



مبانی و شاخص های بهره‌وری

آب در کشاورزی

کمیسیون آب، محیط زیست و اقتصاد سبز

دبیرخانه کمیسیون های تخصصی

عنوان گزارش: مبانی و شاخص‌های بهره‌وری آب در کشاورزی
کمیسیون: آب، محیط زیست و اقتصاد سبز
تهیه کننده: بیژن نظری و عبدالمجید لیاقت
انتشار: دبیرخانه کمیسیون های تخصصی اتاق ایران
شماره گزارش: ۱۹۵۷۴
بهمن ۹۵

پیشگفتار

رشد جمعیت طی دهه‌های گذشته متناسب با رشد سایر بخش‌های تولیدی و رفاهی کشور نبوده است و همین عامل سبب گردیده که محدودیت‌ها و تنگنانهایی در سایر بخش‌ها به‌خصوص منابع آب و تأمین غذا به‌وجود آید. به‌طوری‌که سرانه آب تجدیدپذیر کشور نسبت به سال ۱۳۰۰ شمسی به حدود یک هفتم کاهش یافته است.

متأسفانه علی‌رغم وجود ظرفیت‌های بالقوه ارزشمند در بخش کشاورزی، عملکرد و تولید محصولات به‌ازای سطح کاشت و میزان آب مصرفی بسیار پایین است. کشاورزی نه تنها در اراضی دیم به واسطه بارش کم و نامنظم، بلکه حتی در اراضی آبی و مجهز به شبکه‌های مدرن آبیاری، عملکرد قابل قبولی در مقایسه با سایر کشورهای پیشرو ندارد. این در حالی است که بقای کشاورزی ایران به شدت به آب آبیاری وابسته است (به‌طوری‌که حدود ۹۰ درصد کل تولیدات کشاورزی در کشور از اراضی فاریاب تأمین می‌گردد) و چنان‌چه بحران و کمبود منابع آب در آینده و تأثیر آن بر توسعه کشاورزی کشور را در نظر بگیریم، با روند کنونی، بخش کشاورزی با آسیب‌های بیشتری مواجه خواهد شد.

یکی از مهم‌ترین و مؤثرترین راه‌کارهای مقابله با بحران آب، افزایش هم‌زمان کارایی آبیاری به‌همراه تخصیص بهینه مقدار آب مصرفی و به عبارت دیگر افزایش «بهره‌وری آب» در بخش کشاورزی است. این مهم در حفظ و ارتقای شرایط کسب و کار کشاورزان به عنوان قشر مولد کشور نیز مورد تأکید جدی است و ضروری است که این موضوع به‌عنوان یک عامل مؤثر در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌سازی‌های آتی کشور مدنظر قرار گیرد.

شناخت مفاهیم پایه در زمینه بهره‌وری آب، اهمیت بالایی در شناخت صحیح وضع موجود و فرصت‌های بهبود دارد. در این گزارش روابط مربوط به انواع شاخص‌های بهره‌وری آب فیزیکی، اقتصادی، محیط‌زیستی-اجتماعی، محاسبه و روش‌های تحلیل این شاخص‌ها، به‌علاوه اطلاعات مورد نیاز جهت برآورد آنها بررسی و ارائه شده است.

فهرست مطالب

۴ مبانی و مفاهیم پایه
۷ شاخص‌ها و روابط بهره‌وری آب در بخش کشاورزی
۷ ۱-۲- شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی آب
۹ ۲-۲- شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی آب
۱۱ ۳-۲- شاخص‌های بهره‌وری محیط‌زیستی - اجتماعی
۱۵ ۴-۲- سایر شاخص‌ها
۱۷ ۳- جمع بندی
۱۸ ۴- منابع

۱- مبانی و مفاهیم پایه

در بسیاری از موارد افزایش راندمان آبیاری و افزایش تولید در اراضی کشاورزی به صورت اهدافی مستقل بررسی و پیگیری می‌شوند. در صورتی که در رویکرد ارتقای بهره‌وری، امکان ایجاد ارتباط منطقی بین این دو هدف به طور هم‌زمان فراهم می‌شود.

تصور عمومی این است که هر چه تولید بیشتر شود، لزوماً بهره‌وری نیز افزایش خواهد یافت. این موضوع ضرورتاً صادق نیست. لذا بهتر است مفاهیم تولید و بهره‌وری به روشنی تشریح و با هم مقایسه شوند.

«تولید» عبارت است از عملیات و فعالیت‌های فیزیکی ساختن کالا، حال آن‌که بهره‌وری به استفاده همراه با کارآیی منابع (نهادها) برای تولید کالا مربوط می‌شود. با محاسبات به آسانی می‌توان ثابت کرد که حتی با افزایش تولید در یک واحد تولیدی، ممکن است بهره‌وری آن واحد کاهش یافته باشد یا برعکس بهره‌وری آن واحد با افزایش تولید بالا رود. به هر حال، نکته مهم آن است که تولید اضافی الزاماً به معنای افزایش بهره‌وری نیست.

بهره‌وری معیار سنجش فعالیت‌هاست. افزایش بهره‌وری و کارآیی مصرف آب از مهم‌ترین مسائل کشورهای مختلف است. بدیهی است که استفاده هر چه بهتر از منابع آب محدود در شرایط فعلی باید در اولویت قرار گیرد. سنجش هر فعالیتی در ارتباط با هدف انجام آن فعالیت قرار دارد. در سنجش بهره‌وری از یک سو، نقش مفید و مؤثر بودن فعالیت در دستیابی به هدف مورد سؤال است و از سوی دیگر، راندمان فعالیت مطرح می‌شود.

شاخص‌های بهره‌وری متناسب با اهداف مطالعات تعریف و محاسبه می‌شوند، برخی از این اهداف را می‌توان به صورت زیر نام برد:

- اهداف استراتژیک: به منظور نجات و پیشرفت در یک بازار رقابتی
- اهداف تاکتیکی: به منظور بررسی عملکرد بخش‌های مختلف
- اهداف مدیریتی: به منظور توسعه یا تغییر نوع فعالیت‌ها
- اهداف مربوط به برنامه‌ریزی: برای بررسی سود، زیان و تصمیم‌گیری مناسب

بهره‌وری دو مؤلفه دارد:

۱- کارآیی^۱

نسبت بازده واقعی به دست آمده به بازدهی استاندارد و تعیین شده (مورد انتظار)، کارآیی یا راندمان نامیده می‌شود. به عنوان مثال، در خصوص کارآیی یا بازده می‌توان به انواع تعاریف راندمان‌های آبیاری اشاره نمود.

۲- اثربخشی^۱

اثربخشی درجه و میزان نیل به اهداف را نشان می‌دهد و تعیین می‌کند که تا چه میزان از تلاش انجام شده، نتایج مورد نظر حاصل شده است. در حالی که نحوه استفاده و بهره‌برداری از منابع برای نیل به نتایج، به کارآیی مربوط می‌شود. به عبارت دیگر کارآیی جنبه کمی و اثربخشی جنبه کیفی دارد.

سه نوع بهره‌وری که در مباحث تئوریک و کاربردی استفاده می‌گردد، به شرح زیر است:

- بهره‌وری جزئی (تک عاملی)

نسبت ارزش و مقدار محصول به یک طبقه از نهاده را بهره‌وری جزئی گویند. به‌عنوان مثال، محصول به ازای هر نفر ساعت (بهره‌وری نیروی کار) یا درآمد تولید شده به ازاء هر ریال سرمایه (بهره‌وری سرمایه)، میزان ارزش تولید شده به ازای هر متر مکعب آب (بهره‌وری آب و ...)

- بهره‌وری چند عاملی

در محاسبه بهره‌وری چند عاملی به جای همه عوامل در مخرج کسر، ارزش تنها چند عامل از کلیه عوامل تولید را قرار می‌دهند.

- بهره‌وری کل عوامل تولید (TFP)¹

بهره‌وری کل عوامل (TFP)، انعکاس‌دهنده کارایی و اثربخشی در استفاده توأمان از کلیه عوامل تولید برای تولید کالاها و خدمات می‌باشد. این شاخص در برگیرنده تمام عوامل کیفی و کمی که تعیین کننده استفاده بهینه از منابع هستند، می‌باشد. در TFP موارد زیر مورد توجه قرار می‌گیرد:

- استفاده هوشمندانه‌تر از منابع در دسترس
- بکارگیری فناوری جدید و ارتقاء سطح فناوری موجود
- نوآوری
- فنون مدیریت بهتر
- تخصص‌گرایی
- بهبود کارایی
- آموزش، مهارت‌ها و تجارب کارکنان
- پیشرفت استفاده از فناوری اطلاعات

لازم است توجه شود که کارایی و اثربخشی لزوماً هم‌سو نیستند زیرا کارایی در برگیرنده سطح یا میزانی از نتایج است که ممکن است در مجموع مطلوب و ایده‌آل نباشد.

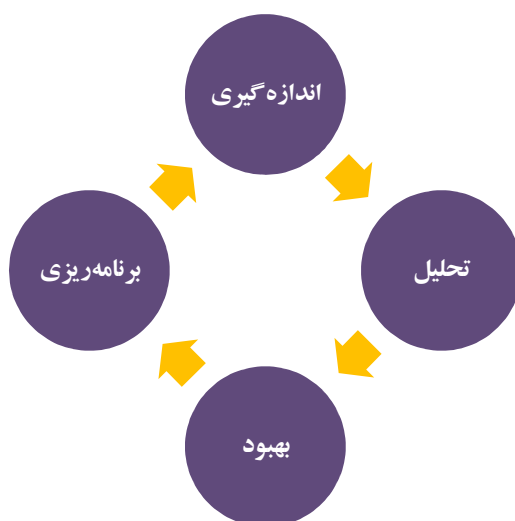
با توضیحات فوق می‌توان گفت:

- بهره‌وری = اثربخشی + کارایی
- بهره‌وری = انجام کارهای درست + انجام درست کارها

بدین ترتیب لازم است در کاربرد صحیح واژه‌های بهره‌وری، تولید، کارایی و اثربخشی دقت شود.

ارتقای بهره‌وری آب مستلزم مطالعه و برنامه‌ریزی دقیق و اجرای صحیح برنامه‌های تهیه شده است. به منظور ارزیابی هر مرحله از اجرای برنامه‌های مربوط به ارتقای بهره‌وری، اندازه‌گیری و تحلیل پارامترها و شاخص‌های بهره‌وری ضروری است. توجه به فرآیند «چرخه‌ی بهره‌وری» این موضوع را روشن‌تر خواهد ساخت. چرخه بهبود بهره‌وری شامل بخش‌های «اندازه‌گیری»، «تحلیل»، «برنامه‌ریزی» و «بهبود» می‌باشد (شکل (۱)).

¹ Total Factorial Productivity



شکل ۱- چرخه‌ی بهبود بهره‌وری

درخصوص این چرخه که از کجا باید آغاز شود، گروهی بر این عقیده هستند که «اندازه‌گیری»، اولین مرحله این چرخه است و گروهی دیگر با توجه به فعالیت‌های گوناگونی که می‌توان برای ارتقای بهره‌وری انجام داد، بر اولویت «برنامه‌ریزی» تکیه می‌کنند. آنچه مسلم است این‌که این چرخه از هر کجا که شروع شود، باید گردش خود را به‌طور کامل انجام دهد تا نتایج و آثار فعالیت‌های بهبود بهره‌وری به‌طور ملموس خود را نشان دهند (احسانی و خالدي، ۱۳۸۲).

اندازه‌گیری و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب در ایران، به علت شرایط آبی کشور از اهمیت بالایی برخوردار است.

بسیاری از پارامترهای مرتبط با بهره‌وری آب، کیفی بوده و قابل اندازه‌گیری نمی‌باشند. هم‌چنین اطلاعات پایه‌ای لازم برای محاسبه شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی، به اندازه کافی فراهم نیست.

به علت پیچیدگی مسائل مربوط به آب، تفاوت رویکردها و اهداف ذی‌نفعان مختلف انتخاب شاخص مناسب جهت مطالعه بسیار حیاتی و تعیین کننده خواهد بود. در این گزارش شاخص‌های مختلف بهره‌وری از نظر روابط و مفاهیم، نقاط قوت و ضعف و کاربردها مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۲- شاخص‌ها و روابط بهره‌وری آب در بخش کشاورزی

بهره‌وری آب بر اساس هدف و رویکرد مطالعات، در قالب شاخص‌های مختلفی تعریف و تبیین می‌گردد. در دهه‌های اخیر، در زمینه توسعه شاخص‌هایی که فرآیندهای متفاوت و هم‌چنین کارآیی سامانه‌های آبی را توصیف کنند، تلاش‌های قابل ملاحظه‌ای صورت گرفته است. شاخص‌های ارائه شده در این بخش، عمدتاً مربوط به استفاده آب در بخش کشاورزی است، هرچند در سایر بخش‌ها نیز با تعمیم قابل استفاده است. این شاخص‌ها با توجه به نوع ستانده در سه دسته فیزیکی، اقتصادی و اجتماعی- زیست‌محیطی مطرح می‌گردند.^۳ مفهوم هر یک از این دسته‌بندی‌ها به قرار زیر است:

- بهره‌وری فیزیکی: براساس این دیدگاه، بهره‌وری بیشتر آب کشاورزی به معنای تولید محصول بیشتر به ازای واحد حجم آب مصرفی است.
- بهره‌وری اقتصادی: براساس این دیدگاه، بهره‌وری بیشتر آب کشاورزی به معنای کسب سود بیشتر به ازای واحد حجم آب مصرفی است.
- بهره‌وری اجتماعی- محیط‌زیستی: براساس این دیدگاه، بهره‌وری بیشتر آب کشاورزی به کسب منافع اجتماعی نظیر ایجاد اشتغال بیشتر، تولید غذای بیشتر و یا افزایش رفاه و درآمد سرانه به ازای واحد حجم آب مصرفی و در رابطه با مسائل محیط‌زیستی به معنای ایجاد آلاینده کمتر است.

۲-۱- شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی آب

طبق آنچه گفته شد در شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی آب، ستانده‌ها به صورت واحدهای فیزیکی تعریف می‌شوند که عموماً به صورت مقدار تولید محصول می‌باشند؛ به همین دلیل در دسته‌بندی بهره‌وری فیزیکی قرار می‌گیرند. مقدار تولید محصول غالباً برحسب کیلوگرم در هکتار است. این شاخص‌ها به شرح زیر هستند:

عملکرد به ازای واحد حجم آب (CPD)^۳

CPD یا محصول به ازای هر قطره آب، یکی از شاخص‌های مطرح در خصوص سنجش میزان بهره‌وری آب کشاورزی است. این شاخص در واقع نسبت مقدار محصول تولید شده (گندم، جو، گوشت و...)، نسبت به حجم آب مصرف شده است. بنابراین هرچه این نسبت بیشتر باشد، نشان‌دهنده تولید بالاتر به ازای مصرف آب است.

$$CPD = \frac{Y(kg\ ha^{-1})}{WU(m^3\ ha^{-1})} \quad (1)$$

در این رابطه، صورت کسر می‌تواند مقدار محصول خشک، تر و یا جزئی از محصول باشد که به مصرف می‌رسد (مانند دانه، ریشه و...) و مخرج کسر، آب مصرف شده است. مقدار آب مصرف شده می‌تواند آب تحویلی به شبکه، آب تحویلی به مزرعه، آب تحویلی به گیاه و یا حتی تبخیر- تعرق باشد. هنگام مطالعه این شاخص‌ها باید به این موارد توجه کرد.

تولید محصول به جز آبیاری، به عوامل دیگری از جمله اقلیم، نوع خاک، مصرف نهاده‌های کشاورزی و ... بستگی دارد. عملکرد محصولات کشاورزی به طور مستقیم، تحت تأثیر نهاده‌های مختلف کشاورزی بوده و به خودی خود، نشانه‌ی روشنی از ارزش عملکرد آبیاری به دست نمی‌دهد. در هر حال در شرایطی که آب، نهاده محدودکننده‌ی کشاورزی است، این شاخص می‌تواند بیان‌کننده‌ی کارآیی مصرف آب باشد. اما نمی‌توان گفت

^۳ گزارش طرح "مطالعه، طراحی و اجرای سامانه بهبود بهره‌وری آب در حوضه ارس" که توسط دانشگاه تهران و به کارفرمایی معاونت آب و آبنای وزارت نیرو- دفتر اقتصاد و بهره‌وری آب انجام می‌شود، از مراجع اصلی این مجموعه بوده است.

³ Crop per Drop

هرچه تولید محصول به‌ازای آب مصرفی بالاتر برود، لزوماً اثربخش خواهد بود، زیرا ارزش مقدار محصول گیاهان مختلف، هم به لحاظ ارزش ریالی و هم به لحاظ جایگاهی که در ایجاد امنیت غذایی دارا هستند، متفاوت می‌باشد. هم‌چنین از این شاخص، نمی‌توان برای مقایسه بهره‌وری آب گیاهان مختلف استفاده کرد، زیرا گیاهان مختلف نیازهای آبی متفاوتی دارند. این شاخص یک شاخص قدیمی است و محاسبه آن آسان است، بنابراین قابلیت اندازه‌گیری و پایش دارد.

بهره‌وری تعرق

بهره‌وری تعرق به‌صورت رابطه زیر تعریف می‌گردد:

$$WP_T = \frac{Y(kg\ ha^{-1})}{T(m^3\ ha^{-1})} \quad (2)$$

که پارامترهای WP_T ، Y و T به ترتیب بهره‌وری تعرق بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب، وزن خشک اندام هوایی گیاه (با مقدار محصول قابل عرضه به بازار) بر حسب کیلوگرم در هکتار و مقدار تعرق در طول فصل زراعی بر حسب مترمکعب در هکتار می‌باشد (کیجن و همکاران، ۲۰۰۳). این شاخص جهت مقایسه ارقام مختلف گیاهی مناسب بوده، اما محاسبه آن دشوار است، زیرا محاسبه و تفکیک تعرق از تبخیر-تعرق مشکل می‌باشد، بنابراین قابلیت پایش به شکل کاربردی ندارد. استفاده از این شاخص برای تحقیقاتی که بر روی ارقام گیاهی در راستای اصلاح نباتات برای مقامت بیشتر به کم‌آبی و تولید بیشتر به ازای واحد تعرق صورت می‌گیرد، مناسب است.

بهره‌وری تبخیر و تعرق

گاهی با توجه به مشکل بودن تفکیک تعرق از تبخیر-تعرق، به جای WP_T از WP_{ET} استفاده می‌گردد که در این صورت بهره‌وری مصرف آب به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$WP_{ET} = \frac{Y(kg\ ha^{-1})}{ET(m^3\ ha^{-1})} \quad (3)$$

در این رابطه که توسط مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI) نیز ارائه گردیده است، WP_{ET} و ET به ترتیب بهره‌وری تبخیر-تعرق بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب و مقدار تبخیر-تعرق بر حسب مترمکعب در هکتار، طی فصل زراعی می‌باشد (کیجن و همکاران، ۲۰۰۳). با کمک این شاخص می‌توان، میزان اثر حذف تبخیر ناخواسته در سیستم‌های آبیاری و کشاورزی، بر بهره‌وری آب را مورد ارزیابی قرار داد. این شاخص قابلیت اندازه‌گیری و پایش دارد. این شاخص نسبتاً تخمینی بوده و دقیق نیست و جهت اندازه‌گیری دقیق آن باید از لایسیمتر استفاده کرد که روش پرهزینه‌ای بوده و امکانات آن در همه‌جا فراهم نیست.

بهره‌وری آب آبیاری و بارش

شاخص "بهره‌وری آب آبیاری و بارش" که از شاخص‌های رایج بهره‌وری آب است، به‌صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$WP_{I+P} = \frac{Y(kg\ ha^{-1})}{[I+P](m^3\ ha^{-1})} \quad (4)$$

که I و P مقدار آبیاری و بارندگی بر حسب مترمکعب در هکتار در طول فصل زراعی می‌باشند. WP_{I+P} بهره‌وری آب آبیاری و بارش می‌باشد که معمولاً به اختصار "بهره‌وری آب" و یا "بهره‌وری آب کل" نیز نامیده می‌شود و بر حسب کیلوگرم در مترمکعب است. در شرایطی که میزان بارش اندک باشد و یا هدف از مطالعه، میزان اثر فرآیند آبیاری بر بهره‌وری آب باشد، WP_{I+P} به WP_I و یا بهره‌وری آب آبیاری تبدیل می‌شود.

$$WP_I = \frac{Y (kg \ ha^{-1})}{[I](m^3 \ ha^{-1})} \quad (5)$$

این شاخص می‌تواند اثر راندمان آبیاری و تغییر و بهبود سیستم‌های آبیاری بر روی بهره‌وری آب را لحاظ کند. همچنین، بهره‌وری آب در کشت دیم، شاخص "بهره‌وری بارش" تعریف می‌گردد که با حذف آبیاری از مخرج رابطه (۴)، رابطه آن به‌دست می‌آید.

این شاخص متناظر با شاخص قدیمی تر CPD است. اما چون در مخرج کسر آب آبیاری و بارش آمده است، ایجاد ابهام در آن کمتر از CPD است. بایستی توجه داشت که هرچه تنوع محصولات بیشتر شود، مقدار خطای تحلیل‌ها با این شاخص بیشتر خواهد شد، که این مسئله بستگی به الگوی کشت، تنوع گونه‌های زراعی و باغی و سیستم‌های آبیاری دارد. شاخص بهره‌وری آب آبیاری و بارش با توجه به اقلیم و الگوی بارش مناطق، می‌تواند در تعیین الگوی کشت مورد استفاده قرار گیرد.

هریک از شاخص‌های بهره‌وری آبیاری و بارش، بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب در کشت دیم، با توجه به هدفی که مدنظر است مورد استفاده قرار می‌گیرد. نقاط ضعفی که در مورد شاخص CPD مطرح است، در این‌جا نیز مطرح می‌باشد.

بهره‌وری سایه‌ای^۴

با توجه به اهمیت بررسی تغییرات محصول (ستانده) به ازای یک واحد تغییر در نهاده (مثلاً آب) از شاخص‌های سایه‌ای استفاده می‌شود. به عبارت دیگر این شاخص، نرخ تغییر در عملکرد و یا درآمد را به‌ازای یک واحد افزایش در نهاده ورودی یعنی آب نشان می‌دهد. این شاخص بسته به این‌که در صورت کسر آن، تغییر در محصول با چه واحدی استفاده می‌شود، در دسته‌بندی بهره‌وری فیزیکی و یا اقتصادی قرار می‌گیرد.

$$MI = \frac{\Delta Y (kg \ ha^{-1})}{\Delta W (m^3 \ ha^{-1})} \quad (6)$$

MI بهره‌وری سایه‌ای بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب یا ریال بر مترمکعب، ΔY تغییر در محصول بر حسب کیلوگرم در هکتار یا ریال در هکتار، ΔW تغییر در آب مصرفی بر حسب مترمکعب در هکتار می‌باشد. این شاخص قابل اندازه‌گیری و پایش است، اما تنها میزان کارایی را ارائه می‌دهد.

۲-۲- شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی آب

سود ناخالص به ازای واحد حجم آب^۵ (BPD)

در شاخص BPD، میزان بهره‌وری آب بر حسب نسبت مقدار سود ناشی از فروش محصول به مقدار آب مصرف شده، محاسبه می‌گردد. این رابطه بر اساس ریال بر متر مکعب و یا به صورت کلی تر "واحد حجم آب/ واحد پول" بیان می‌شود.

$$BPD = \frac{Y (Rail \ kg^{-1} \times kg \ ha^{-1})}{[I + P](m^3 \ ha^{-1})} \quad (7)$$

که صورت کسر، سود حاصل از تولید کشاورزی در هر هکتار و مخرج کسر مقدار آب آبیاری و بارش به‌کار برده شده در هر هکتار می‌باشد. با توجه به آن‌که در این شاخص مقدار سود ناشی از فروش محصول مد نظر قرار می‌گیرد، دقت آن بیشتر از بهره‌وری فیزیکی آب می‌باشد و می‌توان

⁴ Marginal Index

⁵ Benefit Per Drop

از آن برای مقایسه بهره‌وری آب در گیاهان مختلف استفاده نمود. در این روش میزان هزینه مصرف شده در نظر گرفته نمی‌شود، بنابراین برای مقایسه گیاهانی که هزینه تولید یکسانی ندارند، دقت مناسبی نخواهد داشت. این شاخص قابلیت اندازه‌گیری و پایش دارد، اما همان‌طور که ذکر شد به دلیل این که هزینه تولید گیاهان مختلف با هم متفاوت است، اثربخشی را آن‌طور که باید ارائه نمی‌دهد.

سود خالص به ازای واحد حجم آب^۶ (NBPD)

شاخص سود خالص به ازای مترمکعب آب به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود (کیجن و همکاران، ۲۰۰۳).

$$NBPD = \frac{Y (Rial\ kg^{-1} \times kg\ ha^{-1})}{[I + P](m^3\ ha^{-1})} \quad (8)$$

که صورت کسر، سود خالص در هر هکتار می‌باشد. در محاسبه سود خالص هزینه‌های سرمایه‌ای نیز مدنظر قرار می‌گیرد در حالی که در محاسبه سود، این‌گونه نیست. این شاخص، قابلیت اندازه‌گیری و پایش دارد و از جامعیت نسبی برخوردار است. هم‌چنین اثربخشی اقتصادی را نشان می‌دهد. اگرچه محاسبه این شاخص قدری مشکل است، اما از دقت بالاتری نسبت به شاخص‌های دیگر برخوردار بوده و در مطالعات و مقایسات در مقیاس شبکه و حوضه، کارآمدتر است.

ارزش افزوده به ازای یک مترمکعب آب

ارزش افزوده نیز به‌عنوان یک شاخص بهره‌وری (بیشتر از دید اقتصاد کلان) قابل طرح می‌باشد. طبق بررسی‌های انجام شده، ارزش افزوده بخش کشاورزی به ازای یک مترمکعب آب نسبت به بخش صنعت و خدمات پایین‌تر است. در آینده، بخش کشاورزی باید بتواند شرایط بهتری برای رقابت با مصارف صنعتی و خدمات ارائه دهد. البته باید توجه داشت که بخش کشاورزی در تأمین اشتغال و امنیت غذایی کشور نقش تعیین‌کننده‌ای دارد.

$$(9) \quad \text{مقدار کل ارزش افزوده} = \frac{\text{ارزش افزوده به ازای یک مترمکعب آب}}{\text{مقدار آب مصرفی}}$$

مقدار کل ارزش افزوده بر حسب ریال و مقدار آب مصرفی بر حسب مترمکعب و مقدار ارزش افزوده به ازای یک مترمکعب آب، بر حسب ریال بر مترمکعب می‌باشد. این شاخص قابلیت اندازه‌گیری و پایش داشته و از جامعیت بالاتری نسبت به شاخص‌های پیشین برخوردار است. زمانی که هدف طرحی دستیابی به ارزش افزوده بیشتر باشد، این شاخص می‌تواند میزان اثربخشی را نشان دهد.

نسبت سود به هزینه

هزینه‌های انجام شده برای تأمین آب کشاورزی در طرح‌های مختلف آبیاری متفاوت است، بنابراین می‌توان از نسبت سود به هزینه به‌عنوان یک شاخص بهره‌وری سرمایه‌گذاری در بخش آب استفاده کرد. این شاخص بیشتر از دید اقتصاد کلان و ارزیابی اقتصادی در طرح‌های آبی مطرح است.

شاخص ارزش ناخالص استاندارد شده تولید

اگر بررسی عملکرد محصولات مختلف و با قیمت‌های محلی متفاوت مد نظر باشد، بایستی از شاخصی با عنوان «ارزش ناخالص استاندارد شده تولید» با علامت اختصاری SGVP، استفاده نمود (دهنوی و صادقی، ۱۳۸۵).

⁶ Net Benefit Per Drop

جهت محاسبه ارزش ناخالص استاندارد شده تولید^۷ (SGVP)، نسبت قیمت محصولات به قیمت یک محصول استاندارد در منطقه محاسبه شده و در قیمت بازار جهانی ضرب می‌شود. بدین ترتیب یک تعدیل در قیمت‌های محلی محصولات کشاورزی صورت می‌گیرد.

$$SGVP = \sum_{\text{each crop}} (A \times Y \times \frac{LP}{BP}) \times WMP \quad (10)$$

که در آن SGVP ارزش ناخالص استاندارد شده تولید بر حسب دلار است و با مجموع ارزش ناخالص استاندارد شده تولید تمام محصولات برابر است. A مساحت^۸ زیر کشت هر محصول بر حسب هکتار، Y عملکرد بر حسب کیلوگرم در هکتار^۹ هر محصول، LP قیمت محلی^{۱۰} هر محصول، BP قیمت محلی محصول پایه^{۱۱} (کشت غالب منطقه که بازار بین‌المللی دارد) و WMP قیمت محصول پایه در بازارهای جهانی^{۱۲} بر حسب دلار به‌ازای هر کیلوگرم می‌باشد. در واقع میزان تولید نهایی همه محصولات براساس یک محصول، معادل گردیده و با ضرب در قیمت بین‌المللی محصول پایه، ارزش ناخالص استاندارد شده تولید در منطقه به‌دست می‌آید. نکته قابل توجه این است که این شاخص می‌تواند تأثیر شرایط محلی (مانند شرایط خاصی که قیمت محلی یک گیاه بالاتر از قیمت آن در بازار بین‌المللی باشد) و همچنین ارزش گیاهان محلی فاقد بازار جهانی را نیز رصد کند.

ارزش ناخالص استاندارد شده تولید، این امکان را آن‌را فراهم می‌آورد تا بتوان عملکرد سیستم‌های مختلف را بدون توجه به مکان و نوع گیاه کشت شده مقایسه نمود. به‌عنوان مثال، میزان محصول به‌ازای یک واحد آب برای رشد پرتقال در مکزیک می‌تواند با آب استفاده شده در نیپال برای رشد سیب مقایسه گردد.

نسبت سرمایه‌گذاری به حجم آب تأمین شده

با توجه به اینکه سرمایه در کشورهای در حال توسعه عامل مهم و محدودکننده به‌شمار می‌رود از شاخص نسبت سرمایه‌گذاری به حجم آب تأمین شده می‌توان برای پایش اثربخشی سرمایه‌گذاری در بخش آب استفاده نمود.

$$\text{نسبت سرمایه‌گذاری به حجم آب تأمین شده} = \frac{\text{میزان سرمایه‌گذاری}}{\text{حجم آب تأمین شده}} \quad (11)$$

میزان سرمایه‌گذاری بر حسب ریال، حجم آب تأمین شده بر حسب مترمکعب و نسبت سرمایه‌گذاری به حجم آب تأمین شده بر حسب ریال بر مترمکعب می‌باشد. البته بسیاری از طرح‌های قدیمی فاقد سوابق دقیق در مورد هزینه‌های ساختمانی هستند و در بعضی از طرح‌ها نیز بین هزینه‌های ساختمانی، بهسازی و مدرنیزه کردن ابهاماتی وجود دارد. در طرح‌های جدید اما می‌توان از این شاخص استفاده نمود.

۲-۳- شاخص‌های بهره‌وری محیط‌زیستی - اجتماعی

شاخص میزان اشتغال به ازای مترمکعب آب^{۱۳} (JPD)

در بسیاری از موارد، هدف طرح‌های توسعه منابع آب، ایجاد اشتغال می‌باشد. جهت ارزیابی میزان اثربخشی طرح‌ها از نظر دستیابی به این

⁷ Standardized Gross Valu of Product

⁸ Area

⁹ Yeild

¹⁰ Local price

¹¹ Base price

¹² World market price

¹³ Job Per Drop

هدف، از شاخص بهره‌وری اشتغال آب (JPD) استفاده می‌شود. بهره‌وری اشتغال به صورت تعداد اشتغال ایجاد شده بر حسب نفر به ازای هر میلیون مترمکعب آب بیان می‌شود.

$$JPD = \frac{JOP \text{ (person)}}{[V_w] \text{ (MCM)}} \quad (12)$$

در رابطه بالا JPD بر حسب نفر بر میلیون مترمکعب آب، JOP تعداد اشتغال ایجاد شده بر حسب نفر و V_w حجم آب مصرف شده بر حسب میلیون مترمکعب می‌باشد.

یکی از اهدافی که در توسعه منابع آب دیده می‌شود، ایجاد اشتغال است. این شاخص نشان‌دهنده این خواهد بود که هر یک از طرح‌های توسعه منابع آب تا چه اندازه در دستیابی به این هدف موفق بوده‌اند. در واقع مقدار این شاخص نشان‌دهنده میزان اثربخشی هر طرح در ایجاد اشتغال می‌باشد. این شاخص قابلیت اندازه‌گیری و پایش دارد.

شاخص تولید به ازای حجم زه آب

با توجه به این که زه آب مزارع، همواره آلودگی‌های سم و کود به همراه داشته و این مسئله برای محیط‌زیست و اکوسیستم تبدیل به یک معضل شده است، شاخص تولید به ازای حجم زه آب نیز به عنوان یکی از شاخص‌های بهره‌وری آب مورد توجه قرار گرفته است. این شاخص به صورت مقدار تولید محصول به ازای حجم زه آب ایجاد شده، تعریف می‌گردد.

$$WP_{DR} = \frac{Y \text{ (kg ha}^{-1}\text{)}}{[DR] \text{ (m}^3 \text{ ha}^{-1}\text{)}} \quad (13)$$

در این رابطه WP_{DR} شاخص تولید به ازای حجم زه آب بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب، Y مقدار محصول تولیدی بر حسب کیلوگرم در هکتار و DR حجم زه آب بر حسب مترمکعب در هکتار است. این شاخص قابلیت اندازه‌گیری و پایش دارد و به عنوان یکی از شاخص‌های بهره‌وری آب می‌تواند معیاری جهت ارائه میزان آسیمی که فعالیت‌های کشاورزی به محیط‌زیست وارد می‌کنند، باشد.

شاخص نسبت اراضی فاریاب

با توجه به اهمیتی که سطح اراضی کشاورزی فاریاب نسبت به کل اراضی کشاورزی به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد، از نسبت سطح اراضی تحت آبیاری به سطح کل اراضی استفاده می‌شود. با این نسبت می‌توان تغییرات سطح اراضی فاریاب را در زمان‌های مختلف بررسی کرد.

$$\text{نسبت اراضی فاریاب} = \frac{\text{سطح اراضی تحت آبیاری}}{\text{سطح کل اراضی}} \quad (14)$$

نسبت اراضی فاریاب به صورت بی‌بعد و سطوح اراضی کل و اراضی تحت آبیاری نیز بر حسب هکتار می‌باشد. این نسبت قابل اندازه‌گیری است و با پایش این شاخص می‌توان تغییرات سطح اراضی فاریاب را در زمان‌های مختلف مورد بررسی قرار داد.

شاخص نسبت پایداری اراضی فاریاب

با توجه به عوامل مختلف امکان کاهش قابلیت تولید در اراضی فاریاب وجود دارد. عواملی نظیر زهدار شدن اراضی، فرسایش و ... باعث کاهش اراضی فاریاب با قابلیت تولید خواهند شد. این تغییرات با استفاده از این شاخص قابل بیان می‌باشد.

$$(15) \quad \text{نسبت پایداری بهره‌برداری از اراضی فاریاب} = \frac{\text{سطح اراضی تحت آبیاری کنونی}}{\text{سطح اراضی آبیاری اولیه}}$$

این شاخص بر حسب هکتار بر هکتار بوده، سطح اراضی تحت آبیاری کنونی بر حسب هکتار و سطح اراضی آبیاری اولیه نیز سطح کل اراضی قابل آبیاری در هنگام طراحی شبکه یا هنگام آخرین عملیات بهسازی و نوسازی بر حسب هکتار می‌باشد. هم‌چنین در مرحله بعدی ضروری است که علت عدم تولید محصول اراضی مشخص شود. به‌عنوان مثال، باید مشخص شود که آیا علت، شوری زمین، کمبود آب، سوددهی کم کشاورزی و یا توسعه شهری یا صنعتی بوده است؟ (فیوضات، ۱۳۷۸) این شاخص نیز قابلیت اندازه‌گیری و پایش دارد. هم‌چنین پایداری در بهره‌برداری از منابع آب و خاک را مورد توجه قرار می‌دهد.

شاخص پایداری کشاورزی و محیط‌زیستی

شاخص پایداری کشاورزی (ASI^{14}) جمع زمانی نسبت تأمین به تقاضا در سری زمانی (تقاضاهای آب کشاورزی) بر اساس میزان عملکرد است که حد قابل قبول آن بین ۰/۸ و ۱ می‌باشد. شاخص پایداری محیط‌زیستی نیز (ESI^{15}) جمع زمانی نسبت تأمین به تقاضا در سری زمانی (تقاضاهای آب محیط‌زیستی) بر اساس میزان عملکرد بوده که حد قابل قبول آن ۱ می‌باشد. شاخص پایداری کشاورزی و محیط‌زیستی بر اساس حاصل ضرب اطمینان‌پذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری به دست می‌آید که در این بخش آمده‌اند (ASCE، ۱۹۹۸). این فرآیند برای هر شاخص C، که سری زمانی آن با C_t نشان داده می‌شود و t نشان‌دهنده طول دوره مطالعه است، قابل محاسبه می‌باشد. برای محاسبه شاخص C که نشان‌دهنده تعداد دفعات تأمین قابل قبول است، باید حد بالا و پایین محدوده مورد قبول تعریف شود. این حدود بر اساس قضاوت تصمیم‌گیرندگان تعیین می‌شود (ASCE، ۱۹۹۸).

اطمینان‌پذیری (RE) با احتمال این که مقدار C_t در محدوده قابل قبول واقع شود، به صورت رابطه زیر محاسبه می‌شود (ASCE، ۱۹۹۸).

$$(16) \quad RE(C) = \frac{C_t(\text{تعداد دفعاتی که نسبت تأمین به تقاضا در محدوده قابل قبول باشد})}{\text{کل دوره مطالعه}}$$

اطمینان‌پذیری تأمین آب شرب شامل اطمینان‌پذیری تأمین خطوط انتقال آب شرب است که مقدار تأمین به تقاضا معادل ۱ می‌باشد.

برگشت‌پذیری (RS) شاخصی است که سرعت بازگشت از شرایط عدم رضایت را نشان می‌دهد یا به عبارتی احتمال این که مقدار رضایت‌بخش C_{t+1} (برای مثال در کشاورزی تأمین به تقاضا بین ۰/۸ و ۱ باشد) پس از مقدار شکست C_t (برای مثال در کشاورزی مقدار تأمین به تقاضا زیر ۰/۸ باشد) ظاهر شود که در رابطه زیر آمده است (ASCE، ۱۹۹۸).

$$(17) \quad RS(C) = \frac{\text{تأمین به تقاضا بین ۰/۸ و ۱ باشد پس از مقدار } C_{t+1} \text{ تعداد زمان‌هایی که مقادیر رضایت‌بخش (مقدار تأمین به تقاضا زیر ۰/۸ باشد) ظاهر شود } C_t \text{ شکست}}{\text{کل دوره مطالعه}}$$

آسیب‌پذیری (VU) نشان‌دهنده بزرگی و یا مدت زمان شکست در یک سری زمانی است. بزرگی شکست مقداری است که C_t از حد بالا و یا حد پایین مقدار رضایت‌بخش تجاوز کند که در رابطه زیر نشان داده شده است (ASCE، ۱۹۹۸).

$$(18) \quad VU(C) = \frac{\text{مدت زمان شکست}}{\text{یک سری زمانی}}$$

¹⁴ Agricultural sustainability index

¹⁵ Environmental sustainability index

برای پایداری، معیارهای اطمینان‌پذیری و برگشت‌پذیری، باید حداکثر و آسیب‌پذیری، باید حداقل باشد. بنابراین شاخص پایداری کشاورزی (ASI) و شاخص پایداری محیط‌زیستی (ESI) با رابطه زیر محاسبه می‌شوند (ASCE, 1998).

$$ASI = RE_{(Si/Di)} \times RS_{(Si/Di)} \times (1 - VU_{(Si/Di)}) \quad (19)$$

$$ESI = RE_{(Si/Di)} \times RS_{(Si/Di)} \times (1 - VU_{(Si/Di)}) \quad (20)$$

(S/D) نسبت تأمین به تقاضا در شاخص پایداری کشاورزی برای تقاضاهای کشاورزی بین ۰/۸ و ۱ و در شاخص پایداری محیط‌زیستی برای تقاضاهای محیط‌زیستی حد بالا و پایین ۱ در نظر گرفته می‌شود که در واقع باید کل نیاز برطرف گردد (ASCE, 1998).

شاخص‌های بهره‌وری غذایی

در سال‌های اخیر، میانگین رشد جمعیت در جهان روند صعودی داشته است. بر این اساس، طبق پیش‌بینی FAO، نیاز غذایی تا سال ۲۰۳۰، تا ۵۰ درصد و تا سال ۲۰۵۰ تا ۷۰ درصد نسبت به سال ۲۰۰۹ افزایش خواهد یافت. برآورد شده است که مصرف سرانه غذا در جهان از ۲۳۵۸ کیلوکالری در روز در سال ۱۹۶۵، به ۳۰۵۰ کیلوکالری در روز تا سال ۲۰۳۰ برسد. این در حالیست که همین مقدار برای کشورهای در حال توسعه از ۲۰۵۴ کیلوکالری در روز در سال ۱۹۶۵، به ۲۹۸۰ کیلوکالری در روز خواهد رسید. با این شرایط و با توجه به این‌که بسیاری از مواد اولیه مصرفی در تولید غذا، در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران جزو مواد پر مصرف آب محسوب می‌شود، لذا با ادامه روند فعلی در تأمین آب، با مشکل تأمین امنیت غذایی نیز در کشور مواجه خواهیم بود (وبگاه سازمان ملی بهره‌وری ایران، ۱۳۹۴).

با توجه به اهمیت تأمین پروتئین برای رشد، شاخص نسبت گرم پروتئین محصول تولیدی به حجم آب مصرفی تعریف می‌گردد. این شاخص امکان مقایسه بهره‌وری غذایی محصولات مختلف کشاورزی و دامی را فراهم می‌سازد.

$$WP_{PR} = \frac{Pr (g \ ha^{-1})}{[I](m^3 \ ha^{-1})} \quad (21)$$

در این رابطه WP_{pr} شاخص بهره‌وری پروتئینی آب بر حسب گرم بر مترمکعب، Pr گرم پروتئین محصول تولیدی در هکتار و I حجم آب مصرفی بر حسب مترمکعب در هکتار می‌باشد.

شاخص دیگری که به کیفیت محصول تولیدی به ازای آب مصرفی می‌پردازد، شاخص نسبت کالری محصول تولید شده نسبت به حجم آب مصرفی است. این شاخص نیز امکان مقایسه بهره‌وری غذایی آب محصولات مختلف کشاورزی و دامی را فراهم می‌سازد.

$$WP_{CAL} = \frac{Cal (cal \ . \ ha^{-1})}{[I](m^3 \ ha^{-1})} \quad (22)$$

در رابطه بالا WP_{Cal} شاخص بهره‌وری کالری آب بر حسب کالری بر مترمکعب و Cal میزان کالری محصول بر حسب کالری در هکتار می‌باشد.

نسبت‌های گرم پروتئین محصول تولیدی به حجم آب مصرفی و کالری محصول تولید شده به حجم آب مصرفی، قابلیت سنجش هم‌زمان اثربخشی از منظر تأمین غذا و کارآیی و نیز قابلیت اندازه‌گیری و پایش را دارا می‌باشد.

شاخص بهره‌وری آب غلات

با توجه به حساسیتی که در تولید غلات وجود دارد، می‌توان شاخص نسبت تولید خالص غلات به حجم آب مصرفی را ارائه کرد.

$$WP_{gra} = \frac{Gra (Kg \ . \ ha^{-1})}{[I](m^3 \ ha^{-1})} \quad (23)$$

در این رابطه WP_{gra} شاخص بهره‌وری آب غلات بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب و Gra میزان تولید غلات بر حسب کیلوگرم در هکتار می‌باشد.

نسبت میزان تولید غلات به حجم آب مصرفی نیز از قابلیت سنجش هم‌زمان اثربخشی از منظر امنیت غذایی و کارایی برخوردار می‌باشد و قابل اندازه‌گیری و پایش است.

شاخص درآمد سرانه از آب

با توجه به اهمیت بحث اقتصادی برای مردم و دولت‌ها، شاخص درآمد خالص از سرانه آب به‌صورت رابطه زیر تعریف می‌شود. این شاخص امکان مقایسه اثر مدیریت‌های مختلف بر افزایش درآمد سرانه از آب را فراهم می‌سازد. هم‌چنین در این شاخص اثر تراکم جمعیت و منابع آبی لحاظ می‌گردد.

$$(24) \quad \text{درآمد حاصل از مصرف آب} \\ \text{جمعیت ذی‌نفعان} = \text{درآمد سرانه از آب}$$

درآمد سرانه از آب بر حسب ریال برای هر نفر و درآمد حاصل از مصرف آب بر حسب ریال می‌باشد. این شاخص، میزان اثربخشی در رسیدن به هدف بالا رفتن درآمد سرانه از آب را نشان داده، اما کارایی مصرف آب را ارائه نمی‌دهد. هم‌چنین این شاخص قابل اندازه‌گیری و پایش است.

۲-۴- سایر شاخص‌ها

شاخص‌های پیشنهادی مرکز تحقیقات و آموزش آبیاری^{۱۶} (ITRC) در مورد بازده کشاورزی

تعیین این که چه فرصت‌هایی هم‌چنان برای بهبود تولید در هر طرح وجود دارد، اهمیت بالایی دارد. استفاده از شاخص‌های زیر در این زمینه کاربرد دارند.

$$(25) \quad \frac{\text{تولید با آبیاری}}{\text{تولید بدون آبیاری}} = \text{تولیدات به‌دست آمده از آبیاری}$$

این شاخص، سود تولید به دست آمده در یک طرح را به‌واسطه انجام آبیاری نشان می‌دهد. چنان‌چه این شاخص در قالب اقتصادی بیان شود، به بررسی تأثیر سرمایه‌گذاری (در تأمین آب) کمک خواهد کرد. اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه این شاخص، نسبتاً آسان به‌دست می‌آید و این شاخص از قابلیت اندازه‌گیری و پایش برخوردار است.

مقایسه شاخص تولیدات به‌دست آمده از آبیاری، در طرح‌های مختلف نسبت به یکدیگر نیز مشکلاتی دارد. انتظار می‌رود که یک منطقه بیابانی نسبت به یک منطقه مرطوب، دارای شاخص تولید به‌دست آمده بزرگ‌تری باشد. بنابراین مقایسه این دو با هم صحیح نبوده و بر این اساس این شاخص، شاخص جامعی نیست. تولیدات به‌دست آمده از آبیاری نشان می‌دهد که یک طرح در حالتی که آبیاری شود، نسبت به حالتی که آبیاری نشود چقدر بهبود می‌یابد. پتانسیل به‌جا مانده برای بهبود، بحث مهم دیگری است که با شاخص زیر بیان می‌گردد.

$$(26) \quad \frac{\text{پتانسیل تولید}}{\text{تولید}} = \text{بهبود پتانسیل تولید}$$

¹⁶ Irrigation Training and Research Center

شاخص بهبود پتانسیل تولید، ممکن است پتانسیل تولید را بر حسب الگوی کشت موجود تعریف کند و یا ممکن است پتانسیل تولید را برای کشت مضاعف و برای انواع مختلف محصولات در شرایط خدمات آبیاری توسعه یافته، مشخص نماید. این شاخص از نظر تعیین میزان سرمایه‌گذاری مناسب مستقل از اهداف سیاسی، نظامی، بهداشتی و سایر اهدافی که باید برای ارزیابی نتایج طرح آبیاری بررسی شوند، ارزشمند است. آمار و اطلاعات تولیدات به‌دست آمده از آبیاری، بایستی نسبتاً ساده به‌دست آید و آمار و اطلاعات شاخص بهبود پتانسیل تولید، نتایج پژوهش‌هایی که بر روی محصول در شرایط مشابه انجام می‌شود، قابل برآورد است. این شاخص جهت محاسبه و پایش در کشور اهمیت بسیار زیادی دارد. اما روش‌شناسی آن نیاز به توسعه دارد.

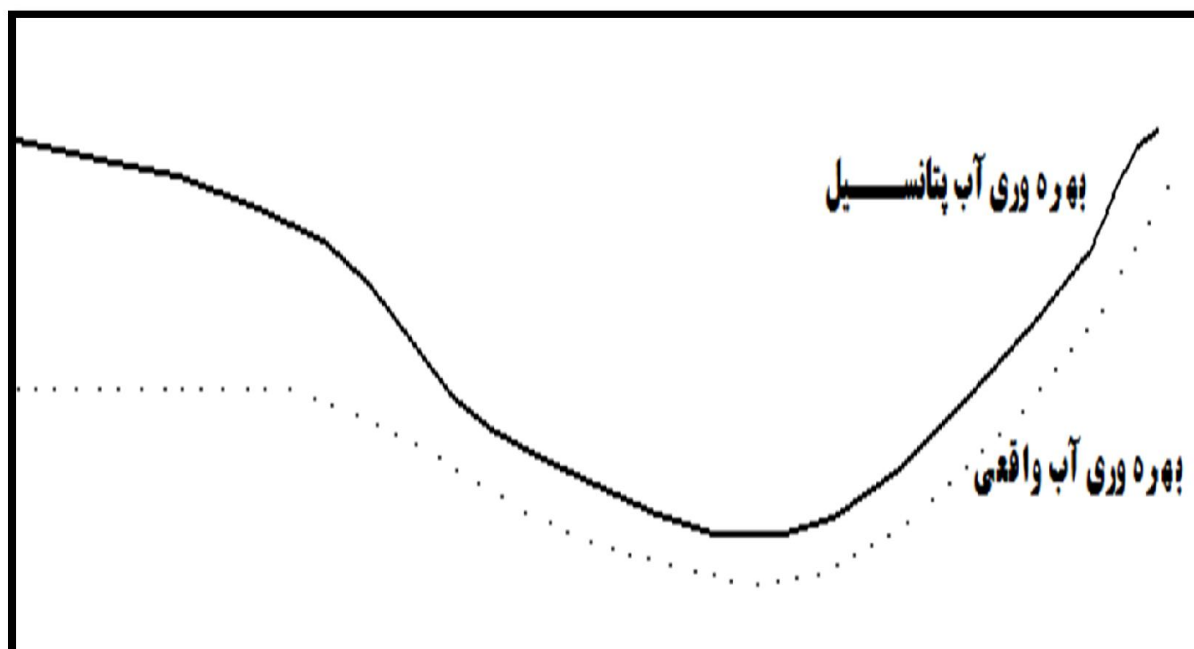
شاخص‌های تولیدات به‌دست آمده از آبیاری و بهبود پتانسیل تولید، برای تعیین این‌که چه فرصت‌هایی هم‌چنان برای بهبود تولید و بهره‌وری در هر طرح وجود دارد، مفید هستند.

شاخص بهره‌وری نسبی^{۱۷}

این شاخص نسبت بهره‌وری آب در شرایط واقعی به بهره‌وری آب پتانسیل را نشان می‌دهد. به دلیل تفاوت در شرایط اقلیمی و سایر عوامل تولید مؤثر بر بهره‌وری ممکن است حداکثر بهره‌وری آب در مزرعه‌ای نسبت به مزرعه دیگر کمتر باشد. شاخص بهره‌وری نسبی امکان افزایش بهره‌وری آب را نسبت به شرایط کنونی نشان می‌دهد. البته مزرعه‌ای که بهره‌وری آب کمتری دارد، لزوماً پتانسیل افزایش بیش‌تر بهره‌وری را نخواهد داشت.

$$RWP = \frac{WP_{act}}{WP_{pot}} \quad (27)$$

که RWP شاخص بهره‌وری آب نسبی، WP_{act} بهره‌وری آب واقعی و WP_{pot} بهره‌وری آب پتانسیل می‌باشد. این نسبت بین صفر تا یک تغییر می‌کند.



شکل ۲- مفهوم بهره‌وری نسبی آب (جونز و همکاران، ۲۰۰۵)

¹⁷ Relative Water Productivity

۳- جمع بندی

در این مجموعه برخی از مهمترین شاخص‌های مرتبط با بهره‌وری آب ارائه و مورد بحث قرار گرفت. در مطالعات مربوط به بهره‌وری آب، هر یک از شاخص‌های مورد اشاره بر اساس هدف مطالعه و تحلیل، اطلاعات موجود و محدودیت‌ها و مزایای شاخص، می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. به نظر می‌رسد با توجه به این که در طرح‌های آبی معمولاً اهداف مختلفی مدنظر مدیران و بهره‌برداران می‌باشد، بررسی و تحلیل چند شاخص در هر طرح می‌تواند تحلیل جامع‌تری را ارائه نماید. آموزش کاربرد هر یک از شاخص‌های بهره‌وری به کارشناسان و مدیران و متولیان مدیریت آب و کشاورزی می‌تواند برای فرهنگ‌سازی عرصه‌ی بهبود بهره‌وری توصیه شود.

تدوین استاندارد برای پایش بهره‌وری آب می‌تواند در یکسان‌سازی بانک اطلاعات، تحلیل شرایط و ارائه راهکارهای بهبود وضعیت و در نهایت برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری صحیح در حوزه مدیریت آب کشاورزی کمک زیادی بنماید.

۴- منابع

۱. احسانی، م. و ه. خالدی. ۱۳۸۲. بهره‌وری آب کشاورزی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
۲. اکرم، م.، ۱۳۹۰. پیش‌نویس راهنمای ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی سطحی، شرکت مهندسی مشاور کاماب پارس.
۳. بهره‌دار، د. و م.ر. آل‌یاسین. ۱۳۸۱. مدیریت نوین آبیاری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
۴. حافظ پرست، م.، ش. عراقی‌نژاد، و س. شریف‌آذری. ۱۳۹۴. معیارهای پایداری در ارزیابی مدیریت یکپارچه منابع آب حوضه آبریز ارس بر اساس رویکرد DPSIR. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۸.
۵. دهقان، ا.، ذبیحی‌افروز، ر.، و حسینی ثابت، م. ۱۳۸۸. بهره‌وری محصولات زراعی در ازای مصرف آب در ایران و مقایسه آن با کشورهای جهان. مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی.
۶. دهنوی، د.، ن. صادقی، ۱۳۸۵. شاخص‌های ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی، همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اهواز، ص ۲۴.
۷. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. ۱۳۸۴. راهنمای تشخیص اثرهای اقتصادی، اجتماعی، ارزش‌گذاری و توجیه اقتصادی طرح‌های توسعه منابع آب. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.
۸. سازمان ملی بهره‌وری ایران، <http://www.nipo.gov.ir>
۹. فیوضات، ن. ۱۳۷۸. جنبه‌های مالی مدیریت آب. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
۱۰. لیاقت ع. و نظری، ب. ۱۳۹۴. گزارش طرح "مطالعه، طراحی و اجرای سامانه بهبود بهره‌وری آب در حوضه ارس". معاونت آب و آبفای وزارت نیرو. دفتر اقتصاد و بهره‌وری آب.
۱۱. لیاقت، ع. و آ. ذامیادی. ۱۳۸۳. انتخاب روش‌های آبیاری در کشاورزی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
۱۲. معاونت برنامه‌ریزی و امور اقتصادی (مرکز نوسازی و تحول اداری). ۱۳۸۷. طرح استقرار نظام مدیریت بهره‌وری استان‌ها.
۱۳. نبیونی، ا. ۱۳۹۰. محاسبه بهره‌وری عوامل تولید (نیروی کار، زمین و سرمایه) در بخش کشاورزی استان مرکزی. ماهنامه کار و جامعه. شماره ۱۴۱. ص ۶۷-۷۹.
۱۴. نظری، ب. ۱۳۹۲. مدلسازی پویای شبکه‌های آبیاری با رویکرد بهره‌وری آب. رساله دکتری. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران.
15. American Society of Civil Engineers (ASCE). 1998. Sustainability Criteria for Water Resources Systems. (Task Committee on Sustainability Criteria, Water Resources Planning and Management Division, ASCE and Working Group, UNESCO/IHP IV Project M-4.3.
16. Bala, B.K., and Hussain, M.D. 1992. Energy Use Pattern for Crop Production in Bangladesh 9(1): 23-25.
17. Burt C M, Clemmens A J, Strelkoff T S, Solomon K H, Bliesner R D, Hardy L A, Howell T A and Eisenhauer D E(1997) Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. Irrigation and Drainage Engineering. 123(6): 423-442
18. Burt. Ch. M., Styled. S. W. 1999. MODERN WATER CONTROL AND MANGEMENT PRACTICES IN IRRIGATION (Impact on performance). 244 pages.
19. Esengun, K., Gunduz, O., and Erdal, G. 2007. Input-output energy analysis in dry apricot production of Turkey. Energy Conversion and Management 48: 592-598.
20. Hart WE and Reynolds WN, 1965. Analytical design of sprinkler systems. Trans ASAE. 8: 83-85.
21. Hart WE, 1961. Overhead irrigation pattern parameters. Agric Eng. 42:354-355.
22. Khan, S., Khan, M.A., Hanjra, M.A., and Mu, J. 2009. Pathways to reduce the environmental footprints of water and energy input in food production. Food Policy 34: 141-149.

23. Kijne, J.W., Barker, R., Molden, D., 2003a. Water Productivity in Agriculture: UK., Wallingford
Limits and Opportunities for Improvement. CAB International.
24. Merriam J L and Keller J (1978) Farm irrigation system evaluation: A guide for management.
Department of Agricultural and Irrigation Engineering, United States University, Logan, United
States. 285P.