Archive of SID

تعریف و تعیین شاخص مدیریت بهره‌وری آب و کاربرد آن برای ذرت علوفه‌ای در دشت مغان

علی اکبر عزیزی زهان [۱]*، عبدالمجید لیاقت و مهدی شهابی‌فر

دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی گروه آبیاری و آبادانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران و محقق موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

azizizohan@yahoo.com

استاد گروه آبیاری و آبادانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

Aliaghat@ut.ac.ir

استادیار، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

m_shahabifar@yahoo.com

چکیده

به منظور تکمیل و تفکیک شاخص‌های بهره‌وری آب متناسب با شرایط واقعی، ارائه یک سنجه برای ارزیابی مطلوبیت شاخص بهره‌وری و ایجاد امکان تعمیم‌پذیری نتایج ضروری است. لذا در این پژوهش با نگاه فرآیندی به نظام تولید محصولات کشاورزی و با لحاظ قابلیت‌ها و محدودیت‌های اقلیم، اراضی و گیاه در چرخه پیچیده آب- خاک- گیاه- اتمسفر و انسان، پژوهش‌های مختلف بهره‌وری آب (WP) گروه‌بندی و تحلیل شد. شاخص‌های پتانسیل بهره‌وری آب اقلیمی (PCWP)، پتانسیل بهره‌وری آب اراضی (PLWP)، بهره‌وری آب واقعی (AWP)، شکاف بهره‌وری آب (WPG)، شاخص مدیریت بهره‌وری آب (WPMI) و سطح مدیریت بهره‌وری آب (WPML) تعریف شد و روش تعیین آنها ارائه گردید. شاخص‌ها برای سه مزرعه ذرت علوفه‌ای در دشت مغان تعیین و تحلیل گردید. نتایج نشان داد که تغییر در تقویم زراعی و شرایط خاک مزرعه، شاخص‌های PCWP و PLWP را متاثر می‌سازد، به‌طوریکه PCWP از ۳۱ تا ۴۶ در مزارع شماره ۱ و ۳ و PLWP از ۲۶ تا ۴۲ کیلوگرم بر متر مکعب در مزارع ۲ و۳ متغیر بود. AWP همواره کمتر از PLWP و متاثر از مدیریت مزرعه بر مقدار عملکرد و متناسب بودن تخصیص و مصرف آب با عملکرد واقعی بود و در بهترین شرایط برابر ۲۷، ۲۴ و ۳۹ کیلوگرم بر متر مکعب برای مزارع ۱، ۲ و ۳ بود. در شرایط تخصیص آب متناسب با تقویم زراعی و تولید واقعی و به‌صورت ویژه مکان، WPG به شدت کاهش یافت و برابر ۰/۲، ۲/۲ و ۳/۵ کیلوگرم بر متر مکعب برای مزارع ۱، ۲ و ۳ بود. در عمل صرفا با شاخص AWP نمی‌توان قضاوت، تحلیل و مقایسه درستی از وضعیت مدیریت بهره‌وری آب در شرایط مختلف اراضی به دست آورد. شاخص‌های بی بعد WPMI و WPML که در این مقاله معرفی شده برای این منظور مناسب است. [۲]

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب واقعی، پتانسیل بهره‌وری آب، تولید پتانسیل، سطح مدیریت بهره‌وری آب، شکاف بهره‌وری آب، کارآیی مصرف آب

---

[۱]- آدرس نویسنده مسئول: کرج، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران.

* - دریافت: آذر ۱۳۹۷ و پذیرش: مهر ۱۳۹۸

۲- بخشی از اعتبارات این پژوهش از محل پروژه شماره ۹۶۱۷۳۸-۰۹۶-۱۰-۱۰-۲ موسسه تحقیقات خاک و آب تامین شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

برای نیل به هدف‌های تولید کشاورزی در افق ۱۴۰۴ باید شاخص فیزیکی بهره‌وری آب حداقل دو برابر مقدار آن در سال ۱۳۸۶ گردد (حیدری، ۱۳۹۰ و کشاورز و دهقانی سانیچ،۱۳۹۱). بهره‌وری آب (WP) برابر تولید در واحد حجم آب مصرفی (مولدن، ۱۹۹۷) و در مزرعه برابر جرم محصول در واحد حجم تبخیر – تعرق (کیجن و همکاران، ۲۰۰۳) و برابر نسبت درآمد به حجم آب مصرف شده برای تولید نیز بیان شده است (ریتزما، ۲۰۱۴). هرچند شاخص فیزیکی بهره‌وری آب مصرفی ترکیب جزءهای ابتدا و انتهای زنجیره بازده‌های اجزای مختلف سامانه تولید کشاورزی است، اما برای مدیریت و هدف‌گذاری ارتقای این شاخص باید به تمام اجزای این زنجیره در کل فرآیند تولید کشاورزی، توجهی ویژه شود (هسیاو و همکاران،۲۰۰۷). با این وجود بسیاری از بحث‌های عمومی در خصوص مفهوم و تعریف بهره‌وری آب کشاورزی مبهم است و روش‌های نظام-مند برای ارزیابی و افزایش آن به ندرت وجود دارد (شایرلینگ و همکاران، ۲۰۱۶).

در کشاورزی فاریاب ایران WP سال ۱۳۷۹ حدود ۰/۷ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش شد (کشاورز و صادق-زاده، ۱۳۷۹). فرشی و همکاران (۱۳۸۲) بهره‌وری مصرف آب[1] (WP) هفت محصول زراعی گندم، جو، یونجه، ذرت، چغندرقند، پنبه و سیب‌زمینی را برای ۲۷ استان کشور گزارش کردند. حداقل WP ذرت ۰/۲۵ و حداکثر آن ۰/۷۶ کیلوگرم در متر مکعب بود. بنایی و همکاران (۱۳۸۳) دامنه WP محصول‌های گندم، جو، برنج، پیاز، سیب‌زمینی، یونجه، سورگوم، پنبه و چغندرقند در مناطق مختلف ایران را ارائه و تغییرات تا صد برابری را برای برخی از محصولات گزارش کردند. زیدعلی و همکاران (۱۳۸۳) متوسط شاخص WP را برای سال‌های ۸۰-۱۳۷۵، در شبکه آبیاری مغان ۰/۸۲ کیلوگرم بر مترمکعب آب توزیع شده در ابتدای کانال درجه ۲ گزارش‌کردند. حیدری (۱۳۹۰) WP گندم، چغندرقند، سیب‌زمینی، ذرت علوفه‌ای، پنبه، یونجه، جو، نخود آبی و نیشکر را در تعدادی مزرعه تحت مدیریت کشاورزان برای برخی مناطق کشور، به ترتیب ۰/۷، ۴/۶، ۲/۲، ۵/۶، ۰/۷، ۱/۵، ۰/۶، ۰/۲ و ۲/۹ کیلوگرم بر متر مکعب آب مصرفی گزارش-کرد. کشاورز و دهقانی سانیچ (۱۳۹۱) شاخص WP سال ۱۳۸۶ کشور را ۰/۸۸ و برای ذرت‌دانه‌ای برابر ۰/۵ کیلوگرم در متر مکعب گزارش‌کردند. شهابی‌فر و همکاران (۱۳۹۳) برای یک دوره پنج ساله، WP گندم استان‌های کرمانشاه و اردبیل را با مقادیر ۰/۹۹ و ۰/۹۸ کیلوگرم در متر مکعب آب دارای بالاترین رتبه گزارش کردند. عزیزی‌زهان و همکاران (۱۳۹۳) دامنه تغییرات WP گندم در نتایج تحقیقات ایران را ۰/۳ تا ۲/۴ گزارش و تاکید داشتند که در این مطالعات باید برآورد تولید پتانسیل و پتانسیل تولید اراضی مورد توجه قرار گیرد. عباسی و همکاران (۱۳۹۴) طی سال‌های ۹۲-۱۳۸۳ مقدار WP کشور را ۰/۹ تا ۱/۳ گزارش و افزایش تولید، کاهش حجم آب مصرفی و افزایش سطح زیر کشت را از دلایل اصلی افزایش WP در کشور دانستند. زمانی و همکاران (۱۳۹۴) شاخص WP در تعدادی از مزارع مجهز به سامانه آبیاری نوین یا سنتی را بررسی و به‌ترتیب ۸/۸ و ۶/۱ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش کردند. آنها اطلاعاتی از وضعیت اراضی و تقویم زراعی مزارع مورد مطالعه ارائه ندادند. عزیزی زهان و همکاران (۱۳۹۴) در بازه ۹۰-۱۳۷۶ متوسط WP گندم کشور را ۰/۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد کردند. آنها با توجه به نتایج پژوهش‌ها افزایش ۱۰۰ درصدی WP گندم را ممکن دانستند. غالبی (۱۳۹۵) WP ذرت‌علوفه‌ای در مزارع کشاورزان قزوین را ۶ تا ۷/۳ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش-کرد. یدالهی نوش آبادی و همکاران (۱۳۹۶) WP ذرت در منطقه هشتگرد را ۶/۶ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش‌کردند. زاهدپور یگانه و همکاران (۱۳۹۶) بهره‌وری آب دو مزرعه ذرت‌علوفه‌ای با سامانه آبیاری سطحی را ۵/۱ و ۹ کیلوگرم

۱ – در برخی از پژوهش‌ها برای بیان نسبت محصول به آب مصرفی بجای شاخص بهره‌وری آب(WP) از کارایی مصرف آب(WUE) استفاده شده است. در این مقاله یکسان سازی انجام و فقط از شاخص WP استفاده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

بر متر مکعب گزارش و اختلاف بهره‌وری در مزارع را عمدتا بخاطر حجم آبیاری و عملکرد محصول در مزارع دانستند. جناب و نظری (۱۳۹۷) تفاوت بهره‌وری تبخیر – تعرق گندم در استان قزوین را از ۰/۵۶ تا ۰/۶۶ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کـردند.

دهقانیان و افضلی‌نیا (۱۳۹۷) WP ذرت در مرودشت فارس برای آبیاری قطره‌ای نواری و سطحی را ۱/۲ و ۰/۳ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش کردند. فائو در نشریه-های ۳۳ (دورنباس و کسام، ۱۹۷۹) و ۶۶ (استدیوتو و همکاران، ۲۰۱۲) مقادیر دامنه WP برای محصولات مختلف را ارائه و برای ذرت دامنه‌های ۱/۶–۰/۸ و ۲ کیلوگرم بر مترمکعب را گزارش‌کرد. خالدی و احسانی (۲۰۰۵) متوسط شاخص بهره‌وری فیزیکی آب کشور را ۰/۷۸ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش کردند. زارت و باستیانسن (۲۰۰۴) متوسط WP گندم، برنج، پنبه (دانه)، پنبه (الیاف) و ذرت در پژوهش کشورهای مختلف را به ترتیب در دامنه‌های ۱/۷–۰/۶، ۱/۶–۰/۶، ۰/۹۵–۰/۴۱، ۰/۳۳–۰/۱۴ و ۲/۷ –۱/۱ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش کردند.

پژوهش‌های مرتبط با بهره‌وری آب (WP) را می-توان به سه گروه تقسیم کرد. گروه اول برای ستانده از عملکردهای گزارش شده در آمارنامه‌ها یا اندازه‌گیری موردی و برای نهاده از تبخیر – تعرق پتانسیل گیاه در شرایط استاندارد (ETc)، استفاده کرده‌اند. نتایج این گروه یک عدد برای شاخص WP است که توانایی مقایسه دو مکان و محصول را فراهم می‌سازد. ولی سهم هر یک از عوامل موثر را کمی نمی‌کند. گزارش‌هایی نظیر فرشی و همکاران (۱۳۸۲)، بنایی و همکاران (۱۳۸۲)، شهابی‌فر و همکاران (۱۳۹۳)، عزیزی زهان و همکاران (۱۳۹۴)، یدالهی نوش‌آبادی و همکاران (۱۳۹۶)، دورنباس و کسام (۱۹۷۹)، استدیوتو و همکاران (۲۰۱۲)، در این گروه قرار می‌گیرند.

گروه دوم در صورت کسر همان بوده و کل آب مصرفی، تحویلی یا موجود را که توسط وزارت نیرو یا وزارت جهاد کشاورزی برآورده شده، به عنوان نهاده لحاظ می‌کند. اگر چه که این نهاده با آب مصرفی واقعی تفاوت دارد ولی از آنجا که اثر مدیریت آبیاری، مدیریت زراعی، نحوه تخصیص آب و غیره، در آن مستتر است، نتایج این گروه به نوعی اثری از مدیریت‌های مختلف را نشان می‌دهد. شاخص این گروه قابلیت تفکیک و کمی کردن اثر مدیریت-های مختلف را ندارد و از منظر ارزیابی، بهبود و مدیریت بهره‌وری آب، کارآیی چندانی نخواهد داشت. گزارش‌هایی نظیر کشاورز و صادق‌زاده (۱۳۷۹)، خالدی و احسانی (۲۰۰۵)، زیدعلی و همکاران (۱۳۸۳)، کشاورز و دهقانی‌سانیج (۱۳۹۱)، عباسی و همکاران (۱۳۹۴)، در این گروه قرار می‌گیرند.

گروه سوم ستانده را اندازه‌گیری، پرسش یا برآورد نموده و نهاده را محاسبه یا اندازه‌گیری می‌نماید. نتایج این گروه نسبت به دو گروه قبلی دقیق‌تر ولی شمولیت زمانی، مکانی و محصولی آن محدود است. در این گروه نیز دو جزء ابتدا و انتهای فرآیند تولید مدنظر بوده و شاخص برای یک مزرعه یا آزمایش با تغییر یک جزء از اجزای موثر بر بهره‌وری تعیین می‌شود. نتایج نقطه‌ای و صرفاً بیانگر واقعیت موجود برای شرایط مدیریتی خاص است؛ و تمام ضعف و مشکلات دو گروه قبلی را دارد. گزارش‌هایی نظیر حیدری (۱۳۹۰)، زارت و باستیانسن (۲۰۰۴)، عزیزی‌زهان و همکاران (۱۳۹۳)، زمانی و همکاران (۱۳۹۴)، غالبی (۱۳۹۵)، زاهدپور یگانه (۱۳۹۶)، دهقانیان و افضلی‌نیا (۱۳۹۷)، جناب و نظری (۱۳۹۷)، در این گروه قرار می‌گیرند.

بهره‌وری آب در تولید محصولات کشاورزی از عواملی همچون اقلیم و آب و هوا، گیاه، خاک (ویژگی‌های پایا و متغیر)، مدیریت آبیاری، عوامل زراعی و مدیریت مزرعه، عوامل اقتصادی – اجتماعی، دانش کشاورزی و غیره تاثیر می‌پذیرد. تعدادی از این عوامل مدیریت‌پذیر هستند. در گروه‌های مختلف پژوهش‌های بهره‌وری آب، اولاً بیشتر جزء ابتدا و انتهای زنجیره تولید لحاظ شده و کمی‌سازی اثر تمام اجزای زنجیره تولید مد نظر نبوده است، لذا امکان مدیریت موثر برای ارزیابی و ارتقای بهره‌وری آب فراهم نمی‌شود. ثانیاً سنجه‌ای برای قضاوت درخصوص مطلوبیت مقادیر شاخص محاسبه یا اندازه‌گیری شده، نسبت به شرایط پتانسیل آن وجود ندارد. ثالثاً ملاک‌هایی برای

www.SID.ir

Archive of SID

تعمیم نتایج به شرایط دیگر و مقایسه و ارزیابی وضعیت شاخص در شرایط مختلف وجود ندارد.

از دیدگاه نویسندگان این مقاله اثر تمام عوامل موثر بر بهره‌وری آب، در پتانسیل تولید، تولید واقعی، آب مصرفی پتانسیل و آب مصرفی واقعی نمایان می‌شود. کمی نمودن اثر آن‌ها در سه گروه پژوهش‌های ذکر شده ترکیبی و کلی بوده و لذا برای تکمیل و تفکیک آن‌ها متناسب با شرایط واقعی در تمام فرآیند تولید، ارائه سنجه‌ای برای ارزیابی مطلوبیت مقدار شاخص بهره‌وری و ایجاد امکان و چگونگی تعمیم‌پذیری نتایج به شرایط دیگر، باید شاخص-های جدیدی معرفی شود. به این منظور در این مقاله شاخص‌های پتانسیل بهره‌وری آب اقلیمی[۱] (PCWP)، پتانسیل بهره‌وری آب اراضی[۲] (PLWP)، بهره‌وری آب واقعی[۳] (AWP)، شکاف بهره‌وری آب[۴] (WPG)، شاخص مدیریت بهره‌وری آب[۵] (WPMI) و سطح مدیریت بهره-وری آب[۶] (WPML) تعریف و معرفی شده‌است. سپس شاخص‌ها برای مزارع ذرت علوفه‌ای تعیین و تحلیل گردیده است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور دستیابی به اهداف، ابتدا بر اساس تجارب موجود، بررسی‌های کتابخانه‌ای و مشاوره‌های کارشناسی زیادی انجام شد. سپس نظام کشاورزی برای تولید محصول سالم و پایدار به‌صورت شکل (۱) به هم مرتبط شد. مهمترین عوامل موثر بر اجزای بهره‌وری (ستانده، نهاده، یا هر دو)، احصاء، دسته‌بندی و شاخص‌هایی برای بررسی و ارزیابی مدیریت تولید از نگاه بهره‌وری آب تعریف شد. سپس شاخص‌های معرفی شده برای سه مزرعه ذرت علوفه-ای تعیین و تحلیل شد.

مزارع ذرت‌علوفه‌ای در شبکه آبیاری و زهکشی مغان در شمال شرقی استان اردبیل واقع در دشت مغان است. دشت مغان بین طول جغرافیایی ′۲۵:°۴۷ تا ′۲۵:°۴۸ شرقی و عرض جغرافیایی ′۲۳:°۳۹ تا ′۴۲:°۳۹ شمالی قرار دارد. ارتفاع منطقه از سطح دریا ۵۰ تا ۶۰۰ متر و اقلیم آن نیمه خشک معتدل است. داده‌های روزانه هواشناسی برای محاسبه پتانسیل تولید و تبخیر- تعرق ذرت از ایستگاه هواشناسی پارس‌آباد اخذ شد (جدول ۳). مزارع به گونه‌ای انتخاب شد که از نظر ویژگی‌های اراضی و مدیریتی شرایط متفاوتی داشته باشد (جدول ۱). در این مزارع با حفر پروفیل خاک، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در لایه‌های ۳۰ سانتی‌متری تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری تعیین شد (جدول ۴). سایر داده‌های لازم در طول فصل رشد گیاه برداشت یا از نهادهای مربوطه اخذ شد. رقم ذرت کشت شده در این مزارع سینگل کراس ۷۰۴ بود.

شاخص مدیریت بهره‌وری آب (WPMI) در تولید کشاورزی به گونه‌ای تعریف شد که مجموع اثر تمام عوامل مدیریت‌پذیر موثر را بصورت کمی لحاظ نماید. برای این منظور ابتدا مقادیر پتانسیل و واقعی بهره‌وری آب مشخص شد.

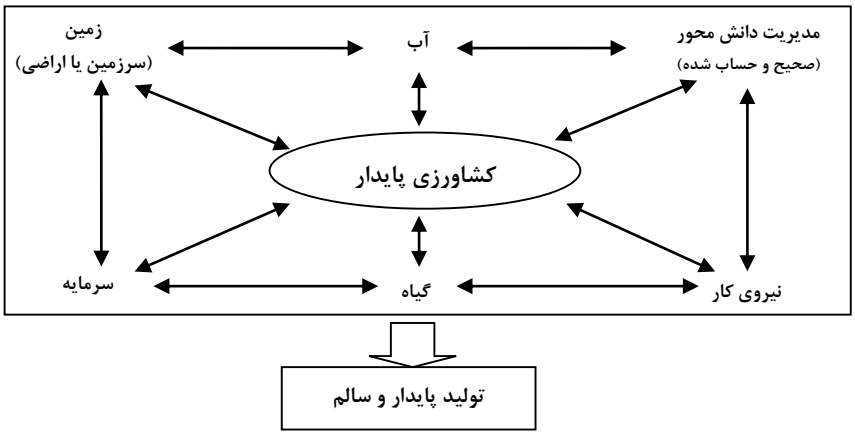
شاخص پتانسیل بهره‌وری آب اقلیمی (PCWP) برابر نسبت پتانسیل تولید اقلیمی[۷] (CPP) به آب مصرفی گیاه تحت شرایط استاندارد[۸] (ETc) (برای شرایط مختلف گیاهی – اقلیمی) تعریف شد (رابطه ۱).

$$PCWP = \frac{CPP}{ETc} = \frac{IPP}{ETc} \qquad (۱)$$

۱ - Potential Climatic Water Productivity (PCWP)
۲ - Potential Land Water Productivity (PLWP)
۳ - Actual Water Productivity (AWP)
۴ - Water Productivity Gap (WPG)
۵ - Water Productivity Management Index (WPMI)
۶ - Water Productivity Management Level (WPML)
۷- Climatic Production Potential (CPP)
۸ - Crop Evapotranspiration under Standard Condition(ETc)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- شماتیک نحوه ارتباط منابع برای تولید محصول سالم در یک نظام کشاورزی پایدار

جدول ۱- مشخصات عمومی مزارع مورد مطالعه

مزرعه	روش آبیاری	تاریخ کاشت	تاریخ برداشت	طول دوره رشد	عملکرد ($Kg.ha^{-1}$)	مساحت (ha)	نوع مدیریت
۱ (P5-F)	بارانی- سنترپیوت	۱۳۹۵/۴/۱	۱۳۹۵/۷/۱۵	۱۰۸	۶۶۵۸۲	۱۷	کشت و صنعت پارس
۲ (Arjangi)	سطحی- فارویی	۱۳۹۵/۴/۱۰	۱۳۹۵/۷/۱۲	۹۶	۳۳۷۵۰	۱/۵	کشاورز- مالک
۳(Salami)	سطحی- فارویی	۱۳۹۵/۵/۵	۱۳۹۵/۷/۲۸	۸۶	۴۲۶۷۰	۹/۷	کشاورز- مستاجر

پتانسیل تولید اقلیمی (CPP) برابر با توان ژنتیکی گیاه برای تولید با لحاظ محدودیت‌های اقلیمی منطقه نظیر تابش، دما، رطوبت و باد، مطابق جدول نیازهای اقلیمی هر گیاه است. با فرض آن که محدودیت ویژگی‌های خاک، آب، مدیریت، آفات و بیماری‌ها و غیره تاثیرگذار نباشد (سایس و همکاران، ۱۹۹۱). در کشاورزی فاریاب پتانسیل تولید اقلیمی (CPP) برابر پتانسیل تولید آبی[1] (IPP) و معادل پتانسیل تولید حرارتی- تابشی[2] (RTPP) محصول است (سیدجلالی، ۱۳۹۲).

پتانسیل تولید آبی (IPP) برابر تولید خالص زیست توده[3] (Bn) و پتانسیل عملکرد اقتصادی (Yp) است. Bn برابر تفاوت تولید ناخالص زیست توده[4] (Bg) و تنفس[5] (R) است. Bn و Yp مزارع از روش فائو با رابطه (۲) و (۳) و داده‌های جدول (۴ و ۶) برآورد شد (سایس و همکاران، ۱۹۹۱):

$$Bn = \frac{0.36*bgm*KLAI}{(\left(\frac{1}{L}\right)+0.25ct)} \quad (۲)$$

$$Y_p = B_n \times Hi \quad (۳)$$

که در آن:

Bn تولید خالص زیست توده، bgm میزان حداکثر تولید ناخالص زیست توده، ct ضریب تنفس، L تعداد روزهای بین کاشت و برداشت، KLAI عامل تصحیح شاخص سطح برگ، Hi شاخص برداشت و Yp عملکرد پتانسیل است.

تبخیر – تعرق گیاه در شرایط استاندارد (ETc) از رابطه (۴) تعیین شد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

$$ETc= ETo\times Kc \quad (۴)$$

که در آن:

Kc ضریب گیاهی محصول و ETo تبخیر – تعرق گیاه مرجع در اقلیم موردنظر است. ETo با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه با روش فائو – پنمن – مانتیث به عنوان یک روش استاندارد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) محاسبه شد (جدول ۳). مقدار ETc برای ذرت علوفه‌ای در منطقه مورد مطالعه توسط فرشی و همکاران (۱۳۷۶) و سند ملی آب

1- Irrigated Production Potential (IPP)
2- Radiation – Thermal Production Potential (RTPP)
3 - Net Biomas Production(Bn)
4 - Gross Biomas Production(Bg)
5 - Respiration Losses(R)

www.SID.ir

Archive of SID

(Netwat) برابر ۴۱۸ و ۴۶۵ میلی‌متر گزارش شده است. شاخص پتانسیل بهره‌وری آب اراضی (PLWP)، برابر نسبت پتانسیل تولید اراضی[1] (LPP) به تبخیر- تعرق حداکثر گیاه تحت شرایط پتانسیل تولید اراضی[2] (ET_{pL}) تعریف شد (رابطه ۵) که برای شرایط مختلف گیاهی – اقلیمی – اراضی- خاکی، برآورد می‌شود. پتانسیل تولید اراضی (LPP) از رابطه (۶) برآورد شد.

$$PLWP = \frac{LPP}{ET_{pL}} \qquad (۵)$$

$$LPP = IPP * \frac{SI}{100} \qquad (۶)$$

که در آن:

SI شاخص خاک از روش ریشه دوم (SRM) و داده‌های جدول (۴) محاسبه شد (سایس و همکاران، ۱۹۹۱).

$$SI = R_{min} \times \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \dots} \qquad (۷)$$

که در آن:

R_{min} حداقل درجه مربوط به خصوصیات مختلف و A، B و ...، درجات خصوصیات دیگر خاک به غیر از خصوصیت با درجه حداقل است. حداکثر تبخیر – تعریق گیاه در شرایط پتانسیل تولید اراضی (ET_{pL}) بر مبنای تابع تولید آب – عملکرد (دورنباس و کسام، ۱۹۷۹) با رابطه (۸) محاسبه شد؛ که در آن: K_y = ضریب واکنش عملکرد گیاه به آب است.

$$ET_{pL} = ETc + \frac{ETc}{Ky}\left(\frac{Lpp}{IPP} - 1\right) \qquad (۸)$$

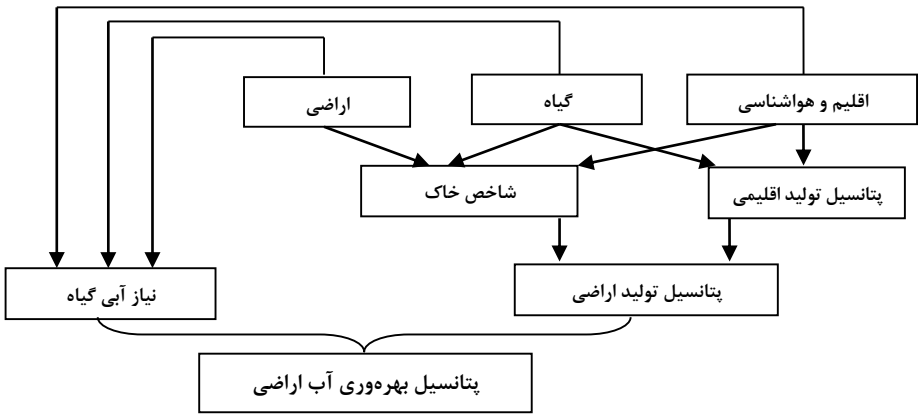
از ترکیب روابط (۸) و (۵)، رابطه (۹) برای محاسبه PLWP حاصل شد.

$$PLWP = \frac{IPP*SI}{ETc+\frac{ETc}{Ky}(SI-1)} \qquad (۹)$$

به این ترتیب پتانسیل بهره‌وری آب اراضی (PLWP) گیاه در هر شرایط اقلیمی و اراضی تعیین و شرایط پتانسیل موردنیاز برای محاسبه شاخص مدیریت بهره‌وری آب (WPMI) مشخص شد (شکل ۳).

در شرایط واقعی تولید، پتانسیل بهره‌وری آب اراضی (PLWP)، عموما محقق نمی‌شود. شاخص بهره‌وری آب واقعی (AWP) برابر نسبت مقدار تولید واقعی محصول در واحد سطح اراضی (Ya) به مقدار واقعی آب مصرفی گیاه برای آن تولید (ETa) است و در شرایط مختلف گیاهی – اقلیمی – اراضی – خاکی- مدیریتی، با رابطه (۱۰) برآورد شد[3].

$$AWP = \frac{Ya}{ETa} \qquad (۱۰)$$



شکل ۳- روند نمای محاسبه پتانسیل بهره‌وری آب اراضی (PLWP) برای هر کشت

1- Land Production Potential (LPP)
2- Potential Evapotranspiration under Land Conditions (ETpL)

۳- اگر برای حفظ شرایط کیفی خاک لحاظ نیاز آبشویی (LR) لازم باشد، یا برای مقابله با مواردی نظیر تنش سرما، گرما و افزایش رطوبت محیط گیاه نیاز به مصرف آب باشد، باید مقادیر آن به مخرج کسر در رابطه (۱۰) اضافه شود

www.SID.ir

Archive of SID

تفاوت AWP و PLWP برای هر شرایط در چگونگی تامین و مدیریت نهاده‌ها و دیگر عوامل مدیریت-پذیر موثر بر فرآیند تولید است. ستانده (Ya) در AWP به چهار روش قابل تعیین یا برآورد است:

الف- استفاده از آمار تولید محصول که توسط نهادهای مسئول گزارش می‌شود در ایران وزارت جهاد کشاورزی (مانند وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۷) یا اندازه‌گیری مستقیم در مزرعه.

ب- استفاده از تابع تولید آب - عملکرد محصول: برای این روش رابطه (۱۱) استخراج شد.

$$Y_a = AP = LPP - LPP * Ky(1 - \frac{ETa}{ET_{pL}}) \quad (11)$$

ج- استفاده از مدل‌های شبیه ساز رشد گیاه: مانند مدل Aquacrop که برای شبیه‌سازی واکنش محصول‌های زراعی به مقدار آب مصرفی، توسط استدیوتو و همکاران (۲۰۰۹) توسعه داده شده است.

د- استفاده از فن‌آوری سنجش از دور (RS): استفاده از داده-های RS برای برآورد و پیش‌بینی میزان محصول‌ها در نقاط مختلف دنیا رو به گسترش است برای نمونه مدل WATPRO برای محاسبه عملکرد واقعی محصول (Yact) گندم با RS توسط زارت و همکاران (۲۰۱۰) توسعه داده شده است.

نهاده (ETa) در AWP به سه روش قابل تعیین یا برآورد است:

الف- استفاده از تابع تولید آب - عملکرد: برای این روش رابطه (۱۲) استخراج شد.

$$ET_a = ET_{pL} + \frac{ET_{pL}}{Ky}\left(\frac{AP}{LPP} - 1\right) \quad (12)$$

ب- استفاده از فناوری سنجش از دور (RS): سنجش از دور برای برآورد تبخیر- تعرق در مقیاس‌های مختلف بکار گرفته شده و الگوریتم‌های متعددی از جمله الگوریتم سبال (باستیانسن و همکاران، ۱۹۹۸) برای این منظور توسعه داده شده است.

ج- استفاده از معادله بیلان آب خاک در مزرعه یا اندازه‌گیری مستقیم: در صورتی که اجزای معادله بیلان آب خاک به‌جز تبخیر- تعرق را بتوان اندازه‌گیری یا برآورد کرد، با حل آن مقدار ET_a برآورد خواهد شد.

به این ترتیب با تعیین یا برآورد تولید واقعی (Ya)، تبخیر- تعرق واقعی گیاه (ETa) و اضافه‌های آن در هر اقلیم، اراضی و شرایط مدیریتی مشخص مزرعه، AWP در تولید محصول از رابطه (۱۰) محاسبه شد[1].

فاصله شاخص بهره‌وری آب واقعی (AWP) نسبت به شاخص پتانسل بهره‌وری آب اراضی (PLWP) در تولید محصول به‌صورت شاخص شکاف بهره‌وری آب (WPG) تعریف شد (رابطه ۱۳).

$$WPG = PLWP - AWP \quad (13)$$

شاخص مدیریت بهره‌وری آب (WPMI) برابر نسبت شاخص بهره‌وری آب واقعی (AWP) به شاخص پتانسل بهره‌وری آب اراضی (PLWP) تعریف شد (رابطه ۱۴). این شاخص بدون بعد است و برای هر مزرعه یا واحد اراضی تعیین می‌شود.

$$WPMI = \frac{AWP}{PLWP} \quad (14)$$

برای بیان کیفی شاخص مدیریت بهره‌وری آب (WPMI)، شاخص سطح مدیریت بهره‌وری آب (WPML) در مزرعه تعریف و سطوح آن بر مبنای مقدار WPMI در جدول (۲) پیشنهاد شد.

جدول ۲- رابطه بین شاخص مدیریت بهره‌وری آب (WPMI) و سطح مدیریت بهره‌وری آب (WPML) در مزرعه

WPML	WPMI
خوب	$WPMI \geq 0.75$
متوسط	$0.5 \leq WPMI < 0.75$
ضعیف	$0.25 \leq WPMI < 0.5$
خیلی ضعیف	$WPMI < 0.25$

۱- با اعمال ضریب راندمان آبیاری مقدار نهاده آب اصلاح شده و شاخص بهره-وری برای آب آبیاری، آب توزیع شده، آب منتقل شده یا آب تخصیص داده شده قابل محاسبه است. برای تفسیر، تحلیل و مقایسه، بویژه در مقیاس بزرگ باید تعریف نئوکلاسیک راندمان آبیاری مد نظر قرار گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

خلاصه روند محاسبه پارامترهای موردنیاز برای شاخص‌های معرفی شده در مزارع ذرت، به شرح جدول (۳) انجام شد. در محاسبه شاخص AWP و شاخص‌های WPG، WPMI و WPML سناریوهای مختلف برای نهاده آب شامل:

۱- نیاز آبی گیاه در شرایط استاندارد (ETc) با آمار هواشناسی واقعی روزانه (AWP-1)، ۲- سناریو اول (۱) با اعمال راندمان آبیاری Ea = ۶۰ (AWP-2)، ۳- نیاز آبی حداکثر گیاه تحت شرایط پتانسیل تولید اراضی (AWP-3)، ۴- نیاز آبی واقعی گیاه (ETa) بر مبنای ETc و عملکرد واقعی با اعمال ضریب Ky و Ea = ۱۰۰ (AWP-4)، ۵- سناریو (۴) با اعمال راندمان آبیاری Ea = ۶۰ (AWP-5)، ۶- نیاز آبی گیاه در شرایط استاندارد (ETc) از فرشی و همکاران (۱۳۷۶) (AWP-6)، ۷- نیاز آبی گیاه در شرایط استاندارد (ETc) از نت وات (۱۳۸۱) (AWP-7)، ۸- آب تخصیصی بر اساس قرارداد فروش آب (AWP-8) و ۹- آب آبیاری واقعی (AWP-9)، در نظر گرفته شد.

جدول ۳- عوامل مورد نیاز و روش محاسبه آنها برای تعیین شاخص‌های بهره‌وری آب در مزرعه ذرت

ردیف	عامل	داده های مورد نیاز	روش محاسبه یا برآورد	نتایج
۱	تبخیر- تعرق گیاه مرجع (ETo)	داده‌های هواشناسی روزانه (جدول ۴)	فائو پنمن مانتیث (آلن و همکاران، ۱۹۹۸)	جدول ۴ و ۶
۲	تبخیر – تعرق گیاه ذرت در شرایط استاندارد (ETc)	ETo و ضریب گیاهی ذرت (Kc) آلن و همکاران (۱۹۹۸)، فرشی و همکاران (۱۳۷۶) و احمدی عدلی (۱۳۸۲)	✓ رابطه (۷) ETc = Kc × ETo ✓ فرشی و همکاران (۱۳۷۶) و نت وات (۱۳۸۱)	جدول ۶
۳	شاخص خاک (SI)	ویژگی‌های خاک تا عمق یک متر (جدول ۳) نیازهای رویشی گیاه ذرت (سایس و همکاران، ۱۹۹۳؛ گیوی، ۱۳۷۶)	✓ حفر پروفیل، تهیه نمونه و اندازه-گیری‌های لازم در آزمایشگاه ✓ روش پارامتریک ریشه دوم (سایس و همکاران، ۱۹۹۱؛ گیوی، ۱۳۷۶)	جدول ۵
۴	پتانسیل تولید اقلیمی (CPP) یا پتانسیل تولید آبی (IPP)	داده‌های اقلیمی و هواشناسی (جدول ۴) نیازهای اقلیمی گیاه ذرت (سایس و همکاران، ۱۹۹۳؛ گیوی، ۱۳۷۶)،	روش فائو (سایس و همکاران، ۱۹۹۱)	جدول ۶
۵	عملکرد واقعی (Ya)	اندازه‌گیری میدانی و اظهار کشاورز	برداشت نمونه از مزرعه	جدول ۶
۶	پتانسیل تولید اراضی (LPP)	IPP، SI از ردیف‌های ۳ و ۴	روش فائو (سایس و همکاران، ۱۹۹۱)	جدول ۶
۷	تبخیر – تعرق حداکثر ذرت در شرایط پتانسیل تولید اراضی (ETpL)	LPP، ETc، PP، Ky	تابع تولید آب- عملکرد ذرت (دورنباس و کسام، ۱۹۷۹؛ استدیوتو و همکاران، ۲۰۱۲)	جدول ۶
۸	آب مصرفی	- آب لازم، آب تخصیصی، آب تحویلی و راندمان آبیاری	ETc، قرارداد فروش آب، اندازه-گیری و کارشناسان خبره محلی	

نتایج و بحث

در جدول (۴) میانگین داده‌های هواشناسی لازم برای محاسبه پتانسیل تولید اقلیمی (CPP) ذرت‌علوفه‌ای و تبخیر – تعرق گیاه مرجع (ETo) ارائه شده است. نتایج ETo محاسبه شده برای ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۵ و CPP محاسبه شده برای هر مزرعه به ترتیب در جداول ۴ و ۶ ارائه شده است.

براساس ویژگی‌ها و جدول نیازهای رویشی خاک و چشم‌انداز برای ذرت‌علوفه‌ای (سایس و همکاران، ۱۹۹۳ و گیوی، ۱۳۷۶) مقدار شاخص خاک برای هر یک از مزارع تعیین شده (جدول ۵) که به ترتیب برابر ۵۷، ۴۷ و ۷۰ درصد برای مزارع یک، دو و سه بوده و بیانگر میزان محدودیت خاک در رسیدن به پتانسیل تولید اقلیمی است. نتایج نشان داد (جدول ۶) که علی‌رغم اینکه هر سه مزرعه ذرت علوفه‌ای کشت دوم و در یک اقلیم است مقدار IPP مزرعه دو و سه نسبت به مزرعه یک، به دلیل تفاوت در تقویم زراعی و طول دوره رشد آنها ۱۴ و ۲۶ درصد کاهش دارد و کاهش ۱۲ و ۳۸ درصدی ETo و ۱۶ و ۴۹ درصدی

www.SID.ir

Archive of SID

ETc را در مزرعه دو و سه نسبت به مزرعه یک ایجاد کرده است. این تفاوت در پژوهش‌های گروه‌های یک و دو قابل اعمال و کمی‌کردن نیست. شاخص خاک مزرعه دو و سه به ترتیب ۱۰ درصد کمتر و ۲۲ درصد بیشتر از مزرعه یک است؛ و میزان تبدیل IPP به LPP را در مزرعه دو و سه نسبت به یک به ترتیب ۱۰ درصد کمتر و ۲۲ درصد بیشتر خواهد کرد. مجموع اثر تفاوت در IPP برای سه مزرعه باعث شده است که مقدار LPP یا ستانده در PLWP مزرعه دو و سه نسبت به مزرعه یک به ترتیب، ۲۹ و ۹ درصد کمتر باشد.

مقدار نیاز آبی گیاه در شرایط اراضی (ET_{pL}) برای مزرعه یک، دو و سه به ترتیب، ۳۴ و ۴۲ و ۲۴ درصد کمتر از ETc متناظر آن شد. عملکرد واقعی (Ya) نسبت به پتانسیل تولید اراضی (LPP) در مزارع ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۳، ۳۱ و ۳۱ درصد کمتر است. نیاز آبی واقعی (ETa) مزارع یک، دو و سه به ترتیب ۲، ۲۵ و ۲۵ درصد معادل ۲۴۶۰، ۱۴۰۰ و ۳۷۰ متر مکعب در هکتار نسبت به ET_{PL} کاهش نشان داد؛ بنابراین اگر تحویل آب به صورت ویژه مکان و با لحاظ مدیریت باشد، آب خالص مورد نیاز برای مزارع ۱، ۲ و ۳ باید ۲۴۶۰، ۱۴۰۰ و ۱۱۰۰ متر مکعب در هکتار در نظر گرفته شود.

جدول ۴- متوسط داده‌های هواشناسی و تبخیر - تعرق گیاه مرجع ایستگاه پارس‌آباد مغان

ماه / واحد	T_{min} (ºC)	T_{max} (ºC)	T_{day} (ºC)	RH (%)	U_2 (m/s)	n (h)	N (h)	ETo (mm)
Jun	۱۷/۷	۳۱/۳	۲۶/۸	۶۳	۲/۴	۷/۶	۱۴/۸	۱۵۳
Jul	۲۱/۲	۳۲/۹	۲۹/۱	۵۹	۲/۷	۷/۸	۱۴/۶	۱۷۶
Aug	۲۰	۳۵/۶	۳۰/۸	۶۱	۲	۱۰	۱۳/۶	۱۶۷
Sep	۱۶/۷	۲۵/۷	۲۳/۲	۷۷	۱/۵	۶	۱۲/۲	۸۴
Oct	۹/۷	۱۶/۶	۱۴/۹	۸۶	۱/۶	۳/۷	۱۰/۹	۴۴

جدول ۵- میانگین وزنی ویژگی‌های خاک مزارع مورد مطالعه تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متر

مزرعه	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	بافت	EC_e (ds/m)	pH	O.C. (٪)	T.N.V (٪)	گچ (٪)	ESP (٪)	CEC (cmol/kg)	سطح ایستایی (cm)	SI
۱	۸/۵	۵۳/۵	۳۸/۱	SiCL	۱/۸	۷/۷	۱/۰	۲۳/۳	۰/۷۴	۳/۸	۲۷	-	۵۷/۲
۲	۱۲/۸	۴۸/۹	۳۸/۴	SiCL	۱/۲	۷/۹	۰/۸۹	۱۵/۶	۰/۰	۳/۳	۲۴/۴	۹۰-۱۲۰	۴۷/۴
۳	۳۷/۱	۳۱/۲	۳۱/۸	CL	۱/۱	۷/۸	۰/۸۵	۱۱/۱	۰/۰	۲/۰	۲۶/۸	-	۶۹/۷

* مقادیر pH و O.C. مربوط به لایه سطحی خاک است (۳۰-۰ سانتی‌متر).

جدول ۶- خلاصه نتایج پارامترهای محاسبه شده برای هر مزرعه

نام مزرعه	ct	bgm (kg/ha.hr)	KLAI	IPP (kg/ha)	ETo (mm)	ETc (mm)	LPP (kg/ha)	ET_{pL} (mm)	Ya (kg/ha)	ETa (mm)
۱	۰/۰۰۹	۷۰۸/۳	۰/۸۶۲۵	۱۱۹۸۰۷/۸	۵۰۰	۳۸۳/۱	۶۸۵۳۰	۲۵۱/۹	۶۶۵۸۲	۲۴۶/۲
۲	۰/۰۰۹	۶۶۵/۹	۰/۸۶۲۵	۱۰۳۰۱۸/۱	۴۴۲	۳۲۰/۸	۴۸۸۳۰/۶	۱۸۵/۸	۳۳۷۵۰	۱۳۹/۹
۳	۰/۰۰۸	۶۱۸/۵	۰/۸۶۲۵	۸۹۰۴۰/۴	۳۱۱	۱۹۴	۶۲۰۶۱/۲	۱۴۷	۴۲۶۷۰	۱۱۰/۲

www.SID.ir

Archive of SID

مقادیر شاخص‌های بهره‌وری آب شامل PCWP، PLWP و AWP در جدول (۷) آمده است. اثر ترکیبی IPP و ETc در شاخص PCWP و اثر LPP و ET_{PL} در شاخص PLWP مشخص است. تفاوت این شاخص‌ها در مزارع یک و دو با مزرعه سه خیلی زیاد است. در مزرعه دو بدلیل کاهش بیشتر ETc نسبت به IPP مقدار PCWP از مزرعه یک بیشتر و به دلیل تولید بسیار خوب مزرعه یک که نزدیک به شرایط LPP آن است، مقدار PLWP آن بیشتر از مزرعه دو است. کاهش شدید IPP در مزرعه سه بدلیل تاخیر زیاد در تاریخ کاشت، کوتاه شدن طول دوره رشد و کاهش دما و طول روز در انتهای دوره رشد است؛ که در انتهای فصل باعث کاهش شدید ETc مزرعه سه تا نصف مزرعه یک شده و کاهش شدیدتر ETc نسبت به IPP در مزرعه سه افزایش ۴۷ درصدی PCWP آن را سبب شده است؛ بنابراین رعایت تقویم زراعی اثر قابل توجهی در بهره-وری آب گذاشته که مقدار کمی آن با شاخص PCWP قابل تعیین است. ولی در پژوهش‌ها و مطالعات گذشته مانند حیدری (۱۳۹۰)، غالبی (۱۳۹۵)، زمانی و همکاران (۱۳۹۴) و عزیزی‌زهان و همکاران (۱۳۹۳) قابل اعمال و کمی‌سازی نبوده است.

بالا بودن شاخص خاک مزرعه سه علی‌رغم IPP کمتر آن و کم شدن ET_{PL} متناسب با ETc آن، افزایش ۵۵ و ۶۰ درصدی PLWP مزرعه سه را نسبت به مزارع یک و دو در پی داشته است. PLWP حالت پتانسیل بهره‌وری استفاده از آب را نشان می‌دهد. در حالیکه تعیین مقدار پتانسیل ممکن بهره‌وری آب گیاه برای شرایط مختلف اقلیمی و اراضی در هیچکدام از گروه‌های پژوهش‌های بهره‌وری آب قابل تعیین و کمی‌سازی نبود. برای دستیابی به این مقدار بهره‌وری باید تلاش شود که AWP حتی‌الامکان به PLWP نزدیک و WPMI به ۷۵ تا ۸۰ درصد ارتقا یابد.

تفاوت AWP بین سه مزرعه متاثر از تفاوت در تولید و آب مصرفی است که در مزرعه یک و دو بیشتر متاثر از تفاوت در تولید است. تفاوت بین حالت‌های مختلف در یک مزرعه متاثر از میزان و مقدار تخصیص و مصرف آب است. بیشترین AWP برای سه مزرعه در سناریو چهار که مبنای تامین آب، نیاز واقعی گیاه متناسب با تولید واقعی بوده، می‌باشد (۲۷، ۲۴ و ۳۹ کیلوگرم بر متر مکعب). هر چقدر که مبنای تامین و تخصیص آب از ETa و ET_{PL} فاصله بگیرد مقدار شاخص بهره‌وری واقعی آب (AWP) به شدت کاهش خواهد یافت (سناریو ۹). علاوه بر این باید بر عملیاتی شدن قرارداد فروش آب نیز نظارت جدی شود تا آب آبیاری واقعی از آن فراتر نرفته و کاهش شاخص AWP را سبب نشود (تفاوت سناریوهای ۸ و ۹ بویژه در مزرعه ۱). سناریوهای ۶، ۷ و ۸ در گروه یک پژوهش‌های بهره‌وری آب قرار می‌گیرد که نهاده آن بر مبنای ETc فرشی و همکاران (۱۳۷۶) یا نت وات (۱۳۸۱) و ستانده آن عملکرد واقعی است، لذا مقدار AWP در این سناریوها کم است. قضاوت با مقدار شاخص این سناریوها درست نخواهد بود و کارشناسان و مدیران را به مسیر اشتباه خواهد برد. مقدار درست شاخص در سناریو ۴ و ۵ است که ستانده و نهاده متناسب با هم بکار رفته است.

جدول ۷- مقادیر شاخص‌های مختلف بهره‌وری فیزیکی آب در مزارع مورد مطالعه

شاخص / مزرعه	PCWP (kg/m^3)	PLWP (kg/m^3)	AWP (kg/m^3)								
			۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱	۳۱/۳	۲۷/۲	۱۷/۴	۱۰/۴	۲۶/۴	۲۷	۱۶	۱۵/۹	۱۴/۳	۱۴/۸	۸/۹
۲	۳۲/۱	۲۶/۳	۱۰/۵	۶/۳	۱۸/۲	۲۴/۱	۱۴/۵	۸/۱	۷/۳	۷/۵	۶/۸
۳	۴۵/۹	۴۲/۲	۲۲	۱۳/۲	۲۹/۰	۳۸/۷	۲۳/۲	۱۰/۲	۹/۲	۹/۵	۶/۴

جدول (۸) شکاف بهره‌وری آب (WPG)، شاخص مدیریت بهره‌وری آب (WPMI) و سطح مدیریت بهره‌وری آب (WPML) مزارع مورد مطالعه در ۹ سناریو را نشان می‌دهد. معمولا AWP در نقاط مختلف مزارع و

www.SID.ir

Archive of SID

واحدهای اراضی با هم و با PLWP تفاوت زیادی دارد. این تفاوت در یک اقلیم متاثر از تفاوت ویژگی‌های واحد اراضی و سطح مدیریت مزارع آن واحدها و برای مزارع در یک واحد اراضی فقط متاثر از تفاوت سطح مدیریت بهره‌برداری است که با شاخص WPMI کمی‌سازی می‌شود. علت شکاف بهره‌وری می‌تواند عوامل مختلف مدیریت‌پذیر موثر در تولید مانند تنش‌های مختلف، رعایت نکردن مسائل به-زراعی، مدیریت زراعی، تغذیه گیاه و غیره باشد.

اگر چه بین تولید واقعی سه مزرعه اختلاف زیادی وجود دارد ولی در سناریوهایی که به تناسب مقدار آب تخصیصی کاهش داشته، مقدار شکاف بهره‌وری دو مزرعه تفاوت چندانی ندارد (سناریوهای ۴ و ۵). WPG در سناریو سه نشان می‌دهد که تولید مزرعه یک به مقدار پتانسیل اراضی نزدیک شده ولی در مزرعه دو و سه شکاف عملکرد قابل توجهی نسبت به پتانسیل تولید اراضی وجود داشته است. تفاوت سناریوهای شش و هفت با سناریو یک نشان می‌دهد که برآورد و تخصیص آب موردنیاز بر اساس تقویم زراعی و تولید واقعی به طور موثری WPG را به واقعیت نزدیک کرده است. شکاف بهره‌وری بالا در سناریو نه در مزرعه یک بیشتر متاثر از آب آبیاری اضافی و برای مزرعه-های دو و سه بیشتر متاثر از پایین بودن عملکرد است که مقادیر WPG در سناریوهای یک، دو و بویژه سه گواه این مدعی است. در هر سه گروه مطالعات و پژوهش‌های بهره-وری آب امکان تعیین WPG وجود ندارد ولی شاخص‌های معرفی شده در این تحقیق این امکان را فراهم کرده است.

شاخص مدیریت بهره‌وری آب (WPMI) در سه مزرعه نشان داد که به طور کلی مدیریت در مزرعه یک نسبت به مزرعه دو و سه بهتر است. انتظار هم همین بود چرا که مزرعه یک در اراضی یک کشت و صنعت قرار گرفته که از نظر ادوات و تجهیزات، تامین نهاده‌ها و دانش کارشناسی در شرایط مطلوبی است ولی مزرعه دو یک مزرعه با سطح کوچک و مربوط به یک کشاورز است که دانش فنی بالایی بویژه برای مسائل و محدودیت‌های غیر معمول برای تولید ندارد. بر اساس اندازه‌گیری انجام شده در این مزرعه سطح آب زیرزمینی در فصل ذرت بالا آمده و کشاورز نتوانسته برای این مسئله آگاهی و کنترل مناسبی داشته باشد. پس از برداشت ذرت سطح آب در عمق یک متر بود. در حالیکه این مزرعه در کشت گندم قبل و بعد از ذرت به ترتیب عملکرد ۶ و ۶/۵ تن در هکتار داشت. علاوه بر این تراکم کاشت در این مزرعه بالا و برابر ۱۴۸۹۰۰ بوته در هکتار بود که ۷۰ درصد بیشتر از توصیه برای منطقه است. مزرعه سه یک مزرعه با سطح متوسط و استیجاری است. این مزرعه توسط یک کشاورز باتجربه و فرزندش که فوق دیپلم کشاورزی است، اجاره شده بود. سرمایه و دانش این مزرعه نسبت به مزرعه یک بیشتر بود. تاخیر زیاد در کاشت بدلیل این است که پس از گندم کشت ذرت‌دانه‌ای انجام شده ولی بدلیل نداشتن قوه نامیه بذر سبز نشده لذا مجبور به کاشت ذرت‌علوفه‌ای شده‌اند. علاوه بر این سیستم آبیاری بارانی مزرعه یک نسبت به آبیاری سطحی مزرعه دو و سه، شرایط مناسب‌تری برای اعمال مدیریت‌های مختلف در مزرعه یک نسبت به دو مزرعه دیگر فراهم کرده است.

شاخص WPMI امکان مقایسه واقعی دو مزرعه را با شرایط پتانسیل خودش و همینطور امکان مقایسه شرایط مدیریتی دو مزرعه متفاوت با هم را نیز ایجاد می‌کند. این امکان با شاخص‌های معرفی شده در این مقاله فراهم شده ولی با شاخص‌ها و روش‌های هیچکدام از سه گروه مطالعه و پژوهش‌های بهره‌وری آب به صورت کمی قابل انجام نیست. اگرچه که پس از محاسبه شاخص‌ها، توصیه‌ها و تحلیل‌های کیفی در برخی موارد مانند کشاورز و دهقانی-سانیچ (۱۳۹۱)، کاوه و حسینی ابری (۱۳۸۸)، بنایی و همکاران (۱۳۸۳)، عزیزی زهان و همکاران (۱۳۹۳ و ۱۳۹۴) انجام شده است. در هر سه مزرعه اگر تخصیص و مصرف آب برابر با نیاز واقعی آب برای تولید واقعی (ETa) یا حتی پتانسیل تولید اراضی (ET_{PL}) باشد، شاخص مدیریت بهره‌وری آب (WPMI) بالا و سطح آن خوب تا متوسط خواهد بود (سناریوهای چهار و سه). سطح مدیریت بهره‌وری آب (WPML) طیف وسیع مقادیر کمی و پیوسته WPMI را در چهار سطح خوب، متوسط، ضعیف و خیلی

www.SID.ir

Archive of SID

ضعیف دسته‌بندی می‌کند (جدول ۲). تخصیص آب متناسب با شرایط استاندارد (ETc) بدون اعمال ضریب راندمان آبیاری، WPML برای مزرعه یک، دو و سه را به ترتیب به سطح متوسط، ضعیف و متوسط و با احتساب ضریب راندمان آبیاری به سطح ضعیف، خیلی ضعیف و ضعیف تقلیل خواهد داد. در شرایطی که تحویل آب برابر قرارداد فروش آب (سناریو ۸) باشد. WPMI برای مزرعه یک، دو و سه به ترتیب ۵۴، ۲۹ و ۲۲ درصد و WPML در سطح متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف خواهد بود. عدم نظارت بر اجرای درست قرارداد، WPMI را برای مزرعه یک، دو و سه به ترتیب به ۳۳، ۲۶ و ۱۵ درصد کاهش و WPML را به سطح ضعیف، ضعیف (مرز خیلی ضعیف) و خیلی ضعیف تبدیل کرده است. علت اصلی کاهش شاخص و سطح مدیریت بهره‌وری آب در مزرعه یک مصرف آب بالا، در مزرعه دو عملکرد پایین و در مزرعه سه ترکیبی از این دو است.

جدول ۸- شکاف بهره‌وری آب، شاخص مدیریت بهره‌وری آب و سطح مدیریت بهره‌وری آب در مزارع مورد مطالعه

شاخص / مزرعه	WPG (kg/m³)									WPMI (%)									WPML*								
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱	۹/۸	۱۶/۸	۰/۸	۰/۲	۱	۱۱/۳	۱۲/۹	۱۲/۴	۱۸/۳	۵۴	۳۸	۹۷	۹۹	۶۰	۵۹	۵۳	۵۴	۳۳	م	خ ض	خ ض	م	م	خ	خ	خ	خ	خ
۲	۱۵/۸	۲۰	۸/۱	۲/۲	۱۱/۸	۱۸/۲	۱۹	۱۸/۸	۱۹/۵	۴۰	۲۳	۶۹	۹۲	۵۵	۴۱	۲۸	۳۹	۲۶	ض	خ ض	م	م	خ ض	خ ض	خ ض	خ	خ	خ
۳	۲۰/۲	۲۹	۱۳/۲	۳/۵	۱۹	۳۲	۳۳/۱	۳۲/۷	۳۵/۸	۵۲	۳۱	۶۹	۹۲	۵۵	۴۳	۳۲	۲۲	۱۵	م	خ ض	م	م	خ ض	خ ض	خ ض	خ	خ	خ

* حروف خ، م، خ ض و ض به ترتیب معادل سطح مدیریت خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف، براساس جدول ۲ است

نتیجه‌گیری

چنانچه تعریف شاخص‌های بهره‌وری و انتخاب ابعاد مناسب آن هماهنگ با هدف ارائه نشده باشد کمیت حاصل برای بهره‌وری نه تنها موجب ارتقای مدیریت فرآیند نشده بلکه باعث گمراهی و دور شدن از هدف نیز خواهد شد. با انتخاب شیوه‌های دقیق و صحیح، شاخص بهره‌وری توانایی پایش، ارزیابی و ارتقای مدیریت را فراهم خواهد کرد. در این مقاله شاخص‌های مختلف بهره‌وری آب با لحاظ اثر عوامل ذاتی گیاه، اقلیم و اراضی و مدیریت‌پذیر اراضی، به زراعی و غیره، بر بهره‌وری آب، پیشنهاد و معرفی شد. روش‌های تعیین یا برآورد ستانده و نهاده برای تعیین آن‌ها، بصورت کمی ارایه شد. شاخص مدیریت بهره‌وری آب (WPMI) برای ارزیابی بهره‌وری آب واقعی (AWP) نسبت به پتانسیل بهره‌وری آب اراضی (PLWP) تعریف و سطح مدیریت بهره‌وری آب (WPML) در چهار سطح طبقه‌بندی شد. استفاده از شاخص‌های معرفی شده برای مزارع ذرت علوفه‌ای نشان‌داد که شاخص PLWP حالت آرمانی بهره‌وری استفاده از آب در هر شرایط است. بهترین حالت AWP برای مزارع زمانی اتفاق می‌افتد که نیاز واقعی گیاه به آب متناسب با تولید واقعی، مبنای تخصیص آب قرارگیرد. برای بهبود WPMI و WPML سیاست‌ها، اولویت‌ها و مدیریت باید به گونه‌ای باشد که مقدار AWP به PLWP نزدیک شود. اگر رسیدن به مقدار LPP مستلزم هزینه زیاد و اقتصادی نباشد، باید مبنای مدیریت تخصیص و تحویل آب از ETc و ET_{PL} به ETa تغییر و بصورت ویژه مکان انجام شود.

برای مزرعه‌های یک، دو و سه شاخص PCWP و PLWP برابر ۳۱، ۳۲ و ۴۶ و ۲۷، ۲۶ و ۴۲ بود؛ که با توجه به اقلیم یکسان مزارع بیانگر میزان تفاوت در تقویم زراعی و شرایط خاک دو مزرعه است. شاخص AWP بسته به سطح مدیریت در مزرعه‌های یک، دو و سه به ترتیب از حداقل نه، هفت و شش برای شرایط آب آبیاری واقعی تا

www.SID.ir

Archive of SID

حداکثر ۲۷، ۲۴ و ۳۹ کیلوگرم بر متر مکعب برای شرایط تخصیص آب برابر نیاز واقعی گیاه متناسب با تولید متغیر بود؛ که ۳، ۳/۵ و ۶/۵ برار نسبت به شرایط فعلی مزارع می‌باشد. در عمل صرفاً با شاخص AWP نمی‌توان قضاوت، تحلیل و مقایسه درستی از وضعیت مدیریت در شرایط مختلف داشت. لذا شاخص‌های بی بعد WPMI و WPML برای این منظور معرفی‌شد؛ که شکاف بهره‌وری آب را در شرایط مختلف مقایسه می‌کند. شکاف زیاد در مزارع با تولیدهای متنوع (کم تا زیاد) بدلیل تخصیص و مصرف آب یکسان در آنها بر مبنای ETc است. به طور کلی شاخص WPMI از مصرف آب بالا، عملکرد پایین یا هر دو متاثر می‌شود که در مزرعه کشت و صنعت بیشتر از مزارع بخش خصوصی بود.

با روش ارایه شده در این مقاله امکان تعیین شکاف بهره‌وری آب (WPG) در مزارع و تعیین سهم اراضی و مدیریت در آن به تفکیک وجود دارد. شاخص مدیریت بهره‌وری آب (WPMI) و سطح مدیریت بهره‌وری آب (WPML) در هر مقیاس مکانی و زمانی قابل تعیین و امکان پهنه‌بندی آن‌ها در هر زمان فراهم است. این شاخص‌ها در مقیاس کلان اساس و پایه سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری‌های ضروری در چگونگی الگو و ترکیب کشت، مدیریت توزیع و مصرف نهاده‌ها و ارتقای بهره‌وری آب در بخش کشاورزی و در مقیاس خُرد به ارزیابی وضع موجود و ارتقای بهره‌وری آب بویژه با اجرایی شدن مدیریت آب و سایر نهاده‌ها بصورت ویژه – مکان در مزرعه و واحدهای اراضی، در فرآیند تولید کشاورزی کمک می‌کند. علاوه براین امکان تعیین پتانسیل توسعه و رسیدن به یک ابزار حمایت از تصمیم برای بهبود مدیریت مزرعه، نظارت و اثربخشی مکانیسم‌های پشتیبانی را فراهم خواهد کرد. شاخص سطح مدیریت بهره‌وری آب (WPML) انجام دسته‌بندی محصول‌ها، مزارع و کشاورزان را از منظر بهره‌وری استفاده از آب عملی خواهدکرد. در اتخاذ تصمیم و اجرای سیاست‌ها و برنامه‌های متعددی مانند مدیریت توزیع یارانه‌ها، برنامه‌های آموزشی، سیاست‌های تشویقی و تنبیه‌ای، سیاست‌گذاری برای تغییر در ترکیب و الگوی کشت و غیره که در راستای ارتقای بهره‌وری آب انجام می‌شود، بسیار مفید و موثر خواهد بود. این شاخص‌ها توانایی اراضی و سطح مدیریت بهره‌برداری در بهره‌وری استفاده از نهاده آب را تعیین می‌کند. سهم عوامل اقلیمی، اراضی و مدیریتی کمی می‌شود. زمینه برای ارزیابی، هدف گذاری و ارتقای بهره‌وری آب در تولید محصول کشاورزی فراهم می‌شود.

نویسندگان پیشنهاد می‌کنند که الف) پژوهش‌هایی برای تعیین حدها، ضرایب و داده‌های پایه موردنیاز این شاخص‌ها برای گیاهان مختلف بویژه گیاهان خاص و بومی ایران که در منابع بین‌المللی اطلاعات و مطالعات کمی برای آنها وجود دارد انجام شود؛ و ب) در کلیه مطالعات و پژوهش‌های بهره‌وری آب در تولید محصولات کشاورزی شاخص‌های معرفی شده در این مقاله مدنظر قرار گیرد تا یافته‌ها قابل تفسیر، تحلیل، مقایسه، ارزیابی و تعمیم باشد؛ و امکان هدف‌گذاری درست برای ارتقای بهره‌وری آب در تولید محصولات کشاورزی بطور عملی فراهم گردد، انشاء الله.

تشکر و قدردانی

اعتبار این پژوهش از محل پروژه شماره ۹۶۱۷۳۸-۰۹۶-۱۰-۱۰-۲ موسسه تحقیقات خاک و آب تامین شده است. در اجرای این پژوهش آقای مهندس انور اسدی جلودار از مرکز تحقیقات کشاورزی مغان، آقای دکتر سید عیرضا سید جلالی و سرکار خانم مهندس سمانه پورمنصور از موسسه تحقیقات خاک و آب همکاری صمیمانه داشته‌اند؛ که به این وسیله از ایشان و موسسه تحقیقات خاک و آب تشکر و قدردانی می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

فهرست منابع

۱. احمدی‌عدلی، ر. ۱۳۸۶. آب مصرفی پتانسیل ذرت در منطقه مغان. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی موسسه تحقیقات خاک و آب. شماره ثبت ۸۶/۷۲۸ ۳۳ صفحه.

۲. بنایی، م.ح.، مومنی، ع.، بایبوردی، م. و م.ج، ملکوتی. ۱۳۸۳. خاک‌های ایران (تحولات نوین در شناسایی، مدیریت و بهره‌برداری). انتشارات سنا، به سفارش موسسه تحقیقات خاک و آب، ۴۸۲ صفحه.

۳. جناب، م و ب، نظری. ۱۳۹۷. برآورد تفاوت عملکرد و بهره‌وری آب گندم بین وضعیت موجود و مطلوب در استان قزوین با استفاده از پروتکل GYGA. مجله پژوهش آب در کشاورزی، دوره ۲۳، شماره ۱، صفحات ۴۱-۵۴.

۴. حیدری، ن.۱۳۹۰. تعیین و ارزیابی شاخص کارآیی مصرف آب محصولات زراعی تحت مدیریت کشاورزان در کشور. مجله مدیریت آب و آبیاری، دوره ۱، شماره ۲. صفحات ۴۳-۵۷.

۵. دهقانیان، س. ا. و افضلی نیا، ص. ۱۳۹۷. بهره‌وری آب و عملکرد ذرت در تناوب با گندم در روش‌های مختلف آبیاری و خاک‌ورزی. مجله پژوهش آب در کشاورزی، دوره ۳۲، شماره ۱، صفحات ۱۵-۲۷.

۶. زاهدپور یگانه، ح .، رضاوردی نژاد، و. و ح، دهقانی‌سانیج. ۱۳۹۶. ارزیابی بازده کاربرد و بهره‌وری سامانه‌های آبیاری سطحی در مزارع منطقه نازلوچای، دشت ارومیه. مجله پژوهش آب در کشاورزی، ب، جلد ۳۱ ، شماره ۴. صفحات ۶۸۵-۶۹۸.

۷. زمانی، ا.، مرتضوی، س.ا. و ح، بلالی. ۱۳۹۴. بررسی بهره‌وری اقتصادی آب در محصولات مختلف زراعی در دشت بهار. مجله پژوهش آب در کشاورزی، ب، جلد ۲۸، شماره ۱. صفحات ۵۲-۶۱.

۸. زید علی، س.، خالدی، ه. و م، خلقی. ۱۳۸۳. بررسی وضعیت بهره‌وری آب در شبکه آبیاری و زهکشی مغان. یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، صفحات ۴۱۹-۴۳۲.

۹. سید جلالی، س.ع.ر. ۱۳۹۲. مدل سازی ارزیابی تناسب اراضی و تخمین پتانسیل تولید اراضی برای گندم آبی با استفاده از نظریه‌های فازی و زمین آماری در دشت گتوند، استان خوزستان. رساله دکتری مهندسی علوم خاک، دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، ۲۲۸ صفحه.

۱۰. شهابی فر، م.، رضوی، ر.، عزیزی زهان، ع.ا. و ر، پیری. ۱۳۹۳. آب مصرفی و مدیریت آبیاری در زراعت گندم. اولین همایش ملی مدیریت آب و خاک در تولید گندم، موسسه تحقیقات خاک و آب.

۱۱. عباسی، ف.، ناصری، ا.، سهراب، ف.، باغانی، ج.، عباسی، ن. و م، اکبری. ۱۳۹۴. ارتقای بهره‌وری مصرف آب. انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۶۸ صفحه.

۱۲. عزیزی زهان، ع. ا.، رضوی، رو م، شهابی‌فر. ۱۳۹۴. بررسی تغییرات زمانی و مکانی کارآیی مصرف آب گندم بر مبنای پتانسیل تبخیر– تعرق، نیاز آبیاری و باران موثر در ایران. سیزدهمین همایش ملی آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۱۳. عزیزی زهان، ع. ا.، شهابی‌فر، م.، ابراهیم پاک، ن. ع.، رضوی، ر.، غالبی، س.، سرایی تبریزی، م.، طلوعی، ر و ر، پیری. ۱۳۹۳. ارزیابی کارآیی مصرف آب گندم در ایران و جهان. اولین همایش ملی مدیریت خاک و آب در تولید گندم، موسسه تحقیقات خاک و آب.

۱۴. غالبی، س. ۱۳۹۵. بررسی و ارزیابی نقش مدیریتهای مختلف آبیاری بر کارایی مصرف آب (W.U.E) در سطح بهره برداران ذرت کار استان قزوین. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. نشریه شماره ۲۰۵۷ موسسه تحقیقات خاک و آب. ۶۰ صفحه.

www.SID.ir

Archive of SID

۱۵. فرشی، ع. ا.، خیرابی، ج.، سیادت، ح.، میرلطیفی، م.، دربندی، ص.، سلامت، ع. ر.، انتصاری، م. ر. و م.ح، سادات میرئی. ۱۳۸۲. مدیریت آب آبیاری در مزرعه، انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲۰۰ صفحه.

۱۶. فرشی، ع. ا.، شریعتی، م.ر.، جارالهی، ر.، قائمی، م.ر.، شهابی‌فر، م. و م.م، تولایی. ۱۳۷۶. برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور. موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. وزارت جهاد کشاورزی، انتشارات نشر آموزش کشاورزی.

۱۷. کشاورز، ع. و ح، دهقانی سانیچ. ۱۳۹۱. شاخص بهره‌وری آب و راهکار آتیه کشاورزی کشور. فصلنامه راهبرد اقتصادی، سال اول، شماره اول، صفحات ۱۹۹-۲۳۳.

۱۸. کشاورز، ع. و ک، صادق‌زاده. ۱۳۷۹. وضعیت موجود، چشم‌اندازهای آینده و راهکارهایی جهت بهینه‌سازی آن. دهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، صفحات ۳۷۷-۳۹۸.

۱۹. گیوی، ج. ۱۳۷۶. ارزیابی کیفی تناسب اراضی برای نباتات زراعی و باغی. موسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه فنی شماره ۱۰۱۵، ۱۰۰ صفحه.

۲۰. وزارت جهاد کشاورزی و سازمان هواشناسی کشور. ۱۳۸۱. نیاز خالص آبیاری محصولات زراعی و باغی ایران. نرم افزار NetWat.

۲۱. وزارت جهاد کشاورزی. ۱۳۹۷. آمارنامه کشاورزی، جلد اول: محصولات زراعی، سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵. مرکز فناوری اطلاعات، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، وزارت جهاد کشاورزی، تهران.

۲۲. یدالهی نوش‌آبادی، س. ج.، جهانسوز، م.ر.، مجنون حسینی، ن.، و غ.ر، پیکانی. ۱۳۹۶. ارزیابی قابلیت تولید محصولات عمده زراعی در منطقه هشتگرد با استفاده از روش فائو. مجله علوم گیاهان زراعی ایران، دوره ۴۸، شماره ۱، صفحات ۲۵-۳۸.

23. Allen, R.G., Percira, L.S., Rees, D., and M.Smith. 1998. Crop evapotranspirantion. Irrigation and Drawing paper, NO. 56, FAO, 300 P.
24. Bastiaanssen, W.G.M., Pelgrum, H., Wang, J., Ma, Y., Moreno, J.F., Roerink van der Wal, G.J.T. 1998. A Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 2.Validation, Journal of Hydrology 213–229.
25. Doorenbos, J., and A.H. Kassam. 1979. Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
26. Hsiao, T.C., Steduto, P., and E. Fereres. 2007. A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. Irrigation Science, 25(3): 209–231.
27. Khaledi, H., and M, Ehsani .2005. Identifying agricultural water productivity indices in seven Iranian Irrigation Networks. Proceedings of the 9th International commission on Irrigation and Drainage, Bejing. China.
28. Kijne, J.W., Barker, R., and D. Molden. 2003. Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series. CABI Publishing, Wallingford, Oxon, OX10 8DE, UK, p. 52 pp.
29. Molden, D. 1997. Accounting for water use and productivity. In: SWIM Paper 1. IIMI. Colombo.
30. Ritzema, R.S. 2014. Aqueous Productivity: An enhanced productivity indicator for water. Journal of Hydrology 517: 628–642
31. Scheierling, S.M., Treguer and, D.O., and J.F. Booker. 2016. Water Productivity in Agriculture: Looking for Water in the Agricultural Productivity and Efficiency Literature. Water Economics and Policy, Vol. 2, No. 3.
32. Steduto, p., Hsiao, T., Fereres, E. and Raes, D. 2012. Crop yield response to water. In: FAO Irrigation and Drainage Paper No. 66. Rome, FAO.
33. Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D., and E. Fereres. 2009. AquaCrop-The FAO crop model

www.SID.ir

Archive of SID

to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. Agronomy Journal. 101:426–437.

34. Sys, C., Van Ranst, E., and J. Debaveye. 1991. Land evaluation, part II: Methods in land evaluation. General Administration for Development Cooperation, Agricultural publications nr.7, Brussels, Belgium.
35. Sys, C., Van Ranst, E., and J. Debaveye. 1991. Land Evaluation Part I, Principles in Land Evaluation and Crop Production Calculation. General Adminestration for Development Cooperation, Brusseis. 274 pp.
36. Sys, C., Vanranst, E., Debaveye, I.J., and F.Beernaert. 1993. Land evaluation. Part III. Crop Requirements. General Administration for Development cooperation, Agricultural publication-No. 7, Brussels-Belgium. 199p.
37. Zwart, S.J., Bastiaanssen, G.M., Fraiturec, C., and D.J. Moldenc. 2010. WATPRO: A remote sensing based model for mapping water productivity of wheat. Agricultural Water Management 97, 1628–1636.
38. Zwart, S. J., and G.M. Bastiaanssen. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat، rice، cotton and maize. Agric. Water Manage. 69:115-133.

www.SID.ir