۷
چغندر قند	۳۲۵۰-۹۵۷۰	۳۸۴۲۷-۵۳۸۰۲	۴/۷۷-۱۴/۰۶	۶/۱۷
پیاز	۳۷۱۰-۸۹۹۰	۲۲۳۱۴-۵۳۵۹۸	۲/۹۲-۸/۵۹	۶/۶۱
گوجه فرنگی	۱۲۷۰-۸۹۸۰	۱۷۷۸۴-۵۱۳۳۸	۱/۹۸-۲۶/۸۹	۸/۲۴
خیار	۳۲۶۰-۶۸۵۰	۱۷۶۰۷-۲۸۹۴۴	۲/۹۶-۶/۹۲	۵/۰۷
هندوانه	۳۵۳۰-۶۸۹۰	۲۶۳۹۷-۴۲۸۸۲	۴/۴۹-۹/۸۶	۶/۹۴

*: ماخذ: داده‌های تحقیق

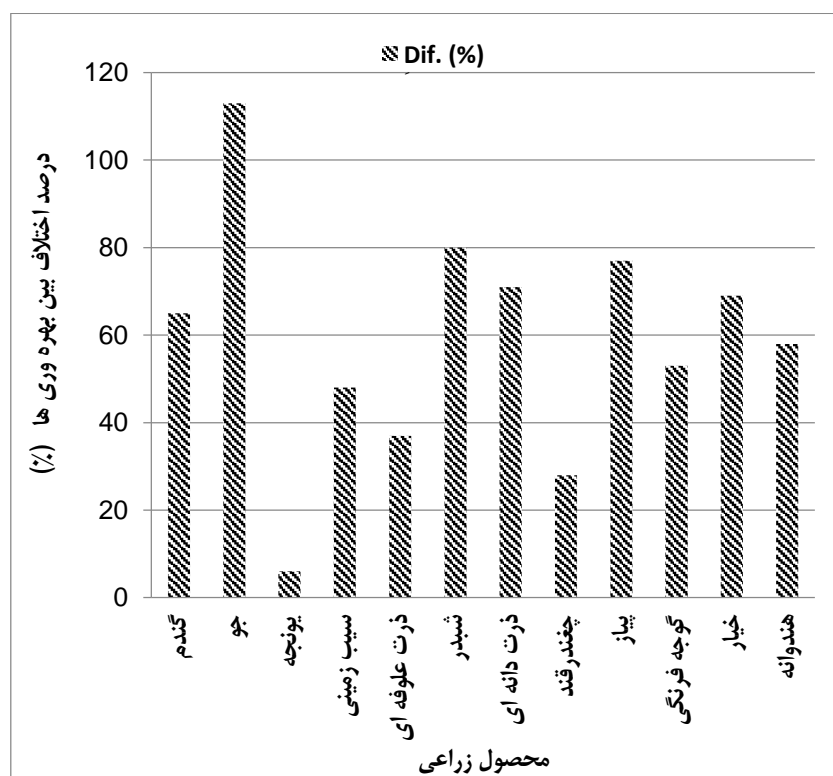
**:: با در نظر گرفتن ضریب وزنی برای استان‌های درون حوزه

جدول ۳- مقادیر بهره‌وری آب مبتنی بر کاربرد آب ناخالص (WP_{AW}) محصولات مختلف در سطح حوزه آبخیز کرخه

منابع علمی	متوسط بهره‌وری آب محصول بر اساس کاربرد آب ناخالص (WP _{AW}) (Kg/m ³)	دامنه تغییرات WP _{AW} (کیلوگرم بر متر مکعب)	محصول
مبیری و همکاران، ۲۰۱۲؛ چرانی و همکاران، ۲۰۱۰؛ خیدری، ۱۳۹۰؛ عباسی و همکاران، ۱۳۹۴؛ و کریمی و جلیلی، ۱۳۹۶	۰/۸۰	۰/۳۰-۱/۳۰	گندم
	۰/۷۰	۰/۵۰-۱/۰۰	جو
	۱/۱۵	۰/۷۰-۱/۶۰	یونجه
	۳/۸۷	۳/۵۰-۴/۲۴	سیب زمینی
	۵/۸۰	۳/۷۰-۱۰/۵۰	ذرت علوفه‌ای
	۰/۹۶	۰/۷۲-۱/۲۰	شیدر
	۰/۸۰	۰/۲۱-۱/۳۹	ذرت دانه‌ای
	۴/۸۲	۱/۳۰-۸/۳۴	چغندر قند
	۳/۷۳	۳/۷۳	پیاز
	۵/۴۰	۲/۸۰-۶/۸۰	گوجه فرنگی
	۱/۱۶	۳/۰۰	خیار
	۴/۴۰	۳/۹۰-۴/۸۰	هندوانه



شکل ۲- مقایسه بین مقادیر WP_{ET}^۱ و WP_{AW}^۲ برای محصولات مختلف در حوزه آبخیز کرخه



شکل ۳- درصد تفاوت بین مقادیر WP_{ET}^۱ و WP_{AW}^۲ برای محصولات مختلف و رابطه رگرسیونی بین آنها

۱- بهره‌وری آب بر مبنای تبخیر تعرق
 ۲- بهره‌وری آب مبتنی بر کاربرد آب ناخالص

مصرفی بر اساس شاخص تبخیر تعرق، تفاوت زیادی بین این دو مقدار وجود دارد (۷۵ درصد) و لذا در تصمیم سازی‌ها، برنامه ریزی‌های و سیاست‌های صرفه جویی در مصرف آب این تفاوت باید مد نظر قرار گرفته و بر روی اقداماتی برنامه ریزی و سرمایه گذاری شود که به کاهش ET (عملاً بخش تبخیر آن یعنی E) و صرفه‌جویی واقعی آب منتهی شود.

روش محاسبه شاخص بهره‌وری مصرف آب بر مبنای آب کاربردی (WPAW) روشی ساده، کم هزینه و برای مقاصد کاربردی و تخمین قابل قبولی از بهره‌وری آب محصولات مختلف و حتی متوسط بهره‌وری آب ارائه می نماید که می‌تواند برای سایر حوزه‌های آبخیز در کشور، با توجه به وجود داده‌های سهل الوصول سند ملی آب (که در حال به روز سازی است) و آمارنامه‌های کشاورزی (که به طور مستمر هر ساله چاپ می‌شوند)، به کار برده شود.

همچنین این روش ساده می‌تواند به عنوان روش معکوس و ساده و خیلی کم هزینه محاسبه مقدار راندمان کاربرد آب (راندمان آبیاری مزرعه) نیز مورد استفاده قرار گیرد.

پیشنهاد‌های ترویجی

با توجه به بحران کمبود منابع آب در کشور، به خصوص منابع آب لازم برای بخش کشاورزی، ضروری است تا ارزیابی اقدامات و سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در کاهش مصرف آب بر مبنای معیار صرفه‌جویی واقعی آب (یا به عقیده یکسری از متخصصین استفاده بهینه از آب) باشد. تعیین شاخص بهره‌وری آب بر مبنای تبخیر و تعرق (WPE_T) یکی از ابزارها و معیارهای مهم در این نوع ارزیابی‌ها یعنی افزایش بهره‌وری آب بر مبنای صرفه جویی واقعی آب است.

این پژوهش با توجه به اهمیت تعیین شاخص بهره‌وری آب بر مبنای تبخیر و تعرق (WPE_T)، از لحاظ تاثیر آن بر تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و سرمایه گذاری‌ها

با توجه به شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب رابطه رگرسیونی بین مقادیر WPE_T و WPAW (رابطه ۴) به دست آمده و متوسط مقادیر اختلاف بین آنها برابر ۵۹ درصد می‌باشد. به این طریق آن بیانگر آن است که متوسط راندمان کاربرد آب محصولات در این حوزه آبخیز عملاً ۵۹ درصد می‌باشد. این روش به نوعی می‌تواند به عنوان روش غیر مستقیم محاسبه متوسط راندمان کاربرد آب محصولات زراعی مختلف در منطقه نیز به شمار آید.

$$WPAW = (0.682) * WPE_T - 0.11 \quad (4)$$

نکته جالب دیگر برگرفته از شکل ۳ آن است که درصد تفاوت بین WPE_T و WPAW در محصولات متراکم نظیر یونجه بسیار پائین است و به عبارت دیگر تقریباً تمامی مقادیر آب کاربردی صرف تبخیر و تعرق محصول شده است. همچنین فضای زیادی (۱۱۳ درصد) برای افزایش بهره‌وری آب محصول جو تا حد پتانسیل آن وجود دارد.

بر اساس محاسبات بهره‌وری آب برای کلیه محصولات مختلف در سطح حوزه آبخیز به همین روش، متوسط شاخص بهره‌وری مصرف آب پتانسیل (بالقوه) حوزه آبخیز کرخه مقدار ۲/۰۵ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه گردید (حیدری، ۱۳۹۵). با توجه به رابطه رگرسیونی به دست آمده (رابطه ۴) متوسط شاخص بهره‌وری مصرف آب واقعی (WPAW) این حوضه، رقم ۱/۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه می‌شود که با مقادیر ارائه شده آن در سایر مطالعات (نظیر عباسی و همکاران، ۱۳۹۶؛ عباسی و همکاران، ۱۳۹۴؛ حیدری و همکاران، ۱۳۸۴) همخوانی مناسبی دارد.

نتیجه‌گیری

با توجه به مقدار فعلی شاخص بهره‌وری مصرف آب (بر مبنای آب کاربردی-WPAW) در حوزه آبخیز کرخه (۱/۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب) و مقایسه آن با مقدار پتانسیل (WPE_T) حوضه (۲/۰۵ کیلوگرم بر متر مکعب)، مشاهده می‌گردد از نظر شاخص استفاده مطلوب از آب

شاخص برای محصولات مختلف و به خصوص محصول جو (تا ۱۱۳ درصد) وجود دارد. برای سایر محصولات این حد افزایش به ترتیب برابر ۸۰٪ (شیدر)، ۷۶٪ (پیاز)، ۷۰٪ (ذرت دانه‌ای) و ۶۵٪ (گندم)، می‌باشد. از جنبه حصول به مقادیر بالاتر شاخص بهره‌وری آب بر مبنای تبخیر و تعرق (WP_{ET})، به ترتیب کشت محصولاتی نظیر گوجه فرنگی، ذرت علوفه‌ای، هندوانه، سیب زمینی، پیاز، چغندر قند و خیار در حوزه آبخیز کرخه (به خصوص در منطقه پائین دست آن) نسبت به کشت سایر محصولات ارجحیت و مزیت نسبی دارد.

برای کاهش مصرف و صرفه جویی واقعی آب، روشی ساده و در عین حال با دقت مناسب برای مقاصد کاربردی و مبتنی بر داده‌ها و آمار موجود در کشور را ارائه می‌نماید. به عنوان مطالعه موردی، شاخص مذکور برای محصولات زراعی فاریاب حوزه آبخیز کرخه یعنی گندم، جو، یونجه، سیب زمینی و ذرت علوفه‌ای برآورد گردید، مقدار این شاخص (در مقیاس حوزه) برای محصولات مذکور به ترتیب برابر ۱/۳۲، ۱/۴۹، ۱/۲۲، ۵/۷۴ و ۷/۹۳ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. از لحاظ امکان افزایش بهره‌وری آب محصولات زراعی، فضای زیادی برای افزایش مقدار این

فهرست منابع

۱. حیدری، ن. ۱۳۹۰. تعیین و ارزیابی شاخص کارایی مصرف آب محصولات زراعی تحت مدیریت کشاورزان در کشور. مجله مدیریت آب و آبیاری. دوره ۱، شماره ۲، پائیز ۱۳۹۰، صفحات ۵۷-۴۳.
۲. حیدری، ن. ۱۳۹۵. تعیین و ارزیابی شاخص کارایی مصرف آب پتانسیل و مزیت نسبی کشت محصولات زراعی و باغی عمده فاریاب در حوضه آبریز کرخه. گزارش پژوهشی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، شماره فروست ۴۸۴۸۳، ۱۶۰ صفحه.
۳. حیدری، ن.، اسلامی، ا.، قدمی، ع.، کانونی، ا.، اسدی، م.ا.، خواجه عبداللهی، م.ح. ۱۳۸۴. تعیین کارایی مصرف آب محصولات زراعی مناطق مختلف کشور (مناطق کرمان، همدان، مغان، گلستان، و خوزستان). گزارش پژوهشی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، شماره فروست ۸۴/۹۸۸، ۱۱۳ صفحه.
۴. عباسی، ف.، عباسی، ن.، و توکلی، ع.ر. ۱۳۹۶. بهره‌وری آب در بخش کشاورزی: چالش‌ها و چشم‌اندازها. یادداشت تحلیلی، نشریه آب و توسعه پایدار، جلد ۴، شماره ۱، ص. ۱۴۴-۱۴۱.
۵. عباسی، ف.، ناصری، ا.، سهراب، ف.، باغانی، ج.، عباسی، ن.، و اکبری، م. ۱۳۹۴. ارتقاء بهره‌وری مصرف آب. مجموعه یادداشت‌های فنی. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، ۶۹ صفحه.
۶. کاوه، ف. و حسینی ابری، س.ع. ۱۳۸۸. افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی آبی. مجموعه مقالات دوازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، مدیریت آبیاری در ایران: چالش‌ها و چشم‌اندازها. ۶-۵ اسفند ۱۳۸۸، تهران.
۷. کریمی، م. و جلیلی، م. ۱۳۹۶. بررسی شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات مهم زراعی، مطالعه موردی دشت مشهد. یادداشت فنی، نشریه آب و توسعه پایدار، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۶، ص. ۱۳۸-۱۳۳.
۸. مهتدی، م.، الباجی، م.، دوست محمدی، م. ۱۳۹۲. بررسی بهره‌وری آب سه محصول زراعی جو، گندم، و یونجه در استان خوزستان به تفکیک شهرستان. مجموعه مقالات چهارمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب، ۶ الی ۸ اسفند ۱۳۹۲، صفحات ۹۳۶-۹۲۹.
9. Bessembinder, J.J.E., Lefelaar, P.A., Dhindwal, A.S., Ponsioen, T.C. 2005. Which crop and which drop, and the scope for improvement of water productivity. *Agricultural Water Management*. 73 (2005). 113-130.

10. Cheraghi, S.A M., Heydari, N. Qadir, M. and Oweis, T. 2010. Improving crop growth and water productivity on salt-affected soils in the Lower Karkheh River Basin. Research report, ISBN: 92-9127-240-X, ICARDA, Aleppo, Syria, 66 pp.
11. De Wit, C.T. 1958. Transpiration and Crop Yields. Modeling Nr. 59. Instituut voor Biologisch en Scheikundig, Onderzoek van landbouwgewassen. Wageningen.
12. Faramarzi, M., Yang H., Schulin R., Abbaspour K. 2010. Modeling wheat yield and crop water productivity in Iran: Implications of agricultural water management for wheat production. *Agricultural Water Management* 97 (2010) 1861–1875.
13. Moayeri, M., Dehghanisani, H., Farhad Nato, A., Siadat, H., Abbasi, F. and Oweis, T. 2012. Assessment and improvement of wheat and maize in water productivities in Lower Part of KRB. CPWF Karkheh River Basin Research Report 9. ICARDA, Aleppo, Syria. x + 103 pp.
14. Molden D. 1997. Accounting for water use and productivity. In: SWIM Paper 1, IIMI, and Colombo.
15. Murray-Rust, H, Droogers, P., Heydari, N. 2004. Water for the future: Linking irrigation and water management in the Zayandeh Rud basin, Iran, Final report, IWMI.
16. Perry, C. 2007. Efficient irrigation; inefficient communication; flawed recommendations. *Irrigation and Drainage*, vol. 56. Wiley Inter science, pp. 367–378.
17. Perry, C. 2011. Accounting for water use: Terminology and implications for saving water and increasing production *Agricultural Water Management* 98, pp. 1840–1846.
18. Perry, C., Steduto, P., Karajeh, F. 2017. Does improved irrigation technology save water?: A review of the evidence. Book, Food and Agriculture Organization of United Nations, CAIRO, pp. 1-57.
19. Seckler, D, Molden, D, Barker, R. 1999. Water scarcity in the twenty first century, Water Brief 1. IWMI. Colombo Sri Lanka.
20. Singh, R. 2005. Water productivity analysis from field to regional scale: Integration of crop and soil modeling, remote sensing, and geographical information. Ph.D. Dissertation, Wageningen Univ., Wageningen, The Netherlands.
21. Turrall, H., Cook, S., Gichuki, F. 2006. Water productivity assessment: Measuring and mapping methodologies. Basin Focal Project. Working Paper no. 2. Challenge Program on Water and Food.
22. Willardson, L.S., Allen, R.G., Frederiksen, H. 1994. Eliminating irrigation inefficiencies. In: USCID 13th Technical Conference, Denver, Colorado, 19–22 October, 15 pp.

Assessment of ET-Based Water Utility Index (A Case Study of the Karkheh River Basin)

N. Heydari ¹

Research Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI); Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. nrheydari@yahoo.com

Received: September 2018 and Accepted: January 2019

Abstract

Water Utility Index (WUI), first introduced by D. White (1958), is defined as one kg of crop produced per one cubic meter of water evapotranspired. This concept was later replaced with the more inclusive one of 'water productivity' (WP). The objective behind this latter concept was to provide a measure for interpreting the results of field experiments of water consumption used in making proper provisions for irrigation management, detecting opportunities for water saving and enhancing water productivity, and developing water allocation decision-making support systems. In order to address the water crisis at the national level, the present article presents a detailed definition of the index and the challenges facing its application to develop realistic water saving measures. It is claimed that evaluations solely based on the WP Index, in which the water applied (or, water withdrawn) is the denominator (WP_{AW}), are to some extent misleading. It is argued that the index does not represent real amounts of water saved or effectively used, especially when it comes to the assessment of the so-called 'water-saving irrigation systems (e.g., pressurized irrigation). To overcome this inadequacy, it is initially proposed that the ET-based WP (i.e., WP_{ET}), rather than the plain WP index, should be used for this purpose. In a second stage of the study, a simple computational methodology is developed that is based on the currently available and cost-effective data on ETc and crop yields across the nation (as reported in the national document on water or in the statistical reports on agriculture). As an illustration, the data available on the Karkheh River Basin and the WP_{ET} values measured for the major crops of wheat, barely, alfalfa, potato, silage maize, clover, grain maize, sugar beet, onion, tomato, cucumber, and watermelon grown in the basin are computed to be 1.32, 1.49, 1.22, 5.74, 7.93, 1.73, 1.37, 6.17, 6.61, 8.24, 5.07, 6.94, and 2.05 kg/m³, respectively, which are then used to calculate the average value of 2.05 kg/m³ for the whole basin. Finally, WP values reported in the literature and measured using the conventional field methods (i.e., WP_{AW}) for the above crops grown both in the study basin and across the state are used to derive a proper regression relation between WP_{ET} and WP_{AW} , which exhibits a satisfactory goodness of fit ($R^2=0.96$). Using this relation, the average value of WP_{AW} for the basin is obtained to be about 1.20 kg/m³, which is consistent with the values reported elsewhere. Based on the above observations, application of the proposed method as a low-cost and reasonably accurate one is recommended for the estimation of WP_{ET} and, thereby, WP_{AW} .

¹ - Corresponding author: Iranian Agricultural Engineering Research Institute (AERI); Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Keywords: Water productivity, Evapotranspiration (ET), Real water saving, Crop, Karkheh basin