مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب

اتاق بازرگانی صنایع معادن و کشاورزی ایران

دستورالعمل برآورد و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب در پیاده‌سازی سند ملی بهره‌وری آب

مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب

شناسنامه گزارش

مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب

دستورالعمل برآورد و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب در پیاده‌سازی سند ملی بهره‌وری آب

تهیه کننده: بیژن نظری

با همکاری: حامد نجفی علمدارلو، حمزه علی علیزاده، مهدی بهرامی یکدانگی

ناظر علمی: راحله ملکیان، هدی کهریزی

تاریخ انتشار: اسفند ۱۴۰۳

طبقه بندی موضوعی:

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های بهره‌وری، سند ملی بهره‌وری آب، آب قابل برنامه‌ریزی، پایداری

نشانی: تهران، خیابان طالقانی، نبش خیابان موسوی (فرصت)، پلاک ۱۷۵

بسمه تعالی

مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب

عنوان گزارش:

تدوین دستورالعمل برآورد و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب در پیاده‌سازی سند ملی بهره‌وری آب

تهیه کننده‌گان:

بیژن نظری، حامدنجفی علمدارلو، حمزه علی علیزاده، مهدی بهرامی یکدانگی

تاریخ

۱۴۰۳

چکیده

ارتقای بهره‌وری آب در بخش کشاورزی یکی از مهم‌ترین راهبردهای مدیریت آب، افزایش تولید و به تبع آن، رونق اقتصادی است. اقدامات و برنامه‌های بهبود بهره‌وری آب در سطح ملی زمانی موفقیت‌آمیز خواهد بود که به‌صورت هماهنگ و منسجم برنامه‌ریزی‌شده باشد. مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب به‌عنوان یک نهاد فرابخشی با تنظیم تفاهم‌نامه سه جانبه وزارت نیرو، وزارت جهاد کشاورزی و اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی ایران، بستری را برای انسجام و هماهنگی لازم بین بخش‌های مختلف فراهم ساخته است.

تعدد شاخص‌های بهره‌وری آب، عدم تطابق برنامه‌های بخش‌های مختلف متولی آب و کشاورزی و تضاد اهداف بهره‌برداران و عرضه‌کنندگان آب در سطوح مختلف، از جمله مسائلی است که اقدام ملی برای بهبود بهره‌وری آب را با پیچیدگی روبرو ساخته است. نظر به‌شدت بحران آب در کشور و وابستگی شدید پایداری آب و خاک و محیط‌زیست به نحوه مدیریت آب، لازم است که برای بهبود بهره‌وری آب یک دستورالعمل مشخص برای شاخص‌های بهره‌وری آب ارائه شود که قابلیت اجرا و پایش داشته باشد. دستورالعمل حاضر با این نگرش تنظیم شده است و برای تنظیم آن از سوابق و تجربیات مطالعات ملی و بین‌المللی استفاده شده است.

دستورالعمل حاضر در ۴ فصل مطالب اصلی و ۱ بخش مشتمل بر پیوست‌ها و مثال‌ها ارائه شده است. در فصل اول، مقدمه، هدف، چارچوب و کاربردهای دستورالعمل ارائه شده است. فصل دوم به تعاریف بهره‌وری و انواع شاخص‌های بهره‌وری آب و اطلاعات مورد نیاز برای برآورد آن‌ها اختصاص دارد. در فصل سوم، به دسته‌بندی اقدامات و مسئولیت‌های اجرایی پرداخت شده است. در فصل چهارم نیز مراحل گام به گام برنامه‌ریزی بهبود بهره‌وری آب فیزیکی و اقتصادی، ارزیابی برنامه بهبود بهره‌وری آب با ملاحظات پایداری منابع آب، و اولویت‌بندی اقدامات و تحلیل شرایط بهره‌وری آب با رویکرد جامع‌نگر، ارائه شده است. در بخش پیوست‌ها و اسناد پشتیبان نیز مثال‌های تحلیلی و فرم‌هایی برای ارزیابی اقدامات بهبود بهره‌وری آب در سطوح مختلف برنامه‌ریزی، ارائه شده است.

دو نکته مهم در کاربرد دستورالعمل حاضر، لازم است که مورد توجه قرار گیرد. نکته اول آنکه در اولویت‌بندی اقدامات بهبود بهره‌وری آب، علاوه بر ملاحظات تولید و مباحث فنی، باید ملاحظات مربوط به کاهش آب مصرفی و تطبیق با آب قابل برنامه‌ریزی و پایداری محیط‌زیست مورد توجه قرار گیرد که در جدول ۴-۱۱ بدان پرداخته شده است. نکته دوم، توجه به جدولی است که به عنوان راهنمای شاخص‌های مورد استفاده بهره‌وری آب در سطوح مختلف تصمیم‌گیری و اجرایی ارائه شده است. طبق جدول مذکور (جدول ۴-۱۵)، برای هر یک از سطوح گیاه، مزرعه، دشت، شبکه آبیاری، استان، حوضه آبی و سطح ملی شاخص‌های مناسب بهره‌وری آب مشخص شده است.

کلمات کلیدی: شاخص‌های بهره‌وری، سند ملی بهره‌وری آب، آب قابل برنامه‌ریزی، پایداری

روندنمای گزارش

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول؛ مقدمه و کلیات ۳
۱-۱-مقدمه ۴
۱-۲- اهداف، سوالات و کاربردهای دستورالعمل ۶
۱-۳- چارچوب دستورالعمل ۶
۱-۴- بررسی سوابق موضوع ۹
فصل دوم؛ مبانی نظری و شاخص‌های بهره‌وری آب ۱۱
۲-۱- تعاریف بهره‌وری ۱۲
۲-۱-۱- بهره‌وری جزئی (تک عاملی) ۱۳
۲-۱-۲- بهره‌وری کل عوامل تولید (TFP) ۱۳
۲-۱-۳- بهره‌وری چندعاملی ۱۴
۲-۲- انواع شاخص‌های بهره‌وری آب ۱۴
۲-۳- شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی آب ۱۴
۲-۳-۱- عملکرد به ازای واحد حجم آب (CPD) ۱۵
۲-۳-۲- بهره‌وری تعرق ۱۶
۲-۳-۳- بهره‌وری تبخیر و تعرق ۱۶
۲-۳-۴- بهره‌وری آب آبیاری و بارش ۱۷
۲-۳-۵- بهره‌وری بارش ۱۷
۲-۳-۶- بهره‌وری آب آبیاری ۱۸
۲-۴-شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی آب ۱۸
۲-۴-۱- سود ناخالص به ازای واحد آب(BPD) ۱۸
۲-۴-۲- شاخص سود خالص به ازای واحد آب (NBPD) ۱۸
۲-۴-۳- ارزش افزودهٔ آب مصرفی ۱۹
۲-۴-۴- شاخص ارزش ناخالص استانداردشده‌ی تولید(SGVP) ۲۱
۲-۴-۵- شاخص اثربخشی اعتبارات در صرفه‌جویی آب (WSIE) ۲۱
۲-۵- شاخص‌های بهره‌وری محیط زیستی – اجتماعی ۲۲
۲-۵-۱- شاخص بهره‌وری اشتغال آب‌محور(JPD) ۲۲
۲-۶- شاخص‌های بهره‌وری غذایی آب ۲۳
۲-۷- شاخص درآمد سرانه از آب ۲۴
۲-۸- شاخص‌های تحلیلی بهره‌وری ۲۴
۲-۸-۱- شکاف بهره‌وری ۲۴
۲-۸-۲- شاخص بهره‌وری نسبی ۲۵
۲-۸-۳- شاخص رشد بهره‌وری آب ۲۸
۲-۹-اطلاعات موردنیاز و فرآیند دستیابی به آن‌ها در محاسبه شاخص‌های بهره‌وری آب ۲۸

۲-۱۰-بانک‌های اطلاعاتی پرکاربرد در بهره‌وری آب ۳۰
۲-۱۱-معرفی رویکرد صرفه‌جویی واقعی آب ۳۳
۲-۱۲-جایگاه تعیین شاخص‌های بهره‌وری آب در شیوه اجرایی نمودن تفاهم نامه بهره‌وری آب ۳۷
۲-۱۳- چارچوب یکپارچه بهره‌وری آب برای اولویت‌بندی راهکارها و ارزیابی اقدامات بهبود بهره‌وری ۳۸
۲-۱۴- معیارهای انتخاب شاخص بهره‌وری ۴۰
۲-۱۵- تحلیل زمانی و مکانی بهره‌وری آب ۴۴
۲-۱۶-روش‌های آماری مطالعات بهره‌وری آب ۴۴
۲-۱۶-۱- تحلیل آماری داده‌های میدانی ۴۴
۲-۱۶-۲-شاخص‌های آماری ارزیابی نتایج مدل‌های شبیه‌سازی بهره‌وری آب ۴۵
فصل سوم؛ دسته‌بندی اقدامات و مسئولیت‌های اجرایی ۴۷
۳-۱- مقدمه ۴۸
۳-۲- دسته‌بندی اقدامات و تعیین مسئولیت‌های اجرایی ۴۹
فصل چهارم؛ دستورالعمل اجرایی برآورد و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی ۵۵
۴-۱- مراحل گام‌های بهبود بهره‌وری و جداول برنامه‌ریزی ۵۶
۴-۲- اهداف مورد انتظار در شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب ۶۶
۴-۳- ارزیابی برنامه بهبود بهره‌وری آب با ملاحظات پایداری منابع آب ۷۱
۴-۴- اولویت‌بندی اقدامات و تحلیل شرایط بهره‌وری آب با رویکرد جامع‌نگر ۷۲
منابع ۸۱
پیوست‌ها و اسناد پشتیبان ۸۳

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- ابهامات و تناقض‌های رویکردهای مبتنی بر ارزش افزوده و اسناد بالادستی در موضوع بهره‌وری آب..... ۲۰
شکل ۲-۱- چند حالت مرسوم از مفهوم شکاف بهره‌وری آب..... ۲۵
جدول ۲-۲- فهرست جامع اطلاعات موردنیاز برای محاسبهٔ مجموعه شاخص‌های بهره‌وری آب..... ۲۹
جدول ۲-۳- برخی از بانک‌های اطلاعاتی پرکاربرد در تحلیل بهره‌وری آب..... ۳۱
جدول ۲-۴- نوع و دقت تفکیک‌پذیری اطلاعات موجود در پایگاه WAPOR..... ۳۳
جدول ۲-۵- شناسایی ۵ مداخله برتر رده بالا و ۵ مداخله رده پایین در بهبود بهره‌وری آب ۳۴
جدول ۲-۶- فرم ارزیابی یکپارچه بهره‌وری آب برای اولویت‌بندی راهکارها و ارزیابی اقدامات بهبود بهره‌وری ۳۹
جدول ۲-۷- ویژگی‌های مورد انتظار از شاخص بهره‌وری آب ۴۱
جدول ۲-۸- دامنهٔ بهره‌وری آب در محصولات مختلف کشاورزی (مولدن و همکاران، ۲۰۱۳)..... ۴۲
جدول ۲-۹- برخی روش‌های آماری مورد استفاده در مراحل مختلف داده‌برداری میدانی..... ۴۵
جدول ۳-۱ سطوح متناظر بهره‌وری آب با سطح‌بندی کلی بهره‌وری..... ۵۰
جدول ۳-۲ - برخی از روش‌ها و فناوری‌های بهبود بهره‌وری آب متناظر با چالش‌های اصلی بهره‌وری آب..... ۵۱
جدول ۴-۱- کاربرگ شاخص‌های برنامه‌ریزی ارتقای بهره‌وری فیزیکی آب در سطوح مزرعه، استانی، حوضه و ملی.... ۶۳
جدول ۴-۲- کاربرگ شاخص‌های برنامه‌ریزی ارتقای بهره‌وری اقتصادی آب در سطوح مزرعه، استانی، حوضه و ملی. ۶۴
جدول ۴-۳- معیارهای عملکرد ارائه شده در آمارنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی..... ۶۵
جدول ۴-۴- اهداف بهره‌وری فیزیکی آب و نرخ رشد سالانه برای تحقق سند بهره‌وری آب..... ۶۷
جدول ۴-۵- اهداف بهره‌وری اقتصادی آب و نرخ رشد سالانه برای تحقق سند بهره‌وری آب..... ۶۷
جدول ۴-۶- خلاصه نتایج کمی ارزشیابی بهره‌وری فیزیکی آب در سطوح خرد و کلان..... ۶۹
جدول ۴-۷- خلاصه نتایج کمی ارزشیابی بهره‌وری اقتصادی آب در سطوح خرد و کلان..... ۶۹
جدول ۴-۸- طبقه‌بندی کیفی بهره‌وری فیزیکی آب بر مبنای شاخص بهره‌وری آب فیزیکی نسبی..... ۷۰
جدول ۴-۹- طبقه بندی کیفی بهره‌وری اقتصادی آب بر مبنای شاخص بهره‌وری آب اقتصادی نسبی..... ۷۰
جدول ۴-۱۰- ارزشیابی برنامه بهبود بهره‌وری آب برای دستیابی به پایداری منابع آب در سطوح مختلف..... ۷۲
جدول ۴-۱۱- فرم ارزیابی راهکارها و اقدامات بهبود بهره‌وری آب..... ۷۳
جدول ۴-۱۲-جدول ارزیابی اقدامات بهبود بهره‌وری آب بر اساس اثر بر پایداری محیط زیست..... ۷۴
جدول ۴-۱۳- زیرمعیارهای ارزیابی اثر راهکارهای بهبود فناوری بر روی منابع آب در سطوح مختلف ۷۵
جدول ۴-۱۴ جدول تطابق راهکارها و راهبردها با اسناد بالادستی..... ۷۵
جدول ۴-۱۵- راهنمای شاخص‌های مورد استفاده در سطوح مختلف تصمیم‌گیری و اجرایی..... ۷۷
جدول ۴-۱۶- نمونه جدول برای شناسایی اقدامات بهبود بهره‌وری آب بر مبنای پایش شاخص‌های بهره‌وری آب..... ۷۸
جدول ۴-۱۷- توضیحاتی در زمینه شاخص بهره‌وری نسبی و تحلیل مقادیر آن..... ۷۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- سطوح بهره‌وری آب برمبنای مقیاس آبی..... ۷
شکل ۱-۲- سطوح بهره‌وری آب از نظر ساختار سازمانی و مدیریتی..... ۸
شکل ۲-۱- چند حالت مرسوم از مفهوم شکاف بهره‌وری آب..... ۲۵
شکل ۲-۵- مفهوم الگوی یادگیری سه‌حلقه‌ای در ارتقای بهره‌وری آب..... ۳۶
شکل ۲-۶- جایگاه تعیین شاخص‌های بهره‌وری آب در شیوه اجرایی نمودن تفاهم نامه بهره‌وری آب..... ۳۷
شکل ۲- ۷- نمونه‌ای از ارزیابی یک راهکار بهبود بهره‌وری با چارچوب ارزیابی یکپارچه بهره‌وری آب..... ۳۹
شکل ۲-۸- دسته بندی کلی روش‌های اندازه گیری و پایش بهره‌وری..... ۴۰
شکل ۳- ۱-الف) چرخهٔ بهبود بهره‌وری آب (قالب کلی)..... ۵۰
شکل ۳- ۱-ب) چرخه بهبود بهره‌وری آب طبق نظام نامه چرخه مدیریت بهره‌وری سازمان ملی بهره‌وری..... ۵۰
شکل ۴- ۱- گام‌های تدوین برنامهٔ بهبود بهره‌وری آب..... ۶۱

خلاصه مدیریتی

دستورالعمل حاضر برای برنامه‌ریزی، تحلیل و پایش شاخص‌های بهره‌وری آب در پیاده‌سازی تفاهم‌نامه سه‌جانبه بهره‌وری آب ارائه شده است. برای تنظیم این سند از سوابق و تجربیات مطالعات ملی و بین‌المللی استفاده شده است. دستورالعمل در ۴ فصل مطالب اصلی و ۱ بخش مشتمل بر پیوست‌ها و مثال‌ها ارائه شده است. در فصل اول، مقدمه، هدف، چارچوب و کاربردهای دستورالعمل ارائه شده است. فصل دوم به تعاریف بهره‌وری و انواع شاخص‌های بهره‌وری آب و اطلاعات مورد نیاز برای برآورد آن‌ها اختصاص دارد. در فصل سوم، به دسته‌بندی اقدامات و مسئولیت‌های اجرایی پرداخت شده است. در فصل چهارم نیز مراحل گام به گام برنامه‌ریزی بهبود بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب، ارزیابی برنامه بهبود بهره‌وری آب با ملاحظات پایداری منابع آب، و اولویت‌بندی اقدامات و تحلیل شرایط بهره‌وری آب با رویکرد جامع‌نگر، ارائه شده است. در بخش پیوست‌ها و اسناد پشتیبان، نیز مثال‌های تحلیلی و فرم‌هایی برای ارزیابی اقدامات بهبود بهره‌وری آب در سطوح مختلف برنامه‌ریزی ارائه شده است.

بر اساس مطالب ارائه شده در گزارش و به ویژه توضیحات داده شده درخصوص عدم جامعیت یک شاخص بهره‌وری آب، جدول ۴-۱۵ به عنوان راهنمایی برای استفاده از شاخص‌های بهره‌وری آب، ارائه شده است. با توجه به تأثیر عوامل مختلف زیر ساختی، اقلیمی و مدیریتی بر عملکرد محصول و به تبع آن بر شاخص‌های بهره‌وری آب لازم است که در مقایسه و تحلیل نتایج ارزیابی بهره‌وری آب به شرایط زمینه‌ای توجه ویژه شود. پیشنهاد می شود برای مقایسه بهره‌وری در مناطق مختلف از شاخص بهره‌وری آب نسبی استفاده شود. به منظور پایش بهره‌وری در سطح مزرعه توصیه می‌گردد از حجم آب آبیاری (آب کاربردی) در مخرج کسر بهره‌وری آب استفاده گردد که معادل تعریف بهره‌وری آب آبیاری است. بدین شیوه، تحلیل اثرات بهبود راندمان سیستم آبیاری و سایر عوامل مدیریت زراعی بر روی بهره‌وری آب امکان‌پذیر خواهد بود. این شاخص به دلیل قابل لمس بودن و کاربردی بودن می‌تواند زمینه توافق و همراهی مناسبی بین کشاورز به عنوان مصرف‌کننده نهایی آب و نهادهای متولی مدیریت تأمین، توزیع و مصرف آب را فراهم سازد. با توجه به اهمیت تحقق اهداف پایداری آب، پایداری تولید کشاورزی و محیط‌زیست در سطوح کلان، ارزیابی و اولویت‌بندی راهکارهای بهره‌وری آب در سطوح دشت و حوضه آبریز براساس کل تولید به ازای کل آب تحویل داده شده و کل آب تخلیه شده از محدوده، و تحقق آب قابل‌برنامه‌ریزی انجام شود. موارد اصلی استفاده از دستورالعمل حاضر شامل «تعیین وضعیت فعلی و پتانسیل بهره‌وری آب به تفکیک سطوح، مناطق، محصولات و بنچ‌مارک‌های بهره‌وری»؛ «ارائه و اولویت‌بندی راهکارهای بهبود بهره‌وری به تفکیک سطوح خرد، محلی و کلان بر اساس جدول ۴-۱۱»؛ و «ارزیابی کلی وضعیت بهره‌وری آب براساس جداول ۴-۸ تا ۴-۹ و راهنمای ارائه شده در جدول ۴-۱۰» می‌باشد.

کلمات کلیدی: شاخص‌های بهره‌وری، سند ملی بهره‌وری آب، آب قابل برنامه‌ریزی، پایداری

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

ارتقای بهره‌وری آب در بخش کشاورزی یکی از مهم‌ترین راهبردهای مدیریت آب، افزایش تولید و به تبع آن، رونق اقتصادی است. این راهبرد در ایران نیز در سال‌های اخیر مورد توجه کارشناسان و سیاست‌گذاران قرار گرفته است. اگرچه اهداف مختلف و گسترده‌ای در ارتقای بهره‌وری آب می‌تواند مدنظر قرار گیرد اما اهداف اصلی مورد انتظار شامل افزایش تولید، افزایش درآمد و کاهش آسیب‌پذیری کشاورزان در شرایط کم‌آبی می‌باشد و در شرایط مدیریت شده و با شرایط ساختاری جدید می‌تواند از طریق کاهش آب برداشت شده به پایداری منابع آب کمک کند. در این راستا، هر یک از نهادهای متولی و مرتبط نظیر وزارت جهاد کشاورزی، وزارت نیرو، سازمان ملی بهره‌وری، اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی ایران، دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی، فعالیت‌ها و برنامه‌های متنوعی را برای خود تعریف کرده‌اند. روشن است که این اقدامات و برنامه‌های بهبود بهره‌وری آب که به‌صورت پراکنده انجام شده‌اند، دستاوردهایی دارند اما، پایش و بهبود بهره‌وری آب در سطح ملی زمانی موفقیت‌آمیز خواهد بود که به‌صورت هماهنگ و منسجم برنامه‌ریزی شده باشد.

مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب به‌عنوان یک نهاد فرابخشی با تنظیم تفاهم‌نامه سه جانبه وزارت نیرو، وزارت جهاد کشاورزی و اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی ایران، بستری را برای انسجام و هماهنگی لازم بین بخش‌های مختلف فراهم ساخته است (کادر ۱-۱). عملیاتی شدن تفاهم‌نامه مورد اشاره، مستلزم ترسیم نقشه راه و تهیه دستورالعمل‌های اجرایی مشخصی است. تعدد شاخص‌های بهره‌وری آب، عدم تطابق برنامه‌های بخش‌های مختلف متولی آب و کشاورزی و تضاد اهداف بهره‌برداران و عرضه‌کنندگان آب در سطوح مختلف، از جمله مسائلی است که اقدام ملی برای بهبود بهره‌وری آب را با پیچیدگی روبرو ساخته است. نظر به‌شدت بحران آب در کشور و وابستگی شدید پایداری آب و خاک و محیط‌زیست به نحوه مدیریت آب، لازم بوده است که تجربیات ملی و بین‌المللی بهبود بهره‌وری آب بررسی و یک دستورالعمل مشخص ارائه شود که قابلیت اجرا و پایش داشته باشد. در دستورالعمل حاضر با این رویکرد، مواردی نظیر تنوع و گستردگی موضوع بهره‌وری آب در نظر گرفته شده است.

کادر ۱-۱- چشم انداز و ماموریت تفاهم نامه سه جانبه سند بهره‌وری آب کشاورزی

تفاهم نامه

سند بهره وری آب کشاورزی (افق ده ساله)

اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی ایران
مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب
تاریخ: ۱۴۰۰/۶/۲
شماره: ۵۱۱۹/۱۰/۱/ص

وزارت نیرو

وزارت جهاد کشاورزی

ماده ۱- چشم انداز

تقویت امنیت غذایی و بهبود وضعیت اقتصادی بهره‌برداران و فعالان بخش کشاورزی از طریق توسعه کشاورزی پایدار و بازار محور با تکیه بر افزایش بهره وری منابع و عوامل تولید بویژه بهره‌وری آب

ماده ۲- ماموریت

ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی با مشارکت بخش‌های خصوصی، تعاونی، دولتی و سازمان‌های مردم نهاد با تکیه بر بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، رعایت راهبردهای اجرای برنامه ها و اقدامات اساسی مندرج در تفاهم‌نامه

۱-۲- اهداف، سوالات و کاربردهای دستورالعمل

اهداف اصلی دستورالعمل حاضر به شرح زیر است:

- تهیه و تدوین مفاهیم و نحوه محاسبه شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی برای انواع محصولات گیاهی[1] و یا بینابین غلات، حبوبات، چغندرقند و نیشکر، دام، طیور و شیلات در ابعاد فیزیکی، اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی و در مقیاس‌های گیاه، سیستم آبیاری، مزرعه، دشت و ملی بر اساس اسناد ملی و بین‌المللی و تدوین دستورالعمل‌های اجرایی برای هر یک از مصادیق؛
- تعریف مفهوم و تعیین شاخص محصولاتی که بخشی از نیازهای آن‌ها از واردات و بخشی از تولیدات تأمین می‌گردد؛
- تعریف و تعیین شاخص‌ها و نحوه محاسبه تولیدات صنایع کشاورزی نظیر لبنیات، چوب، گوشت و...؛
- پیشنهاد انتخاب شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی با قابلیت برنامه‌ریزی، اجرا، بهبود و پایش؛

اهداف فرعی دستورالعمل نیز شامل دسته‌بندی اقدامات و تعیین مسئولیت‌های اجرایی، مسئولیت پایش، حمایت‌های لازم و شاخص‌های مناسب ارزیابی است.

دستورالعمل حاضر برای پاسخ‌گویی به دو سؤال تهیه شده است.

- اول، نحوه تعریف و تعیین شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی هدف‌گذاری شده، در مقیاس‌های مزرعه‌ای تا کشوری و جنبه‌های مختلف فیزیکی، اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی؟
- دوم، چگونگی و نحوه‌ی تحلیل، بهبود و پایش شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی؟

دستورالعمل تهیه شده در سه سطح به شرح زیر قابل استفاده است:

- سطح ستادی: استفاده در سطوح ستادی برای سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی بهبود بهره‌وری و پایش بهره‌وری آب کشاورزی.
- سطح میانی: استفاده در سطوح میانی و اجرایی برای تدوین برنامه‌های اجرایی.
- سطح خرد: استفاده در سطوح خرد برای آشنایی و انتخاب راهکارهای ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی.

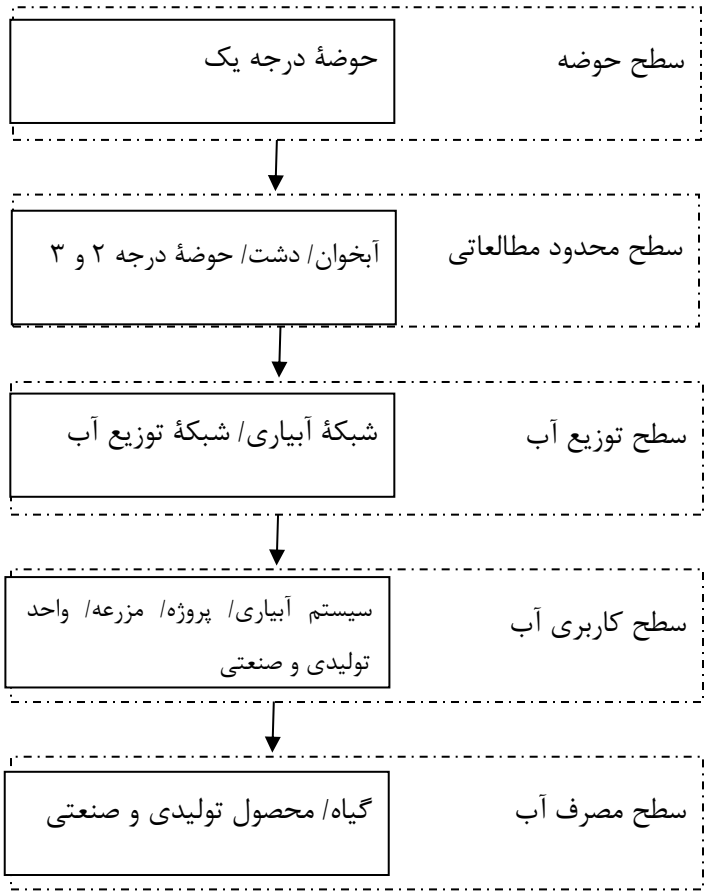
۱-۳- چارچوب دستورالعمل

محدوده موضوعی: از نظر موضوعی این دستورالعمل گام اول نقشه راه ارتقای بهره‌وری آب را به‌طور کامل پوشش می‌دهد و با در نظر گرفتن الزامات گام‌های آتی نقشه راه ارتقای بهره‌وری آب، بسترهای لازم برای اجرای آن فراهم می‌سازد. ارتقای بهره‌وری آب ضمن پایداری منابع آب و در چارچوب ارکان توسعه پایدار رویکرد کلی دستورالعمل حاضر است. محدوده زمانی:

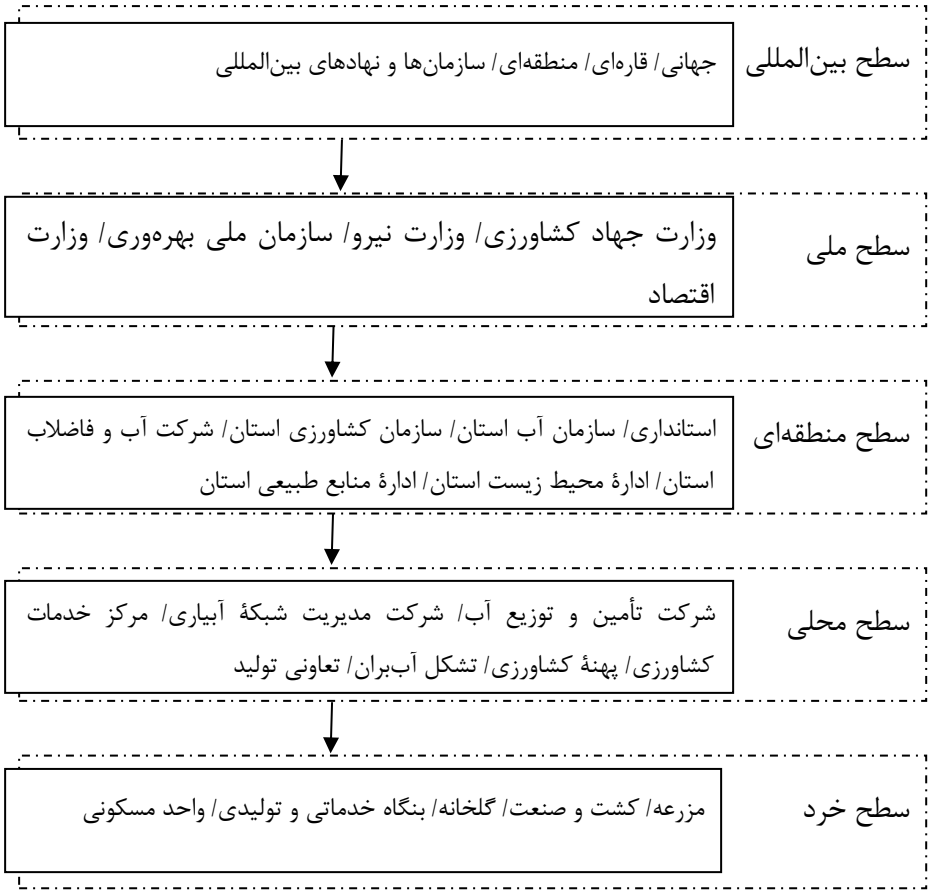
[1] Food & Feed

شاخص‌های ارائه شده برای محدوده زمانی فصل کشت و سال آبی ارائه خواهند شد. لذا میبایست این شاخص‌ها بصورت دوره‌ای مورد ارزیابی مجدد قرار گیرند.

محدوده مکانی: گستره‌ی مطالعه، ملی است. سطح شاخص‌ها در سطوح ملی، محدوده مطالعاتی آبی در مقیاس‌های مزارع، واحدهای تولیدی بزرگ کشاورزی، شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دشت و حوضه آبریز و کشوری خواهد بود. در هر سطح، گستره‌ای از اهداف راهبردی و تاکتیکی مدنظر است. در برخی از مناطق که با مشکل کمبود آب شدید مواجه هستند، هدف از ارتقای بهره‌وری آب می‌تواند سازگاری با کم‌آبی و حفظ اقتصاد و معیشت کشاورزان باشد. در مناطقی که کمبود آب جدی ندارند، ارتقای بهره‌وری آب می‌تواند به عنوان کمک به افزایش تولید و بازده اقتصادی هدف‌گذاری شود. در مواردی که بهره‌وری آب پایین منجر به مخاطرات محیط‌زیستی نظیر تخلیه زهاب آلوده به رودخانه‌ها، تالاب‌ها و آبخوان‌ها شده است، هدف ارتقای بهره‌وری آب می‌تواند کاهش آثار سوء محیط‌زیستی باشد. لازم است در مراحل ابتدایی برنامه‌ریزی بهبود بهره‌وری آب در هر سطح نسبت به تعیین اهداف و چشم‌اندازهای طرح اقدام نمود. در شکل ۱-۱ سطوح مختلف شاخص بهره‌وری آب و در شکل ۱-۲ سطوح بهره‌وری آب از دیدگاه ساختار سازمانی ارائه شده است.



شکل ۱-۱- سطوح بهره‌وری آب برمبنای مقیاس آبی



شکل ۱-۲- سطوح بهره‌وری آب از نظر ساختار سازمانی و مدیریتی

۴-۱- بررسی سوابق موضوع

سوابق گسترده‌ای از مطالعات داخلی و بین‌المللی وجود دارد که بر روی ارتقای بهره‌وری آب در سطوح ملی، شبکه‌های آبیاری و یا مزارع تمرکز دارند. در تدوین این دستورالعمل تجارب و گزارش‌های کارشناسی سازمان‌های سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد[1] (FAO)، موسسه بین‌المللی مدیریت آب[2] (IWMI) و بانک جهانی[3] (WB) در زمینه ارتقای بهره‌وری آب و گزارش‌های کارشناسی و تحقیقاتی مؤسسات تحقیقاتی وزارت جهاد کشاورزی، وزارت نیرو، سازمان ملی بهره‌وری آب و مراکز دانشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است (از جمله مراجع مورد استفاده: FAO and IHE , 2019؛ Molden, 2007؛ Batchelor et al, 2016؛ APO,2019؛ کشاورز و دهقانی سانیج، ۱۳۹۰؛ عباسی و همکاران، ۱۳۹۴؛ نظری و همکاران، ۲۰۱۸). بهره‌وری آب بر اساس هدف و رویکرد مطالعات، در قالب شاخص‌های مختلفی تعریف و تبیین می‌شود. در دهه‌های اخیر، توسعه شاخص‌هایی که فرایندهای متفاوت و همچنین کارایی سامانه‌های آبی را توصیف کنند، ارائه شده است. شاخص‌های ارائه‌شده در این دستورالعمل، مربوط به استفاده آب در بخش کشاورزی است، هرچند در سایر بخش‌ها نیز با تعمیم قابل‌استفاده است. دامنه وسیعی از مقادیر بهره‌وری آب، بسته به سامانه‌های مختلف کشت، وجود دارد. مقادیر کمتر بهره‌وری آب به‌طور معمول همراه با محدودیت دسترسی به آب آبیاری و دیگر نهاده‌ها مانند بذر، کود و سموم دفع آفات است. افزایش بهره‌وری آب در این مناطق منجر به ارتقاء امنیت غذایی و بهبود معیشت میلیون‌ها نفر می شود (Rockstrom et al, 2010). برآورد می‌شود که ۸۰ درصد از کمبود غذای مورد نیاز را می‌توان با افزایش بهره‌وری سامانه‌های کشاورزی کم بازده به دست آورد (Molden, 2007; Cai et al., 2011). با توجه به ماهیت دستورالعمل بودن این سند، در بخش‌های مختلف بسته به ضرورت، مرجع روابط و روش‌های اشاره شده، مطرح شده است.

[1] Food and Agriculture Organizaition
[2] International Water Management Institue
[3] Word Bank

فصل دوم

مبانی نظری و شاخص های بهره وری آب

۲-۱- تعاریف بهره‌وری

بهره‌وری توسط نهادهای مختلف به شکل‌های متفاوت تعریف شده است. برخی از مرسوم‌ترین تعاریف بهره‌وری به شرح زیر است (صراف زاده، ۱۳۹۵):

- سازمان اقتصادی اروپا: حاصل کسری است که از تقسیم مقدار یا ارزش محصول/ خدمت به مقدار یا ارزش یکی از عوامل تولید به دست آید.
- سازمان بین‌المللی کار: عبارت است از نسبت ستانده به یکی از عوامل تولید (زمین، سرمایه، نیروی کار و مدیریت).
- آژانس بهره‌وری اروپا: نوعی طرز تفکر و دیدگاهی است بر این پایه که هر فرد می‌تواند کارها و وظایفش را هر روز بهتر از قبل انجام دهد.
- مرکز بهره‌وری ژاپن: حداکثر استفاده از منابع فیزیکی، نیروی انسانی و سایر عوامل به روش‌های علمی است به‌گونه‌ای که بهبود بهره‌وری به کاهش هزینه‌های تولید، گسترش بازارها، افزایش اشتغال و بالا رفتن سطح زندگی همهٔ آحاد ملت منجر شود.
- موسسه بین المللی مدیریت آب[1]: بهره‌وری آب برای کشاورز به معنای محصول بیشتر از هر قطره آب آبیاری است. اما برای یک جامعه و در سطح کلی، بهره‌وری آب به معنای تولید ارزش بالاتر به ازای هر واحد از منابع آب مصرفی است و در این حالت، بهره‌وری آب دغدغه‌ی بازیگران مختلف در سطح گیاه، مزرعه، سامانه آبیاری و حوضه‌های آبی می‌باشد (Kijne et al., 2003).

بهره‌وری ترکیبی از کارایی و اثربخشی است. در موضوع بهره‌وری، توجه به اثربخشی و درجهٔ نیل به اهداف، بسیار مهم است. «تولید» عبارت است از کل میزان محصول تولید شده؛ درحالی‌که «بهره‌وری» عبارت است از نسبت محصول تولیدشده به منابع یا نهاده‌های به کار رفته. از این‌رو همواره باید به این نکته توجه داشت که تولید بیشتر به معنای افزایش بهره‌وری نیست و لازم است در کاربرد صحیح واژه‌های «بهره‌وری»، «تولید»، «کارایی» و «اثربخشی» دقت شود (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲). مثالی برای تبیین تفاوت راندمان و اثربخشی در حوزهٔ بهره‌وری آب این است که اگر یک سیستم آبیاری با راندمان بالا اجرا و بهره‌برداری شود، اما گیاهی کشت شود که در منطقه درآمد اقتصادی کمی داشته باشد، بهره‌وری اقتصادی آب کم خواهد بود (عدم اثربخشی). بطور مشابه اگر گیاهی با ارزش اقتصادی بالا انتخاب و کشت شود، اما سیستم آبیاری آن راندمان پایینی داشته باشد (عدم کارایی)، به علت کاهش رشد و عملکرد گیاه، بهره‌وری فیزیکی آب کم خواهد بود. مثال‌های مذکور، جامعیت مفهوم بهره‌وری نسبت به کارایی و اثربخشی را نشان می‌دهد.

[1] IWMI

باید توجه داشت که صرفه‌جویی آب لزوماً ارتقای بهره‌وری آب را در پی نخواهد داشت و از طرفی ارتقای بهره‌وری آب نیز لزوماً به افزایش درآمد خالص در سطح شبکه یا حوضه منجر نخواهد شد. طبق نتایج مطالعات و بررسی‌های انجام‌شده، همواره لازم است بررسی شود آیا روش‌ها و راهکارهای فنی و مدیریتی پیشنهاد شده در سطوح مختلف به ارتقای بهره‌وری آب و بازده اقتصادی در سطح شبکه، حوضه و کل سیستم منجر خواهد شد یا خیر.

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

- اهداف راهبردی: به‌منظور پیشرفت در سطح کلان نظیر خودکفایی غذایی، امنیت آبی، پایداری منابع آب؛
- اهداف تاکتیکی: به‌منظور ارتقای عملکرد بخش‌های مختلف، نظیر ارتقای بهره‌وری آب در کشاورزی فاریاب؛
- اهداف مدیریتی: به‌منظور توسعه یا تغییر نوع فعالیت‌ها برای بهبود وضعیت، نظیر توسعهٔ کشت‌های گلخانه‌ای و نشایی، طرح‌های تصفیهٔ آب و...؛
- اهداف مربوط به برنامه‌ریزی: برای بررسی سود، زیان و تصمیم‌گیری مناسب به‌منظور افزایش ارزش‌افزوده، نظیر تدوین برنامهٔ بهره‌وری برای ارتقای ارزش‌افزوده.

انواع شاخص‌های بهره‌وری که در مباحث تئوریک و کاربردی استفاده می‌شود، در یک دسته‌بندی کلی به شرح زیر است:

۲-۱-۱- بهره‌وری جزئی (تک عاملی)

نسبت ارزش و مقدار محصول به یک طبقه از نهاده را بهره‌وری جزئی گویند. برای مثال، محصول به ازای هر نفر ساعت (بهره‌وری نیروی کار) یا درآمد تولیدشده به ازای هر ریال سرمایه (بهره‌وری سرمایه)، میزان ارزش تولیدشده به ازای هر مترمکعب آب (بهره‌وری آب و...).

۲-۱-۲- بهره‌وری کل عوامل تولید[1] (TFP)

بهره‌وری کل عوامل (TFP)، انعکاس‌دهنده کارایی و اثربخشی در استفاده توأمان از همه عوامل تولید برای تولید کالاها و خدمات است. این شاخص دربرگیرنده تمامی عوامل کیفی و کمّی تعیین‌کننده استفاده بهینه از منابع است. در TFP موارد زیر محور توجه قرار می‌گیرد:

- استفاده هوشمندانه‌تر از منابع در دسترس؛
- به‌کارگیری فناوری جدید و ارتقای سطح فناوری موجود؛
- نوآوری؛

[1] Total Factorial Productivity

- فنون مدیریت بهتر؛
- تخصص‌گرایی؛
- بهبود کارایی؛
- آموزش، مهارت‌ها و تجارب کارکنان؛
- پیشرفت استفاده از فناوری اطلاعات.

۲-۱-۳- بهره‌وری چندعاملی

در محاسبه بهره‌وری چندعاملی به‌جای همه عوامل در مخرج کسر، ارزش تنها چند عامل از همه عوامل تولید را قرار می‌دهند.

۲-۲- انواع شاخص‌های بهره‌وری آب

بر اساس هدف و رویکرد مطالعات، بهره‌وری آب در قالب شاخص‌های مختلفی تعریف و تبیین می‌شود. در دهه‌های اخیر، در زمینهٔ توسعهٔ شاخص‌هایی که فرایندهای متفاوت و همچنین کارایی سامانه‌های آبی را توصیف کنند، تلاش‌های زیادی صورت گرفته است. شاخص‌های ارائه‌شده در این بخش، عمدتاً مربوط به استفاده آب در بخش کشاورزی است؛ هرچند در سایر بخش‌ها نیز با تعمیم قابل‌استفاده است. این شاخص‌ها با توجه به نوع ستانده در چهار دسته فیزیکی، اقتصادی، اجتماعی - زیست‌محیطی و تحلیلی مطرح می‌شوند.

مفهوم هر یک از این دسته‌بندی‌ها به قرار زیر است:

- بهره‌وری فیزیکی: بر اساس این دیدگاه، بهره‌وری بیشتر آب کشاورزی به معنای تولید محصول بیشتر به ازای واحد حجم آب مصرفی یا آب کاربردی است. با توجه به مخرج کسر بهره‌وری، تفاسیر و کاربردهای شاخص متفاوت است.
- بهره‌وری اقتصادی: بر اساس این دیدگاه، بهره‌وری بیشتر آب کشاورزی به معنای کسب سود بیشتر به ازای واحد حجم آب مصرفی است.
- بهره‌وری اجتماعی- محیط زیستی: بر اساس این دیدگاه، بهره‌وری بیشتر آب کشاورزی به کسب منافع اجتماعی نظیر ایجاد اشتغال بیشتر، تولید غذای بیشتر یا افزایش رفاه و درآمد سرانه به ازای واحد حجم آب مصرفی و در رابطه با مسائل محیط زیستی به معنای ایجاد آلایندگی کمتر است.
- شاخص‌های تحلیلی بهره‌وری: این دسته از شاخص‌ها برای تحلیل وضعیت شاخص‌های فیزیکی، اقتصادی یا اجتماعی بهره‌وری آب تعریف شده‌اند. شاخص‌های رشد بهره‌وری، پتانسیل بهبود بهره‌وری و بهره‌وری نسبی در این دسته قرار می‌گیرند.

۲-۳- شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی آب

طبق آنچه گفته شد، در شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی آب، ستانده‌ها به‌صورت واحدهای فیزیکی تعریف می‌شوند که عموماً به‌صورت مقدار تولید محصول هستند، به همین دلیل در دسته‌بندی بهره‌وری فیزیکی قرار می‌گیرند. شاخص‌های پرکاربرد بهره‌وری فیزیکی آب در این بخش معرفی شده است[1].

۲-۳-۱- عملکرد به ازای واحد حجم آب[2] (CPD)

این شاخص نسبت مقدار محصول تولید شده (گندم، جو، گوشت و...)، به حجم آب مصرف‌شده است. بنابراین هرچه این نسبت بیشتر باشد، نشان‌دهنده تولید بالاتر به ازای مصرف آب است.

$$CPD = \frac{Y(kg\,ha^{-1})}{WU(m^3\,ha^{-1})} \qquad (۱-۲)$$

در این رابطه، صورت کسر می‌تواند مقدار محصول خشک، تر یا جزئی از محصول باشد که به مصرف می‌رسد (کیلوگرم) و مخرج کسر، آب مصرف‌شده (مترمکعب)[3] است. مخرج کسر می‌تواند آب تحویلی به شبکه آبیاری، آب تحویلی به زیر واحدهای شبکه آبیاری و یا نواحی عمرانی، آب تحویلی به تشکل آب‌بران، قطعات زراعی و یا حتی تبخیر- تعرق باشد. در این شاخص و در شاخص‌های بعد که معرفی می‌شود باید به تفاوت آب تحویلی، آب کاربردی، آب مصرفی و آب برداشت‌شده دقت کرد. چنانچه هر یک از این مفاهیم در مخرج کسر بهره‌وری آب قرار گیرد، نتایج متفاوت بوده و تفاسیر مختلفی را نیز خواهد داشت. در بخش حسابداری آب، در مورد این مفاهیم جزییات بیشتر ارائه شده است.

تولید محصول به‌جز آبیاری، به عوامل دیگری از جمله اقلیم، نوع خاک، مصرف نهاده‌های کشاورزی و... بستگی دارد. عملکرد محصولات کشاورزی به‌طور مستقیم، تحت تأثیر نهاده‌های مختلف کشاورزی بوده و به خودی خود، نشانهٔ روشنی از ارزش عملکرد آبیاری به دست نمی‌دهد. در هر حال در شرایطی که آب، نهادهٔ محدودکننده کشاورزی است، این شاخص می‌تواند بیان‌کننده کارایی مصرف آب باشد؛ هرچند افزایش محصول تولید شده به ازای آب مصرفی لزوماً اثربخش نیست؛ زیرا ارزش مقدار محصول گیاهان مختلف، هم به لحاظ ارزش ریالی و هم به لحاظ جایگاهی که در ایجاد امنیت غذایی دارند، متفاوت است. همچنین از این شاخص نمی‌توان برای مقایسه بهره‌وری آب گیاهان مختلف استفاده کرد زیرا گیاهان مختلف نیازهای

---

[1] علاوه بر شاخص‌های اشاره شده در این بخش، شاخص‌های مرسوم ارزیابی اقتصادی طرح‌ها و پروژه‌ها نظیر بازده اقتصادی، نسبت سود به هزینه و نرخ بازده داخلی (IRR) نیز می‌توانند در ارزیابی بهره‌وری آب پروژه‌های آبی و یا اثرات راهکارهای بهبود بهره‌وری آب مورد استفاده قرار گیرد که به دلیل عمومی بودن این شاخص‌ها از تکرار و تعریف آن‌ها در اینجا خودداری می‌شود.

[2] Crop Per Drop

[3] آب مصرفی (Consumptive Water) در منابع تخصصی مهندسی و مدیریت آب به آن بخش از آبی گفته می‌شود که امکان برگشت آن به منابع آبی برای استفاده مجدد وجود ندارد که بخش اصلی آن همان تبخیر- تعرق گیاه است. در کنار این مفهوم به آن بخش از آبی که از منابعی نظیر چاه، رودخانه و شبکه آبیاری سدها و... برداشت می‌شود آب برداشت شده (Withdrawal Water) گفته می‌شود. لازم به ذکر است در بسیاری از منابع فارسی به اشتباه دو عبارت گاهی به‌جای هم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

آبی متفاوتی دارند. این شاخص قدیمی و محاسبه آن آسان است و قابلیت اندازه‌گیری و پایش دارد. برای برآورد این شاخص از مراکز وابسته به وزارت جهاد کشاورزی، کشاورزان، شرکت‌های توزیع آب در شبکه آبیاری و اندازه‌گیری میدانی می‌توان استفاده کرد. برای مطالعات کلان و اجمالی استفاده از داده‌های موجود، و برای ارزیابی تفصیلی بهره‌وری آب در شبکه‌ها، استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده و اطلاعات گردآوری‌شده میدانی توصیه می‌گردد.

۲-۳-۲- بهره‌وری تعرق[1]

بهره‌وری تعرق به‌صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$WP_T = \frac{Y(kg\,ha^{-1})}{T(m^3\,ha^{-1})} \qquad (۲-۲)$$

پارامترهای WP_T، Y و T به ترتیب بهره‌وری تعرق برحسب کیلوگرم به مترمکعب، وزن خشک اندام هوایی گیاه (مقدار محصول قابل‌عرضه به بازار) برحسب کیلوگرم در هکتار و مقدار تعرق در طول فصل زراعی برحسب مترمکعب در هکتار است (Kijne et al., 2003). این شاخص برای مقایسه ارقام مختلف گیاهی مناسب، اما محاسبه آن دشوار است، زیرا محاسبه و تفکیک تعرق از تبخیر- تعرق مشکل است و به شکل کاربردی قابلیت پایش ندارد. استفاده از این شاخص برای تحقیقاتی که روی ارقام گیاهی در راستای اصلاح نباتات، برای مقاومت بیشتر به کم‌آبی و تولید بیشتر به ازای واحد تعرق صورت می‌گیرد، مناسب است. این شاخص عمدتاً در تحقیقات بنیادین کاربرد دارد.

۲-۳-۳- بهره‌وری تبخیر و تعرق

به دلیل مشکل بودن تفکیک تعرق از تبخیر و تعرق، به‌جای WP_T از WP_{ET} استفاده می‌شود. در ادبیات جدید و مرسوم بهره‌وری، گاهی به بخش تبخیر و تعرق، بخش تخلیه شده یا Depleted Water نیز می‌گویند. به آن معنا که از محدوده مزرعه یا حوضه کاملاً خارج شده است. البته بخشی از این مصرف مفید و بخشی غیرمفید خواهد بود. برای جزییات بیشتر به تعاریف و مراجع حسابداری آب مراجعه شود. شاخص بهره‌وری تبخیر و تعرق به‌صورت زیر تعریف خواهد شد:

$$WP_{ET} = \frac{Y(kg\,ha^{-1})}{ET(m^3\,ha^{-1})} \qquad (۳-۲)$$

در این رابطه که توسط مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب[2] (IWMI) نیز ارائه شده است، WP_{ET} و ET به ترتیب بهره‌وری تبخیر - تعرق برحسب کیلوگرم بر مترمکعب و مقدار تبخیر- تعرق برحسب مترمکعب در هکتار، در فصل زراعی، است (Kijne et al., 2003).

[1] Water Productivity

[2] International Water Management Institute

با تحلیل این شاخص و شاخص بهره‌وری تعرق، می‌توان میزان اثر حذف تبخیر ناخواسته در سیستم‌های آبیاری و کشاورزی، بر بهره‌وری آب را ارزیابی کرد. این شاخص قابلیت اندازه‌گیری و پایش دارد اما به دلیل پیچیدگی ماهیت تبخیر-تعرق، مقادیر به‌دست‌آمده ممکن است دقیق نباشد. برای اندازه‌گیری دقیق این شاخص باید از لایسیمتر یا سایر روش‌های اندازه‌گیری تبخیر-تعرق با دقت بالا استفاده کرد که عموماً پرهزینه‌اند و امکان استفاده از این روش‌ها در بسیاری از موارد فراهم نیست. برای پایش این شاخص در سطح شبکه‌های آبیاری و زهکشی، استفاده از تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم‌های بیلان آب و انرژی توسط سازمان فائو توصیه شده است. دستورالعمل‌های متعددی در این زمینه وجود دارد که از آن جمله می‌توان به دفترچه راهنمای فنی پایگاه Wapor، مؤسسه آب سازمان ملل(UN-Water)، اشاره کرد که با همکاری سازمان فائو و مؤسسه‌ی آموزش آب سازمان ملل[1](IHE)، راه‌اندازی شده است(FAO و IHE، 2019).

۲-۳-۴- بهره‌وری آب آبیاری و بارش

شاخص «بهره‌وری آب آبیاری و بارش»، به‌صورت رابطهٔ زیر تعریف می‌شود:

$$WP_{I+P} = \frac{Y(kg\,ha^{-1})}{[I+P](m^3\,ha^{-1})} \qquad (۴-۲)$$

که I و P مقدار آبیاری و بارندگی برحسب مترمکعب در هکتار در طول فصل زراعی هستند. WP_{I+P} بهره‌وری آب آبیاری و بارش است که معمولاً به اختصار «بهره‌وری آب» یا «بهره‌وری آب کل» نیز نامیده می شود و برحسب کیلوگرم در مترمکعب است. این شاخص می‌تواند برای برنامه‌ریزی بهره‌وری آب کشاورزی و تحلیل تطبیق الگوی کشت با الگوی بارش منطقه مورد توجه قرار گیرد. این شاخص متناظر با شاخص قدیمی‌تر CPD است، اما چون در مخرج کسر آب آبیاری و بارش آمده است، ابهام آن کمتر از CPD است. باید توجه داشت هرچه تنوع محصولات بیشتر شود، مقدار خطای تحلیل‌ها با این شاخص بیشتر خواهد شد که این مسئله به الگوی کشت، تقویم کشت، تنوع گونه‌های زراعی و باغی و سیستم‌های آبیاری بستگی دارد.

۲-۳-۵- بهره‌وری بارش

این شاخص برای تحلیل بهره‌وری آب در کشت دیم تعریف می‌شود که با حذف آبیاری از مخرج رابطهٔ ۲-۴، رابطهٔ آن به‌دست می‌آید. هر یک از شاخص‌های بهره‌وری آبیاری و بارش، بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب در کشت دیم، با توجه به هدفی که مدنظر است، استفاده می‌شود.

$$WP_P = \frac{Y(kgha^{-1})}{P(m^3ha^{-1})}$$

P مقدار بارندگی برحسب مترمکعب در هکتار در طول فصل زراعی است.

[1] Institute for Water Education

۲-۳-۶- بهره‌وری آب آبیاری

در شرایطی که میزان بارش اندک یا هدف از مطالعه، میزان اثر فرایند آبیاری بر بهره‌وری آب باشد، WP_{I+P} به WP_I یا بهره‌وری آب آبیاری تبدیل می‌شود.

$$WP_I = \frac{Y(kg\,ha^{-1})}{[I](m^3\,ha^{-1})} \qquad (۵-۲)$$

I، مقدار آبیاری برحسب مترمکعب در هکتار است. این شاخص می‌تواند اثر بهبود راندمان آبیاری و تغییر و بهبود سیستم‌های آبیاری روی بهره‌وری آب را لحاظ کند. مقدار آب آبیاری با توجه به هدف تحلیل می‌تواند آب آبیاری تحویل شده به قطعه زراعی (برای تحلیل مدیریت بهره‌وری در قطعات زراعی) و یا آب تحویلی به زیر واحد آبیاری و یا تشکل آبیاری (برای تحلیل بهره‌وری آب در سطح تشکل‌های آب بران و زیر واحدهای آبیاری) باشد.

۲-۴-شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی آب

۲-۴-۱- سود ناخالص به ازای واحد آب[1] (BPD)

در شاخص BPD، میزان بهره‌وری آب برحسب نسبت مقدار سود حاصل از تولید محصول به مقدار آب مصرف‌شده محاسبه می‌شود. این رابطه بر اساس ریال (دلار) بر مترمکعب بیان می‌شود.

$$\mathrm{BPD} = \frac{Y(Rail\,kg^{-1} \times kg\,ha^{-1})}{[I+P](m^3\,ha^{-1})} \qquad (۶-۲)$$

صورت کسر، سود حاصل از تولید کشاورزی در هر هکتار و مخرج کسر مقدار آب آبیاری و بارش به کار برده شده در هر هکتار است. با توجه به آنکه در این شاخص مقدار سود ناشی از فروش محصول مدنظر قرار می‌گیرد، دقت آن بیشتر از بهره‌وری فیزیکی آب است و می‌توان از آن برای مقایسهٔ بهره‌وری آب در گیاهان مختلف استفاده کرد. در این روش میزان هزینهٔ مصرف‌شده در نظر گرفته نمی‌شود؛ بنابراین برای مقایسهٔ گیاهانی که هزینهٔ تولید یکسانی ندارند، دقت مناسبی نخواهد داشت. این شاخص قابلیت اندازه‌گیری و پایش دارد، اما همان‌طور که گفته شد به دلیل اینکه هزینهٔ تولید گیاهان مختلف با هم متفاوت است، اثربخشی تولید را به‌خوبی منعکس نمی‌نماید.

۲-۴-۲- شاخص سود خالص به ازای واحد آب[2] (NBPD)

شاخص سود خالص به ازای هر مترمکعب آب به‌صورت رابطهٔ زیر تعریف می‌شود (Kijne et al., 2003)

[1] Benefit Per Drop

[2] Net Benefit Per Drop

$$\mathrm{NBPD} = \frac{Y(Rial\ kg^{-1} \times kg\, ha^{-1})}{[I+P](m^3\ ha^{-1})} \qquad (۷-۲)$$

صورت کسر، سود خالص (ریال در هکتار) است. در محاسبهٔ سود خالص هزینه‌های سرمایه‌گذاری نیز مدنظر قرار می‌گیرد، درحالی‌که در محاسبهٔ سود، این‌گونه نیست. این شاخص، قابلیت اندازه‌گیری و پایش دارد و از جامعیت نسبی برخوردار است، همچنین اثربخشی اقتصادی را نشان می‌دهد. اگرچه محاسبهٔ این شاخص قدری مشکل است، دقت بالاتری نسبت به شاخص‌های دیگر دارد و در مطالعات در مقیاس شبکه کارآمدتر است.

۳-۴-۲- ارزش افزودهٔ آب مصرفی

نقش مهم کشاورزی در ایجاد اشتغال، امنیت غذایی و پایداری زیست در جوامع روستایی، ارزش افزودهٔ بخش کشاورزی به ازای یک مترمکعب آب، معمولاً نسبت به بخش صنعت و خدمات پایین‌تر است. با توجه به محدودیت آب در آینده، بخش کشاورزی باید بتواند شرایط بهتری برای رقابت با مصارف صنعت و خدمات ارائه دهد. لذا شاخص ارزش افزوده‌ی آب به عنوان یک شاخص بهره‌وری از دید اقتصاد کلان به صورت ذیل تعریف شده است:

$$VAPD = \frac{TVA(Rial)}{WU\ (m^3\ ha^{-1})} \qquad (۸-۲)$$

TVA، کل ارزش‌افزوده برحسب ریال و WU مقدار آب مصرفی برحسب مترمکعب و VAPD بهره‌وری آب بر مبنای ارزش‌افزوده به ازای یک مترمکعب آب، برحسب ریال بر مترمکعب می‌باشد. این شاخص قابلیت اندازه‌گیری و پایش دارد و از جامعیت بالاتری نسبت به شاخص‌های پیشین برخوردار است. زمانی که هدف طرحی دستیابی به ارزش‌افزوده بیشتر باشد، این شاخص می‌تواند میزان اثربخشی را نشان دهد. در سطح ملی برای تحلیل روند بهره‌وری آب در سطح کلان و همچنین مقایسه وضعیت بهره‌وری آب در مقایسه با کشورهای دیگر، ارزش افزوده برحسب دلار و آب مصرف بر حسب مترمکعب در سطح ملی بیان می شود. در مقایسه عملکرد بخش‌های مختلف مصرف آب نظیر کشاورزی، صنعت، خدمات و ... نیز ارزش افزوده بخش و همچنین آب مصرفی بخش در رابطه منظور می‌شود. با توجه به اهمیت تحقق اهداف پایداری آب، پایداری تولید کشاورزی و محیط زیست در سطوح کلان، در ارزیابی و اولویت‌بندی راهکارهای بهره‌وری آب در سطوح دشت و حوضه آبریز علاوه بر اینکه ارزش افزوده به ازای آب مصرفی تحلیل می‌شود، ارزش افزوده به ازای آب تخلیه شده از محدوده (Depleted Water)، نیز انجام شود.

جدول ۲-۱- ابهامات و تناقض‌های رویکردهای مبتنی بر ارزش افزوده و اسناد بالادستی در موضوع بهره‌وری آب

شرح ابهام	در اسناد بالادستی از جمله سیاست‌های کلی نظام، سند ملی امنیت غذایی و سند الگوی کشت، سند آب قابل برنامه‌ریزی و ... بر دستیابی به چند شاخص و هدف مهم تأکید شده است. این اهداف لزوماً با یک‌دیگر همسو نیستند و چه بسا ممکن است در تضاد با هم باشند. این تضاد، ابهام و تناقض در اموری که ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی دارند و نیاز به رعایت یک حد تعادل و تصمیم‌گیری چندمعیاره است، مشاهده می‌شود. تأمین امنیت غذایی با تکیه بر منابع داخلی (بند دوم سیاست‌های کلی نظام در بخش کشاورزی) و پایداری منابع آب بر اساس اصول توسعه پایدار (بند اول سیاست‌های کلی نظام در بخش منابع آب): تولید غذا با تکیه بر منابع داخلی مصرف بیشتر آب را می‌طلبد حال آنکه طبق اصول توسعه پایدار توجه به پایداری باید مدنظر باشد و با توجه به شرایط کشور در اغلب مناطق توسعه پایدار فقط با کاهش مصرف آب امکان‌پذیر است. خودکفایی در محصولات اساسی (بند دوم سیاست‌های کلی نظام در بخش کشاورزی) و ارتقای بهره‌وری اقتصادی آب (در راستای بند دوم سیاست‌های کلی نظام در بخش منابع آب): محصولات اساسی و راهبردی معمولاً ارزش افزوده و درآمد کمتری دارند و در کشت‌های دیگر بهره‌وری اقتصادی آب اهداف بالاتری قابل دستیابی است.
مثال	بالا بودن ارزش افزوده محصولاتی مانند پسته و زعفران. کم بودن درآمد و ارزش افزوده محصول راهبردی مانند گندم کشت بدون برنامه گیاهان صیفی و آب‌بر طبق اهداف اقتصاد خرد (کشاورز) و برخلاف سند الگوی کشت
چه باید کرد	بازنگری در سیاست‌های کلی و اسناد بالادستی شفافیت، انسجام و توافق فراگیر در ادبیات، مفاهیم، اصول و شاخص‌های اسناد بالادستی. توجه به چندجانبه نگری و توجه بیشتر به شاخص‌های اقتصادی و پایداری در منابع آب و امنیت غذایی. توسعه دیپلماسی اقتصادی و علمی که امکان تأمین نهاده‌ها و موادغذایی آب‌بر از خارج کشور با کشت فراسرزمینی و با رعایت ملاحظات سیاسی امنیتی را فراهم سازد. اصلاح ساختار مشوق‌ها و یارانه‌ها در راستای تنظیم‌گری الگوی کشت
رویکرد دستورالعمل حاضر	ارتقای بهره‌وری آب به صورت محصولی (مثال: ارتقای بهره‌وری آب گندم) و یا محدوده (مثال: در سطح مزرعه، دشت، حوضه، استانی و ملی)، فارغ از اینکه چه مقدار از هر محصول در الگو وجود دارد، و بر مبنای ترجیحات ملی یا منطقه‌ای و یا خرد (کشاورز) انتخاب شده است، به ارتقای بهره‌وری کل منجر خواهد شد. این موضوع صرفاً در مورد بهره‌وری فیزیکی صادق خواهد بود و بهره‌وری اقتصادی از الگوی کشت و مقدار تولید و وضعیت بازار اثر می‌پذیرد. هر چه تعداد محصولات و یا محدوده برنامه‌ریزی و اقدام برای بهره‌وری افزایش یابد، نهادها و مولفه‌های اثرگذار بر بهره‌وری به صورت تصاعدی افزایش می‌یابد و موفقیت در برنامه تعامل و همراهی بیشتر ذی‌نفعان را می‌طلبد. به کارگیری شیوه‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی و اقدام فرابخشی لازمه موفقیت در ارتقای بهره‌وری آب در سطوح کلان است. جداول ارزیابی اقدامات بهبود بهره‌وری آب بر اساس معیارهای پایداری محیط‌زیست و بهره‌وری اقتصادی که در این سند آمده است در چارچوب کمیته‌های بهره‌وری آب می‌تواند بخشی از مسایل و چالش‌ها را مدنظر قرار دهد.

۲-۴-۴- شاخص ارزش ناخالص استانداردشده‌ی تولید[1](SGVP)

یکی از چالش‌های تحلیل بهره‌وری اقتصادی آب در کشور، نوسان قیمت محصولات طی سال است. اگر بررسی عملکرد محصولات مختلف با قیمت‌های محلی متفاوت مدنظر باشد، باید از شاخصی با عنوان «ارزش ناخالص استانداردشدهٔ تولید» با علامت اختصاری SGVP، استفاده کرد (دهنوی و صادقی، ۱۳۸۵). برای محاسبهٔ ارزش ناخالص استانداردشدهٔ تولید (SGVP)، نسبت قیمت محصولات به قیمت یک محصول استاندارد در منطقه محاسبه و در قیمت بازار جهانی ضرب می‌شود. بدین ترتیب تعدیلی در قیمت‌های محلی محصولات کشاورزی صورت می‌گیرد.

$$\mathrm{SGVP} = \sum_{i=1}^{n}(\mathrm{A}_i \times \mathrm{Y}_i \times (\frac{\mathrm{LP}_i}{\mathrm{BP}}) \times \mathrm{WMP}) \qquad (۹-۲)$$

که در آن SGVP ارزش ناخالص ا ستاندارد شدهٔ تولید برح سب دلار ا ست و با مجموع ارزش ناخالص ا ستاندارد شدهٔ تولید تمامی محصولات برابر است. A_i مساحت زیر کشت محصول i برحسب هکتار، Y_i عملکرد برحسب کیلوگرم در هکتارمحصول i، LP_i قیمت محلی[2] محصول i، BP قیمت محلی محصول پایه[3] (کشت غالب منطقه که بازار بین‌المللی دارد) و WMP قیمت محصول پایه در بازارهای جهانی[4] برحسب دلار به ازای هر کیلوگرم است. در واقع میزان تولید نهایی همهٔ محصولات بر اساس یک محصول، معادل شده و با ضرب در قیمت بین‌المللی محصول پایه، ارزش ناخالص استانداردشدهٔ تولید در منطقه به د ست می‌آید. نکتهٔ قابل‌توجه این ا ست که این شاخص می‌تواند تأثیر شرایط محلی (مانند شرایط خا صی 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 استانداردشده تولید، این امکان را فراهم می‌آورد تا بتوان عملکرد شبکه‌های آبیاری مختلف را بدون توجه به مکان و نوع گیاه ک شت شده مقایسه کرد. برای مثال، میزان درآمد حا صل از م صرف یک واحد آب در شبکه آبیاری مغان می‌تواند با میزان درآمد حا صل از م صرف یک واحد آب در شبکه آبیاری دز مقایسه شود. لذا این شاخص می‌تواند در برنامه‌ریزی کلان الگوی کشت و مدیریت تبادل آب مجازی در کشور به کار گرفته شود.

۲-۴-۵- شاخص اثربخشی اعتبارات در صرفه جویی آب[5] (WSIE)

با توجه به اینکه سرمایه در کشورهای در حال توسعه عاملی مهم و محدودکننده به شمار می‌رود از شاخص اثربخشی سرمایه‌گذاری و اعتبارات بهره‌وری آب به شرح زیر استفاده می‌شود:

---

[1] Standardized Gross Value of Product
[2] Local price
[3] Base price
[4] World Market Price
[5] Water Saving Investment Effectiveness

$$\mathrm{WSIE} = \frac{SW}{I} \qquad (۱۰-۲)$$

I، میزان سرمایه‌گذاری برحسب ریال (اگر مقایسه و تحلیل راهکارها و یا اقدامات در یک زمان مشخص است استفاده از واحد ریال مناسب است، اگر مقایسه راهکارها در زمان‌های مختلف مدنظر باشد به دلیل تغییر نرخ ارز لازم است که هزینه‌ها و سرمایه‌گذاری‌ها به واحد یورو بیان شود، نرخ رسمی اعلامی بانک مرکزی ملاک عمل خواهد بود). SW، آب صرفه‌جویی شده برحسب مترمکعب و WSIE اثربخشی اعتبارات در صرفه‌جویی آب برحسب مترمکعب بر ریال است. استفاده از شاخص فوق و تحلیل بهره‌وری سرمایه‌گذاری در گزینه‌های مختلف تأمین آب و صرفه‌جویی آب، می‌تواند به بهبود فرایندهای برنامه‌ریزی کمک کند. در تحلیل‌های سرمایه‌گذاری در حوزهٔ آب همواره باید راهکارهای مدیریت تقاضا را نیز مدنظر داشت و نباید گزینه‌های سرمایه‌گذاری به گزینه‌های مدیریت عرضه محدود شود. به‌عنوان‌مثال می‌توان بهره‌وری سرمایه‌گذاری در تحویل حجمی آب در شبکه آبیاری و یا بهره‌وری سرمایه‌گذاری در ایجاد زیرساخت‌های بازار آب را اشاره کرد.

۲-۵- شاخص‌های بهره‌وری محیط زیستی - اجتماعی

۲-۵-۱- شاخص بهره‌وری اشتغال آب‌محور[1] (JPD)

در بسیاری از موارد، هدف طرح‌های توسعهٔ منابع آب، ایجاد اشتغال است. برای ارزیابی میزان اثربخشی طرح‌ها از نظر دستیابی به این هدف، از شاخص بهره‌وری اشتغال آب (JPD) استفاده می شود. بهره‌وری اشتغال به صورت تعداد اشتغال ایجادشده برحسب نفر به ازای هر میلیون مترمکعب آب بیان می‌شود (نظری و لیاقت، ۱۴۰۰).

$$\mathrm{JPD} = \frac{JOP(person)}{[V_w](MCM)} \qquad (۱۱-۲)$$

در رابطهٔ بالا JPD برحسب نفر بر میلیون مترمکعب آب، JOP تعداد اشتغال ایجاد شده برحسب نفر و V_W حجم آب مصرف‌شده برحسب میلیون مترمکعب است.

یکی از اهدافی که در توسعهٔ منابع آب دیده می شود، ایجاد اشتغال است. این شاخص نشان‌دهندهٔ این خواهد بود که هر یک از طرح‌های توسعهٔ منابع آب تا چه اندازه در دستیابی به این هدف موفق بوده‌اند. در واقع مقدار این شاخص نشان‌دهندهٔ میزان اثربخشی هر طرح در ایجاد اشتغال است. این شاخص قابلیت اندازه‌گیری و پایش دارد. طبیعتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک باید اشتغال به سمت صنایع و فعالیت‌های کم‌آب‌بر هدایت شود تا ضمن رفاه اجتماعی، پایداری منابع آب نیز تحقق یابد.

[1] Job Per Drop

مسئله اشتغال و مسئله هزینه نیروی کارگری، دو نگاه متفاوت را به میان می‌آورد. از طرفی، در برخی مناطق که بیکاری یک معضل اجتماعی است، ایجاد اشتغال ارزشی مورد توافق برای جامعه است. از طرف دیگر در مناطقی که هزینهٔ نیروی کارگری بالاست، کاهش نیروی کارگری و هزینه‌های کارگری از نظر اقتصادی، مطلوبیتی جدی است. پژوهش بوکر و تریس[1] (۲۰۲۰) در ایالت کالیفرنیا نشان داده است که ارتباط قوی بین نوع سیستم کشت، بهره‌وری آب و هزینه‌های کارگری وجود دارد. در پژوهش مذکور اذعان شده که با کمبود آب، روی‌آوری به کشت متراکم و محصولات با بهره‌وری آب بالاتر پیش می‌آید و در این شرایط، هزینه‌های کارگری روزمزد و موقتی افزایش خواهد داشت. از این رو توصیه شده است که در تحلیل راهکارهای بهبود بهره‌وری آب و اقتصاد کشاورزی، به عوامل مؤثر بر انتخاب محصول برای کشت توجه جدی شود، زیرا انتخاب محصول، بهره‌وری آب و هزینه‌های کارگری به‌صورت متقابل بر یکدیگر اثرگذارند.

۲-۶- شاخص‌های بهره‌وری غذایی آب

برآورد شده است که مصرف سرانهٔ غذا در جهان از ۲۳۵۸ کیلوکالری در روز در سال ۱۹۶۵، به ۳۰۵۰ کیلوکالری در روز تا سال ۲۰۳۰ برسد. این در حالی است 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 پرمصرف آب محسوب می‌شود، با ادامهٔ روند فعلی در تأمین آب، با مشکل تأمین امنیت غذایی در کشور نیز مواجه خواهیم بود (نظری و لیاقت، ۱۳۹۶).

با توجه به اهمیت پروتئین در تأمین امنیت غذایی، شاخص نسبت گرم پروتئین محصول تولیدی به حجم آب مصرفی تعریف می‌شود. این شاخص امکان مقایسهٔ بهره‌وری غذایی محصولات مختلف کشاورزی و دامی را فراهم می‌سازد.

$$WP_{PR} = \frac{\Pr(g\,ha^{-1})}{[I](m^3\,ha^{-1})} \qquad (۱۲-۲)$$

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

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

$$WP_{CAL} = \frac{Cal\,(cal.ha^{-1})}{[I](m^3\,ha^{-1})} \qquad (۱۳-۲)$$

[1] Booker & Trees

در رابطهٔ بالا، WP_{Cal} شاخص بهره‌وری کالری آب برحسب کالری بر مترمکعب، I حجم آب آبیاری برحسب مترمکعب بر هکتار و Cal میزان کالری محصول برحسب کالری در هکتار است. نسبت‌های گرم پروتئین محصول تولیدی به حجم آب مصرفی و کالری محصول تولیدشده به حجم آب مصرفی، قابلیت سنجش هم‌زمان اثربخشی از منظر تأمین غذا و کارایی و نیز قابلیت اندازه‌گیری و پایش را دارد.

۲-۷- شاخص درآمد سرانه از آب

با توجه به اهمیت بحث اقتصادی برای مردم و دولت‌ها، شاخص درآمد خالص سرانه از آب به‌صورت زیر تعریف می‌شود. این شاخص امکان مقایسهٔ اثر مدیریت‌های مختلف بر افزایش درآمد سرانه از آب را فراهم می‌سازد.

$$WIPC = \frac{WI}{SP} \qquad (۱۴-۲)$$

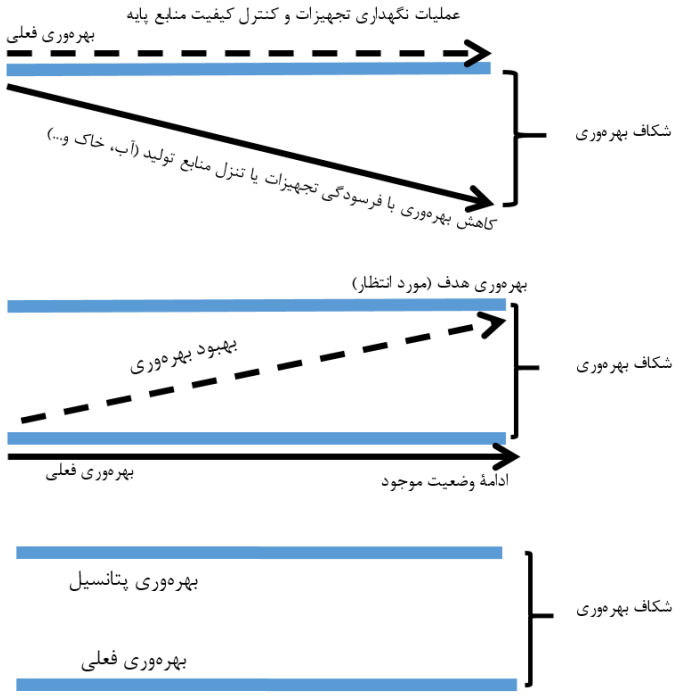
WIPC درآمد سرانه از آب برحسب ریال برای هر نفر و WI، درآمد حاصل از مصرف آب برحسب ریال و SP جمعیت ذینفعان در شبکه آبیاری (نفر) است. این شاخص، میزان اثربخشی در رسیدن به هدف بالا رفتن درآمد سرانه از آب را نشان داده، اما کارایی مصرف آب را با شفافیت نشان نمی‌دهد. این شاخص قابل اندازه‌گیری و پایش است. اطلاعات مورد نیاز این شاخص از طریق مراکز خدمات جهاد کشاورزی و تشکل‌های آب بران و همچنین شرکت‌های بهره برداری از شبکه‌های آبیاری قابل دستیابی است. در ارزیابی بهره‌وری آب، علاوه بر اطلاعات سازمان‌های فوق، به صورت میدانی اطلاعات درآمد بهره‌برداران آب قابل ارزیابی است. این شاخص می‌تواند در ارزیابی کلان اثرات اجتماعی راهبردهای بهبود بهره‌وری آب به کار گرفته شود.

۲-۸- شاخص‌های تحلیلی بهره‌وری

در برنامه‌ریزی بهبود بهره‌وری آب، شاخص‌های تحلیلی بهره‌وری آب اهمیت زیادی دارند. از شاخص‌های تحلیلی بهره‌وری آب می‌توان به شکاف بهره‌وری، بهره‌وری نسبی و شاخص رشد بهره‌وری آب اشاره داشت.

۲-۸-۱- شکاف بهره‌وری

در بیان کلی، منظور از شکاف بهره‌وری، فاصله بین بهره‌وری فعلی و بهره‌وری مطلوب است. به‌عنوان نمونه اگر بهره‌وری آب در شرایط فعلی ۳۰۰۰۰ ریال بر مترمکعب و هدف این باشد که بهره‌وری را به ۵۰۰۰۰ ریال بر مترمکعب برسانیم، شکاف بهره‌وری برابر با ۲۰۰۰۰ ریال بر مترمکعب خواهد بود. البته شکاف بهره‌وری می‌تواند در قالب‌های مختلف تعریف شود. شکل ۲- ۱، چند حالت مرسوم را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱- چند حالت مرسوم از مفهوم شکاف بهره‌وری آب

شکاف بهره‌وری از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$WP_{gap} = WP_{potential} - WP_{Actual} \qquad (۱۵-۲)$$

که در آن WP_{gap}، شکاف بهره‌وری آب، $WP_{potential}$، بهره‌وری پتانسیل آب، WP_{Actual} بهره‌وری واقعی آب (فعلی) است. هر سه مؤلفه می‌تواند در واحدهای فیزیکی، اقتصادی یا اجتماعی بیان شود، اما همواره باید واحد هر سه مؤلفه یکسان باشد. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، اگر وضعیت پتانسیل بهره‌وری آب، به‌عنوان نقطه هدف برنامه‌ریزی بهبود بهره‌وری آب در نظر گرفته شود، شکاف بهره‌وری آب بیانگر فاصله وضع فعلی با وضع مطلوب نیز خواهد بود. معمولاً بهره‌وری هدف[1]، کمتر از بهره‌وری پتانسیل در نظر گرفته می‌شود، زیرا دستیابی به بهره‌وری پتانسیل ممکن است امکان‌پذیر یا اقتصادی نباشد. یک حد مناسب برای تعیین بهره‌وری هدف، ۸۰ درصد بهره‌وری پتانسیل است.

۲-۸-۲- شاخص بهره‌وری نسبی

شاخص بهره‌وری نسبی[2]، نسبت بهره‌وری آب در شرایط واقعی به بهره‌وری آب پتانسیل را نشان می‌دهد. به دلیل تفاوت در سطح مدرنیزاسیون، شرایط اقلیمی و سایر عوامل تولید مؤثر بر بهره‌وری ممکن است بیشینه بهره‌وری آب قابل‌دستیابی در یک شبکه آبیاری نسبت به شبکه دیگر کمتر باشد. بر همین اساس و به دلیل تفاوت‌های اقلیمی و

[1] نقطه هدف گذاری شده در برنامه‌های بهبود بهره‌وری

[1]. Releative Water Productivity

زیرساختی، شبکه‌ای که بهره‌وری آب کمتری دارد، لزوماً دارای مدیریت ضعیف‌تر نیست. به‌عنوان‌مثال اگر بهره‌وری آب آبیاری در شبکه مغان در حال حاضر ۵۰۰۰۰ ریال بر مترمکعب و بهره‌وری آب در شبکه دز ۶۰۰۰۰ ریال باشد، نمی‌توان ادعا کرد که مدیریت شبکه آبیاری شبکه دز در زمینه بهره‌وری آب لزوماً بهتر از شبکه آبیاری مغان است. لازم است که بهره‌وری آب در هر شبکه با مقدار قابل‌دستیابی بهره‌وری آب در آن ناحیه تحلیل شود. شاخص بهره‌وری نسبی، امکان تحلیل و برنامه‌ریزی بهبود بهره‌وری آب را با لحاظ شرایط منطقه‌ای و زیرساختی فراهم می‌سازد. شاخص بهره‌وری نسبی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$RWP = \frac{WP_{act}}{WP_{pot}} \qquad (۱۶-۲)$$

که RWP شاخص بهره‌وری نسبی آب، WP_{act} بهره‌وری واقعی آب (وضع موجود) و WP_{pot} بهره‌وری پتانسیل آب است. این نسبت بین صفر (نامطلوب‌ترین حالت) تا یک (مطلوب‌ترین حالت) تغییر می‌کند. اگر صورت و مخرج شاخص بهره‌وری آب نسبی به صورت اقتصادی تعریف شود، بهره‌وری اقتصادی نسبی آب به صورت زیر خواهد بود:

$$REWP = \frac{EWP_{act}}{EWP_{pot}} \qquad (۱۷-۲)$$

شاخص بهره‌وری اقتصادی نسبی آب REWP، نسبت به شاخص بهره‌وری فیزیکی نسبی آب، تحلیل و رهنمودهای بهتری ارائه می‌دهد که در بخش دستورالعمل بیشتر بحث شده است. در صورت و مخرج رابطه فوق، از بین شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی آب، شاخص NBPD یا سودخالص به ازای آب مدنظر است. باید توجه نمود که برآورد بهره‌وری اقتصادی پتانسیل برای یک محصول (مخرج کسر) عملاً بسیار دشوار است زیرا هم سود محصول وابستگی مستقیم به قیمت محصول دارد و هم هزینه‌های تولید می‌تواند با فناوری‌ها و مدیریت‌های مختلف بسیار متفاوت باشد. نمی‌توان انتظار داشت که هزینه بالاتر تولید لزوماً به بیشترین تولید منجر خواهد شد و همینطور نمی‌توان ادعا کرد که بیشترین تولید به بیشترین سود منتج می‌شود. از سوی دیگر، اگر قیمت محصولات در محاسبه بهره‌وری اقتصادی واقعی آب و پتانسیل یکسان در نظر گرفته می‌شود، پیچیدگی موضوع کاهش می‌یابد اما امکان تحلیل اثر راهکارهای مدیریت بازاریابی محصولات که بر روی بهره‌وری اقتصادی آب اثر قابل توجهی دارند، از بین خواهد رفت. پیشنهاد این است که برای محاسبه بهره‌وری اقتصادی واقعی آب، قیمت محصول و هزینه تولید دقیقاً طبق داده‌های میدانی ثبت و در محاسبات بهره‌وری اقتصادی واقعی آب منظور شود تا امکان تحلیل بازاریابی محصولات و مدیریت هزینه تولید برای ارتقای بهره‌وری اقتصادی آب فراهم باشد. در محاسبه بهره‌وری اقتصادی پتانسیل آب (EWP_{pot}) لازم است فرضیاتی در نظر گرفته شود تا رویه‌ای یکسان در تحلیل‌ها به کار گرفته شود زیرا مقدار تولید و هزینه تولید و درآمد محصول حتی در مزارع پیشرو و مناطقی با بهره‌وری بالا نیز بسیار متغیر است. در این راستا پیشنهاد می‌شود برای محاسبه EWP_{pot}، قیمت محصول طبق قیمت تضمینی (در محصولات با خرید تضمینی) و یا قیمت اعلامی بانک مرکزی و آمارنامه‌های اقتصادی و متوسطی از قیمت محصول در بازه زمانی عرضه به بازار در هر سطح

تحلیل بهره‌وری آب، باشد. همچنین، برای محاسبه EWP_{pot}، عملکرد محصول معادل رکورد عملکرد در سطح تحلیل (استان/دشت/حوضه/ملی)، و هزینه تولید معادل متوسط هزینه تولید در آمارنامه‌ها و بانک اطلاعات هزینه تولید وزارت جهاد کشاورزی و سازمان‌های تابعه باشد. مبنای این فرض آن است که در بهترین حالت با متوسط هزینه تولید می‌توان رکورد عملکرد را در یک محصول خاص به دست آورد که در اغلب موارد فرضی واقع‌بینانه است. اگر در شرایط بسیار خاص یک کشاورز یا تولیدکننده بتواند با هزینه تولید کمتر از متوسط هزینه تولید محصول در منطقه، بیشترین عملکرد محصول را داشته باشد، این موضوع در بهره‌وری اقتصادی واقعی (EWP_{act}) خود را نشان خواهد داد و خللی در تحلیل شاخص به وجود نخواهد آمد.

کادر ۲-۱- نکاتی در مورد برآورد عملکرد پتانسیل در تحلیل بهره‌وری

برآورد دقیق عملکرد پتانسیل در هر منطقه با توجه به اطلاعات خاک و اقلیم و روش‌های کشت کنترل شده، مدل‌سازی گیاهی (نظیر مدل آکواکراپ)، پهنه‌بندی اقلیمی و نقشه‌های خاک و اطلاعات زراعی (نظیر پروتکل GYGA) قابل انجام است. باید توجه داشت که برآورد عملکرد پتانسیل همواره یک عدد تخمینی خواهد بود و با اصلاح ارقام گیاهی و تغییر شیوه‌های تولید و کشت، عملکرد پتانسیل می‌تواند تغییر کند. به ویژه آنکه عوامل اقلیمی و بسیاری از پارامترهایی که در گذشته برای تخمین عملکرد پتانسیل غیرقابل تغییر و غیرقابل مدیریت در نظر گرفته می‌شدند با پیشرفت فناوری و تغییر شیوه‌های کشت می‌توانند جزو عوامل کنترل‌پذیر محسوب شوند. با این حال، در حد دقتی که برای برنامه‌ریزی‌های بهبود بهره‌وری آب لازم است می‌توان به مطالعات مدل‌سازی گیاهی (با بهینه لحاظ کردن تمامی عوامل مدیریتی نظیر آب، تغذیه، تراکم کشت و ..) اکتفا نمود. در دوره‌های ۵ تا ۱۰ ساله برنامه‌های بهبود بهره‌وری در صورت نیاز اعداد عملکرد پتانسیل در هر منطقه می‌تواند مورد بازنگری قرار گیرد.

اعداد رکورد عملکرد نیز می‌تواند در محدوده یک دشت یا ناحیه اقلیمی به عنوان عملکرد پتانسیل در نظر گرفته شود. با علم به اینکه عملکرد رکورد همواره تا حدی کمتر از عملکرد پتانسیل خواهد بود. همچنین علاوه بر اقلیم و خاک و مشخصه‌های گیاهی پارامترهای مهمی نظیر مقدار و جهت شیب، توپوگرافی، عمق خاک و ... به عنوان عوامل موثر بر عملکرد بین مزارع یک محدوده نیز تفاوت قابل ملاحظه دارد و ممکن است در مزارع پیشرو شرایط ویژه‌ای (شرایط غیرقابل تغییر یا مدیریت در سایر مزارع) حاکم باشد. لحاظ شدن عملکرد رکورد به عنوان مبنای مطالعات، دلایل تفاوت‌های عملکرد هر مزرعه با مزارع پیشرو را آشکار خواهد ساخت و علل کم بودن عملکرد شناسایی خواهد شد. با این بررسی‌ها ممکن است شیوه کشت و یا اولویت کشت محصول در مزارع تغییر یابد.

در برنامه‌های بهبود بهره‌وری آب با توجه به اینکه چه حدی از اطلاعات و اقدامات پیشین در سطح ملی، حوضه، دشت، استان و مزرعه وجود دارد باید سیاست‌گذاری و اقدام شود. اگر در یک محدوده اطلاعات و مطالعات دقیق از برآورد عملکرد پتانسیل وجود دارد، استفاده از گزارش‌ها و اطلاعات مذکور توصیه می‌شود. اگر اطلاعات کافی از عملکرد پتانسیل وجود ندارد، در مراحل اولیه ارزیابی و برنامه‌ریزی بهره‌وری (که به آن ارزیابی سریع و اجمالی یا مطالعات اولیه اطلاق می‌شود)، داده‌های رکورد عملکرد می‌تواند به عنوان مبنای تخمین عملکرد پتانسیل استفاده شود. در مراحل بعدی و تکمیل مطالعات (ارزیابی تفصیلی و مطالعات جامع)، عملکرد پتانسیل با استفاده از داده‌های قابل استنادتر و برآورد دقیق‌تر با روش‌های استاندارد تعیین شود و برنامه‌های بهبود بهره‌وری آب متناظر با این اعداد مورد بازنگری قرار گیرد.

۲-۸-۳- شاخص رشد بهره‌وری آب

به‌منظور بررسی روند تغییرات بهره‌وری آب در شبکه آبیاری، از این شاخص استفاده می‌شود. برای محاسبه این شاخص با اطلاعات الگوی کشت شبکه، سطح زیر کشت محصولات و نیز مقدار مصرف آب در هر هکتار از محصولات، حجم آب مصرفی به دست می‌آید. ضریب آب‌بری هر محصول نیز بر اساس حجم آب مصرفی تعریف می‌شود که نشان‌دهنده نسبت حجم آب مصرفی هر محصول به حجم کل آب مصرفی برای تمامی محصولات منطقه است.

$$\mathrm{CWUP}_i = \frac{\mathrm{CWU}_i}{\sum_i^n \mathrm{CWU}_i} \qquad (۱۸-۲)$$

که در آن $\mathrm{CWUP_i}$ ضریب آب‌بری محصول i، $\mathrm{CWU_i}$ حجم آب مصرفی محصول i و $\sum_i^n \mathrm{CWU_i}$ حجم کل آب مصرفی محصولات است.

$$\mathrm{WP_{Growth}} = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n} \frac{Yi}{Wi} \times \mathrm{CWUP_i}\right]_{T2}}{\left[\sum_{i=1}^{n} \frac{Yi}{Wi} \times \mathrm{CWUP_i}\right]_{T1}} \qquad (۱۹-۲)$$

$\mathrm{WP_{Growth}}$: شاخص رشد بهره‌وری آب در دورهٔ موردمطالعه که از بازهٔ زمان مبنا تا زمان تحلیل را در بر می‌گیرد (dt=T2-T1)، i شمارهٔ محصول و n تعداد کل محصولات شبکه آبیاری و زهکشی است. Yi عملکرد محصول i برحسب kg/ha و Wi مقدار مصرف آب محصول iام برحسب m^3/ha و $\mathrm{CWUP_i}$. ضریب آب‌بری محصول i، T2، زمان تحلیل یا مطالعه، T1 زمان مبنا که رشد بهره‌وری نسبت به آن زمان سنجیده می شود. با رابطهٔ فوق رشد کل بهره‌وری آب محاسبه می شود. اگر هدف این باشد که میانگین رشد بهره‌وری آب طی گام‌های زمانی تعیین شود، عدد حاصل باید بر فاصلهٔ زمانی تقسیم شود:

$$\mathrm{WP_{Growth-average}} = \frac{\mathrm{WP_{Growth}}}{\mathrm{T2-T1}} \qquad (۲۰-۲)$$

که در آن $\mathrm{WP_{Growth-average}}$ میانگین رشد بهره‌وری آب در بازهٔ زمانی T1 تا T2 است. اگر پایش بهره‌وری آب در بازه‌های زمانی سالانه مدنظر باشد، T1 و T2 شمارهٔ سال و $\mathrm{WP_{Growth-average}}$ میانگین سالانهٔ رشد بهره‌وری آب خواهد بود.

۲-۹-اطلاعات موردنیاز و فرآیند دستیابی به آن‌ها در محاسبه شاخص‌های بهره‌وری آب

در جدول ۲-۱ فهرست اطلاعات موردنیاز برای محاسبه مجموعه شاخص‌ها ارائه شده است. برای هر شاخص بخشی از داده‌ها استفاده می‌شوند.

جدول ۲-۲- فهرست جامع اطلاعات موردنیاز برای محاسبهٔ مجموعه شاخص‌های بهره‌وری آب

دستهٔ اطلاعات	اطلاعات موردنیاز
پارامترهای آب و هوایی	• بارندگی روزانه (میلی‌متر) • بیشینه و کمینهٔ دمای روزانه در هر ماه (سلسیوس) • سرعت متوسط باد ماهانه (متر بر ثانیه) • رطوبت نسبی متوسط ماهانه (درصد) • متوسط ساعت‌های آفتابی روزانه در هر ماه (ساعت در روز)
اراضی	• کل مساحت خالص شبکه آبیاری (هکتار) • اراضی فاریاب کنونی (فاز بهره‌برداری شبکه آبیاری) (هکتار) • اراضی فاریاب اولیه (فاز طراحی شبکه آبیاری) (هکتار)
گیاهان	• الگوی کشت و ترکیب کشت محصولات (درصد) • تقویم کشت محصولات تحت آبیاری (درصد کشت، تاریخ کشت و برداشت، طول دورهٔ رشد و طول دوره آبیاری) • مساحت کشت هر گیاه در فصل کشت و سال آبی (هکتار) • عملکرد محصول در فصل یا سال (تن در هکتار) • پروتئین تولیدی هر محصول (گرم پروتئین در هکتار) • کالری تولیدی هر محصول (کالری در هکتار)
آبیاری	• حجم آب آبیاری در سطح شبکه و در سطح قطعات زراعی در هر فصل کشت و سال آبی (مترمکعب) • آب خالص تأمین‌شده از منابع آب (مترمکعب) • کمیت و کیفیت منابع آب برگشتی (مترمکعب) • نسبت ماهانهٔ تأمین به تقاضای کشاورزی (درصد) • کمبود آب موردنیاز (مترمکعب در سال)
اطلاعات مالی/اقتصادی	• هزینه‌های شبکه آبیاری و سامانه‌های آبیاری (اجرا، بهره‌برداری، نگهداری و...) • درآمدهای حاصل از جمع‌آوری آب‌بها، همیاری کشاورزان و منابع دولتی (ریال در سال) • هزینهٔ سرمایه‌گذاری اولیه برای احداث شبکه (ریال در هکتار) • قیمت محلی ماهانه یا سالانهٔ محصولات شبکه (ریال بر هر تن) • قیمت بین‌المللی محصولات شبکه (دلار آمریکا بر هر تن) • هزینه‌های کشاورزی به تفکیک محصولات (ریال در هکتار) • ارزش افزوده بخش کشاورزی (ریال)
اجتماعی	• جمعیت ذینفعان به تفکیک نواحی عمرانی شبکه‌ی آبیاری • جمعیت شاغلان در بخش کشاورزی شبکه آبیاری، ادارات آبیاری و تشکل‌های آب‌بران
محیط زیستی	• حجم پساب تولیدی (مترمکعب بر هکتار) • شوری پساب/ زهاب (میلی‌گرم بر لیتر) • نیترات و سایر آلاینده‌های پساب (میلی‌گرم بر لیتر)

۲-۱۰-بانک‌های اطلاعاتی پرکاربرد در بهره‌وری آب

برخی داده‌های لازم برای پایش بهره‌وری آب باید به‌صورت میدانی و از شبکه‌های آبیاری برداشت شود. برخی دیگر از داده‌های موردنیاز هم از گزارش‌های مطالعات پایه و بانک‌های اطلاعاتی قابل‌د ستیابی ا ست. ا ستفاده از بانک‌های اطلاعاتی به این دلیل که اطلاعات ارائه شده معمولاً پردازش اولیه شده‌اند، هزینه‌های تحلیل بهره‌وری را تا حد زیادی کاهش می‌دهد و از نظر قابلیت ا ستناد نیز بانک‌های اطلاعاتی، مرجع منا سبی ه ستند. با این وجود، اگر صرفاً به داده‌های ارائه شده در بانک‌های اطلاعاتی اکتفا شود، ممکن ا ست دقت کافی در تحلیل وضعیت بهره‌وری حا صل نشود. به‌علاوه، بانک‌های اطلاعاتی معمولاً با تأخیری زمانی، تهیه می‌شوند و در اختیار پژوهشگران قرار می‌گیرند و از این رو در تحلیل وضع گذشتهٔ سیستم بیشتر مفیدند. بانک‌های اطلاعاتی به‌روز که معمولاً با فناوری‌های اطلاعاتی و سنجش از راه دور ایجاد می‌شوند، برای پایش بهره‌وری فعلی، اطلاعات بهتری ارائه می‌دهند. برخی پایگاه‌های داده‌ای و بانک‌های اطلاعاتی پرکاربرد در تحلیل بهره‌وری آب به شرح جدول ۲-۲ است. از جامع‌ترین و به‌روزترین بانک‌های اطلاعاتی جهانی در زمینهٔ بهره‌وری آب می‌توان به Wapor اشاره کرد که با همکاری سازمان فائو و مؤسسهٔ آموزش آب سازمان ملل، IHE راه‌اندازی شده است (FAO and IHE[1], 2019). اطلاعات ارائه‌شده در پایگاه مذکور عمدتاً با فناوری سنجش از راه دور گردآوری و به‌روز می‌شوند. هرچند برای برخی مناطق دنیا، داده‌های میدانی برای کالیبره کردن اطلاعات پایگاه نیز ارائه شده است. نوع و دقت اطلاعات موجود در این پایگاه در جدول ۲-۳ ارائه شده است.

[1] Delft Insutitue for Water Education (IHE)

جدول ۲-۳- برخی از بانک‌های اطلاعاتی پرکاربرد در تحلیل بهره‌وری آب

نوع داده	مقیاس داده	مرجع	آدرس
تولید، عملکرد و مساحت کشت محصولات زراعی و باغی	بخش - شهرستان -استان - ملی	وزارت جهاد کشاورزی	https://maj.ir
برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی	محدودهٔ مطالعاتی، حوضهٔ درجهٔ ۲ و حوضهٔ درجهٔ ۱	وزارت نیرو	http://moe.gov.ir
اطلاعات اقلیمی (بارش، دما، رطوبت نسبی و...)	ساعتی - روزانه - ماهانه	سازمان هواشناسی	http://irimo.ir/
منابع آب (دبی رودخانه‌ها، موجودی آب در سدها، شبکه‌های آبیاری، آبخوان‌ها، تالاب‌ها)	حوضه‌های آبریز، رودخانه‌ها، سدها، شبکه‌ها، آبخوان‌ها و تالاب‌ها	وزارت نیرو	http://moe.gov.ir
قیمت محصولات کشاورزی	به تفکیک محصولات با قیمت تضمینی و محصولات فاقد قیمت تضمینی	وزارت جهاد کشاورزی و بانک مرکزی- مرکز آمار ایران	https://maj.ir https://www.cbi.ir
جمعیت، اشتغال، سواد	بخش، شهرستان، استان، ملی	مرکز آمار ایران	https://www.amar.org.ir
نیاز آبی محصولات	دشت، حوضهٔ آبریز، استان	وزارت جهاد کشاورزی- سندملی آب- سامانه نیازآب	https://maj.ir
برداشت، توزیع و تحویل آب شرب	واحدهای مسکونی، مناطق روستایی و شهری، شهر، استان، ملی	شرکت آب و فاضلاب کشور	https://www.nww.ir
برداشت، توزیع و تحویل آب به صنعت	واحدهای صنعتی، شهرک‌های صنعتی، شهر، استان، ملی، محدوده‌های مطالعاتی، حوضه‌های آبریز	وزارت نیرو -شرکت‌های آب منطقه‌ای، وزارت صمت	http://moe.gov.ir http://www.wrbs.wrm.ir https://mimt.gov.ir
واردات و صادرات محصولات کشاورزی	به تفکیک محصولات	گمرک جمهوری اسلامی ایران، بانک مرکزی، وزارت صمت، وزارت جهاد کشاورزی	https://www.cbi.ir https://maj.ir /https://mimt.gov.ir
اطلاعات شکاف عملکرد و شکاف بهره‌وری	ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی	پروژهٔ GYGA	http://www.yieldgap.org

جدول ۲-۳- برخی از بانک‌های اطلاعاتی پرکاربرد در تحلیل بهره‌وری آب

نوع داده	مقیاس داده	مرجع	آدرس
عملکرد محصولات، اراضی مجهز به آبیاری، کل برداشت آب در بخش‌های مختلف	کشوری، منطقه‌ای و بین‌المللی	FAO	http://www.fao.org/nr/water
مصرف آب در کشاورزی صنعت و شرب، شاخص‌های کلان اجتماعی و اقتصادی، جمعیت، GDP	ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی	منطقه‌ای و بین‌المللی: بانک جهانی ملی: مرکز آمار ایران، بانک مرکزی، شرکت مدیریت منابع آب ایران - استانی و شهرستانی: گزارش‌های آمایش استان، آمارنامه‌های استانی (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان‌ها)	https://data.worldbank.org
هزینه‌های تولید شامل هزینه عملیات کشاورزی و هزینه‌های شبکه‌های آبیاری و سامانه‌های آبیاری		بانک اطلاعات وزارت کشاورزی- معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی (شبکه‌های فرعی)- وزارت نیرو (شبکه‌های اصلی)	https://maj.ir/page-/amar/FA/65/form
اطلاعات کمیت و کیفیت پساب‌های حاصل از عملیات کشاورزی		آماربرداری منابع آب (شرکت مدیریت منابع آب ایران. شرکت‌های سهامی آب منطقه‌ای استان ها و شرکت آب و برق خوزستان)	https://stu.wrm.ir/**login**.asp
تبخیر و تعرق مرجع، تبخیر، تعرق، طبقه‌بندی اراضی، تولید مادهٔ خشک، فنولوژی و بهره‌وری آب (خالص و ناخالص)		FAO و IHE-Delft	https://wapor.apps.fao.org

جدول ۲-۴- نوع و دقت تفکیک‌پذیری اطلاعات موجود در پایگاه[۱] WaPOR

رستهٔ اطلاعات	لایه‌ها	سطح ۱ (۲۵۰ متری)	سطح ۲ (۱۰۰ متری)	سطح ۳ (۳۰ متری)
اقلیم	بارش (PCP)	روزانه/ دهه‌ای/ سالانه (۵ کیلومتر)		
	تبخیر-تعرق مرجع (RET)	روزانه/ دهه‌ای/ سالانه (۲۰ کیلومتر)		
آب	تبخیر-تعرق واقعی و برگاب (AETI)	دهه‌ای/ سالانه	دهه‌ای/ فصلی/ سالانه	دهه‌ای/ فصلی/ سالانه
	تعرق (T)			
	تبخیر (E)			
	برگاب (I)			
اراضی	تولید زیست‌توده بالای زمین (AGBP)	سالانه	فصلی/ دهه‌ای	فصلی/ دهه‌ای
	طبقه‌بندی پوشش اراضی (LCC)	سالانه	سالانه	دهه‌ای
	فنولوژی		فصلی	فصلی
	تولید اولیهٔ خالص (NPP)	دهه‌ای	دهه‌ای	دهه‌ای
بهره‌وری آب (WP)	بهره‌وری آب ناخالص	سالانه	فصلی	فصلی
	بهره‌وری آب خالص	سالانه	فصلی	فصلی

۲-۱۱-معرفی رویکرد صرفه جویی واقعی آب

در رویکرد صرفه‌جویی واقعی آب ، بر مبنای اصول حسابداری آب و با تأکید بر تفکیک تلفات مفید و غیرمفید[۲]، مداخلات ارتقای بهره‌وری آب ارزیابی می‌شود. ابزار Real Water Savings که به‌اختصار REWAS نامیده می‌شود، تحت برنامه کمبود آب FAO و با مشارکت کارشناسان موسسه Future water معرفی شده است. ارزیابی راهکارهای بهبود بهره‌وری در مقیاس کلان و حوضه از مزایای در نظر گرفتن رویکرد صرفه‌جویی واقعی آب است[۳]. تا قبل از امکان کاربرد این رویکرد، با یک خطای قابل قبول باید از روش‌ها و مراجع فعلی برای تصمیم‌گیری و جلوگیری از تشدید بحران آب استفاده نمود. پیاده‌سازی این رویکرد مستلزم تعیین درصد سهم آب قابل بازگشت یا آب برگشتی است که با توجه به شرایط

[۱] توضیح: اطلاعات پایگاه WaPOR به طور کامل و در تمام مناطق کشور مورد صحت سنجی قرار نگرفته است. استفاده از اطلاعات این پایگاه نیاز به بررسی و صحت سنجی در منطقه مورد مطالعه خواهد داشت. با این وجود استفاده از پایگاه مذکور می‌تواند رهنمودهای کلی و تحلیل خوبی ارائه دهد.

[۲] از منظر برگشت پذیری تلفات به منابع آبی

[۳] مراجع اصلی مورد استفاده در این بخش به شرح زیر است:

Van Opstal, J., Droogers, P., Kaune, A., Steduto, P., & Perry, C. (2020). Guidance on realizing real water savings with crop water productivity interventions (Vol. 46). Food & Agriculture Org..

Droogers, P., Kaune, A., van Opstal, J., Perry, C., & Steduto, P. (2020). Training Manual: Crop Water Productivity Options to Achieve Real Water Savings.

Kaune, A., Droogers, P., van Opstal, J., Perry, C., & Steduto, P. (2020). REWAS REal WAter Savings tool: Technical document

هیدروژئولوژیکی، آبیاری، کیفیت آب و باز و بسته بودن حوضه‌ها کاملاً متفاوت خواهد بود (جدول ۲-۴). مرجع (Perry et al, 2017) می‌تواند مورد توجه علاقه‌مندان قرار گیرد.

جدول ۲-۵- شناسایی ۵ مداخله برتر رده بالا و ۵ مداخله رده پایین در بهبود بهره‌وری آب (نقش مهم شاخص انتخابی بر اولویت‌بندی مداخله یا راهبرد برتر ملاحظه می‌شود)

کاهش آب کاربردی یا آب آبیاری، کاهش تبخیر و تعرق، افزایش عملکرد، افزایش بهره‌وری آب از طریق راهکارهای مدیریت آب (رنگ آبی)، راهکارهای مدیریت خاک و مدیریت اراضی (رنگ زرد) و راهکارهای زراعی (رنگ سبز)

	آب آبیاری یا آب کاربردی کمتر	تبخیر و تعرق کمتر	عملکرد بیشتر	بهره‌وری آب بیشتر (WP-ET)
۵ مداخله رده بالا	آبیاری قطره‌ای	کم آبیاری تنظیم‌شده	کودها	کودها
	کم‌آبیاری تنظیم‌شده	زمان‌بندی کاشت و برداشت	آبیاری زیرسطحی	ارقام با دوره رشد کوتاه
	آبیاری متناوب (جایگزین غرقابی)	تناوب کشت محصول	زمان‌بندی کاشت و برداشت	ارقام پرمحصول
	استفاده از لوله	ارقام با دوره رشد کوتاه	آبیاری قطره‌ای	استفاده از مالچ
	آبیاری بارانی	آبیاری زیرسطحی	استفاده از لوله	آبیاری قطره‌ای
	دامنه اثر: از ۲۷ تا ۴۶ درصد کاهش	دامنه اثر: از ۱۰ تا ۱۷ درصد کاهش	دامنه اثر: از ۲۰ تا ۸۴ درصد افزایش	دامنه اثر: از ۱۱ تا ۶۲ درصد افزایش
۵ مداخله رده پایین	تناوب کشت محصول	آبیاری قطره‌ای	کم آبیاری تنظیم‌شده	کم‌آبیاری تنظیم‌شده
	ارقام پرمحصول	کشت بدون شخم (حفاظتی)	تناوب کشت محصول	آبیاری متناوب (جایگزین غرقابی)
	زمان‌بندی کاشت و برداشت	استفاده از لوله	ارقام با دوره رشد کوتاه	آبیاری موجی
	کشت بدون شخم (حفاظتی)	ارقام پرمحصول	آبیاری فارو/کرتی	آبیاری فارو/کرتی
	آبیاری فارو/کرتی	آبیاری متناوب (جایگزین غرقابی)	آبیاری متناوب (جایگزین غرقابی)	تناوب کشت محصول
	دامنه اثر: از ۱۵ درصد کاهش تا ۸ درصد افزایش	دامنه اثر: از ۰ تا ۹ درصد افزایش	دامنه اثر: از ۲۳ درصد کاهش تا ۱ درصد افزایش	دامنه اثر: از ۱۳ درصد کاهش تا ۱ درصد افزایش

- دامنه اثر بر اساس متوسط مطالعات مورد بررسی (۲۴۰ مطالعه در سطح جهان) بوده است و نتایج شرایط مختلف می‌تواند متفاوت باشد. برخی از راهکارها که در مطالعات جهانی جزو ۵ مداخله برتر شناسایی نشده‌اند، ممکن است

در یک واحد تولیدی و یا شبکه آبیاری به دلیل شرایط ویژه جزو مداخلات برتر باشد. یک مثال مشخص در این زمینه آبشویی و کنترل شوری است که در برخی از مناطق نقش مهمی در عملکرد و بهره‌وری آب دارد.

- شناسایی و تعیین شاخص‌های بهره‌وری آب می‌تواند در شناسایی مداخلات و اولویت‌بندی راهکارهای بهبود بهره‌وری آب اصلی‌ترین گام باشد.

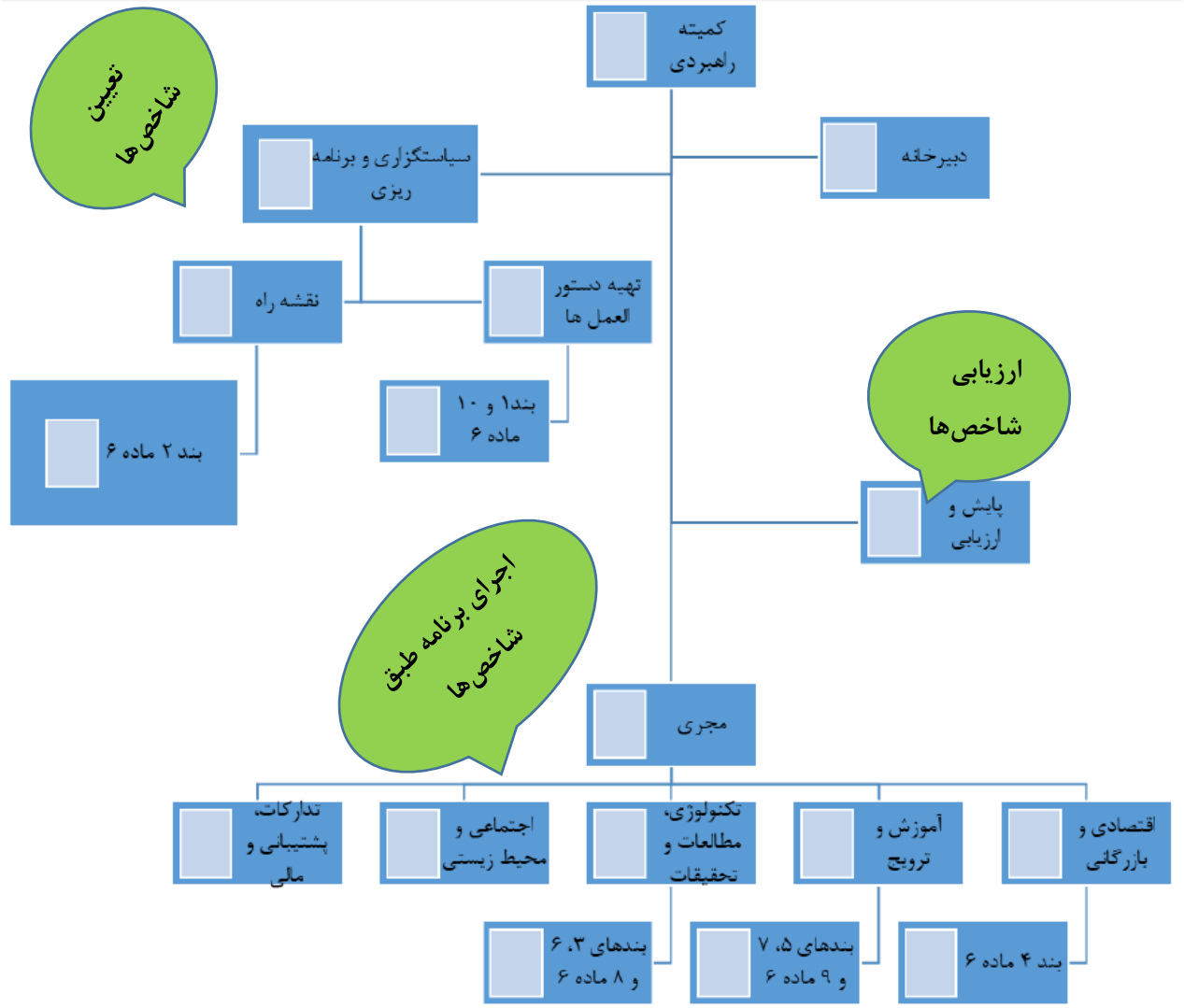
راهبردهای ارتقای بهره‌وری آب باید به‌گونه‌ای تکامل یابند که بتوانند تجارب را از طریق رویکردهای یادگیری انتقال دهند. در فرآیند ترویج راهکارهای ارتقای بهره‌وری آب و ظرفیت‌سازی در بین کشاورزان در شرایط اقلیمی، کشاورزی و اجتماعی و ظرفیت منابع آبی مختلف، آموزش شاخص‌های بهره‌وری آب متناسب با سطح کاربری و اهداف ذینفع، اهمیت زیادی دارد. اتخاذ رویکردهای یادگیری بسته به شرایط زمینه‌ای، می‌تواند مدت‌زمان متفاوتی را بطلبد. به‌هرحال ایجاد مکانیسم‌های قانونی برای تسهیل فرایندهای یادگیری که شامل فراهم‌سازی دسترسی به اطلاعات و مشارکت در تصمیم‌گیری است نخستین گام به سوی افزایش یادگیری می‌باشد. یادگیری لازم است در سطوح مختلف و فراتر از یادگیری تک‌حلقه‌ای صورت پذیرد (شکل ۲-۵). الگوی یادگیری سه حلقه‌ای ارائه‌شده، از هارگرو[1] (۲۰۰۲) اقتباس‌شده است. زمانی فرآیند یادگیری بهره‌وری آب در یک محدوده کشاورزی کامل و به نتیجه می‌رسد که یادگیری تا حلقه سوم که تغییر نگرش و پارادایم است، عملی شده باشد.

1. Hargrove (2002)

شکل ۲-۵- مفهوم الگوی یادگیری سه‌حلقه‌ای در ارتقای بهره‌وری آب

۲-۱۲-جایگاه تعیین شاخص‌های بهره‌وری آب در شیوه اجرایی نمودن تفاهم نامه بهره‌وری آب

تعیین شاخص‌های بهره‌وری آب در مراحل مختلف شیوه نامه اجرایی نمودن بهره‌وری آب نقش دارد. شکل (۲-۶)، به نقل از سند بهره‌وری آب کشاورزی، ارائه شده و در آن محل‌های تعیین شاخص‌های بهره‌وری آب مشخص شده است.



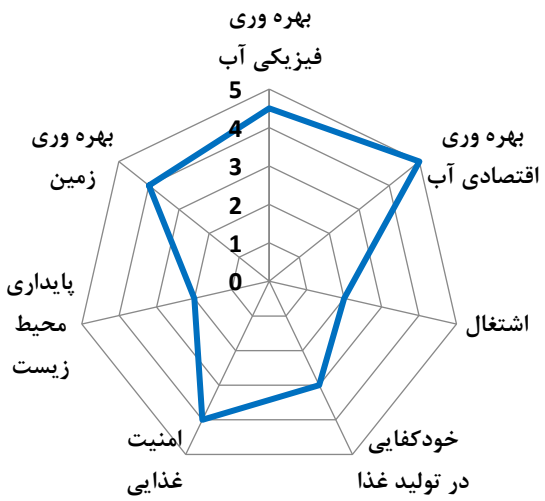
شکل ۲-۶- جایگاه تعیین شاخص‌های بهره‌وری آب در شیوه اجرایی نمودن تفاهم نامه بهره‌وری آب

۲-۱۳- چارچوب یکپارچه بهره‌وری آب برای اولویت‌بندی راهکارها و ارزیابی اقدامات بهبود بهره‌وری

همچنان که ذکر شد اهداف ذی‌نفعان آب در مقوله بهره‌وری آب بسیار متنوع و در برخی موارد متضاد است. در یک چارچوب کلی ارائه شده توسط موسسه آموزش آب IHE Delft می‌توان ۷ بعد کلی زیر را برای ارزیابی راهکارهای مدیریت و افزایش بهره‌وری آب مدنظر قرار داد (Borghuis et al., 2020).

- **بهره‌وری فیزیکی آب**: مقدار تولید محصولات به ازای واحد آب.
- **بهره‌وری زمین**: به معنای عملکرد در واحد هکتار (واحد تولید) است. در مناطق بدون محدودیت آب، در مناطق با محدودیت زمین و در اقتصاد خرد مدنظر کشاورز جزو معیارهای اصلی است. به دلیل آشنایی فعالان کشاورزی در ایران، فرآیندهای انتخاب کشاورز برتر و ملموس بودن آن معیار خوبی است.
- **بهره‌وری اقتصادی آب**: درآمد و سود حاصل از مصرف آب.
- **امنیت غذایی**: در سطح کلان مطرح بوده و کمیت، کیفیت (سلامت)، در دسترس بودن مواد غذایی و قدرت خرید جامعه را مدنظر قرار می‌دهد. قیمت‌های جهانی و قیمت‌های واردات و صادرات محصولات در این معیار مدنظر قرار می‌گیرد.
- **خودکفایی در تولید غذا**: این معیار بیشتر در سطح محلی و تأمین نیاز غذایی جوامع محلی مطرح است. قیمت و دسترسی به محصولات در بازارهای محلی در این معیار مورد توجه است.
- **اشتغال:** در توسعه پایدار روستایی و رفاه جامعه نقش اساسی دارد. البته هزینه‌های نیروی کار و هدف از برنامه‌های بهره‌وری در هر منطقه بر مطلوبیت میزان اشتغال تأثیرگذار است. به ویژه در جوامع کمتر برخوردار و فقیر، میزان درآمد شاغلین بخش کشاورزی و کارگران کشاورزی در این معیار مورد توجه قرار می‌گیرد.
- **پایداری محیط زیست**: منابع پایه و حفاظت از محیط زیست از معیارهای اصلی توسعه پایدار است. در مقوله بهره‌وری آب، راهکارهایی که به نحوی پایداری محیط زیست را به مخاطره می‌اندازند نباید در اولویت قرار گیرند. البته در عمل معمولاً اغلب راهکارها با تبعات منفی محیط‌زیستی همراه هستند اما مهم این است که این تبعات مورد توجه بوده و در راستای تسکین آن‌ها اقدام نمود. همچنین تبعات محیط‌زیستی باید در اولویت بندی راهکارهای ارتقای بهره‌وری آب مدنظر باشد. به این ترتیب روش‌ها و راهکارهایی که دوست‌دار محیط زیست هستند در اولویت قرار خواهند گرفت.

در شکل ۲-۷، نمونه‌ای از ارزیابی یک راهکار بهبود بهره‌وری با چارچوب ارزیابی یکپارچه بهره‌وری آب ارائه شده است. با توجه به اینکه عوامل زیادی در بهره‌وری آب نقش دارند، باید با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، اولویت‌های اقدام و راهکارهای بهبود بهره‌وری در طرح را انتخاب کرد. در ارزیابی و اولویت‌بندی راهکارهای بهره‌وری آب و همچنین برای ارزیابی اقدامات بهبود بهره‌وری آب، از جدول ۲-۵ می‌توان استفاده نمود. امتیازدهی توسط کارشناس ارزیاب بهره‌وری آب و کمیته‌های بهره‌وری آب سطوح استانی تا ملی انجام می شود. در خصوص مسایل محیط‌زیستی و اشتغال توجه به شرایط منطقه‌ای بسیار حیاتی است. در این جدول امتیاز داده شده به هر بعد بین ۱ (ضعیف‌ترین) تا ۵ (برترین) حالت متفاوت خواهد بود.



شکل ۲- ۷- نمونه‌ای از ارزیابی یک راهکار بهبود بهره‌وری با چارچوب ارزیابی یکپارچه بهره‌وری آب

جدول ۲-۶- فرم ارزیابی یکپارچه بهره‌وری آب برای اولویت بندی راهکارها و ارزیابی اقدامات بهبود بهره‌وری

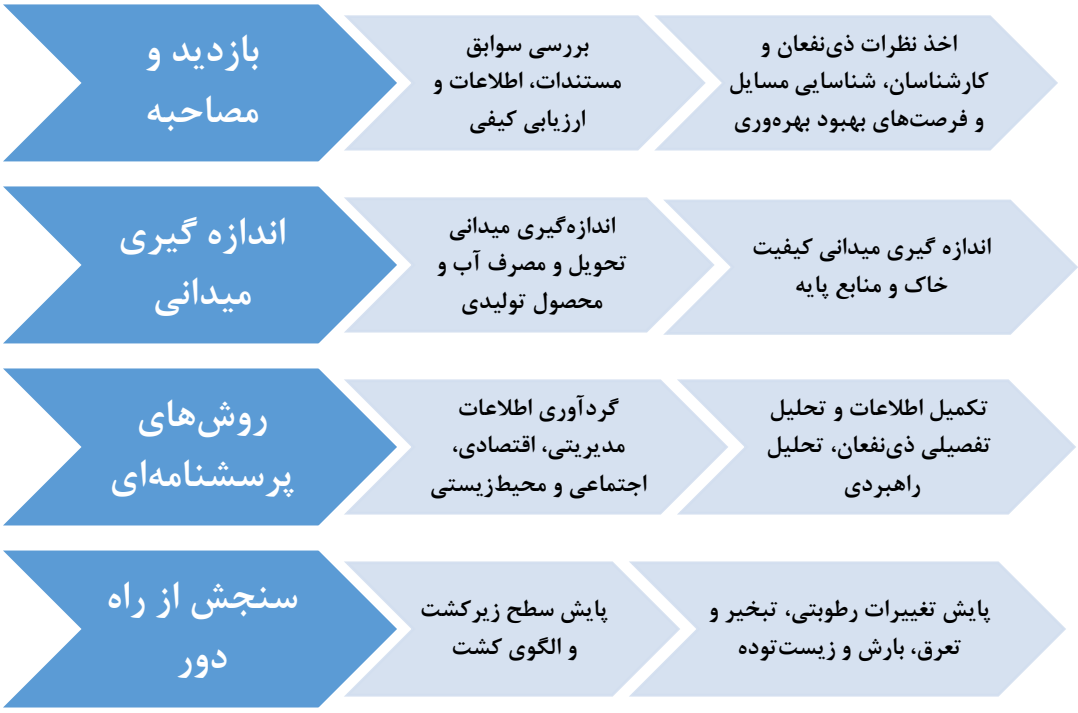
ردیف	راهکار/فناوری بهره‌وری	اثر بر ابعاد بهره‌وری آب							امتیاز کل (میانگین امتیاز از ابعاد بهره‌وری آب)
		بهره‌وری فیزیکی آب	بهره‌وری زمین	بهره‌وری اقتصادی آب	امنیت غذایی	خودکفایی در تولید غذا	اشتغال	پایداری محیط‌زیست	
۱									
۲									
...									
N									

* یک جدول تکمیل شده به عنوان مثال در پیوست ارائه شده است.

شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی و فیزیکی آب و بهره‌وری زمین نسبت به سایر شاخص‌ها شفافیت بیشتری دارند و در سند ملی بهره‌وری آب و چارچوب ارائه شده در این د ستورالعمل، اهداف زمانی م شخ صی دارند. بر این ا ساس در مقای سه واحدهای تولیدی، استان‌ها، حوضه‌های آبی و مناطق مختلف، دو شاخص بهره‌وری فیزیکی و بهره‌وری اقتصادی آب به عنوان مبنای اصلی خواهند بود. البته، این به معنای کمتر اهمیت داشتن سایر ابعاد نیست. بلکه برخی از ابعاد در سطوح ملی ممکن ا ست حتی حق وتو دا شته با شند. نظیر شاخص امنیت غذایی که در ا سناد بالاد ستی و همچنین در سندملی بهره‌وری آب مدنظر بوده است.

۲-۱۴- معیارهای انتخاب شاخص بهره‌وری

اندازه‌گیری و پایش بهره‌وری از مهم‌ترین مراحل ارتقای بهره‌وری آب اســـت. بدون اندازه‌گیری بهره‌وری، برنامه‌ریزی برای بهبود آن امکان‌پذیر نیست. پایش بهره‌وری نشان می‌دهد چه فرصت‌هایی برای بهبود وجود دارد و برنامه‌های پیشین تا چه حدی موفق بوده‌اند.



شکل ۲-۸- دسته بندی کلی روش‌های اندازه گیری و پایش بهره‌وری

شاخص‌های متنوع و مختلفی برای سنجش بهره‌وری آب ارائه شده ا ست. یک ت صمیم ب سیار مهم پس از شناخت شاخص‌های بهره‌وری آب که در بخش‌های قبل به آن‌ها پرداخته شد، این است که کدام شاخص یا شاخص‌ها برای پیاده‌سازی ســـند بهره‌وری آب و یا یک طرح و پروژه خاص مناســـب اســـت. در این راســـتا، در این بخش ابتدا ویژگی‌های مورد انتظار از شاخص بهره‌وری آب ارائه شده است:

جدول ۲-۷- ویژگی‌های مورد انتظار از شاخص بهره‌وری آب

ردیف	معیار	شرح
۱	سنجش همزمان اثربخشی و کارآیی	شاخص باید بتواند نشان‌دهنده کارایی "درست انجام دادن کار" و اثربخشی "انجام کار درست" باشد.
۲	برخورداری از بنیاد و پایه علمی	شاخص مطرح شده باید منطبق با نظریه‌ها، اصول و قوانین علمی مرتبط به پدیده مورد اندازه‌گیری باشد. بنابراین شاخص‌ها باید مبتنی بر نظریه‌های خاص فنی، اقتصادی و اجتماعی باشند.
۳	قابلیت کمی‌کردن و تکرارپذیری	برای این‌که یک شاخص کارآمد باشد باید قابل اندازه‌گیری و کمی‌سازی باشد. قابلیت تکرارپذیری یعنی شاخص مدنظر قابلیت اندازه‌گیری در زمان‌های مختلف را داشته باشد تا بتوان مسئله مورد مطالعه را در دفعات متعدد و در طول زمان محاسبه و مقایسه کرد.
۴	سهولت پایش و اندازه‌گیری	شاخص‌هایی که تهیهٔ اطلاعات برای آن، مشکل و پرهزینه باشد در مقایسه با شاخص‌هایی که مبتنی بر اطلاعات کم‌هزینه و گردآوری آسان داده هستند، از قابلیت استفاده عملی کمتری برخوردارند.
۵	شفاف بودن و عدم امکان تفسیرهای مختلف	شاخص‌ها، ابزارهای سنجش به حساب می‌آیند. این ابزارها باید به واقعیت و وضعیت یک پدیده را بدون نیاز به تحلیل پیچیده نشان دهند. به عبارتی از اندازه شاخص‌ها نباید تفسیرها و تحلیل‌های گوناگونی نمود. به بیانی، شاخص نشان دهندهٔ یک وضعیت (خوب یا بد، بهبود یا نقصان، قوت یا ضعف) است. این حالات براساس عدد و میزان شاخص و برپایه مفهوم و تعریف شاخص و نه براساس تفسیرها و تحلیل‌های پژوهشگر استنباط می‌شود. البته این که چرا این وضعیت اتفاق افتاده و چگونه چنین حالتی رخ داده است، می‌تواند نیاز به بررسی‌ها و تحلیل‌های کارشناسی بیشتر داشته باشد.
۶	روایی و پایایی شاخص	روایی (نشان‌دهنده صحت اندازه‌گیری) و پایایی (نشان دهنده دقت اندازه‌گیری) شاخص باید در چند بعد وجود داشته باشد. روایی این است که شاخص در عمل آن‌چه باید اندازه‌گیری شود را به درستی اندازه‌گیری کند. ازمنظر روایی، صحت داده‌های مورد استفاده اهمیت بالا دارد. پایایی نیز به این معنی که شاخص از دقت اندازه‌گیری قابل قبولی برخوردار باشد و میزان خطای اندازه‌گیری آن حداقل باشد.
۷	قابلیت لحاظ کردن مفاهیم پایداری در بهره‌برداری از منابع آب	بسیاری از شاخص‌های مطالعات آبی، بر مبنای سنجش استفاده بهینه از آب در زمان حاضر تعریف شده و توسعه یافته‌اند. در چنین شاخص‌هایی امکان لحاظ تخریب و پایداری زیست‌بوم‌ها و منابع فیزیکی، آبی و انسانی وجود ندارد. طبیعتاً چنین شاخص‌هایی اگر ملاک ارزیابی و تصمیم گیری باشد، تصمیمات اتخاذ شده با رویکردهای توسعه پایدار همخوانی نخواهد داشت. شاخص‌هایی که بتوانند آینده وضعیت آب و پایداری زیست‌بوم را سنجش و رصد کنند، از منظر دیدگاه‌های توسعه پایدار برتری بیشتری خواهند داشت.
۸	قابلیت لحاظ شرایط آبی و اقلیمی مختلف	کیفیت آب، میزان مفید و غیر مفید بودن تلفات آب (قابلیت بازیابی) و میزان پتانسیل اقلیمی تولید در حوضه‌های مختلف متفاوت است. شاخصی که بتواند این تفاوت‌ها را لحاظ کند و یا ارزیابی آن را ممکن سازد از منظر انطباق با شرایط آبی حوضه، برتری دارد.
۹	جامعیت و فرابخشی بودن	شاخصی جامع است که بتواند، اهداف مختلف بهره برداری از منابع آب را لحاظ کند. این اهداف شامل اهداف اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی و .. است.

با عنایت به ویژگی‌های مورد انتظار از شاخص بهره‌وری آب از یک سو، و تعاریف شاخص‌های بهره‌وری آب از سوی دیگر، می‌توان چنین بیان نمود که اکتفا به یک شاخص بهره‌وری آب نمی‌تواند به پیاده‌سازی موفق سند ملی بهره‌وری آب

منجر شود. به همین سبب لازم است که یک دسته شاخص بهره‌وری آب در برنامه‌های ارزیابی و بهبود بهره‌وری آب مدنظر قرار گیرد. روشن است که تمامی شاخص‌های بهره‌وری آب معرفی شده، از جامعیت و انسجام یکسان برخوردار نیستند.

همچنین باید توجه داشت که لازم نیست تمامی شاخص‌های معرفی شده، در تمامی برنامه‌ها و طرح‌های بهره‌وری آب مورد ارزیابی قرار گیرد. شواهد تجارب بین‌المللی نیز نشان از این دارد که اکتفا به یک شاخص بهره‌وری آب نمی‌تواند به تحلیلی جامع بینجامد. یک رویکرد برای مواجهه با این وضعیت، استفاده تطبیقی از چند شاخص بهره‌وری آب در کنار هم برای تحلیل جامع‌تر است. به عنوان نمونه در جدول ۲-۷، نتایجی از اطلاعات تحقیقات مختلف که توسط مولدن[1] و همکاران (۲۰۱۳)، گردآوری‌شده، به عنوان مثالی از تطبیق ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری غذایی، فیزیکی و اقتصادی آب ارائه شده است.

جدول ۲-۸- دامنهٔ بهره‌وری آب در محصولات مختلف کشاورزی (مولدن و همکاران، ۲۰۱۳)

محصول	قیمت محصول	بهره‌وری آب			
	(دلار بر کیلوگرم)	کیلوگرم بر مترمکعب	دلار بر مترمکعب	کالری بر مترمکعب	گرم پروتئین بر مترمکعب
گندم	۰/۲	۱/۲–۰/۲	۰/۳۰–۰/۰۴	۱۵۰–۵۰	۴۰۰۰–۶۶۰
برنج	۰/۳۱	۱/۶–۰/۱۵	۰/۱۸–۰/۰۵	۵۰–۱۲	۲۰۰۰–۵۰۰
ذرت	۰/۱۱	۲/۰۰–۰/۳۰	۰/۲۲–۰/۰۳	۲۰۰–۳۰	۷۰۰۰–۱۰۰۰
بقولات					
عدس	۰/۳	۱/۰–۰/۳	۰/۳۰–۰/۰۹	۱۵۰–۹۰	۳۵۰۰–۱۰۶۰
لوبیا	۰/۳	۰/۸–۰/۳	۰/۲۴–۰/۰۹	۱۵۰–۱۰۰	۳۳۶۰-۱۲۶۰
بادام زمینی	۰/۸	۰/۴–۰/۱	۰/۳۲–۰/۰۸	۱۲۰–۳۰	۳۲۰۰–۸۰۰
سبزیجات					
سیب‌زمینی	۰/۱	۷–۳	۰/۷–۰/۳	۱۲۰–۵۰	۷۰۰۰–۳۰۰۰
گوجه‌فرنگی	۰/۱۵	۲۰–۵	۳/۰–۰/۷۵	۲۰۰–۵۰	۴۰۰۰–۱۰۰۰
پیاز	۰/۱	۱۰–۳	۱/۰–۰/۳	۶۷–۲۰	۴۰۰۰–۱۲۰۰
میوه‌ها					
سیب	۰/۸	۵/۰–۱/۰	۴/۰–۰/۸	ناچیز	۲۶۰۰–۵۲۰
زیتون	۱	۳/۰–۱/۰	۳/۰–۱/۰	۳۰–۱۰	۳۴۵۰–۱۱۵۰
نخل	۲	۰/۸–۰/۴	۱/۶–۰/۸	۱۶–۸	۲۲۴۰–۱۱۲۰

ملاحظه می شود که محدودهٔ تغییر بهره‌وری فیزیکی، بهره‌وری غذایی و بهره‌وری اقتصادی آب، در محصولات مختلف یکسان نیست. به‌عنوان نمونه، بهره‌وری فیزیکی گندم از ۰/۲ کیلوگرم بر مترمکعب تا ۱/۲ کیلوگرم بر مترمکعب است و

[1] Molden et al., (2013)

بیشـــترین بهره‌وری فیزیکی ۶ برابر کمترین بهره‌وری فیزیکی اســت. درحالی‌که بیشـــینهٔ بهره‌وری اقتصـــادی گندم، ۷/۵ برابر کمینهٔ بهره‌وری اقتصادی گندم است. به عبارتی در محصول گندم بهره‌وری اقتصادی آب گستره‌ی تغییرات بیشتری را تجربه می‌کند؛ همچنین بیشینهٔ بهره‌وری غذایی آب در گندم برحسب کالری بر مترمکعب نیز ۳ برابر کمینهٔ بهره‌وری غذایی آب در این محصول است. به همین ترتیب، در مورد ذرت، بیشینهٔ بهره‌وری فیزیکی آب (۲ کیلوگرم بر مترمکعب)، ۶/۷ برابر کمینهٔ بهره‌وری فیزیکی آب در این محصـــول (۰/۳ کیلوگرم بر مترمکعب) اســـت؛ درحالی‌که بیشـــینهٔ بهره‌وری اقتصـــادی ۷/۳ برابر کمینهٔ بهره‌وری اقتصادی آب در ذرت است. از این‌رو در این محصول نیز بهره‌وری اقتصادی گسترهٔ تغییراتی بیشتری را تجربه می‌کند. از این بررسی می‌توان نتیجه گرفت که ارتباط بین شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی، غذایی و اقتصادی آب، خطی نیست و دامنهٔ تغییرات این شاخص‌ها در مناطق مختلف، می‌تواند مستقل از هم باشد.

یک شیوه دیگر برای تحلیل شاخص‌های مختلف بهره‌وری آب، بی‌بعد کردن این شاخص‌ها و نرمال سازی آن‌ها است. به عنوان نمونه می‌توان به مطالعه (Bastiaanssen and Steduto, 2016) اشاره داشت که یک نمره بهره‌وری آب تعریف کرده و بر اســـاس آن بهره‌وری آب گندم، ذرت و برنج را در گســـترهٔ جهانی بررســـی کرده‌اند. در این مطالعه نمره بهره‌وری آب به صورت یک نمره بدون بعد بین ۱ (ضعیف‌ترین حالت) و ۱۰ (عالی‌ترین وضعیت)، تعیین شده است. رابطه مورد استفاده نیز به صورت زیر بوده است:

$$\mathrm{GWPS} = 9 \times \frac{CWP_c - CWP_c^5}{CWP_c^{99} - CWP_c^5} + 1 \qquad (۲۱-۲)$$

که در رابطه فوق GWPS [1] نمره جهانی بهره‌وری آب، CWP_C^{99} و CWP_C^5 بهره‌وری آب بیشینه و کمینه محصول می‌باشـد (اعداد خارج از بازه ۵ تا ۹۹ درصـد به عنوان داده پرت در نظر گرفته شـده اسـت). اطلاعات مورد تحلیل در مطالعه مذکور در سـطح جهانی بوده اسـت و به نظر می‌رسـد در محدوده مطالعاتی نظیر حوضـه یا اسـتان، که از نبود داده‌های پرت می‌توان اطمینان بیشـــتری داشـــت، به جای CWP_C^{99} و CWP_C^5 می‌توان بیشـــینه و کمینه رکورد بهره‌وری آب را قرار داد. مزیت نمره بهره‌وری آب که بین ۱ تا ۱۰ تعریف شـــده این اســـت که ایرادات وارد بر بهره‌وری فیزیکی آب که اعداد آن در محصولات مختلف، محدوده و تفسیر متفاوتی دارد را نخواهد داشت. به عبارت دیگر، چون بهره‌وری آب هر محصول با توجه به محدوده تغییرات خودش بی‌بعد شـــده‌اســـت، امکان مقایســـه بهره‌وری آب محصـــولات مختلف با هم وجود دارد بدون آنکه نگران تفاوت ماهیت محصولات باشیم. ایراد اصلی این شاخص آن است که اعداد به دست آمده در صورت عدم آشنایی با فرمول شاخص، به آسانی قابل تفسیر نیستند. به عنوان مثال اگر بهره‌وری آب یک محصول در منطقه‌ای ۵۰ درصد بهره‌وری آب بیشینه باشد (بهره‌وری نسبی ۵۰ درصد)، شاخص نمره بهره‌وری آب، ۵/۵ به دست می‌آید. تفسیر و فهم بهره‌وری نسبی

[1] Global Water Productivity Score (2016)

۵۰ در صد آ سان‌تر و عمومی‌تر از نمره بهره‌وری ۵/۵ ا ست. روش‌های دیگری نیز برای بی‌بعد کردن بهره‌وری آب وجود دارند که از توزیع نرمال و نرمال‌ســـازی نتایج پایش بهره‌وری آب برای بی‌بعد کردن بهره‌وری فیزیکی و اقتصـــادی آب اســـتفاده می‌کنند. در تمامی این روش‌ها تفسیر اعداد بدون بعد به دست آمده با ابهام روبروست.

۲-۱۵- تحلیل زمانی و مکانی بهره‌وری آب

تحلیل زمانی: یکی از روش‌های تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب، بررسی روند تغییرات شاخص‌های مختلف بهره‌وری در طول زمان اســت. با اندازه‌گیری مجموعه شــاخص‌ها در یک دورهٔ کشــت یا یک ســال زراعی و مقایســهٔ آن با شــاخص‌های اندازه‌گیری‌شده در سال‌های دیگر، این امکان فراهم می‌شود که با گذشت زمان، روند تغییرات بهره‌وری آب استنتاج شود.

تحلیل مکانی: یکی دیگر از روش‌های تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب، مقایسه شاخص‌های یک واحد (مانند یک شبکه آبیاری، یک زیر واحد آبیاری و یا یک قطعه زراعی) با واحد مشابه خود است. به دلیل نوع عملیات اعمال‌شده، دانش مدیران و کشاورزان، فرهنگ بومی یا حتی نوع نهاده‌های به کار گرفته‌شده و مواردی از این دست، میزان بهره‌وری آب می‌تواند به‌صورت مکانی متفاوت با شد، حتی در یک سیستم و سیع، ممکن ا ست میزان بهره‌وری آب یک قسمت با قسمت‌های دیگر در همان سیستم متفاوت باشد، از این‌رو مقایسهٔ شاخص‌های بهره‌وری آب یک واحد مانند شبکه آبیاری با شبکه‌های آبیاری دیگر، در سایر مناطق ک شور و جهان، این امکان را فراهم می سازد که از دلایل موفقیت در بهره‌وری آب سایر شبکه‌ها آگاه شد و با به‌کارگیری روش‌های مناســب و کارآمدتر به بهره‌وری بالاتر دســت یافت. به این نوع روش مقایســه‌ای یک واحد با واحدهای دیگر ا صطلاحاً روش «شاخص سنجی[1]» هم گفته می شود. برای کسب موفقیت در ارتقای بهره‌وری، ثبت دقیق جزئیات، نوع عملیات و تجهیزات آبیاری و همچنین مدیریت شــبکه آبیاری اعم از مدیریت در انتقال، توزیع و بهره‌برداری آب، اهمیت ب سزایی دارد. در تحلیل مکانی بهره‌وری آب معمولاً نق شه‌های بهره‌وری نیز تر سیم و ارائه می شود. در این را ستا ا ستفاده از روش سنجش از راه دور برای برآورد بهره‌وری و GIS برای ترسیم نقشه‌ها مرسوم است.

۲-۱۶-روش‌های آماری مطالعات بهره‌وری آب

۲-۱۶-۱- تحلیل آماری داده‌های میدانی

بسته به اهداف طرح، اطلاعات گردآوری‌شده به‌وسیله اندازه‌گیری داده‌های میدانی و یا تکمیل پرسشنامه، نیازمند ارائه تحلیل‌های آماری مختلف هســـتند. نتایج یافته‌ها می‌تواند بر اســـاس شـــاخص‌هایی مانند میانگین، انحراف معیار، چولگی و واریانس ارزیابی شـود. تحلیل فراوانی داده‌ها نیز معمولاً در گزارش نتایج ارائه می‌شـود. برای نمونه، زمانی که بهره‌وری آب در یک منطقه ارزیابی می‌شـــود، اینکه چند درصـــد از بهره‌برداران در منطقه از تحصـــیلات عالی برخوردارند، یا چند درصـــد از

[1] Benchmarking

بهره‌برداران آب بی‌سواد هستند، به ارائه تحلیل‌های کلان بسیار کمک می‌کند. تحلیل همبستگی بین متغیرهای پیمایش‌شده و تعیین سطح اطمینان برای قضاوت در مورد فرضیه‌های آماری، نیز اهمیت بالایی در پیمایش بهره‌وری آب دارد. برای نمونه، اگر هدف از مطالعه، بر رسی نقش ا ستفاده از یک فناوری در ارتقای بهره‌وری آب ا ست، تحلیل همب ستگی «اتخاذ فناوری» و «بهره‌وری آب» ضـرورت می‌یابد. پس از تعیین همبسـتگی متغیرها، امکان برقراری روابط رگرسـیونی بین متغیرهایی را که همبسـتگی معناداری دارند، فراهم می‌گردد. تمامی این اقدام‌ها به شـناخت از روش‌های آماری نیاز دارد. در جدول ۲-۹، به تفکیک بخش‌های مختلف مطالعات پرسشنامه‌ای، آزمون‌ها و روش‌های آماری قابل‌استفاده ارائه شده است.

جدول ۲-۹- برخی روش‌های آماری مورداستفاده در مراحل مختلف داده‌برداری میدانی

مرحلهٔ مطالعات	هدف	روش (آزمون) آماری مورداستفاده
قبل از پیمایش	تعیین تعداد نمونه	آزمون کوکران و جدول مورگان
طی پیمایش	نمونه‌گیری	نمونه‌گیری تصادفی/ نمونه‌گیری گلوله برفی/ روش نمونه‌های در دسترس/ روش دلفی
	پایایی	آلفای کرونباخ
	روایی	تحلیل عاملی
پس از پیمایش	تحلیل فراوانی	محاسبهٔ میانگین‌ها/ انحراف معیار/ فراوانی نسبی/ ترسیم نمودارهای فراوانی
	آزمون نرمال بودن	ترسیم منحنی توزیع داده‌ها/ آزمون کولموگروف - اسمیرونوف
	تحلیل همبستگی	آزمون پیرسون - درصورتی‌که داده‌ها نرمال باشند. آزمون اسپیرمن - درصورتی‌که داده‌ها نرمال نباشند.
	استخراج مدل‌های رگرسیونی	رگرسیون پارامتری - اگر داده‌ها نرمال باشند رگرسیون ناپارامتری - اگر داده‌ها نرمال نباشند.
	مقایسهٔ میانگین	آزمون t تک نمونه‌ای - اگر هدف مقایسه مقدار میانگین متغیر پیمایش‌شده با یک حد مشخص باشد. آزمون t مستقل- اگر هدف مقایسهٔ نتایج دو گروه مستقل باشد. آزمون t زوجی- اگر هدف مقایسهٔ دو متغیر در یک گروه باشد. تحلیل واریانس (ANOVA) - مقایسهٔ چند گروه

۲-۱۶-۲-شاخص‌های آماری ارزیابی نتایج مدل‌های شبیه‌سازی بهره‌وری آب

برای برر سی بهتر کارایی مدل در تخمین عملکرد، از شاخص‌های آماری مختلفی می‌توان ا ستفاده کرد. سه شاخص مرسوم به شرح زیر است.

- درصد خطای نسبی (RE)

$$RE = \frac{(P_i - Q_i)}{Q_i} * 100 \qquad (۲-۲۲)$$

- ریشهٔ دوم میانگین مجذور خطاها (RMSE)

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} (P_i - Q_i)^2}{n} \right]^{1/2} \qquad (۲۳-۲)$$

- کارایی مدل‌سازی (EF)

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n} (Q_i - \overline{Q})^2 - \sum_{i=1}^{n} (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} (Q_i - \overline{Q})^2} \qquad (۲۴-۲)$$

که در روابط فوق Pi مقادیر پیش‌بینی‌شده، Qi مقادیر اندازه‌گیری‌شده (مشاهده‌ای)، n تعداد نمونه‌های به‌کاررفته، $\overline{Q}$ مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده است. حداقل مقدار RE و RMSE صفر و حداکثر مقدار EF برابر با یک است. EF می‌تواند مقادیری منفی داشته باشد. مقدار منفی EF بیانگر آن است که مقادیر اندازه‌گیری‌شده، بیشتر از مقادیر پیش‌بینی‌شده است. باید توجه داشت که این شاخص‌های آماری در کنار روش‌های آماری دیگری مانند بررسی ضریب همبستگی، ضریب تبیین و تحلیل همبستگی می‌تواند تحلیل جامع‌تری از نتایج را ارائه دهد.

فصل سوم

دسته‌بندی اقدامات و مسئولیت‌های اجرایی

۳-۱- مقدمه

اقدام و برنامه‌ریزی برای ارتقای بهره‌وری مانند هر مداخلهٔ دیگر در ساختار حکمرانی آب، مستلزم شناخت کافی از ذی‌نفعان آب است. تحلیل ذی‌نفعان بهره‌وری آب در سه‌گام «شناسایی ذی‌نفعان»، «تحلیل ذی‌نفعان» و «تعیین روابط بین ذی‌نفعان» انجام می‌شود. ذی‌نفعان یا به تعبیری گروداران طرح را افراد یا سازمان‌هایی رسمی و غیررسمی می‌دانند که از طرح تأثیر می‌پذیرند، یا بر طرح تأثیر می‌گذارند. این تأثیرها افزون بر منافع مشهود و نامشهود می‌تواند در قالب داشتن اطلاعات، تجربه و نگرش در موضوع طرح، جایگاهی برای حمایت از پیشرفت طرح یا ممانعت از اجرای آن، تصمیم‌گیری برای تصویب و رد طرح، اجرای تمام یا بخشی از طرح، لزوم اطلاع‌رسانی به آنان، انتقاد به طرح‌های پیشین و صاحب‌نظر بودن در زمینه‌های مرتبط با طرح باشد. با چنین تعریفی از ذی‌نفعان، طیف بسیار وسیعی از افراد تا نهادهای تصمیم‌گیر و اجرایی در شکل‌گیری یا حل‌وفصل مسائل مرتبط با آب نقش دارند. این افراد یا نهادها را می‌توان در سه سطح کلان، میانی و خرد دسته‌بندی کرد. ذی‌نفعان سطح کلان شامل نهادها و مراجعی می شود که در سطح ملی تصمیم‌گیری یا سیاست‌گذاری می‌کنند، اما نتایج تصمیم‌های ایشان سطوح پایین‌تر بهره‌وری آب را نیز متأثر می‌کند. ذی‌نفعان سطوح میانی، آن دسته از تصمیم‌گیرندگان هستند که دایرهٔ عمل ایشان در مرزهای استانی، حوضه‌ای و یا سازمانی محدود می‌شود و بالاخره ذی‌نفعان سطح خرد، عموماً بهره‌برداران و استفاده‌کنندگان نهایی آب و نهادهای محلی هستند.

ذی‌نفعان بهره‌وری آب در ایران در سطوح مختلف به شرح زیر هستند.

- در سطح کلان: وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی دو ذی‌نفع اصلی هستند. سایر ذی‌نفعان به شرح زیر است: اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی، شرکت‌های مادر تخصصی تابع وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی (مانند شرکت توسعهٔ منابع آب و نیروی ایران، شرکت مدیریت منابع آب ایران، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور و شرکت خدمات حمایتی کشاورزی)، سازمان محیط‌زیست، وزارت تعاون، سازمان جنگل‌ها و مراتع، سازمان شیلات ایران، مجلس شورای اسلامی، سازمان ملی بهره‌وری، صداوسیما، وزارت کشور، وزارت صنایع و معادن و ...
- در سطح میانی: استانداری‌ها، شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان‌ها، سازمان جهاد کشاورزی استان‌ها، اداره کل محیط‌زیست استان‌ها و...
- در سطح خرد: بهره‌برداران آب، سازمان‌های مردم‌نهاد، سازمان‌های غیردولتی، شوراهای اسلامی شهر و روستا، تعاونی‌های آب‌بران، شرکت‌های کشت و صنعت و...

ذی‌نفعان سطوح کلان و میانی عموماً ساختاریافته و دارای چارچوب‌ها و حقوق و وظایف قانونی مشخص هستند. در مقابل، ذی‌نفعان سطح خرد، عموماً ساختار نیافته هستند.

ذی‌نفعان بهره‌وری آب از نظر نقشی که اختیار می‌کنند، می‌توان به سه دستهٔ کلی تقسیم‌بندی کرد:

- بهره‌برداران آب (عمدتاً به‌صورت شخصی و در برخی موارد به‌صورت تعاونی و دولتی)؛
- خدمات‌دهندگان (ارائهٔ خدمات تأمین، توزیع و حفاظت از منابع آب در ایران عمدتاً توسط سازمان‌های دولتی و در موارد معدودی از طریق شرکت‌های خصوصی و نیمه‌دولتی انجام می‌شود. شرکت‌های بهره‌برداری از شبکه‌های

آبیاری جزو این دسته از ذی‌نفعان به شمار می‌روند. خدمات کشاورزی هم توسط سازمان‌های دولتی و هم نهادهای خصوصی ارائه می‌شود)؛

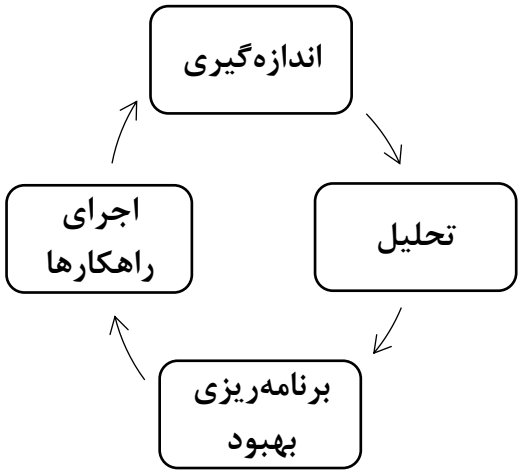
- سیاست‌گذاران (در ایران سیاست‌گذاری در بخش آب و سایر بخش‌های مرتبط نظیر کشاورزی و تجارت توسط ترکیبی از نهادهای انتخابی و انتصابی صورت می‌پذیرد).

فضای زیادی برای مشارکت در ارتقای بهره‌وری آب وجود دارد. ارتقای مدیریت محلی می‌تواند به‌عنوان حلقهٔ رابط سیاست‌گذاری‌ها عمل کند تا شاخص‌هایی نظیر پایداری، بهره‌وری و عدالت ارتقا یابد. برای دستیابی به منافع مشهود، اتخاذ رویکرد «گام‌به‌گام» و انجام «اقدام‌های نقطه ورود»[1] مورد تأکید است. چنانچه اقدامات بدون برنامه‌ریزی صحیح انجام شود، تغییر رفتار بهره‌برداران آب قبل از اینکه دستاوردی داشته باشد، زیان‌هایی را به همراه خواهد داشت. از این‌رو مداخلات باید با انجام «اقدام‌های نقطه ورود»، همراه باشد. «اقدام‌های نقطه ورود» می‌تواند شامل بهسازی‌هایی باشد که ماهیتاً ضروری هستند و منافع سریعی را به دنبال دارند؛ نظیر بهسازی‌های آبیاری و یا زراعی مانند تغییر در الگوی کشت و آبیاری و تکنیک‌های حفاظت آب و خاک برای مدیریت بهتر آب. این اقدام‌ها می‌توانند به افزایش درآمد کشاورزان و ترویج و تداوم مشارکت آن‌ها منجر شوند (Wijnen et al., 2012).

۳-۲- دسته‌بندی اقدامات و تعیین مسئولیت‌های اجرایی

در دسته بندی اقدامات و تعیین مسئولیت‌های اجرایی بهبود بهره‌وری آب توجه به مفهوم چرخه بهره‌وری لازم است. چرخهٔ بهبود بهره‌وری شامل بخش‌های «اندازه‌گیری»، «تحلیل»، «برنامه‌ریزی» و «بهبود» است. باید در نظر داشت که «بهبود بهره‌وری، یک فرایند مستمر است». درخصوص این چرخه که از کجا باید آغاز شود، گروهی بر این عقیده هستند که «اندازه‌گیری»، نخستین مرحلهٔ 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 هرکجا که شروع شود، باید گردش خود را به‌طور کامل انجام دهد تا نتایج و آثار فعالیت‌های بهبود بهره‌وری به‌طور ملموس خود را نشان دهد (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲).

[1]. اتخاذ اقدام‌های نقطهٔ ورود (Entry-Point Activities, EPA)، در توسعهٔ حوضه‌های آبخیز به‌کار رفته است. این اقدام‌ها، در راستای ایجاد پایگاه و زیربنا در جامعه برای دستیابی به روستاییان، قبل از آغاز مشارکت آنان است. به این ترتیب توافقی بین جامعه برای آغاز و ادامهٔ فعالیت‌ها فراهم می‌شود. این ظرفیت‌سازی برای پایدارسازی مشارکت هنگام مداخله و بعد از آن ضروری است.



شکل ۳- ۱-الف) چرخهٔ بهبود بهره‌وری آب (قالب کلی)

شکل ۳- ۱-ب) چرخه بهبود بهره‌وری آب طبق نظام نامه چرخه مدیریت بهره‌وری سازمان ملی بهره‌وری

با عنایت به مفهوم چرخه بهره‌وری آب، برای هر یک از مراحل چهارگانه، مسئولین اقدام (مجری) و مشارکت‌کنندگان (دستگاه‌های همکار) متفاوت خواهد بود. تقسیم وظایف علاوه بر گام‌های بهره‌وری آب، بر اساس راهکارهای بهبود بهره‌وری آب نیز قابل تعریف خواهد بود. به علاوه، سطح و مقیاس تحلیل و بهبود بهره‌وری آب (مزرعه یا کشت و صنعت، استان، حوضه آبی، ملی و ...) نیز در تعیین مسئولیت‌ها اهمیت دارد. جدول (۳-۱) سطوح متناظر بهره‌وری آب با سطح‌بندی کلی بهره‌وری را نشان می‌دهد. روشن است که برای هر پروژه یا راهبرد اجرایی برای بهبود بهره‌وری آب، وظایف و مسئولیت‌ها طبق تکالیف قانونی و انتظارات از پروژه و تفاهم نامه‌های موردی، قابل تعریف است.

جدول ۳-۱ سطوح متناظر بهره‌وری آب با سطح بندی کلی بهره‌وری

سطوح استاندارد بهره‌وری	سطوح متناظر بهره‌وری آب
سطح ۱- بنگاه (خرد)	مزرعه/ کشت و صنعت/ گلخانه/ بنگاه‌های خدماتی و تولیدی (شرکت تأمین و توزیع آب/ شرکت مدیریت شبکهٔ آبیاری/ مرکز خدمات کشاورزی/ پهنهٔ کشاورزی/ تشکل آب‌بران/ تعاونی تولید)
سطح ۲-محیط اقتصادی (میانی)	استانداری/ شرکت‌های آب منطقه‌ای استان‌ها/ سازمان کشاورزی استان/ اتاق بازرگانی، صنایع معادن و کشاورزی استان/ادارهٔ محیط زیست استان/ادارهٔ منابع طبیعی استان/شرکت‌های مادر تخصصی کشاورزی و آب

سطوح استاندارد بهره‌وری	سطوح متناظر بهره‌وری آب
سطح۳- محیط اقتصادی کلان (ستادی)	وزارت کشاورزی/ وزارت نیرو/اتاق بازرگانی، صنایع معادن و کشاورزی/ سازمان ملی بهره‌وری/ وزارت اقتصاد/ مجلس شورای اسلامی و ..

جدول ۳-۲ - برخی از روش‌ها و فناوری‌های بهبود بهره‌وری آب متناظر با چالشهای اصلی بهره‌وری آب (این توصیه ها یک راهنمایی اولیه می‌باشد و لازم است با روش‌های اولویت بندی راهبردها، راهکار و فناوری مناسب برای هر سطح بهره‌وری آب/منطقه/پروژه تعیین شود)

چالش اصلی بهره‌وری آب	راهبردهای اصلی بهبود بهره‌وری	روش‌ها و فناوری‌های قابل اتخاذ	مسئول اقدام (مجری)	دستگاه مشارکت کننده (همکار)
فقدان اطلاعات قابل اتکا برای برنامه ریزی منابع و مصارف آب	حسابداری و حسابرسی آب	حسابداری دقیق و شفاف آب	وزارت نیرو	وزارت کشاورزی سازمان هواشناسی کشور
کشاورزی غیرعلمی و سنتی	شیوه‌های خوب کشاورزی	ارتقای مکانیزاسیون، تسطیح، استفاده از فناوری‌های زیستی، اتخاذ بهترین روش‌های زراعی (به عنوان مثال رقم‌های اصلاح شده بذر، مدیریت مواد مغذی و آفت‌کش‌ها، بازیابی مواد آلی خاک و مالچ)، کشاورزی هوشمند.	وزارت کشاورزی	وزارت علوم؛ مراکز تحقیقاتی؛ شرکت‌ها و فعالان بخش خصوصی
ساختار نامناسب پیشران‌ها و مشوق‌های بهره‌وری	ابزارهای سیاسی	تعرفه‌های انرژی، سهمیه‌بندی آب، قیمت‌گذاری آب و دریافت آب‌بها، بازار آب، سرمایه‌گذاری و پرداخت یارانه، توسعه‌خدمات؛ خدمات مالی؛ بیمه محصولات؛ هدفمندی یارانه‌ها.	وزارت نیرو (زمینه‌های آب و انرژی)/ وزارت جهاد کشاورزی (نهاده‌های کشاورزی و بیمه محصولات)	وزارت کشور

چالش اصلی بهره‌وری آب	راهبردهای اصلی بهبود بهره‌وری	روش‌ها و فناوری‌های قابل اتخاذ	مسئول اقدام (مجری)	دستگاه مشارکت کننده (همکار)
عدم دسترسی بهره‌برداران و ذی‌نفعان آب به سامانه‌های اطلاعاتی کارآمد	فناوری اطلاعات و ارتباطات	سامانه‌های هشدار سریع؛ برنامه‌های تلفنی برای ارائه اطلاعات در خصوص بازارها، آب و هوا؛ کشاورزی دقیق.	سازمان هواشناسی کشور/ وزارت کشاورزی	وزارت نیرو
تلفات آب باران و فرسایش خاک	حفاظت از آب باران (ارتقای بهره‌وری آب سبز)	کشاورزی حفاظتی؛ سامانه‌های حفاظت از آب باران	وزارت کشاورزی	وزارت نیرو
تلفات آب (قابل‌بازیابی و یا غیرقابل‌بازیابی) در سامانه‌های آبیاری	برداشت آب و آبیاری	اصلاح و نوسازی آبیاری؛ تغییر سامانه آبیاری	وزارت کشاورزی	
ناهماهنگی فرابخشی	اصلاحات نهادی	مدیریت جمعی برای ارتقای بهره‌وری و حفاظت از منابع آب، ایجاد کارگروه‌های مشترک بین سازمان‌های اصلی مرتبط	مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب	وزارت کشاورزی/ وزارت نیرو/اتاق بازرگانی، صنایع معادن و کشاورزی
الگوی کشت آب‌بر	تجارت آب مجازی	تجارت آب مجازی، ترویج الگوی کشت و سیستم‌های کشت کم آب‌بر، استقرار الگوی بهره‌وری محور	وزارت کشاورزی	وزارت اقتصاد/ اتاق بازرگانی، صنایع معادن و کشاورزی
شورشدن آب و خاک	بهره‌وری آبهای شور	شورورزی، استفاده مجدد از آب و نمک‌زدایی، پایدار سازی منابع پایه	وزارت کشاورزی	وزارت نیرو
تلفات نشت و تبخیر بالا در سامانه‌های انتقال و توزیع	بهسازی سامانه‌های انتقال و توزیع	استفاده از مالچ‌های کاهش تبخیر، بهسازی شبکه‌های انتقال و توزیع آب	وزارت نیرو	وزارت کشاورزی
تلفات محصولات تولیدی		توسعه صنایع جانبی کشاورزی، اصلاح الگوی کشت بر مبنای	وزارت کشاورزی	وزارت اقتصاد / وزارت صمت/اتاق

چالش اصلی بهره‌وری آب	راهبردهای اصلی بهبود بهره‌وری	روش‌ها و فناوری‌های قابل اتخاذ	مسئول اقدام (مجری)	دستگاه مشارکت کننده (همکار)
	کاهش ضایعات کشاورزی	بازارهدف، تکمیل زنجیره ارزش محصولات		بازرگانی، صنایع معادن و کشاورزی
کمبود آب شدید	سیستم‌های کشت کم‌آب‌بر	کشت نشایی، کشت گلخانه‌ای، کم آبیاری، آبیاری تکمیلی	وزارت کشاورزی	وزارت نیرو
دانش کم بهره‌برداران آب و فقدان تشکل‌های توانمند	آموزش و ترویج بهره‌وری	ایجاد و تقویت انجمن‌های بهره‌برداران آب، آموزش توسط بهره برداران پیشرو، یادگیری تعاملی، توسعه مشارکتی فناوری، مروجان بهره‌وری	وزارت کشاورزی	
خلا عملکرد	پرکردن خلا عملکرد	کلیه راهکارهای به زراعی و مدیریت کشت	وزارت کشاورزی	وزارت/ اتاق بازرگانی، صنایع معادن و کشاورزی
تغییر اقلیم	سازگاری با تغییراقلیم	روش‌های سازگاری با تغییر اقلیم	سازمان حفاظت از محیط زیست	وزارت کشاورزی/ وزارت نیرو/اتاق بازرگانی، صنایع معادن و کشاورزی

فصل چهارم

دستورالعمل اجرایی برآورد و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی

با توجه به اینکه برآورد و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب بخشی از برنامه کلی بهبود بهره‌وری آب است در این فصل، با اشاره‌ای به مراحل گام‌های بهبود بهره‌وری آب، برآورد شاخص‌های بهره‌وری آب و تحلیل آن‌ها ارائه شده است.

۴-۱- مراحل گام‌های بهبود بهره‌وری و جداول برنامه‌ریزی

مراحل برنامه‌ریزی بهبود بهره‌وری آب در شکل ۴-۱ و جداول ۴-۱ و ۴-۲ ارائه شده است. این مراحل از الگوی ارائه شده توسط نظری و لیاقت (۱۴۰۰) و راهنمای بهبود بهره‌وری آب در شبکه‌های آبیاری (۱۴۰۳)، اقتباس شده است. برای محاسبه بهره‌وری سطح مطالعاتی[۱] در این جداول از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$WP = \sum_{ics=1}^{n} \sum_{c=1}^{m} \left(WUP_{ics,c} \times WP_{ics,c} \right) \quad (۱-۴)$$

در رابطه فوق WP بهره‌وری آب در سطح مطالعاتی برحسب کیلوگرم بر مترمکعب (در بهره‌وری فیزیکی) و ریال بر مترمکعب (در بهره‌وری اقتصادی)، $WP_{ics,c}$، بهره‌وری آب محصول c با سیستم کشت - آبیاری[۲] ics برحسب کیلوگرم بر مترمکعب (در بهره‌وری فیزیکی) و ریال بر مترمکعب (در بهره‌وری اقتصادی) و $WUP_{ics,c}$، سهم محصول c با سیستم کشت - آبیاری ics در الگوی آب‌بری[۳] است. به دلیل تفاوت‌های ماهیتی عملکرد و آب‌بری محصولات، بهره‌وری آب کل سطح مطالعاتی به تنهایی نمی‌تواند معیار کافی باشد. اما در برنامه بهبود بهره‌وری آب این شاخص باید محاسبه و تحلیل شود. با رابطه فوق متوسط بهره‌وری فیزیکی یا اقتصادی در یک زیربخش (زراعی آبی، زراعی دیم، باغی آبی، باغی دیم، آبزی، دامی) یا کل محدوده مطالعه قابل محاسبه است. البته هر چه در برآورد بهره‌وری آب تعداد محصول و یا زیربخش بیشتری با هم میانگین گرفته شود، دقت شاخص کاهش یافته و تفسیر آن دشوارتر و غیرکاربردی خواهد شد. به بیان دیگر اینکه بگوییم بهره‌وری آب گندم برابر با x کیلوگرم بر مترمکعب است، نماگر دقیق‌تری است تا اینکه بگوییم بهره‌وری آب گیاهان زراعی x کیلوگرم بر مترمکعب است. با این حال به دلیل اینکه در بسیاری اسناد بالادستی و از جمله در سند تفاهم نامه سه جانبه بهره‌وری آب، اهدافی با عنوان بهره‌وری آب در بخش کشاورزی و یا زیربخش‌های زراعی، باغی و ... تعیین شده است، محاسبه این اعداد نیز می‌تواند در دستور کار باشد.

در رابطه فوق، $WUP_{ics,c}$ به شیوه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$WUP_{ics,c} = \frac{AW_{ics,c} \times A_{ics,c}}{\sum_{ics=1}^{n} \sum_{c=1}^{m} \left(AW_{ics,c} \times A_{ics,c} \right)} \quad (۲-۴)$$

---

[۱] سطح مطالعاتی با توجه به تعاریف مطرح شده در دستورالعمل و مطابق با هدف برنامه بهبود بهره‌وری در هر مطالعه انتخاب می شود. به عنوان مثال اگر طبق سند بهبود بهره‌وری آب، هدف بهبود در سطح یک دشت باشد، سطح مطالعاتی و محاسبات در این قسمت در سطح دشت باشد.

[۲] سیستم‌های کشت – آبیاری به ترکیب کاربرد انواع سیستم‌های آبیاری و سیستم کشت اطلاق می‌شود. سیستم‌های کشت شامل کشت با بذر(کشت مستقیم در فضای باز)، کشت نشایی (کشت غیرمستقیم در فضای باز)، کشت با سایبان و کشت در گلخانه می‌باشد.

[۳] Water Use Pattern

در آن، $WUP_{ics,c}$ سهم آب بری محصول c براساس نوع سیستم کشت - آبیاری ics بر حسب نسبت، $AW_{ics,c}$ آب کاربردی در هر هکتار از کشت محصول c براساس نوع سیستم کشت - آبیاری ics برحسب مترمکعب بر هکتار و $A_{ics,c}$ مساحت کشت محصول c براساس نوع سیستم کشت - آبیاری ics برحسب هکتار است. در واحدهای تولید کشاورزی نظیر تولید چوب و ... نیز از روابط فوق استفاده می‌شود. در این حالت واحد آب کاربردی به جای "مترمکعب در هکتار"، "مترمکعب در هر واحد تولیدی" و واحد عملکرد به جای "کیلوگرم بر هکتار"، "کیلوگرم در هر واحد تولیدی" خواهد بود. سیستم‌های کشت-آبیاری مختلف نیز با سیستم‌های تولید مختلف (نظیر سیستم متراکم یا نیمه متراکم و ...) جایگزین می‌شوند.

بهره‌وری در بخش دامی و آبزی‌پروری با محاسبه کل آب مصرفی در فرآیند تولید (شامل علوفه و خوراک دام)، نگهداری و بهداشت، شرب و ... محاسبه می‌شود. در این سند هدف محاسبه بهره‌وری است و با محاسبات ردپای آب تحلیل و کاربرد متفاوتی دارد. در صورتی که در یک منطقه نیاز به محاسبه کل آب کاربردی در بخش و تحلیل ردپای آب و یا سهم آب مصرف شده در بخش دامی به تفکیک علوفه تولیدی در همان محدوده و یا خرید (وارد شده به منطقه) باشد، باید از تحلیل ردپای آب استفاده نمود. به بیان دیگر، اگر نیاز به محاسبه و تحلیل کل آب کاربردی در یک محدوده باشد، نمی‌توان آب کاربردی بخش‌های زراعی (که شامل علوفه می‌شود) با آب کاربردی بخش دامی (که علوفه را نیز در برمی‌گیرد)، را به سادگی با هم جمع نمود. زیرا در این صورت دچار خطای دو بار حساب کردن خواهیم شد. محصولات دامی معمولاً به تفکیک گوشت قرمز، گوشت مرغ، تخم مرغ و شیر مورد تحلیل قرار می‌گیرند. بهره‌وری آب در محصولات دامی و آبزی‌پروری از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\mathrm{LWP} = \frac{\mathrm{LP}}{\mathrm{WU_F + WU_D}} \qquad (۳-۴)$$

که در آن LWP، بهره‌وری آب محصول دامی/آبزی در یک واحد تولیدی یا یک محدوده (کیلوگرم بر مترمکعب)، LP محصول تولیدی (کیلوگرم)، WU_D آب شرب، امور بهداشتی و ساختمانی (مترمکعب) و WU_F، آب مصرف شده در تأمین علوفه و یا خوراک دام/آبزی (مترمکعب) است.

برای تولید علوفه آب مصرف شده ممکن است در مرز محدوده مورد مطالعه و یا خارج از آن مصرف شده باشد.

$$\mathrm{WU_F} = \mathrm{WU}_{F\mathrm{in}} + \mathrm{WU_{Fim}} \qquad (۴-۴)$$

که در آن WU_F، آب مصرف شده در تأمین علوفه و یا خوراک دام/آبزی (مترمکعب)؛ $\mathrm{WU_{Fin}}$ آب مصرف شده در تأمین علوفه و یا خوراک دام/آبزی در داخل مرز محدوده مورد مطالعه (مترمکعب) و $\mathrm{WU_{Fim}}$ آب مصرف شده در تأمین علوفه و یا خوراک دام/آبزی وارد شده به مرز محدوده مورد مطالعه (مترمکعب) میباشد. در تحلیل بهره‌وری آب در سطح ملی، واردات علوفه و خوراک دام از کشورهای دیگر و در سطوح استانی و حوضه واردات علوفه و خوراک دام از خارج از استان و حوضه، به معنای واردات آب مجازی است.

$$\mathrm{WU_{Fin}} = \sum_{F=1}^{n} \sum_{SS=1}^{m} \left(LFin_{F,SS} \times WPin_{F,SS} \right) \qquad (۵-۴)$$

$$\mathrm{WU_{Fim}} = \sum_{F=1}^{n}\sum_{SS=1}^{m}\left(LFim_{F,SS} \times WPim_{F,SS}\right) \qquad (۶-۴)$$

$\mathrm{WU_{Fin}}$ آب مصـرف شـده در تأمین علوفه و یا خوراک دام/آبزی که در داخل مرز محدوده مورد مطالعه تولید شـده اسـت (مترمکعب)، $LFin_{F,SS}$ سـهم علوفه/خوراک F در جیره غذایی دام که با منبع تأمین SS فراهم شـده و در داخل مرز محدوده تولید شده ا ست (ن سبت بین صفر و ۱)، $WPin_{F,SS}$ بهره‌وری آب علوفه/خوراک F در جیره غذایی دام که با منبع تأمین SS فراهم شده و در داخل مرز محدوده تولید شده است (کیلوگرم بر مترمکعب)، میباشد.

$\mathrm{WU_{Fim}}$ آب مصـرف شـده در تأمین علوفه و یا خوراک دام/آبزی وارداتی به محدوده (مترمکعب)، $LFim_{F,SS}$ سـهم علوفه/خوراک F در جیره غذایی دام که با منبع تأمین SS فراهم شـده و وارداتی به محدوده اسـت (نسـبت بین صـفر و ۱)، $WPim_{F,SS}$ بهره‌وری آب علوفه/خوراک F در جیره غذایی دام که با منبع تأمینSS فراهم شـده و وارداتی به محدوده اسـت (کیلوگرم بر مترمکعب)، میباشد.

در مورد $\mathrm{WU_{Fim}}$ که آب مصرفی علوفه وارداتی به محدوده را نشان می‌دهد، اطلاعات محل تولید و مصرف آب برای تولید علوفه با اطمینان همواره قابل دستیابی نخواهد بود. به علاوه، حتی اگر اطلاعات محل تولید و مصرف آب علوفه وارداتی به محدوده وجود داشـته باشـد، همچنان ابهامات تازه‌ای به وجود خواهد آمد. تفاوت در بهره‌وری آب و مصـرف آب علوفه تولیدی در خارج از محدوده مورد مطالعه، نشان‌گر صحیحی از مدیریت بهره‌وری آب در داخل محدوده ندارد.

به عنوان مثال دو واحد تولیدی را در نظر بگیرید.

واحد ۱:

- علوفه وارداتی از کشور A را برای تغذیه دام و تولید گوشت استفاده نموده است.
- آب مصرفی در کشور A برای تولید یک کیلوگرم علوفه مذکور ۲ مترمکعب است(بهره‌وری معادل ۰/۵کیلوگرم بر مترمکعب).
- مصرف آب شرب و اموربهداشتی : ۲ مترمکعب به ازای تولید هر کیلوگرم گوشت.
- ضریب تبدیل علوفه به گوشت[۱]: ۸ (هر ۸ کیلوگرم علوفه به یک کیلوگرم گوشت تبدیل شده است).

واحد ۲:

- علوفه وارداتی از کشور B را برای تغذیه دام و تولید گوشت استفاده نموده است.
- آب مصرفی در کشور B برای تولید یک کیلوگرم علوفه مذکور ۳ مترمکعب است(بهره‌وری معادل ۰/۳۳کیلوگرم بر مترمکعب).
- مصرف آب شرب و امور بهداشتی : ۲ مترمکعب به ازای تولید هر کیلوگرم گوشت.
- ضریب تبدیل علوفه به گوشت: ۸ (هر ۸ کیلوگرم علوفه به یک کیلوگرم گوشت تبدیل شده است).

[۱] (Feed Conversion Ratio) یا به اختصار (FCR)، شاخصی است که به ما نشان می‌دهد یک رأس دام یا قطعه طیور با چه میزان کیفیتی، دان مصرفی خود را به تخم مرغ یا وزن زنده تبدیل می‌نماید.

با توجه به اینکه واحد تولیدی شماره ۱ علوفه را از کشوری تأمین کرده است که آب مصرفی برای تولید علوفه مقدار کمتری داشته است، در این واحد، آب مصرفی در کل فرآیند تولید گوشت (از تولید علوفه تا تولید گوشت) کمتر بوده است. در این مثال اگر از رابطه (۴-۶)، برای محاسبه بهره‌وری آب تولید گوشت استفاده کنیم، بهره‌وری آب در واحد شماره ۱ برابر با

$$LWP = \frac{1}{8 \times 2 + 2} = 0.055\ Kg/m^3$$

و در واحد شماره ۲ برابر با:

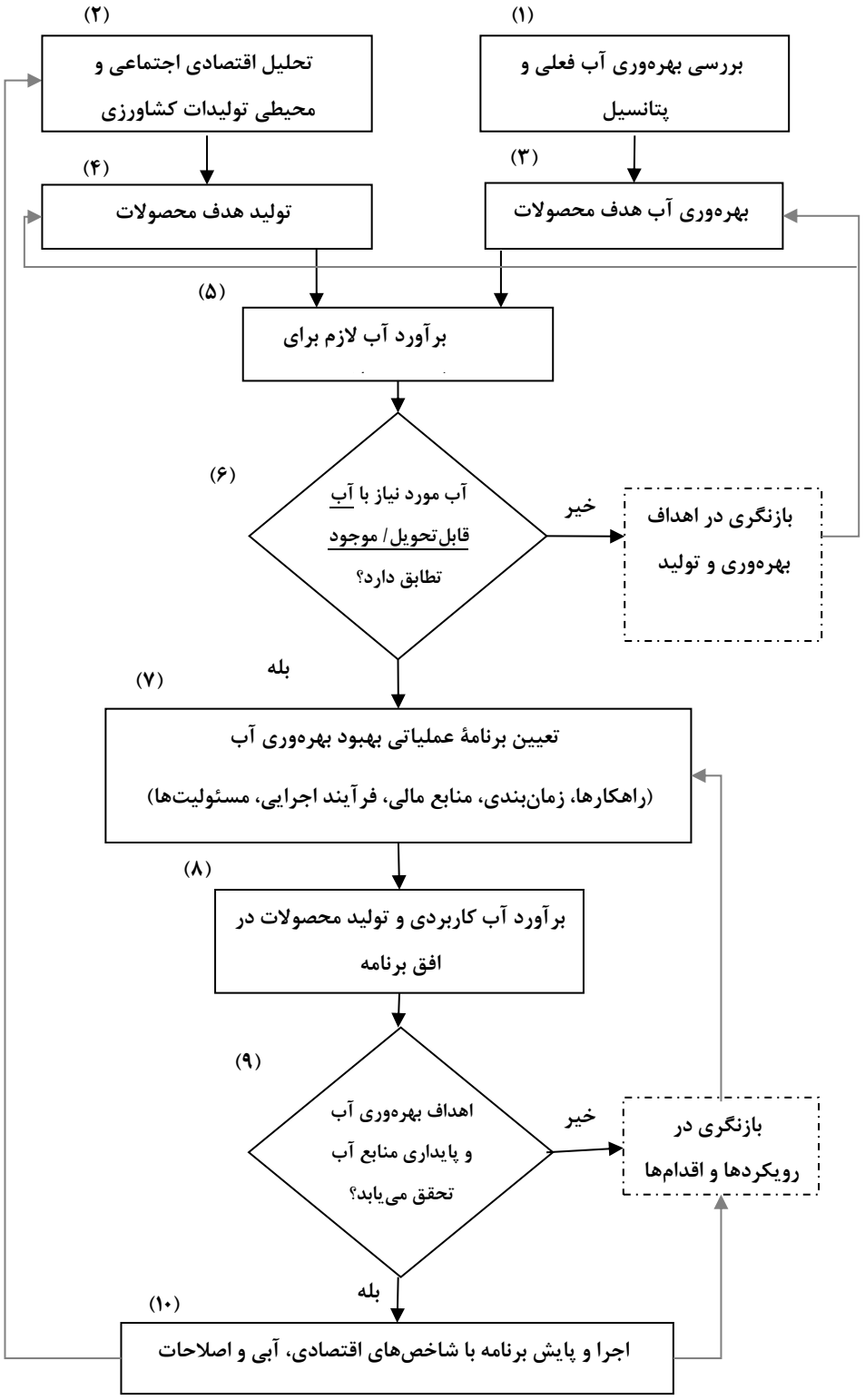
$$LWP = \frac{1}{8 \times 3 + 2} = 0.038\ Kg/m^3$$

با این محاسبات، بهره‌وری آب در واحد یک بیشتر است. حال آنکه در هر دو واحد مدیریت مصرف آب شرب و مدیریت تغذیه و تولید شرایط یکسانی داشته است. لذا بهره‌وری آب به معنای جمعی از کارآیی و اثربخشی که نشانگری از نحوه مدیریت تولید و یا آب با شد تفاوتی ندا شته ا ست. بلکه تفاوت از محل تأمین علوفه نا شی شده ا ست. این نحوه محا سبه و تحلیل از یک سو کمک میکند که کاهش ردپای آب در تولید محصول گوشت را برنامه ریزی نمود.

مثال‌های فوق نشان داد که محاسبه و تحلیل شاخص بهره‌وری آب محصولات دامی بدون توجه به محل تولید و تأمین علوفه و خوراک دام می‌تواند ابهامات زیادی داشته باشد. در تحلیل بهره‌وری آب محصولات دامی توجه ویژه به مدیریت تولید و مصرف آب نیاز به دقت و ملاحظات ویژه‌ای دارد. در این زمینه نکات کادر ۴-۱ مورد توجه باشد.

کادر ۴-۱- ملاحظات ویژه در تحلیل آب مصرفی و بهره‌وری آب محصول دامی با توجه به منبع تأمین علوفه و خوراک دام

شاخص	تعریف	ملاحظات	رابطه در دستورالعمل
LWP	بهره‌وری آب محصول دامی	بهره‌وری آب در محصولات دامی به طور کلی از ۳ مولفه اثرپذیر است. ۱- مدیریت تولید و تغذیه دام(که میزان مصـــرف آب، علوفه و تولید متناظر را تعیین می‌کند) ۲- مقدار آب‌بری علوفه(که خود متأثر از بهره‌وری آب در تولید علوفه/خوراک دام و مکان تولید علوفه است) ۳- مدیریت آب شرب و امور بهداشتی برای تحلیل جامع بهره‌وری آب محصول دامی باید به تک تک اجزای فوق که در رابطه ۴-۳ به صورت LP، WU_F و WU_D آمده است، توجه داشت.	رابطه (۴-۳)
WU_F	کل آب مصرفی برای تولید علوفه	کل آب مصـــرفی برای تولید علوفه در اینجا صـــرفاً برای محاســـبه بهره‌وری آب مدنظر اســت. در تحلیل ردپای آب، حســابداری آب و محاســبه کل آب مصــرفی بخش کشاورزی باید دقت نمود که آب مصرفی برای تأمین علوفه در محاسبات کل آب مصـــرفی بخش کشـــاورزی دو بار منظور نشـــود. به بیان دیگر نباید آب مصرفی بخش زراعی-علوفه و آب مصرفی بخش دام که در آن آب معادل برای تأمین علوفه لحاظ شده است، را با هم جمع نمود.	رابطه (۴-۴)
WU_{in}	آب مصرفی در تأمین علوفه/خوراک دام در محدوده	مقدار مصرف آب برای تولید علوفه در محاسبات با لحاظ انواع منابع تأمین علوفه در رابطه (۴-۵) مدنظر قرار گیرد.	رابطه (۴-۵)
WU_{im}	آب مصرفی در تأمین علوفه/خوراک دام وارداتی به محدوده	با توجه به ابهام در محل تولید و مقدار مصـــرف آب در مبدأ تولید علوفه، برای استانداردسازی محاسبات در دو حالت زیر اقدام شود: - اگر علوفه وارداتی در محدوده مورد مطالعه تولید می‌شـــود: آب لازم برای تولید علوفه مصـــرفی در مبد(محل تولید علوفه) معادل آب لازم برای تولید همان مقدار علوفه در محدوده مورد مطالعه (محل مصـــرف علوفه)، در نظر گرفته شود. - اگر علوفه وارداتی در محدوده مورد مطالعه تولید نمی‌شـــود: آب لازم برای تولید علوفه مصـــرفی در مبدأ طبق متوســـط ملی آب لازم برای تولید آن علوفه(برای واردات از استانهای دیگر به استان/حوضه)، و متوسط جهانی آب لازم برای تولید آن علوفه(برای واردات از خارج از کشور) در نظرگرفته شود.	رابطه (۴-۶)



شکل ۴- ۱- گام‌های تدوین برنامهٔ بهبود بهره‌وری آب

برنامه بهبود بهره‌وری آب از طریق کمیته‌های مشترک بهره‌وری آب بین وزارت نیرو، وزارت جهاد کشاورزی و اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی و سایر نهادهای مرتبط در سطوح ملی و استانی تنظیم، اجرا و ارزیابی می‌شود(جدول ۴-۱۵ ملاحظه شود). با این حال در گام‌های ۶، ۷، ۹ و ۱۰ وزارت نیرو و سازمان‌های تابعه نقش کلیدی برای مشارکت در اجرا و پایش اقدامات دارند. وزارت جهاد کشاورزی علاوه بر گام‌های مذکور، در سایر گام‌ها نیز محوریت دارد.

جدول ۴-۱- کاربرگ شاخص‌های برنامه‌ریزی ارتقای بهره‌وری فیزیکی آب در سطوح مزرعه (واحد تولیدی)، استانی، حوضه‌ای و ملی

ردیف	نام محصول		وضعیت موجود			وضعیت مطلوب (هدف برنامه بهبود بهره‌وری آب) *			شکاف برنامه (فاصله وضع موجود تا هدف برنامه)		
		شماره‌ستون	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)	(۸)	(۹)
		شاخص	آب کاربردی (m^3/PU)	عملکرد (Kg /PU)	بهره‌وری فیزیکی آب (Kg/m^3)	آب کاربردی (m^3/PU)	عملکرد (Kg /PU)	بهرره‌وری فیزیکی آب (Kg/m^3)	شکاف آب کاربردی (٪)	شکاف عملکرد(٪)	شکاف بهره‌وری فیزیکی آب (٪)
		شیوه محاسبه	اطلاعات آمارنامه/سنجش از راه دور و برداشت میدانی		$\frac{(2)}{(1)}$	اطلاعات آمارنامه/سنجش از راه دور و برداشت میدانی		$\frac{(5)}{(4)}$	$\left\lvert\frac{(1)-(4)}{(4)}\right\rvert \times 100$	$\left\lvert\frac{(2)-(5)}{(5)}\right\rvert \times 100$	$\left\lvert\frac{(3)-(6)}{(6)}\right\rvert \times 100$
۱	گندم										
۲	....										
۳	دامی/آبزی				رابطه ۴-۳			رابطه ۴-۳			
n	....										
زیربخش‌ها	زراعی آبی				رابطه ۴-۱			رابطه ۴-۱			
	زراعی دیم				"			"			
	باغی آبی				"			"			
	باغی دیم				"			"			
	آبزی				"			"			
	دامی				"			"			
کل‌محدوده			–	–	"	–	–	"	–	–	

- شاخص‌ها در کل محدوده و به تفکیک زیربخش‌های سند تفاهم‌نامه سه‌جانبه بهره‌وری آب است. معیار اندازه‌گیری عملکرد محصولات مختلف بسته به هدف ذی‌نفع و سطح تحلیل متفاوت است. در این دستورالعمل عملکرد بر اساس معیار عملکرد ارائه شده در آمارنامه‌های سالیانه وزارت جهاد کشاورزی درنظر گرفته شده است که در جدول ۴-۵ آورده شده است. در مورد محصولات دیم، به جای آب کاربردی در ستون‌های ۱ و ۴، بارش موثر در فصل رشد گیاه منظور شود.
- PU در روابط "واحد تولید" است. در کشاورزی زراعی/ باغی واحد هکتار مرسوم است. در واحدهای تولیدی دام، چوب و ... واحد مرسوم هر بخش در رابطه استفاده شود.
- بهره‌وری آب فیزیکی هدف در سطوح ملی، حوضه‌ای و استانی، طبق سند بهره‌وری آب کشاورزی، ضمیمه تفاهم نامه سه‌جانبه و به شرح جدول ۴-۴ باشد.
- در مورد برنج، در مواردی که زهاب یا آب خروجی از مزارع بالادست در پایین‌دست استفاده می‌شود، در مخرج کسر بهره‌وری آب، درصدی از آب خروجی از مزرعه که در پایین‌دست مورد استفاده قرار میگیرد، از حجم اب کاربردی کم شود.

جدول ۴-۲- کاربرگ شاخص‌های برنامه‌ریزی ارتقای بهره‌وری اقتصادی آب در سطوح مزرعه (واحد تولیدی)، استانی، حوضه‌ای و ملی

ردیف	نام محصول		وضعیت موجود			وضعیت مطلوب (هدف برنامه بهبود بهره‌وری آب) *			شکاف برنامه (فاصله وضع موجود تا هدف برنامه)		
		شماره‌ستون	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)	(۸)	(۹)
		شاخص	آب کاربردی (m3/PU)	سودخالص تولید (Rial/ PU)	بهره‌وری اقتصادی آب (Rial /m3)	آب کاربردی (m3/ PU)	سودخالص تولید (Rial/ PU)	بهره‌وری اقتصادی آب (Rial /m3)	شکاف آب کاربردی (٪)	شکاف سود خالص (٪)	شکاف بهره‌وری اقتصادی آب (٪)
		شیوه محاسبه	اطلاعات آمارنامه/سنجش از راه دور و برداشت میدانی		$\frac{(2)}{(1)}$	اطلاعات آمارنامه/سنجش از راه دور و برداشت میدانی		$\frac{(5)}{(4)}$	$\lvert\frac{(1)-(4)}{(4)}\rvert \times 100$	$\lvert\frac{(5)-(2)}{(5)}\rvert \times 100$	$\lvert\frac{(6)-(3)}{(6)}\rvert \times 100$
۱	گندم										
۲	سیب										
۳	....										
۴	دامی/آبزی										
n	....										
زیربخش‌ها	زراعی آبی				رابطه ۴-۱			رابطه ۴-۱			
	زراعی دیم				"			"			
	باغی آبی				"			"			
	باغی دیم				"			"			
	آبزی				"			"			
	دامی				"			"			
کل‌محدوده			-	-	"	-		"	-	-	

- PU در روابط "واحد تولید" است. در کشاورزی زراعی/باغی واحد هکتار مرسوم است. در واحدهای تولیدی دام، چوب و ... واحد مرسوم هر بخش استفاده شود.
- در مورد محصولات دیم، به جای آب کاربردی در ستون‌های ۱ و ۴، بارش موثر در فصل رشد گیاه منظور شود.
- بهره‌وری آب اقتصادی هدف در سطوح ملی، حوضه‌ای و استانی، طبق سند بهره‌وری آب کشاورزی، ضمیمه تفاهم نامه سه‌جانبه و به شرح جدول ۴-۵ باشد.

شاخص معیار عملکرد محصولات

به منظور اجرایی بودن، معیار تعیین و گزارش عملکرد مح صولات زراعی، باغی و دامی در این د ستورالعمل طبق رویه آماربرداری وزارت جهاد کشاورزی و به تفکیک عمده محصولات تولید شده‌ی کشاورزی و دامی (جدول ۴-۳) خواهد بود.

جدول ۴-۳- معیارهای عملکرد ارائه شده در آمارنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی

نوع	گروه	محصولات رایج کشت شده در هر گروه	جزییات عملکرد
تولیدات زراعی	غلات	گندم- جو- شلتوک	محصول قابل عرضه به بازار (کیلوگرم- رطوبت ۱۱-۱۳ درصد)
		ذرت دانه‌ای	محصول قابل عرضه به بازار (کیلوگرم- رطوبت ۱۴ درصد)
	حبوبات	نخود- لوبیا- عدس	محصول قابل عرضه به بازار (کیلوگرم- رطوبت ۱۱-۱۳ درصد)
	محصولات صنعتی	پنبه- توتون و تنباکو- چغندر قند- سویا- کنجد- گلرنگ- کلزا- نیشکر -آفتابگردان روغنی و آجیلی	محصول قابل عرضه به بازار (کیلوگرم) در مورد محصولاتی که قند، روغن و یا الکل آنها استخراج می‌شود عیار محصول (نسبت جزء هدف در کل عملکرد) لازم است گزارش شود.
	سبزیجات	سیب‌زمینی- پیاز- گوجه‌فرنگی	محصول قابل عرضه به بازار (کیلوگرم)
	محصولات جالیزی	خربزه- هندوانه- خیار	محصول قابل عرضه به بازار (کیلوگرم)
	گیاهان علوفه‌ای	یونجه- شبدر- ذرت علوفه‌ای(سیلویی)	وزن تر محصول قابل‌عرضه به بازار (کیلوگرم-رطوبت ۷۰ تا ۸۰ درصد)
تولیدات باغی	میوه‌های دانه‌دار	سیب- گلابی- به	محصول قابل عرضه به بازار (کیلوگرم)
	میوه‌های هسته‌دار	آلبالو- گیلاس- گوجه- آلو و آلوقطره‌طلا- هلو،شلیل و شفتالو- زردآلو و قیسی	محصول قابل عرضه به بازار (کیلوگرم)
	میوه‌های دانه‌ریز	انگور- توت درختی- توت‌فرنگی	محصول قابل عرضه به بازار (کیلوگرم)
	میوه‌های خشک	پسته- بادام- گردو- فندق- سنجد	محصول قابل عرضه به بازار (کیلوگرم)
	میوه‌های سردسیری	زالزالک- زرشک- سماق- ازگیل- ذغال‌اخته- عناب	محصول قابل عرضه به بازار (کیلوگرم)
	میوه‌های نیمه‌گرمسیری	انار- انجیر- خرمالو- زیتون	محصول قابل عرضه به بازار (کیلوگرم)
	میوه‌های‌گرمسیری	موز-کنار	محصول قابل عرضه به بازار (کیلوگرم)
	مرکبات	پرتقال- نارنگی- لیموشیرین- لیموترش- گریپ فروت- نارنج	محصول قابل عرضه به بازار (کیلوگرم)
	سبزی و صیفی گلخانه‌ای	خیار- گوجه‌فرنگی- بادمجان- کدو- انواع فلفل	محصول قابل عرضه به بازار (کیلوگرم). درخصوص محصولات گلخانه‌ای مقدار محصول و مصرف آب می‌تواند در واحد سطح مترمربع بیان شود.
	سایر محصولات‌گلخانه‌ای	توت‌فرنگی- گیاهان دارویی	محصول قابل عرضه به بازار (کیلوگرم)
	انواع قارچ	قارچ دکمه‌ای- قارچ صدفی	محصول قابل عرضه به بازار (کیلوگرم)
	گلستان	گل محمدی	تعداد شاخه
	زعفران	-	محصول قابل عرضه به بازار (کیلوگرم)
	انواع خرما	-	محصول قابل عرضه به بازار (کیلوگرم)
	گل‌ها و درختچه‌های زینتی گلخانه‌ای	انواع گل‌های شاخه بریده و گلدانی	تعداد شاخه
تولیدات دامی	فرآورده‌های پروتئینی	شیر-انواع گوشت‌قرمز-گوشت مرغ-تخم‌مرغ- عسل	محصول قابل عرضه به بازار (کیلوگرم)
چوب	تولید انواع چوب	-	محصول قابل عرضه به بازار (مترمکعب در واحد سطح)
آبزی-پروری		انواع ماهی‌های سردابی و گرمابی	محصول قابل عرضه به بازار(کیلوگرم)

۴-۲- اهداف مورد انتظار در شاخص‌های بهره‌وری آب فیزیکی و اقتصادی

در جداول ۴-۴ و ۴-۵ اهداف بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب ارائه شده است. اهداف بهره‌وری فیزیکی مطابق با سند بهره‌وری آب و اهداف بهره‌وری اقتصادی آب نیز، برای رسیدن به میانگین جهانی این شاخص در افق برنامه تنظیم شده است. با توجه به این که بهره‌وری هدف اشاره شده در سند به‌صورت کلی و ملی است؛ در هر منطقه و هر محصول، با توجه به تفاوت پتانسیل بهبود بهره‌وری فیزیکی در سیستم‌های کشت و تولید مختلف (در بخش‌های زراعت، گلخانه، دام، و ..)، طبق ظرفیت‌های موجود باید اقدام نمود. نهایتاً برآیند اقدامات در سطح استان/حوضه/ملی باید به بهره‌وری فیزیکی هدف در سطوح حوضه‌ای و ملی منتج شود. در این راستا، سند بهره‌وری آب کشاورزی که ضمیمه تفاهم‌نامه بهره‌وری آب است می‌تواند به عنوان راهنما برای هر یک از محصولات زراعی، باغی، دامی و .. کشور قرار گیرد.

برای تعیین بهره‌وری آب فیزیکی هدف در سطوح مزرعه (واحد تولیدی) محصولاتی که در سند مذکور ذکر نشده‌اند و همچنین برای تعیین بهره‌وری آب اقتصادی هدف در سطوح مزرعه (واحد تولیدی) نیز از روش پیشنهادی پروتکل GYGA (جناب و نظری، ۱۳۹۷) که هدف قراردادن دستیابی به ۸۰ در صد بهره‌وری پتانسیل است می‌توان در برنامه‌ریزی استفاده نمود (بهره‌وری آب هدف=۸۰ درصد بهره‌وری آب پتانسیل). متوسط شاخص کلان بهره‌وری اقتصادی آب بخش کشاورزی در ایران در سه سال منتهی به ۲۰۲۰ (۰/۵ دلار بر مترمکعب) و متوسط جهانی این شاخص (۱/۲۱ دلار بر مترمکعب) بوده است. برای رسیدن به میانگین جهانی، سالانه ۸ درصد ارتقای بهره‌وری اقتصادی آب در بخش کشاورزی توصیه می‌شود. این رشد پیشنهاد شده برای کل بخش کشاورزی است. با توجه به تفاوت پتانسیل بهبود بهره‌وری اقتصادی در بخش‌های مختلف لازم است طبق ظرفیت هر زیربخش و منطقه اقدام نمود. نهایتاً برآیند اقدامات در سطح استان/حوضه/ملی باید به رشد سالانه ۸ درصد بهره‌وری اقتصادی آب در بخش کشاورزی منجر شود. توجه به مزیت اقتصادی کشت محصول و تکمیل زنجیره ارزش تولید در هر ناحیه از مهم‌ترین اصول ارتقای بهره‌وری اقتصادی آب است.

جدول ۴-۴- اهداف بهره‌وری فیزیکی آب و نرخ رشد سالانه برای تحقق سند بهره‌وری آب

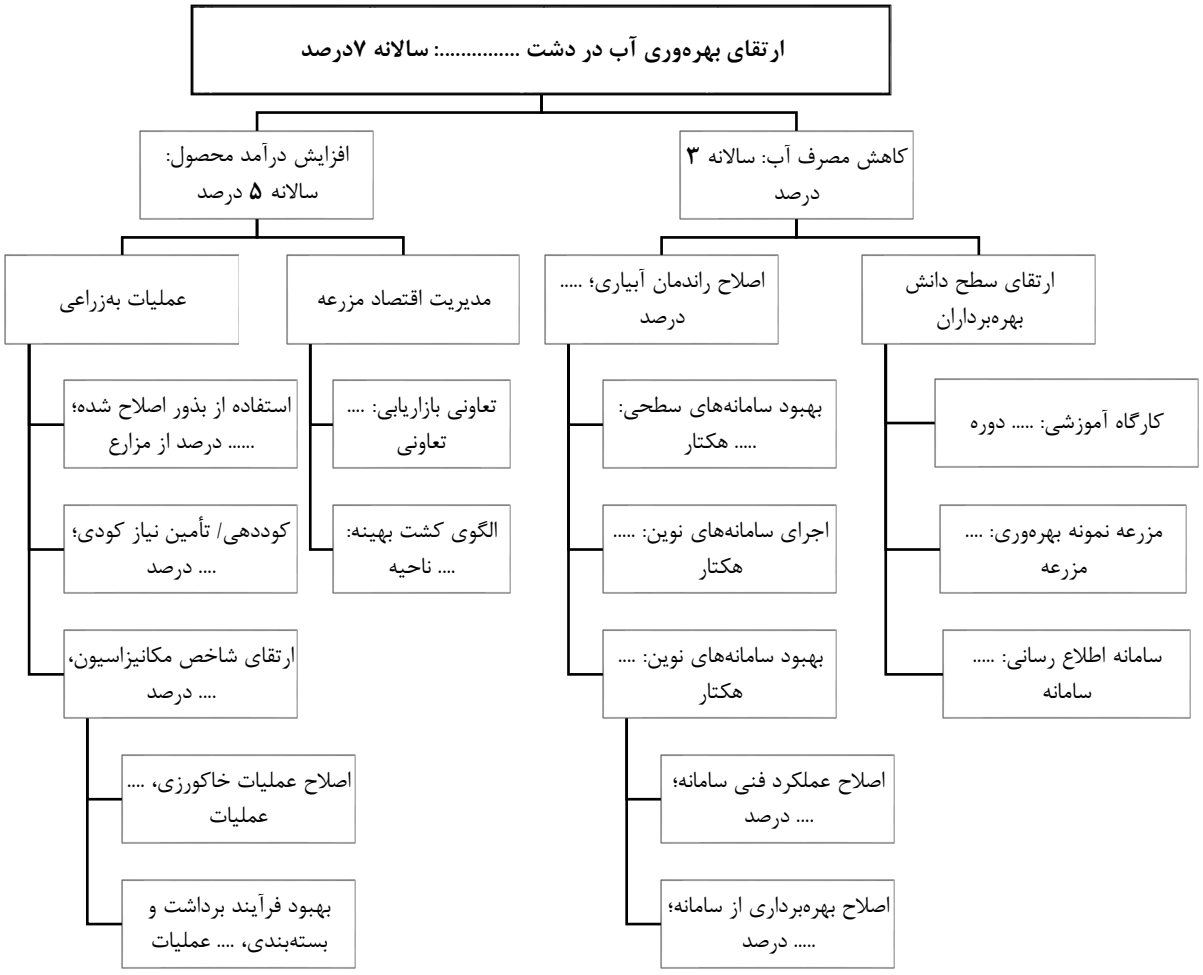
ردیف	نوع محصول		شاخص بهره‌وری آب	بهره‌وری هدف (ملی/حوضه‌ای) در ۱۴۱۰	نرخ رشد سالانه برای تحقق هدف برنامه
۱	محصولات زراعی	آبی	بهره‌وری فیزیکی (کیلوگرم بر مترمکعب)	۳/۱۱	۷ درصد
		دیم	بهره‌وری فیزیکی (کیلوگرم بر میلیمتر بارندگی)	۵/۱	۵ درصد
۲	محصولات باغی	آبی	بهره‌وری فیزیکی (کیلوگرم بر مترمکعب)	۲/۲	۱۲ درصد
		دیم	بهره‌وری فیزیکی (کیلوگرم بر میلیمتر بارندگی)	۷/۹	۲ درصد
۳	آبزی‌پروری		بهره‌وری فیزیکی (کیلوگرم بر مترمکعب)	۵/۵	۰/۱ درصد
۴	دامی		بهره‌وری فیزیکی (کیلوگرم بر مترمکعب)	۱/۳۶	۶ درصد
۵	کل تولیدات گیاهی		بهره‌وری فیزیکی (کیلوگرم بر مترمکعب)	۲/۲	۷ درصد

- بنچ‌مارک بهره‌وری آب در هر منطقه براساس میانگین آمارتولیدات محصولات کشاورزی در سه سال منتهی به سال ۹۸ (وزارت جهاد کشاورزی) و آمار آب تحویلی یا برداشت‌شده از منابع آبی(وزارت نیرو) در سطح هر حوضه و دشت قابل محاسبه است.

جدول ۴-۵- اهداف بهره‌وری اقتصادی آب و نرخ رشد سالانه برای تحقق سند بهره‌وری آب

ردیف	نوع محصول	شاخص بهره‌وری آب	بهره‌وری هدف (ملی/حوضه‌ای) در ۱۴۱۰	نرخ رشد سالانه برای تحقق هدف برنامه
۴	کلیه زیربخش‌های کشاورزی	بهره‌وری اقتصادی (سودخالص به ازای هر مترمکعب)	۱/۲ دلار بر مترمکعب	۸ درصد

برای دستیابی به اهداف فوق لازم است که راهکارهای ارتقای بهره‌وری آب بر اساس اثری که بر روی اجزای بهره‌وری آب می‌گذارند تحلیل شوند. نمونه‌ای از درخت اهداف بهره‌وری آب در شکل زیر ارائه شده است.



شکل ۴- ۲- نمونه‌ای از نمودار درخت هدف بهره‌وری آب برای برنامه ریزی ارتقای بهره‌وری آب

عدد رشد سالانه بهره‌وری آب در این نمودار به عنوان نمونه و بر اساس متوسط سند تفاهم نامه سه جانبه بهره‌وری آب ارائه شده است. بسته به موقعیت حوضه، استان و دشت اعداد مربوط به هر یک از راهکارها می‌تواند توسط کمیته بازنگری شده و تفاوت هایی در مناطق مختلف داشته باشد. با این وجود در سطح ملی لازم است هدف تعریف شده برای ارتقای بهره‌وری آب و کاهش مصرف آب محقق شود.

جداول ۴-۶ و ۴-۷ خلاصه ارزشیابی بهره‌وری آب فیزیکی و اقتصادی را نشان میدهد.

جدول ۴-۶- خلاصه نتایج کمی ارزشیابی بهره‌وری فیزیکی آب در سطوح خرد و کلان

بهره‌وری فیزیکی آب (Kg/m3)			بهره‌وری فیزیکی نسبی آب (٪) $RWP = (\frac{\text{فعلی}}{\text{پتانسیل}})$	شکاف بهره‌وری موجود (٪) (فاصله فعلی و پتانسیل)	شکاف بهره‌وری برنامه (٪) (فاصله وضع موجود تا هدف برنامه)
فعلی	پتانسیل	هدف			

جدول ۴-۷- خلاصه نتایج کمی ارزشیابی بهره‌وری اقتصادی آب در سطوح خرد و کلان

بهره‌وری اقتصادی آب (Rial/m3)			بهره‌وری اقتصادی نسبی آب (٪) $REWP = (\frac{\text{فعلی}}{\text{پتانسیل}})$	شکاف بهره‌وری موجود (٪) (فاصله فعلی و پتانسیل)	شکاف بهره‌وری برنامه (٪) (فاصله وضع موجود تا هدف برنامه)
فعلی	پتانسیل	هدف			

قضاوت در مورد اینکه چه حدی از بهره‌وری آب در یک منطقه یا پروژه مطلوب و قابل قبول است بستگی به مسایل منطقه‌ای، محدودیت منابع آب، وضعیت کشاورزی، شرایط اقتصادی و اجتماعی و زیرساخت‌های موجود خواهد داشت. طبیعتاً هر چه محدودیت آب شدیدتر باشد و هر چه زیرساخت‌های بهتری فراهم شده باشد، انتظار بهره‌وری آب بالاتری وجود خواهد داشت. جداول ۴-۸ و ۴-۹، به عنوان یک راهنمای کلی برای طبقه‌بندی کیفی بهره‌وری آب است. اگر چه دقت علمی و اجرایی شاخص‌های کمی که در جداول بالا اشاره شد، بالاتر است اما طبقه‌بندی کیفی می‌تواند برای تحلیل و تصمیم‌گیری در سطوح مختلف و همچنین تکمیل جدول چارچوب ارزیابی یکپارچه مورد استناد و کاربرد باشد. همچنان که مطرح شد، بهره‌وری آب نسبی، از تقسیم "بهره‌وری آب فعلی" به "بهره‌وری آب پتانسیل" به دست می‌آید که در دو حالت فیزیکی و اقتصادی قابل تحلیل است. اگر چه در این دستورالعمل، شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی به عنوان دو شاخص مهم و کاربردی بهره‌وری آب با جزییات بیشتری مطرح شده است، اما تمامی مراحل و فرآیندها برای شاخص‌های دیگر، نظیر شاخص بهره‌وری غذایی، نیز قابل کاربرد است.

جدول ۴-۸- طبقه بندی کیفی بهره‌وری فیزیکی آب بر مبنای شاخص بهره‌وری فیزیکی نسبی آب

دامنه بهره‌وری نسبی آب	توصیف
RWP < 25 %	بسیار ضعیف
25 %<RWP < 50 %	ضعیف
50 %<RWP < 75 %	متوسط
75 %<RWP	خوب

جدول ۴-۹- طبقه بندی کیفی بهره‌وری اقتصادی آب بر مبنای شاخص بهره‌وری اقتصادی نسبی آب

دامنه بهره‌وری نسبی آب	توصیف
REWP < 25 %	بسیار ضعیف
25 %<REWP < 50 %	ضعیف
50 %<REWP < 75 %	متوسط
75 %<REWP	خوب

چنانچه بهره‌وری فیزیکی آب و یا بهره‌وری اقتصادی آب و یا هر دو شاخص در یک محدوده یا محصول کمتر از حد انتظار بوده و از نظر طبقه‌بندی کیفی در وضعیت رضایت‌بخش نباشد، اقدامات مطرح شده در دستورالعمل حاضر که مراحل گام به گام بهبود بهره‌وری آب را مطرح نموده است، باید در دستور کار قرار گیرد.

اقدامات، فرآیندها و شاخص‌های مطرح شده در دستورالعمل حاضر برای کلیه محصولات کشاورزی شامل انواع محصولات گیاهی (food & feed) و یا بینابین غلات، حبوبات، چغندرقند و نیشکر، دام، طیور و شیلات و در مقیاس‌های گیاه، سیستم آبیاری، مزرعه، دشت و ملی قابل کاربرد است.

در خصوص محصولاتی که بخشی از نیازهای آن‌ها از واردات و بخشی از تولیدات تأمین می‌گردد نیز روند مشابهی در ارزیابی بهره‌وری آب دارند. محاسبه بهره‌وری آب محصولات وارد شده در پیاده سازی سند ملی بهره‌وری آب کاربردی ندارد. در تحلیل واردات آب مجازی برای تسکین بحران کم آبی نیز کشور هدف (ایران) ملاک تحلیل است. به این معنا که اگر یک میلیون تن گندم به کشور وارد شود، معادل آب لازم برای تولید این مقدار محصول در ایران، واردات آب مجازی شده است و نه معادل آبی که در روسیه یا قزاقستان برای تولید یک میلیون تن گندم به کار رفته است.

۳-۴- ارزیابی برنامه بهبود بهره‌وری آب با ملاحظات پایداری منابع آب

نتایج بهره‌وری اقتصادی آب در تولید محصولاتی که کشور به واردات آن‌ها نیاز دارد، در کنار پایداری محیط‌زیست و امنیت غذایی، می‌تواند به تصمیم‌گیری کلان در مورد سهم تولیدات و یا واردات محصولات و الگوی کشت و تولید در سطوح ملی و استانی کمک نماید. پایداری محیط‌زیست نیز از ابعاد مهم بهره‌وری آب است که چنانچه راهکاری با آن تطابق نداشته باشد باید از دستور کار خارج شود و یا اینکه اقدامات و پیشنهادات اصلاحی برای آن راهکار در نظر گرفته شود. لازم به ذکر است که پایداری محیط‌زیست در واقع پایداری تولید و بهره‌وری نیز می‌باشد. در پایداری محیط‌زیست علاوه بر اثر راهکارها بر کمیت و کیفیت آب و خاک، مسایل محیط‌زیستی خاص هر منطقه، باید مدنظر باشد.

یک شیوه برای ارزیابی برنامه‌های بهبود بهره‌وری آب با ملاحظات پایداری و یا نگرش جامع‌نگر استفاده از روش شاخص چندمعیاره ارائه شده توسط موسسه آموزش آب IHE Delft است که در بخش ۲-۱۳ دستورالعمل و جدول ۲-۵ جزییات آن ارائه شد (Borghuis et al., 2020). روش مذکور می‌تواند در ارزیابی اجمالی و در مواردی که اطلاعات کمی در دسترس است تا حدی کمک‌کننده باشد. با این حال در شرایط ویژه ایران که برداشت بی رویه از آب بحران محیط‌زیستی شدید را به وجود آورده است جدول مذکور نمی‌تواند کارآمدی خوبی داشته باشد.

با توجه به اینکه در ایران هدف غایی برنامه بهبود بهره‌وری آب، سازگاری با کم آبی و پایداری منابع آب است، لازم است میزان صرفه‌جویی آب در اثر راهکارهای بهبود بهره‌وری آب به طور مشخص مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا، نقطه هدف‌گذاری می‌تواند رساندن حجم برداشت آب به مقادیر آب قابل برنامه‌ریزی باشد. لذا جدول (۴-۱۰)، به عنوان یک شاخص مهم برای ارزیابی بهره‌وری پیامد ارائه شده است. پیامدها (outcomes) نتایج مورد انتظار از دستیابی به ستانده‌ها را نشان می‌دهند. اثربخشی واقعی در برنامه‌های بهبود بهره‌وری آب در واقع با پیامد باید ارزیابی شود. پیامد اثرات کوتاه مدت و یا میان مدت ستانده‌ها (outputs) هستند. در بهره‌وری آب مثال از خروجی یا ستانده، عملکرد محصول است. مثال از پیامد مورد انتظار، افزایش دسترسی به غذا و کاهش برداشت از منابع آب است. در ارزیابی برنامه‌های بهبود بهره‌وری آب نباید به تحلیل بهره‌وری ستانده‌ها (که حالت مرسوم است) اکتفا نمود، بلکه ارزیابی پیامدها که لایه بعدی اثرات ستانده‌ها است، بسیار مهم‌تر است.

جدول ۴-۱۰- ارزشیابی برنامه بهبود بهره‌وری آب برای دستیابی به پایداری منابع آب در سطوح مختلف

(محدوده مطالعاتی، حوضه، استانی و ملی)

مقدار برداشت آب فعلی (م.م.م)	مقدار آب قابل برنامه‌ریزی (م.م.م)	انحراف از آب قابل‌برنامه‌ریزی (٪)	شاخص اثربخشی اهداف برنامه (٪)
طبق گزارش آماربرداری و بیلان آب/ آمار تحویل حجمی	طبق سندابلاغی وزارت نیرو	مقدار اضافه برداشت ×۱۰۰ / مقدار برداشت آب فعلی	مقدار آب قابل برنامه‌ریزی×۱۰۰ / مقدار برداشت آب فعلی

۴-۴- اولویت‌بندی اقدامات و تحلیل شرایط بهره‌وری آب با رویکرد جامع‌نگر

برای اولویت‌بندی اقدامات و راهکارهای بهبود بهره‌وری آب، جدول الگویی ۴-۱۱ می‌تواند مورد اســـتفاده قرار گیرد. تحلیل و مقایســـه راهکارهای ارائه شـــده در کمیته/کارگروه بهره‌وری آب می‌تواند در برنامه‌ریزی بهبود بهره‌وری آب یک گام مهم باشد. طبق اصل متمرکز شدن، توصیه می‌شود که حداکثر ۵ راهکار برتر در هر برنامه منطقه‌ای یا موضوعی مورد توجه قرار گیرد.

جدول ۴-۱۱- فرم ارزیابی راهکارها و اقدامات بهبود بهره‌وری آب

(تکمیل این فرم به ازای هر راهکار یا اقدام بهبود بهره‌وری آب ضروری است.)

راهکار/فناوری بهبود بهره‌وری آب: .....

زمان آغاز اقدام	زمان پایان اقدام	مسئول اجرا	واحدهای همکار	منابع مالی مورد نیاز (میلیون ریال)	منابع انسانی لازم	مسئول پایش

دسته‌بندی معیارها	ردیف	معیارهای ارزیابی و اولویت‌بندی راهکار	شرح وضعیت/مقدار	امتیاز اکتسابی از ۱۰۰	توضیحات
اجرایی بودن راهکار	۱	امکانات و زیرساخت‌ها			راهکارهایی که میانگین امتیاز اجرایی آنها از ۵۰ کمتر باشد، و راهکارهایی که در یک یا چند بعد اجرایی امتیاز کمتر از ۲۵ داشته و با موانع جدی مواجه هستند، از اولویت خارج شوند. در مواردی که با صرف هزینه و زمان رفع موانع امکان‌پذیر است، هزینه در اولویت‌بندی لحاظ شود.
	۲	فناوری و دانش			
	۳	سرمایه انسانی و مدیریتی			
	۴	منابع مالی			
	۵	ظرفیت نهادی و قانونی			
مطلوبیت راهکار	۱	درصد افزایش بهره‌وری فیزیکی آب			کمیته بهره‌وری آب با توجه به اهداف بهبود بهره‌وری آب و شرایط منطقه‌ای و با مقایسه راهکارهای مختلف ارائه شده امتیاز هر معیار را بین ۰ تا ۱۰۰ تعیین نماید. راهکارهایی که میانگین امتیاز آن‌ها در معیارها از ۵۰ کمتر باشد، از اولویت خارج شوند. با توجه به اینکه هدف اصلی در برنامه بهبود بهره‌وری آب کاهش مصرف آب در کشاورزی است، راهکارهایی که از نظر معیار پایداری محیط زیست امتیاز کمتر از ۵۰ دریافت می‌کنند، در اولویت قرار نگیرند.
	۲	درصد افزایش بهره‌وری اقتصادی آب (NBPD)			
	۳	اثر بر پایداری محیط زیست (طبق جدول ۴-۱۲)			
	۴	تطابق با اسناد بالادستی آب و امنیت غذایی (طبق جدول ۴-۱۴)			
	۵	اثر بر اشتغال و خودکفایی غذایی در سطح محلی			
	۶	حجم کاهش آب کاربردی (در سطح مزرعه) و حجم کاهش آب تخلیه شده (درسطوح دشت، حوضه، استان و ملی)			
	۷	اثربخشی اعتبارات (درصد افزایش بهره‌وری اقتصادی آب به ازای هر واحد سرمایه‌گذاری)			

جدول ۴-۱۲-جدول ارزیابی اقدامات بهبود بهره‌وری آب بر اساس اثر بر پایداری محیط زیست

ردیف		ماهیت اثر	مثبت			منفی			اثرناچیز
		شدت اثر	کم	متوسط	زیاد	کم	متوسط	زیاد	
		امتیاز	+۵	+۱۰	+۲۰	-۵	-۱۰	-۲۰	۰
۱	اثر بر منابع آب (کیفیت و کمیت)	امتیاز اکتسابی							
۲	اثر بر خاک (فرسایش،پسماند، شوری خاک و ...)	امتیاز اکتسابی							
۳	اثر بر اقلیم و هوا (مصرف انرژی، ریزگردها و ...)	امتیاز اکتسابی							
۴	محیط بیولوژیک (پوشش گیاهی و حیات وحش)	امتیاز اکتسابی							
۵	سلامت(سلامت محصول تولیدی)	امتیاز اکتسابی							
۶	امتیاز پایداری محیط زیست (جمع کل امتیازهای اکتسابی) بدترین حالت: ۱۰۰ – و بهترین حالت: ۱۰۰+								

در ارزیابی اثر راهکارها بر پایداری محیط‌زیست در زمینه اثر بر منابع آب از جدول ۴-۱۳ به عنوان راهنمایی برای زیرمعیارهای مهم می‌توان استفاده نمود. در صورتی که جمع امتیاز اکتسابی پایداری محیط‌زیست هر اقدام/راهکار بهبود بهره‌وری آب عددی منفی با شد، آن راهکار یا اقدام باید از اولویت اقدامات خارج شود و یا راهکار متناظر برای تـ سکین اثرات منفی محیط‌زیستی آن در نظر گرفته شده و مجدداً ارزیابی شود. در اولویت‌بندی راهکارها و اقدامات مختلف برای بهبود بهره‌وری آب مدنظر باشد، امتیاز اکتسابی پایداری محیط زیست در کنار سایر معیارهای مطرح شده مدنظر قرار میگیرد.

جدول ۴-۱۳- زیرمعیارهای ارزیابی اثر راهکارهای بهبود فناوری بر روی منابع آب در سطوح مختلف

سطوح اثر راهکار	زیرمعیارهای مهم
سطح مزرعه	کیفیت زه‌آب و آب آبشویی(مانند اثرات مصرف کود و سم)
	ویژگی‌های خاک از نظر شوری، قلیائیت، ساختمان، مواد آلی خاک
	میزان برداشت آب از منابع آبی
سطح دشت	موجودی آبخوان
	شاخص نسبت بحرانی دشت
	معیار ویژه.....(طبق نظر کمیته)
سطح حوضه آبریز	شاخص فالکن مارک[1](FM)
	نسبت آب مصرفی به آب تجدید پذیر(WU/RW)
	معیار ویژه..... .(طبق نظر کمیته)

جدول ۴-۱۴ به عنوان چارچوبی برای بررسی تطابق راهکارها و فناوری‌های بهره‌وری آب با اسناد بالادستی طراحی شده است.

جدول ۴-۱۴ جدول تطابق راهکارها و راهبردها با اسناد بالادستی

ردیف	راهکار/ فناوری بهره‌وری	اسناد بالادستی	تطابق کامل (۱۰۰ درصد) تا عدم تطابق (۰ درصد)	تایید	رد	اصلاح
۱		سند ملی الگوی کشت / برش استانی سند				
		سند ملی سازگاری با کم آبی/ سند استانی				
		سند ملی امنیت غذایی				
		آب قابل برنامه‌ریزی (حوضه و محدوده مطالعاتی)				
		.....				
		.....				
۲		سند ملی الگوی کشت / برش استانی سند				
		سند ملی سازگاری با کم آبی/ سند استانی				
		سند ملی امنیت غذایی				
		آب قابل برنامه‌ریزی/ حوضه و محدوده مطالعاتی				
		.....				
		.....				

[1] Falkenmark Index

جمع‌بندی

بر اساس مطالب ارائه شده در گزارش و به ویژه توضیحات داده شده درخصوص عدم جامعیت یک شاخص بهره‌وری آب، جدول ۴-۱۵ به عنوان راهنمایی برای استفاده از شاخص‌های بهره‌وری آب، ارائه شده است. در مورد مطالب ارائه شده در جدول نکات ذیل قابل توجه است:

۵- با توجه به تأثیر عوامل مختلف زیرساختی، اقلیمی و مدیریتی بر عملکرد محصول و به تبع آن بر شاخص‌های بهره‌وری آب لازم است که در مقایسه و تحلیل نتایج ارزیابی بهره‌وری آب به شرایط زمینه‌ای توجه ویژه شود. بر این اساس پیشنهاد می‌گردد برای مقایسه بهره‌وری در مناطق مختلف از شاخص بهره‌وری نسبی آب استفاده شود.

۶- به منظور پایش بهره‌وری در سطح مزرعه توصیه می‌گردد از حجم آب آبیاری (آب کاربردی) در مخرج کسر بهره‌وری آب استفاده گردد که معادل تعریف بهره‌وری آب آبیاری است. بدین طریق تحلیل اثرات بهبود راندمان سیستم آبیاری و سایر عوامل مدیریت زراعی بر روی بهره‌وری آب امکان‌پذیر خواهد بود. این شاخص به دلیل قابل لمس بودن و کاربردی بودن می‌تواند زمینه توافق و همراهی مناسبی بین کشاورز به عنوان مصرف‌کننده نهایی آب و نهادهای متولی مدیریت تأمین و توزیع و مصرف آب را فراهم سازد.

۷- با توجه به اهمیت تحقق اهداف پایداری آب، پایداری تولید کشاورزی و محیط‌زیست در سطوح کلان، ارزیابی و اولویت‌بندی راهکارهای بهره‌وری آب در سطوح دشت و حوضه آبریز براساس کل تولید به ازای کل آب تحویل داده شده و کل آب تخلیه شده از محدوده، انجام شود.

۸- در پایش بهره‌وری طی جداول ۴-۱ و ۴-۲، از مساحت واقعی گیاهان کاشته شده در منطقه (الگو و ترکیب کشت واقعی و بروز) استفاده شود و آمارنامه‌هایی که با تأخیر و خطا ارائه می‌شوند و اسناد اجرا نشده مبنای محاسبات نباشد. بدین ترتیب، میزان تطابق و انحراف الگوی واقعی از برنامه الگوی کشت ابلاغی در هر منطقه میسر خواهد شد. پایش هم‌زمان شاخص‌های بهره‌وری آب و الگوی کشت به اصلاح برنامه الگوی کشت نیز کمک خواهد نمود.

۹- درخصوص سیستم‌های کشت-آبیاری مختلف امکان محاسبه شاخص فیزیکی آب بطور یکسان برای تمامی سیستم‌ها وجود دارد و نتایج قابل مقایسه بوده و ابهامی ندارد. برای تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری تخصیص آب و بهینه سازی الگوی کشت، از شاخص سود خالص به ازای واحد آب (NPBD) در هر سیستم کشت-آبیاری استفاده شود.

موارد کلی استفاده از دستورالعمل حاضر شامل موارد زیر است:

۱- تعیین وضعیت فعلی و پتانسیل بهره‌وری آب به تفکیک سطوح، مناطق، محصولات و بنچمارک‌های بهره‌وری

۲- ارائه و اولویت‌بندی راهکارهای بهبود بهره‌وری به تفکیک سطوح خرد، محلی و کلان بر اساس جدول ۴-۱۱

۳- ارزیابی کلی وضعیت بهره‌وری آب براساس جداول ۴-۸ تا ۴-۹ و راهنمای ارائه شده در جدول ۴-۱۰

جدول ۴-۱۵- راهنمای شاخص‌های مورد استفاده در سطوح مختلف تصمیم‌گیری و اجرایی

سطوح آبی/ سطوح سیاسی	نهاد متولی برنامه‌ریزی و پایش بهره‌وری	نهادهای متولی اجرای برنامه بهبود بهره‌وری	مصادیق سطح	شاخص اولویت ۱	شاخص اولویت ۲	شاخص ۳	اسناد مهم ملاک عمل
سطح مصرف آب	کارگروه ملی بهره‌وری آب و کمیته‌های سازمان‌های متولی	سازمان اصلاح نباتات- سازمان امور دامی- بخش خصوصی	گیاه/ دام	بهره‌وری تعرق	بهره‌وری آب هر واحد از تولیدات دامی/آبزی	بهره‌وری آب هر واحد از چوب یا سایر محصولات خاص کشاورزی	برنامه‌های ملی سازمان‌های ملی متولی اصلاح نباتات، دام، شیلات
سطح کاربری آب	کارگروه ملی بهره‌وری آب و کمیته‌های استانی بهره‌وری آب	کشاورز مدیر کشت و صنعت مدیرواحد تولیدی	مزرعه / سیستم آبیاری/ پروژه/ /واحد تولیدی و صنعتی	شاخص فیزیکی (جدول ۴-۱)	شاخص اقتصادی (جدول ۴-۲)	RWP و REWP (جداول ۴-۶ و ۴-۷)	مجوز کشت/ پروانه بهره‌برداری از آب/ کنتور و سازه تحویل حجمی آب/ حقابه و الگوی کشت مصوب
سطح توزیع آب	کمیته‌های استانی بهره‌وری آب	شرکت بهره‌برداری از شبکه	شبکهٔ آبیاری/ شبکهٔ توزیع آب	✓	شاخص اقتصادی (جدول ۴-۲)	RWP (جدول ۴-۶)	مجوز کشت/ پروانه بهره‌برداری از آب/ کنتور و سازه تحویل حجمی آب/ حقابه و الگوی کشت مصوب
سطح محدود مطالعاتی	کمیته‌های استانی بهره‌وری آب	طبق مصوبه کمیته	آبخوان/ دشت/ حوضهٔ درجه ۲ و ۳	✓	RWP (جدول ۴-۶)	VAPD (رابطه ۲-۸)	آب قابل برنامه ریزی محدوده/دشت
سطح حوضه	کارگروه ملی بهره‌وری آب و کمیته‌های حوضه‌ای بهره‌وری آب	طبق مصوبه کمیته	حوضهٔ درجه یک	✓	RWP (جدول ۴-۶)	VAPD (رابطه ۲-۸)	آب قابل برنامه ریزی حوضه، بیلان حوضه
استانی	کمیته استانی بهره‌وری آب	طبق مصوبه کمیته	استانی	✓	RWP (جدول ۴-۶)	VAPD (رابطه ۲-۸)	برنامه سازگاری با کم‌آبی در استان-برنامه استانی بهره‌وری آب
ملی	کارگروه ملی بهره‌وری آب	طبق مصوبه کارگروه	ملی	✓	RWP (جدول ۴-۶)	VAPD (رابطه ۲-۸)	سند تفاهم نامه ملی بهره‌وری آب/نقشه راه مدیریت آب کشور/ سند ملی امنیت غذایی
بین‌المللی	کارگروه ملی بهره‌وری آب	طبق مصوبه کارگروه	بین‌المللی	✓	RWP (جدول ۴-۶)	VAPD (رابطه ۲-۸)	حساب‌های ملی بانک مرکزی، گزارشهای ملی- بین‌المللی

* در هر یک از سطوح بهره‌وری آب، کمیته/کارگروه بهره‌وری آب متشکل از نمایندگان سازمان‌های تابعه وزارت جهاد کشاورزی- وزارت نیرو و اتاق‌های بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی و سایر ذی‌نفعان کلیدی به فراخور شرایط منطقه خواهد بود. * ارزیابی وضعیت، تحلیل پایداری و تطابق با اسنادبالادستی طبق جداول ۴-۸ تا ۴-۱۰ و ۴-۱۲ تا ۴-۱۴ انجام شود.

جدول ۴-۱۶- نمونه جدول برای شناسایی اقدامات بهبود بهره‌وری آب بر مبنای پایش شاخص‌های بهره‌وری آب

ردیف	شاخص بهره‌وری آب	نتیجه ارزیابی	علت/علل ریشه‌ای کم بودن بهره‌وری	اقدام/اقدامات بهبود متناظر	آغاز اقدام	پایان اقدام	مسئول اجرا	منابع مالی مورد نیاز (میلیون ریال)	منابع انسانی مورد نیاز (نفرماه)	مسئول پایش
۱										
۲										
۳										

- در هر سطح از بهره‌وری، لازم است بر اساس نتایج ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری آب، علل کم بودن بهره‌وری آب شناسایی و راهکار و اقدام متناظر شناسایی شود. روش‌های استاندارد و مرسوم برای تحلیل علت کم بودن بهره‌وری آب، پنل کارشناسی، دیاگرام استخوان ماهی و نمودار پارتو در این مسیر قابل استفاده است. اقدامات و راهکارهای شناسایی شده با پایش بهره‌وری آب، با کمک جدول ارزیابی راهکارهای بهبود بهره‌وری آب (جدول ۴-۱۰) اولویت‌بندی می‌شوند.

جدول ۴-۱۷- توضیحاتی در زمینه شاخص بهره‌وری نسبی و تحلیل مقادیر آن

محدوده شاخص بهره‌وری نسبی	تفسیر کیفی	حالت‌های ممکن	راهکار متناظر- اولویت اقدام بهبود بهره‌وری
RWP < 25 %	بسیار ضعیف	بالا بودن شکاف عملکرد و شکاف آب کاربردی	اولویت اقدام راهکارهای به‌زراعی و افزایش تولید در مزرعه (صورت کسر بهره‌وری) و هم‌زمان بهبود مدیریت آب در مزرعه (مخرج کسر بهره‌وری)
		بالا بودن شکاف عملکرد و کم بودن شکاف آب کاربردی	اولویت اقدام راهکارهای به زراعی و افزایش تولید در مزرعه باشد. توزیع مناسب آب و مدیریت آبیاری بر صورت کسر نیز اثرگذار است.
		کم بودن شکاف عملکرد و بالا بودن شکاف آب کاربردی	اولویت اقدام راهکارهای مدیریت آب در مزرعه باشد. در اولویت بعد برای پرکردن شکاف عملکرد و به زراعی برای بهبود صورت کسر اقدام شود.
25 %<RWP < 50 %	ضعیف	بالا بودن شکاف عملکرد و شکاف آب کاربردی	اولویت اقدام راهکارهای به زراعی و افزایش تولید در مزرعه و هم‌زمان بهبود مدیریت آب در مزرعه باشد
		بالا بودن شکاف عملکرد و کم بودن شکاف آب کاربردی	اولویت اقدام راهکارهای به زراعی و افزایش تولید در مزرعه باشد. توزیع مناسب آب و مدیریت آبیاری بر صورت کسر نیز اثرگذار است.
		کم بودن شکاف عملکرد و بالا بودن شکاف آب کاربردی	اولویت اقدام راهکارهای مدیریت آب در مزرعه باشد
50 %<RWP < 75 %	متوسط	بالا بودن شکاف عملکرد و کم بودن شکاف آب کاربردی	اولویت اقدام راهکارهای به زراعی و افزایش تولید در مزرعه باشد. توزیع مناسب آب و مدیریت آبیاری بر صورت کسر نیز اثرگذار است.
		متوسط بودن شکاف عملکرد و شکاف آب کاربردی	اولویت اقدام راهکارهای به‌زراعی و افزایش تولید در مزرعه و هم‌زمان بهبود مدیریت آب در مزرعه باشد
		کم بودن شکاف عملکرد و بالا بودن شکاف آب کاربردی	اولویت اقدام راهکارهای مدیریت آب در مزرعه باشد
75 %<RWP	خوب	متوسط بودن شکاف عملکرد و کم بودن شکاف آب کاربردی	اولویت اقدام راهکارهای به زراعی و افزایش تولید در مزرعه و هم‌زمان پایدارسازی بهره‌وری و ارتقای کیفیت باشد
		کم بودن شکاف عملکرد و متوسط بودن شکاف آب کاربردی	اولویت اقدام بهبود مدیریت آب در مزرعه و پایدارسازی بهره‌وری باشد
		کم بودن شکاف عملکرد و کم بودن شکاف آب کاربردی	پایدارسازی تولید و بهره‌وری و ارتقای کیفیت مدنظر باشد

شکاف عملکرد: فاصله بین عملکرد فعلی و عملکرد پتانسیل و شکاف آب کاربردی: فاصله بین آب کاربردی فعلی و آب کاربردی مطلوب(نیاز خالص)

- مثال: عملکرد پتانسیل ۱۰ تن در هکتار، آب کاربردی مطلوب ۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار، بهره‌وری آب پتانسیل: ۲/۵ کیلوگرم بر مترمکعب

شماره مزرعه	عملکرد	آب کاربردی	بهره‌وری	بهره‌وری نسبی	شکاف عملکرد	شکاف آب کاربردی	اولویت اقدام
۱	۳	۶۰۰۰	۰/۵	۰/۲۰	۰/۷	۰/۵۰	صورت کسر و مخرج کسر به ترتیب
۲	۴	۴۰۰۰	۱	٪ ۴۰	۰/۶	۰	صورت کسر و بهبود مدیریت آب برای عملکرد بالا
۳	۷/۵	۵۰۰۰	۱/۵	٪ ۶۰	۰/۲۵	۰/۲۵	صورت و مخرج کسر هم‌زمان

منابع

- احسانی، م و خالدی، ه. ۱۳۸۲. بهره‌وری آب در کشاورزی. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی.
- جناب م و نظری ب. ۱۳۹۷.برآورد تفاوت عملکرد و بهره‌وری آب گندم بین وضـعیت موجود و مطلوب در اسـتان قزوین با استفاده از پروتکلGYGA . نشریه پژوهش آب در کشاورزی.
- صراف زاده، م. ح. ۱۳۹۵. دوره آموزشی افزایش بهره‌وری آب. سازمان ملی بهره‌وری ایران
- عبا سی، ف.، نا صری ا، .، سهراب.، ف.، باغانی.، ج.، عبا سی.، ن و اکبری.، م. ۱۳۹۴. ارتقای بهره‌وری م صرف آب. مؤ سسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.
- عباسی، ف. ۱۴۰۲. گزارش برآورد آب مصرفی در بخش کشاورزی. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.
- کشـاورز، ع. دهقانی سـانیچ، ح. ۱۳۹۰. شـاخص‌های بهره‌وری آب و راهکارهای آتیه کشـاورزی کشـور. فصـل‌نامه راهبرد اقتصادی، سال اول، شماره اول، تابستان ۱۳۹۱.
- نظری، ب. لیاقت، ع. ۱۳۹۶. مبانی و شاخص‌های بهره‌وری آب. گزارش کمیسیون کشاورزی اتاق بازرگانی ایران.
- نظری، ب. لیاقت، ع. ۱۴۰۰. بهره‌وری آب؛ مفاهیم و فناوری، مشارکت و برنامه ریزی. انتشارات دانشگاه تهران.
- دهنوی، د. صـادقی، ن. ۱۳۸۵. شـاخصـهای ارزیابی عملکرد شـبکه‌های آبیاری و زهکشـی. اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز. اردیبهشت.
- رامین، ه و امیدی، م. ۱۳۹۵. راهنمای اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل بهره‌وری در بنگاه‌های کوچک و متوسط. سازمان ملی بهره‌وری ایران.
- شیوه‌نامه پایش اجرای برنامه‌های ارتقای بهره‌وری دستگاه‌های اجرایی کشور، ۱۴۰۱. سازمان ملی بهره‌وری ایران.
- راهنمای بهبود و ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی. ۱۴۰۳. پیش‌نویس ضابطه شماره ۵۱۳-الف . طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور.
- نه‌بندانی، ع. سعادتی، م. گودرزی، م. سلطانی، ا. ۱۴۰۰. تأثیر تغییر اقلیم بر امنیت غذایی ایران: پیش‌بینی پتانسیل عملکرد و تولید گیاهان زراعی استراتژیک کشور با استفاده از مدل SSM-iCrop2. به‌زراعی کشاورزی. دوره ۲۳ شماره ۴.
- APO, 2019. International Course on Development of Productivity Specialists/ Practitioners, Asian Productivity Organization (APO)
- Bastiaanssen WGM, Steduto P. The water productivity score (WPS) at global and regional level: Methodology and first results from remote sensing measurements of wheat, rice and maize. Sci Total Environ. 2017 Jan 1;575:595-611. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.032. Epub 2016 Oct 4. PMID: 27712867.
- Batchelor, C., Hoogeveen, J., Faurès, J.M. and Peiser, L., 2016. Water accounting and auditing. A sourcebook. *FAO Water Reports (FAO) eng no. 43*.
- Booker, J. F., & Trees, W. S. 2020. Implications of Water Scarcity for Water Productivity and Farm Labor. Water, 12(1), 308.
- Borghuis, G., Christoforidou, M., Seijger C., Hellegers, P. 2020. Integrated Assessment Framework for Assisting National Policies. WaterPIP project report.
- Cai,X., Molden, D., Mainuddin, M., Sharma, B., Ahmad, M., Karimi, P. 2011. Producing more food with less water in a challenging world: Assessment of water productivity in 10 major river basins. Water International 36:1, 42-62.
- FAO and IHE Delft. 2019. WaPOR quality assessment. Technical report on the data quality of the WaPOR FAO database version 1.0. Rome. 134 pp.
- Hargrove, R., 2002, Masterful Coaching, Pfeiffer, Revised edition (October 21, 2002).
- Kijne, J. W. Barker, R.. Molden, D. 2003. Improving Water Productivity in Agriculture: Editors' Overview in " J.W. Kijne, R. Barker and D. Molden., Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement". CABI.
- Literature. Social Capital Initiative Working Paper No. 9. World Bank: Washington DC.

- Molden, D. 2007. Water For Food, Water For Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture (Earthscan, London).
- Molden, D., Oweis, T.Y., Steduto, P., Kijne, J.W., Hanjra, M.A., Bindraban, P.S., Bouman, B.A.M., Cook, S., Erenstein, O., Farahani, H., Hachum, A., Hoogeveen, J., Mahoo, H., Nangia, V., Peden, D., Sikka, A., Silva, P., Turral, H., Upadhyaya, A., Zwart, S., 2013. Pathways for increasing agricultural water productivity. Water Food Water Life A Compr. Assess. Water Manag. Agric. 279–314. https://doi.org/10.4324/9781849773799
- Nazari, B., Liaghat, A., Akbari, M.R. and Keshavarz, M., 2018. Irrigation water management in Iran: Implications for water use efficiency improvement. *Agricultural water management*, *208*, pp.7-18.
- Perry, C., Steduto, P. and Karajeh, F., 2017. DOES IMPROVED IRRIGATION TECHNOLOGY SAVE WATER?.
- Rockstrom, J., Karlberg, L., Wani, S.P., Barron, J., Hatibu, N., Oweis, T., Bruggeman, A., Farahani, J., Qiang, Z., 2010. Managing water in rainfed agriculture: the need for a paradigm shift. Agricultural Water Management, 97, 543–550.
- Wijnen, M., Augeard, B., Hiller, B., Ward, C. and Huntjens, P., 2012. Managing the invisible: Understanding and improving groundwater governance.
- Zwart, 2010. Benchmarking water productivity in agriculture and the scope for improvement: remote sensing modelling from field to global scale 121. https://doi.org/ISBN: 978-90-6562-237-2

پیوست‌ها و اسناد پشتیبان

پیوست۱- پرسشنامه معیارهای انتخاب شاخص

در مواردی که شـــاخص‌های ویژه و یا جدیدی از بهره‌وری آب برای یک طرح یا منطقه مدنظر برنامه‌ریزان قرار بگیرد، با استفاده از پرسشنامه حاضر میتوان شاخص‌های مذکور را اولویت‌بندی نمود و درجه اهمیت آن‌ها را مشخص ساخت. پرسشنامه حاضر، با هدف مقایسه معیارهای انتخاب شاخص‌های مناسب برای تعیین بهره‌وری آب تدوین شده است. روش تحلیل سلسله مراتبی است.

*در جدول زیر معیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه شده است. نخست باید میزان هر دو معیار را با یکدیگر مقایسه کرد و سپس میزان اهمیت آن را از طیف ۱ تا ۹ علامت زد. امتیاز ۱ نشان دهنده کمترین اهمیت نسبی معیار انتخاب شده و امتیاز ۹ نشان دهنده ارجح بودن کامل معیار انتخاب شده است.

ردیف	معیار الف	معیار ب	اهمیت یکسان	معیار مهم‌تر		کمی مهم‌تر			مهم‌تر و اثرگذارتر			خیلی مهم‌تر		کاملاً مهم‌تر و ارجح
۱	قابلیت سنجش همزمان اثربخشی و کارآیی	برخورداری از بنیاد و پایه علمی	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۲	قابلیت سنجش همزمان اثربخشی و کارآیی	قابلیت کمی کردن و تکرارپذیری	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۳	قابلیت سنجش همزمان اثربخشی و کارآیی	سهولت پایش و اندازه‌گیری	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۴	قابلیت سنجش همزمان اثربخشی و کارآیی	شفاف بودن و عدم امکان تفسیرهای مختلف	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۵	قابلیت سنجش همزمان اثربخشی و کارآیی	روایی و پایایی شاخص	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۶	قابلیت سنجش همزمان اثربخشی و کارآیی	قابلیت لحاظ کردن مفاهیم پایداری در بهره‌برداری از منابع آب	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۷	قابلیت سنجش همزمان اثربخشی و کارآیی	قابلیت لحاظ شرایط آبی و اقلیمی مختلف	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۸	قابلیت سنجش همزمان اثربخشی و کارآیی	جامعیت	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۹	برخورداری از بنیاد و پایه علمی	قابلیت کمی کردن و تکرارپذیری	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱۰	برخورداری از بنیاد و پایه علمی	سهولت پایش و اندازه‌گیری	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱۱	برخورداری از بنیاد و پایه علمی	شفاف بودن و عدم امکان تفسیرهای مختلف	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱۲	برخورداری از بنیاد و پایه علمی	روایی و پایایی شاخص	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹

ردیف	معیار الف	معیار ب	اهمیت یکسان	معیار مهم‌تر		کمی مهم‌تر			مهم‌تر و اثرگذارتر			خیلی مهم‌تر		کاملاً مهم‌تر و ارجح
۱۳	برخورداری از بنیاد و پایه علمی	قابلیت لحاظ کردن مفاهیم پایداری در بهره‌برداری از منابع آب	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱۴	برخورداری از بنیاد و پایه علمی	قابلیت لحاظ شرایط آبی و اقلیمی مختلف	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱۵	برخورداری از بنیاد و پایه علمی	جامعیت	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱۶	قابلیت کمی کردن و تکرارپذیری	سهولت پایش و اندازه‌گیری	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱۷	قابلیت کمی کردن و تکرارپذیری	شفاف بودن و عدم امکان تفسیرهای مختلف	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱۸	قابلیت کمی کردن و تکرارپذیری	روایی و پایایی شاخص	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱۹	قابلیت کمی کردن و تکرارپذیری	قابلیت لحاظ کردن مفاهیم پایداری در بهره‌برداری از منابع آب	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۲۰	قابلیت کمی کردن و تکرارپذیری	قابلیت لحاظ شرایط آبی و اقلیمی مختلف	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۲۱	قابلیت کمی کردن و تکرارپذیری	جامعیت	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۲۲	سهولت پایش و اندازه‌گیری	شفاف بودن و عدم امکان تفسیرهای مختلف	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۲۳	سهولت پایش و اندازه‌گیری	روایی و پایایی شاخص	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۲۴	سهولت پایش و اندازه‌گیری	قابلیت لحاظ کردن مفاهیم پایداری در بهره‌برداری از منابع آب	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۲۵	سهولت پایش و اندازه‌گیری	قابلیت لحاظ شرایط آبی و اقلیمی مختلف	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۲۶	سهولت پایش و اندازه‌گیری	جامعیت	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۲۷	شفاف بودن و عدم امکان تفسیرهای مختلف	روایی و پایایی شاخص	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹

ردیف	معیار الف	معیار ب	اهمیت یکسان	معیار مهم‌تر		کمی مهم‌تر			مهم‌تر و اثرگذارتر			خیلی مهم‌تر		کاملاً مهم‌تر و ارجح
۲۸	شفاف بودن و عدم امکان تفسیرهای مختلف	قابلیت لحاظ کردن مفاهیم پایداری در بهره‌برداری از منابع آب	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۲۹	شفاف بودن و عدم امکان تفسیرهای مختلف	قابلیت لحاظ شرایط آبی و اقلیمی مختلف	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۳۰	شفاف بودن و عدم امکان تفسیرهای مختلف	جامعیت	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۳۱	روایی و پایایی شاخص	قابلیت لحاظ کردن مفاهیم پایداری در بهره‌برداری از منابع آب	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۳۲	روایی و پایایی شاخص	قابلیت لحاظ شرایط آبی و اقلیمی مختلف	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۳۳	روایی و پایایی شاخص	جامعیت	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۳۴	قابلیت لحاظ کردن مفاهیم پایداری در بهره‌برداری از منابع آب	قابلیت لحاظ شرایط آبی و اقلیمی مختلف	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۳۵	قابلیت لحاظ کردن مفاهیم پایداری در بهره‌برداری از منابع آب	جامعیت	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۳۶	قابلیت لحاظ شرایط آبی و اقلیمی مختلف	جامعیت	۱	الف	ب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹

پیوست۲: شناسنامه شاخص ها

بهره‌وری تعرق — Transpiration Water Productivity

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

WP_T = بهره‌وری تعرق بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب؛ Y= وزن خشک اندام هوایی گیاه (یا مقدار محصول قابل عرضه به بازار) بر حسب کیلوگرم در هکتار؛ T = مقدار تعرق در طول فصل زراعی بر حسب مترمکعب در هکتار

کاربرد و تفسیر شاخص و دامنه تغی‌یرات: این شاخص زمانی کاربرد دارد که هدف مقایسه ارقام مختلف گیاهی باشد. از این شاخص برای تحقیقاتی که بر روی ارقام گیاهی در را ستای ا صلاح نباتات برای مقامت بیشتر به کم‌آبی و تولید بیشتر به ازای واحد تعرق صورت می‌گیرد، مناسب است.

نقاط قوت: این شاخص جهت مقایسه ارقام مختلف گیاهی مناسب می‌باشد. **نقاط ضعف:** محاسبه و تفکیک مقدار تعرق از مقدار تبخیر و تعرق دشوار است. استفاده از این شاخص در امور تحقیقاتی بیش از امور کاربردی رواج دارد.

قابلیت محاسبه و پایش: محاسبه آن ساده نیست چون تفکیک تعرق از تبخیر-تعرق مشکل می‌باشد.

بهره‌وری تبخیر و تعرق — Evaporatranspiration Productivity

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

WP_{ET} = بهره‌وری تبخیر و تعرق بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب؛ Y= وزن خشک اندام هوایی گیاه (یا مقدار محصول قابل عرضه به بازار) بر حسب کیلوگرم در هر هکتار؛ ET = تبخیر و تعرق طی بر حسب مترمکعب در هر هکتار طی فصل زراعی

کاربرد و تفسیر شاخص و دامنه تغییرات: با این شاخص می‌توان، اثر حذف تبخیر ناخواسته در سیستم‌های آبیاری بر بهره‌وری را مورد ارزیابی قرار داد. با توجه به مشکل بودن جداسازی تعرق از تبخیر، به جای WP_T از WP_{ET} استفاده می‌گردد.

نقاط قوت: نسبت به بهره‌وری تعرق، برآورد و اندازه گیری آن آسان تر است. **نقاط ضعف:** شاخص نسبتاً تخمینی است. جهت اندازه‌گیری دقیق آن باید از لایسیمتر استفاده شود که روش پرهزینه‌ای محسوب می‌شود و امکان آن در همه جا میسر نیست.

قابلیت محاسبه و پایش: قابلیت پایش دارد. به ویژه با داده‌های سنجش از دور و تدقیق این داده ها با اطلاعات میدانی

بهره‌وری آب آبیاری و بارش — Irrigation and Precipitation Water Productivity

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

WP_{I+P}= بهره‌وری آب آبیاری و بارش بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب

Y= وزن خشک اندام هوایی گیاه (یا مقدار محصول قابل عرضه به بازار) بر حسب کیلوگرم بر هکتار

I = مقدار آبیاری در طول فصل زراعی بر حسب مترمکعب بر هکتار

P = بارندگی در طول فصل زراعی بر حسب مترمکعب بر هکتار

کاربرد و تفسیر شاخص و دامنه تغییرات: شاخص بهره‌وری آب آبیاری و بارش، در ارزیابی راهکارهایی همچون آبیاری تکمیلی و تعیین الگوی کشت متناسب با الگوی بارش منطقه جهت استفاده از بارش مؤثر، اهمیت می‌یابد. 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. این شاخص متناظر با شاخص قدیمی‌تر CPD است. زمانی‌که هدف مطالعه، بررسی میزان تولید به‌ازای مقدار آب مصرفی باشد این شاخص قابل استفاده است.

نقاط قوت: در تعیین الگوی کشت با توجه به اقلیم و الگوی بارش مناطق می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

نقاط ضعف: 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. به دلیل آنکه ارزش مقدار محصول گیاهان مختلف هم به لحاظ ارزش ریالی و هم به لحاظ جایگاه در امنیت غذایی و نیاز آبی آنها متفاوت می‌باشد از این شاخص برای مقایسه بهره‌وری آب گیاهان مختلف نمی‌توان استفاده کرد. تولید محصول به جز آبیاری، به عوامل دیگری از جمله اقلیم، نوع خاک، مصرف نهاده‌های کشاورزی و ... بستگی دارد، لذا صرفا با این شاخص بهره‌وری نمی توان قضاوت کاملی ا ز موفقیت یا عدم موفقیت یک طرح یا فناوری ارائه کرد. تغییر الگوی کشت طی سالیان مختلف نیز می‌تواند در تحلیل این شاخص ابهاماتی ایجاد کند.

قابلیت محاسبه و پایش: قابلیت محاسبه و پایش دارد.

بهره‌وری آب آبیاری- بهره وری آب کاربردی — Irrigation Water Productivity

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

WP_I= بهره‌وری آب آبیاری بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب

I = مقدار آبیاری در طول فصل زراعی بر حسب مترمکعب در هکتار

Y= وزن خشک اندام هوایی گیاه (یا مقدار محصول قابل عرضه به بازار) بر حسب کیلوگرم در هکتار

کاربرد و تفسیر شاخص و دامنه تغییرات: این شاخص در ارزیابی راهکارهایی که بر ارتقای سیستم آبیاری تمرکز دارند، اهمیت دارد. در شرایطی که میزان بارش اندک باشد، و یا هدف از مطالعه میزان اثر فرآیند آبیاری بر بهره‌وری آب باشد، از این شاخص استفاده می‌شود.

نقاط قوت: این شاخص می‌تواند اثر راندمان آبیاری و تغییر و بهبود سیستم‌های آبیاری بر روی بهره‌وری آب را لحاظ کند. **نقاط ضعف:** هرچه تنوع محصولات بیش‌تر شود مقدار خطای تحلیل‌ها با این شاخص بیش‌تر خواهد شد که این مسئله بستگی به الگوی کشت، و تنوع گونه‌های گیاهی دارد.

بهره‌وری بارش – بهره‌وری آب سبز — Precipitation Productivity

$$WP_P = \frac{Y(kgha^{-1})}{[P](m^3ha^{-1})}$$

WP_P= بهره‌وری بارش بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب؛ Y= وزن خشک اندام هوایی گیاه (یا مقدار محصول قابل عرضه به بازار) بر حسب کیلوگرم بر هکتار؛ P = بارندگی در طول فصل زراعی بر حسب مترمکعب بر هکتار.

کاربرد و تفسیر شاخص و دامنه تغییرات: شاخص بهره‌وری بارش، در کشت دیم و در تعیین الگوی کشت متناسب با الگوی بارش منطقه جهت استفاده از بارش مؤثر، اهمیت می‌یابد.

نقاط قوت: در تعیین الگوی کشت دیم و ارزیابی ارتقای بهره‌وری آب سبز شاخص مناسبی است.

نقاط ضعف: ایرادات مربوط به سایر شاخص‌های بهره‌وری آب فیزیکی را داراست.

قابلیت محاسبه و پایش: قابلیت محاسبه و پایش دارد.

نکته: در صورتی که مخرج کسر به صورت میلیمتر بارندگی ذکر شود، واحد بهره‌وری به صورت کیلوگرم بر میلیمتر بارندگی خواهد بود. در این صورت اعداد به دست آمده برای بهره‌وری آب محدوده متفاوتی خواهد داشت. یک کیلوگرم بر مترمکعب بارش معادل ۱۰ کیلوگرم بر میلیمتر بارندگی است.

شاخص بهره‌وری سایه‌ای — Marginal Productivity Index

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

MPI =بهره‌وری سایه‌ای بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب (در حالت فیزیکی) یا بر حسب ریال بر مترمکعب (در حالت اقتصادی)؛ ΔY =تغییر در محصول بر حسب کیلوگرم در هکتار یا بر حسب ریال در هکتار؛ ΔW =تغییر در آب مصرفی برحسب مترمکعب در هکتار

کاربرد و تفسیر شاخص و دامنه تغییرات: با توجه به اهمیت بررسی تغییرات محصول 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 را 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.

نقاط قوت: در برنامه ریزی استفاده و تخصیص بهینه آب در شرایط کمبود آب که نیاز به تصمیم‌گیری در تخصیص آب بین محصولات مختلف و تعیین حد بهینه کم آبیاری دارد، شاخص مناسبی است.

نقاط ضعف: این شاخص قابل اندازه‌گیری و پایش است، اما تنها میزان کارآیی را ارائه می‌دهد.

بهره‌وری اقتصادی ناخالص — Benefit Per Drop

$$\text{BPD} = \frac{Y(Rialkg^{-1} \times kgha^{-1})}{[I+P](m^3ha^{-1})}$$

Y= سود در هر هکتار؛ I = مقدار آبیاری در طول فصل زراعی در هکتار؛ P = بارندگی در طول فصل زراعی در هکتار

کاربرد و تفسیر شاخص و دامنه تغییرات: این شاخص می‌تواند منفی و یا مثبت باشد. منفی بودن این شاخص به معنای زیان در کشت محصول است اما مثبت بودن آن به تنهایی نمی تواند سودآور بودن کشت را نشان دهد و لازم است شاخص سود خالص نیز بررسی شود.

نقاط قوت: دقت شاخص بیش‌تر از CPD است و می‌توان از آن برای مقایسه بهره‌وری گیاهان مختلف استفاده نمود.

نقاط ضعف: با توجه به اینکه در این روش میزان هزینه مصرف شده را در نظر نمی‌گیرد برای مقایسه گیاهانی که هزینه تولید یکسان ندارند، دقت مناسبی ندارد و اثربخشی را آن‌طور که باید ارائه نمی‌دهد.

قابلیت محاسبه و پایش: دارد

بهره‌وری اقتصادی خالص (سود خالص به ازای واحد حجم آب) Net Benefit Per Drop

$$NBPD = \frac{Y(Rialkg^{-1} \times kgha^{-1})}{[I+P](m^3ha^{-1})}$$

NBPD = سود خالص به ازای هر مترمکعب آب مصرفی؛ Y= سود خالص در هر هکتار

I = مقدار آبیاری در طول فصل زراعی در هکتار؛ P = بارندگی در طول فصل زراعی در هکتار

کاربرد و تفسیر شاخص و دامنه تغییرات: 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. مدیریت کیفیت محصول و مدیریت بازاریابی محصولات کشاورزی بر روی این شاخص اثرگذار خواهد بود

نقاط قوت: از جامعیت نسبی برخوردار است. هم‌چنین اثربخشی اقتصادی را نشان می‌دهد. از دقت بالاتری نسبت به شاخص‌های دیگر برخوردار می‌باشد و در مطالعات و مقایسات در مقیاس شبکه و حوضه کارآمدتر است..

نقاط ضعف: به دلیل نیاز به اطلاعات اقتصادی محاسبه این شاخص قدری مشکل می‌باشد. به ویژه به دلیل نوسان قیمت محصول کشاورزی در بازار (حتی در طی یک فصل زراعی و در یک منطقه جغرافیایی) و همچنین تورم، اعداد به دست آمده در مناطق مختلف و زمانهای مختلف قابل مقایسه و قضاوت دقیق و آسان نیستند.

شاخص درآمد سرانه از آب

$$\text{درآمد سرانه از آب} = \frac{\text{درآمد حاصل از مصرف آب}}{\text{جمعیت ذی‌نفع}}$$

درآمد سرانه از آب = ریال برای هر نفر؛ درآمد حاصل از مصرف آب = ریال؛ جمعیت ذی‌نفع= نفر

کاربرد و تفسیر شاخص و دامنه تغییرات: با توجه به اهمیت بحث اقتصادی برای مردم و دولت‌ها، این شاخص مطرح 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. **قابلیت محاسبه و پایش:** دارد

بازده در واحد حجم آب تأمین شده

$$\text{بازده در واحد حجم آب تأمین شده} = \frac{\text{درآمد حاصل از تولید محصول}}{\text{حجم آب ورودی به کانال آبیاری}}$$

بازده در واحد حجم آب تأمین‌شده = ریال در مترمکعب؛ تولید محصول = بر حسب ریال

بازده در واحد حجم آب مصرف شده

$$\text{بازده در واحد حجم آب مصرفی} = \frac{\text{درآمدحاصل از تولید محصول}}{\text{حجم آب مصرفی به‌وسیله تبخیرتعرق}}$$

بازده در واحد حجم آب مصرفی = ریال در مترمکعب؛ تولید محصول = بر حسب ریال؛ حجم آب مورد نیاز برحسب تبخیرتعرق = مترمکعب

ارزش ناخالص استاندارد شده تولید — Standard Gross Value of Product

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

SGVP = ارزش ناخالص استانداردشده تولید بر حسب دلار

A= مساحت زیر کشت هر محصول بر حسب هکتار

Y= عملکرد هر محصول بر حسب کیلوگرم در هکتار

LP= قیمت محلی هر محصول (دلار، ریال)

BP = قیمت محلی محصول پایه (دلار، ریال) (کشت غالب منطقه که بازار بین‌المللی دارد)

WMP = قیمت محصول در بازارهای جهانی بر حسب دلار به‌ازای هر کیلوگرم

کاربرد و تفسیر شاخص و دامنه تغییرات: مناسب برای شرایطی که تعداد مختلفی از محصولات و با قیمت‌های محلی متفاوت مد نظر باشد، در این شاخص 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. این شاخص در مطالعات تجارت آب مجازی می‌تواند مدنظر قرار گیرد.

نقاط قوت: 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. هم‌چنین این امکان را فراهم می‌آورد تا بتوان عملکرد سیستم‌های مختلف را بدون توجه به مکان و نوع گیاه کشت شده مقایسه نمود.

نقاط ضعف:

قابلیت محاسبه و پایش: دارد

شاخص‌های دیگری که از شاخص فوق قابل استخراج و تحلیل هستند شامل:

ارزش محصول در واحد آب تحویلی — Output per unit irrigated supply

$$OUIS = \frac{SGVP}{W}$$

OUIS = ارزش محصول در واحد آب تحویلی بر حسب دلار در مترمکعب؛ W= میزان آب تحویلی بر حسب مترمکعب

ارزش محصول در واحد آب مصرفی — Output per unit water consumed

$$OUWC = \frac{SGVP}{CWR}$$

OUWC = ارزش محصول در واحد آب مصرفی بر حسب دلار CWR = نیاز آبی خالص گیاه یا به عبارت دیگر آب مصرفی گیاه از طریق تبخیر- تعرق بر حسب مترمکعب

شاخص میزان اشتغال به ازای مترمکعب آب — Job Per Drop

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

JPD = برحسب نفر بر میلیون مترمکعب آب

JOP = تعداد اشتغال ایجاد شده بر حسب نفر

V_W = حجم آب مصرف شده بر حسب میلیون مترمکعب

کاربرد و تفسیر شاخص و دامنه تغییرات: 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.

نقاط قوت: ابعاد اجتماعی آب را تاحدی پوشش می‌دهد.

نقاط ضعف: به دلیل مطلوبیت کاهش هزینه نیروی کاری از یک سو و ایجاد اشتغال پایدار از سوی دیگر، تفسیر این شاخص نیاز به توجه به تمامی ابعاد اهداف مدنظر سیاست‌گذار دارد.

شاخص بهره‌وری پروتئینی آب

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

WP_{PR} = شاخص بهره‌وری پروتئینی آب بر حسب گرم بر مترمکعب

Pr =گرم پروتئین محصول تولیدی در هکتار

I = حجم آب مصرفی برحسب مترمکعب بر هکتار

کاربرد و تفسیر شاخص و دامنه تغییرات: با توجه به اهمیت تأمین پروتئین برای رشد، شاخص نسبت گرم پروتئین محصول تولیدی به حجم آب مصرفی تعریف می‌گردد.

نقاط قوت: فراهم کردن امکان مقایسه بهره‌وری غذایی محصولات مختلف کشاورزی و دامی

نقاط ضعف: اندازه گیری دشوار و توجه به یک بعد غذایی

شاخص بهره‌وری کالری آب

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

WP_{CAL} = شاخص بهره‌وری کالری آب بر حسب کالری بر متر مکعب

Cal = میزان کالری محصول بر حسب کالری در هکتار

I = حجم آب مصرفی بر حسب مترمکعب بر هکتار

نقاط قوت: امکان مقایسه بهره‌وری غذایی آب محصولات مختلف کشاورزی و دامی را فراهم می‌کند. هم‌چنین این شاخص به کیفیت محصول تولیدی به ازای آب مصرفی می‌پردازد.

نقاط ضعف: مقایسه کالری محصولات غذایی مختلف با توجه به نیازهای غذایی متنوع بشر ممکن است چندان کاربردی نباشد.

قابلیت محاسبه و پایش: دارد

شاخص بهره‌وری نسبی — Reative Water Productivity

$$RWP = \frac{WP_{act}}{WP_{pot}}$$

RWP = بهره‌وری آب نسبی؛ WP_{act} = بهره‌وری آب واقعی ؛ WP_{pot} = بهره‌وری آب پتانسیل

کاربرد و تفسیر شاخص و دامنه تغییرات: 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. اگر صورت و مخرج شاخص بهره‌وری آب نسبی به صورت اقتصادی تعریف شود، بهره‌وری آب اقتصادی نسبی دست خواهد آمد.

نقاط قوت: بی بعد بودن و تفسیر آسان و یکسان برای محصولات مختلف و مناطق متفاوت.

نقاط ضعف: ضعف خاصی ندارد. با توجه به نوع شاخص در صورت و مخرج می‌تواند به صورت بهره‌وری نسبی اقتصادی و یا بهره‌وری نسبی فیزیکی مطرح شود.

قابلیت محاسبه و پایش: دارد

پیوست۳: فرم گزارش برنامه‌های بهبود بهره‌وری

شیوه‌نامه گزارش برنامه‌های ارتقای بهره‌وری آب (سند بهره‌وری آب کشاورزی: تفاهم‌نامه سه جانبه وزارت نیرو، وزارت جهاد کشاورزی و اتاق بازرگانی صنایع معادن و کشاورزی)	**مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب** **کارگروه بهره‌وری آب** **فرم تجمیع گزارشات کمیته بهره‌وری آب استانی/ملی**

گزارش برنامه‌های ارتقای بهره‌وری آب (استان:)

تعداد اقدامات:	**تعداد اقدامات تایید شده:**	**میانگین درصد تحقق اقدامات:**

ردیف	**عنوان اقدام**	**دستگاه مجری**	**عنوان نماگر**	**هدف**	**عملکرد**	**درصد تحقق**	**تایید/ عدم تایید اقدامات***

*در صورتی که تایید نشدن برنامه‌ایی به دلیل عدم امکان محاسبه شاخص‌های کلیدی عملکرد در بازه‌های سه ماهه بوده، عبارت «عدم امکان محاسبه» در این ستون ذکر شود.

گزارش تحلیلی نحوه اثرگذاری برنامه‌های فوق الذکر بر بهره‌وری آب

در این قسمت دستگاه ملی، با توجه به هدف‌گذاری مندرج در سند بهره‌وری آب، با ارائه مستندات لازم بیان می‌کند که مجموعه برنامه‌های اجرا شده توسط حوزه‌های ستادی و عملیاتی، تا چه حدی توانسته هدف فوق‌الذکر را محقق نمایند.

تجارب موفق قابل پیاده‌سازی در سایر مناطق/واحدهای تولیدی/سازمان‌ها

عنوان برنامه:

تجربه موفق:

دستگاه‌های پیشنهادی جهت انتقال تجارب:

عنوان برنامه:

تجربه موفق:

دستگاه‌های پیشنهادی جهت انتقال تجارب:

شیوه‌نامه گزارش برنامه‌های ارتقای بهره‌وری آب (سند بهره‌وری آب کشاورزی: تفاهم‌نامه سه جانبه وزارت نیرو، وزارت جهاد کشاورزی و اتاق بازرگانی صنایع معادن و کشاورزی)	مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب کارگروه بهره‌وری آب فرم تجمیع گزارشات کمیته بهره‌وری آب استانی/ملی
تشریح ساز و کار در نظر گرفته شده جهت انتشار تجارب موفق (مجلات علمی، رسانه‌ها، نشست تخصصی و ...) و تثبیت اقدامات موفق از سوی سازمان/واحد تولیدی مربوطه	
تشریح نظام تسهیم دستاوردهای بهبود در دستگاه	
آسیب‌شناسی علل عدم تحقق کامل برنامه‌های تایید نشده	

تایید گزارش:	نام و سمت رییس کمیته بهره‌وری آب:	تاریخ و امضا (مهر کمیته بهره‌وری آب):

پیوست ۴: فرم پایش برنامه‌های بهبود بهره‌وری آب

شیوه‌نامه پایش برنامه‌های ارتقای بهره‌وری آب (سند بهره‌وری آب کشاورزی: تفاهم نامه سه جانبه وزارت نیرو، وزارت جهاد کشاورزی و اتاق بازرگانی صنایع معادن و کشاورزی)		مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب کارگروه بهره‌وری آب فرم اقدامات و پروژه ها	
شناسنامه اقدام اساسی			
عنوان مساله ریشه‌ای منجر به تعریف اقدام			
عنوان اقدام اساسی			
تاریخ شروع اقدام		تاریخ پایان اقدام	
بازه زمانی گزارش‌دهی	سه ماهه اول ☐	سه ماهه دوم ☐	سه ماهه سوم ☐ سه ماهه چهارم ☐
مجری اقدام			
بخش اقتصادی		دستگاه متولی بخش	
دستگاه ملی مربوطه		دستگاه مجری	
سطح اقدام		دستگاه‌های همکار	
اهداف کمی			
نماگر عملکرد		منبع آماری محاسبه نماگر	
وضعیت نماگر پیش از آغاز		وضعیت کنونی نماگر	
هدف نماگر در پایان برنامه		میزان تحقق هدف برنامه	
هدف سه ماهه نماگر		میزان تحقق هدف سه‌ماهه	
پیشرفت عملیاتی اقدام			
درصد پیشرفت عملیاتی		درصد هزینه کرد بودجه	
هزینه کرد بودجه (میلیون ریال)			
منابع مالی کل برنامه			
منابع مالی هزینه شده تا زمان گزارش			
منابع تامین شده از محل بودجه بهره‌وری (٪۳ بودجه هزینه‌ای به جز فصول ۱ و ۶)			
منابع تامین شده از محل سایر اعتبارات			
زیر پروژه‌ها			
تعداد زیرپروژه‌های تعریف شده			
عناوین زیرپروژه‌ها به ترتیب زمان عملیاتی شدن	۱- ۲-		

شیوه‌نامه پایش برنامه‌های ارتقای بهره‌وری آب (سند بهره‌وری آب کشاورزی: تفاهم نامه سه جانبه وزارت نیرو، وزارت جهاد کشاورزی و اتاق بازرگانی صنایع معادن و کشاورزی)			مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب کارگروه بهره‌وری آب فرم اقدامات و پروژه ها
	۳- ...		
شناسنامه زیرپروژه ۱			
عنوان زیرپروژه			
تاریخ شروع		تاریخ پایان	
مجری زیرپروژه		درصد پیشرفت عملیاتی	
وزن مالی از کل		وزن عملیاتی از کل	
عنوان خروجی ملموس (اهم دستاوردها)	۱- ۲- ۳- ...		
موارد برنامه‌ریزی شده	۱- ۲- ۳- ...		
موارد عملیاتی شده	۱- ۲- ۳- ...		
آیا انحراف از برنامه وجود دارد؟	بلی ☐	خیر ☐	
میزان انحراف عملیاتی		میزان انحراف مالی	
مهمترین عوامل ایجاد انحراف از برنامه	۱- ۲- ۳- ...		

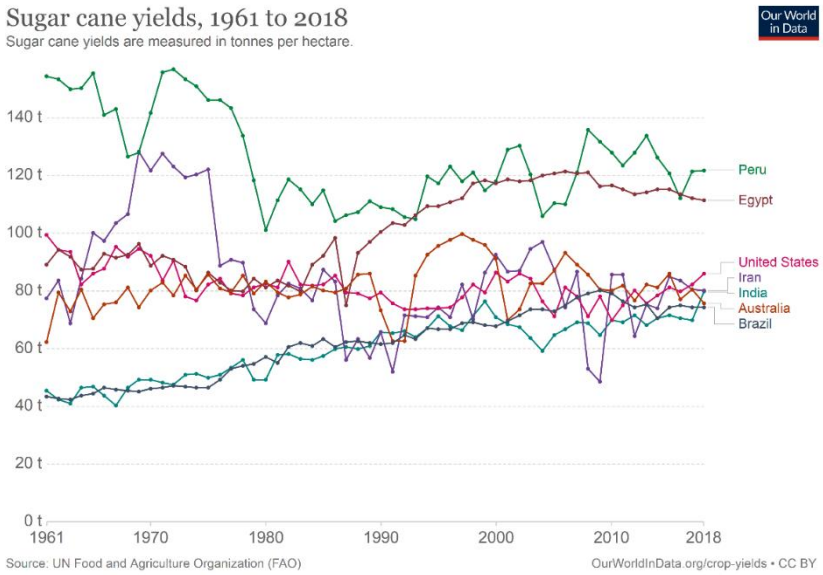
شیوه‌نامه پایش برنامه‌های ارتقای بهره‌وری آب (سند بهره‌وری آب کشاورزی: تفاهم نامه سه جانبه وزارت نیرو، وزارت جهاد کشاورزی و اتاق بازرگانی صنایع معادن و کشاورزی)	مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب کارگروه بهره‌وری آب فرم اقدامات و پروژه ها

مهمترین موانع و چالش‌ها و راهکار پیشنهادی	۱- چالش: راهکار: ۲- چالش: راهکار:
دستگاه(های) همکار	
نام دستگاه	سهم دستگاه همکار
اقدامات دستگاه همکار	۱- ۲- ۳- ...
چالش‌ها و موانع همکاری	۱- ۲- ۳- ...
سایر مستندات	

- به تعداد زیرپروژه‌ها شناسنامه ایجاد شود
- تکمیل گزارش هر اقدام، به عهده مجری آن اقدام است.

پیوست۵: نمونه محاسبات بهره‌وری آب محصول نیشکر

سطح زیر کشت نیشکر در ایران ۹۶ هزار هکتار گزارش شده است (آمارنامه کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی، جلد اول. ۱۴۰۱-۱۴۰۰). عملکرد نیشـــکر در پرو بالای ۱۲۰ تن در هکتار و در مصـــر افزون بر ۱۱۰ تن در هکتار، عملکرد آن در ایران پایین‌تر از این دو کشور و ایالات متحده امریکا و بالاتر از هند، استرالیا و برزیل است (شکل پ۱). روند افزایش عملکرد نیشکر در ایران افزایشی است اما خلاء عملکرد نسبت به کشورهای پیشرو، چشمگیر است.



شکل پ-۱- روند زمانی تغییرات عملکرد نیشکر در برخی کشورها و ایران

جدول پ-۱- نمونه کاربرگ تکمیل شده شاخص‌های برنامه‌ریزی ارتقای بهره‌وری فیزیکی آب - محصول نیشکر

سناریو	وضعیت موجود			وضعیت مطلوب (هدف برنامه بهبود بهره‌وری آب) *			شکاف برنامه (فاصله وضع موجود تا هدف برنامه)			بهره‌وری آب نسبی(٪)
	آب کاربردی (m^3/ha)	عملکرد Kg /ha	بهره‌وری فیزیکی آب (Kg/m^3)	آب کاربردی (m^3/ha)	عملکرد Kg /ha	بهرروری فیزیکی آب (Kg/m^3)	شکاف آب کاربردی (٪)	شکاف عملکرد(٪)	شکاف بهره‌وری فیزیکی آب (٪)	
۱	۳۲۵۰۰	۶۳۰۰۰	۱/۹۴	۲۰۵۰۰	۸۷۰۰۰	۴/۲۴	٪۳۷	٪ ۲۸	٪ ۵۴	٪ ۴۶
۲	۳۲۵۰۰	۶۳۰۰۰	۱/۹۴	۲۰۵۰۰	۱۰۰۰۰۰	۴/۸۸	٪ ۳۷	٪ ۳۷	٪۶۰	٪ ۴۰

- سناریو اول: اطلاعات عملکرد و آب مصرفی و اهداف بهره‌وری طبق پیوست سند بهره‌وری آب کشاورزی که بازه ۱۴۰۰ (موجود) و ۱۴۰۵ (هدف) بوده اســت. اطلاعات آب کاربردی فعلی از گزارش عباســی (۱۴۰۲) و اطلاعات عملکرد از آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی (جلد اول سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱) استخراج شده است.
- سناریو دوم؛ عملکرد پتانسیل نیشکر طبق مطالعه نه‌بندانی و همکاران (۱۴۰۰)، برابر با ۱۲۶ تن در هکتار در نظر گرفته شده است و ۸۰ درصد آن به عنوان هدف در نظر گرفته شده است.
- شایان ذکر ا ست که عملکرد نیشکر در سالهای مختلف متاثر از تنش‌های اقلیمی و زراعی متفاوت ا ست و بهره‌وری آب نیشکر در گزارش‌های دیگر بیش از اعداد ذکر شده در مثال حاضر نیز برآورد شده است.

پیوست۶: مثال از ابهامات شاخص‌های بهره‌وری آب و لزوم تحلیل و محاسبه همزمان چند شاخص

۱-ابهام در تحلیل شاخص بهره‌وری فیزیکی با تغییر ترکیب کشت

فرض کنید در یک کشت و صنعت دو محصول گندم و ذرت کشت شده باشد. اطلاعات در جدول ارائه شده است.

جدول پ-۲- محاسبات بهره‌وری با شاخص بهره‌وری فیزیکی (سناریوی وضع موجود)

محصول	مساحت کشت(ha)	آب کاربردی (m3/ha)	عملکرد محصول (kg/ha)	بهره‌وری آب(kg/m3)
گندم	۱۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۱
ذرت علوفه‌ای	۱۰۰۰	۱۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۴
کل محدوده	۲۰۰۰	۷۵۰۰	۲۲۵۰۰	۳

بهره‌وری آب در این کشت و صنعت، به روش مرسوم که به‌صورت میانگین وزنی بهره‌وری است ، برابر با ۳ کیلوگرم بر مترمکعب خواهد شد که محاسبات آن در جدول فوق آمده است. حال اگر مدیر کشت و صنعت در سال بعد مساحت کشت محصول ذرت را ۵۰ درصد افزایش دهد و هیچ تغییری در مدیریت مصرف آب یا تولید محصول نداشته باشد، شرایط به‌صورت زیر خواهد شد.

جدول پ-۳- محاسبات بهره‌وری در سناریوی تغییر ترکیب کشت با شاخص بهره‌وری فیزیکی(بدون اصلاح آبیاری و یا بهبود تولید)

محصول	مساحتکشت(ha)	آب کاربردی (m3/ha	عملکرد محصول(kg/ha)	بهره‌وری آب(kg/m3)	رشد بهره‌وری (٪)
گندم	۵۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۱	۰
ذرت علوفه‌ای	۱۵۰۰	۱۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۴	۰
کل محدوده	۲۰۰۰	۸۷۵۰	۳۱۲۵۰	۳/۶	۰/۲

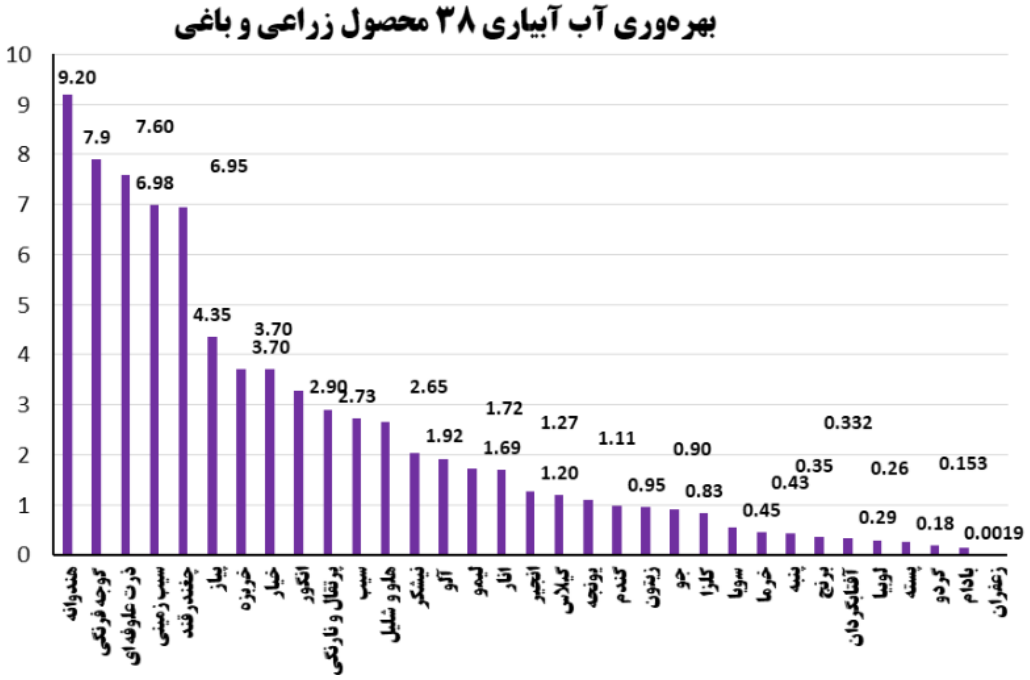
ملاحظه می‌شود که در این حالت بهره‌وری آب کل در کشت و صنعت از ۳ کیلوگرم بر مترمکعب به ۳/۶ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش یافته است (۲۰ درصد افزایش بهره‌وری). حال آنکه هیچ بهبودی در عملکرد هر محصول یا مصرف آب در هر هکتار از کشت محصولات اتفاق نیفتاده است. اینکه آیا این افزایش بهره‌وری و افزایش تناژ تولید، برای مدیر زیرواحد مطلوب است یا خیر، به هدف مدیر، ارزش غذایی محصولات، قیمت محصولات، مسائل اقتصادی و... بستگی خواهد داشت که در اینجا قضاوتی در مورد آن صورت نمی‌گیرد. بدیهی است که یک کیلوگرم ذرت با گندم و یا زعفران و پسته با سایر محصولات تفاوت بسیار زیاد دارد و نقطه ضعف همیشگی بهره‌وری فیزیکی که عدم لحاظ تفاوت ارزش محصولات مختلف است را نیز خاطر نشان می‌سازد.

این مثال و مثال‌های مشابهی که در سطح هر مزرعه، دشت یا حوضه می‌توان مطرح کرد نشان می‌دهد:

- ✓ **محاسبهٔ بهره‌وری کل در یک محدوده به تنهایی نمی‌تواند معیار خوبی از میزان پیشرفت در مدیریت مصرف آب و یا تولید محصول باشد. لازم است در بررسی میزان تحقق ارتقای بهره‌وری آب، علاوه بر تحلیل تغییرات بهره‌وری کل، رشد بهره‌وری تک تک محصولات نیز ارزیابی شود. بر همین اساس لازم است تا علاوه بر برنامه کلی برای بهبود بهره‌وری آب، برنامه‌ریزی محصولی نیز در ارتقای بهره‌وری آب مدنظر قرار گیرد.**

۲- ابهام شاخص بهره‌وری فیزیکی آب برای پیاده سازی اسناد بالادستی و برنامه‌های توسعه

یکی از شاخص‌های اصلی سند ملی امنیت غذایی و نقشه راه آب کشور و برنامه هفتم توسعه، شاخص بهره‌وری فیزیکی آب است. طبق سند ملی و راهبردی امنیت غذایی (شورای عالی انقلاب فرهنگی، ۱۴۰۰)، بهره‌وری آب کشاورزی در بازه ۱۳۹۸ تا ۱۴۱۰ باید از ۱/۳۹ کیلوگرم بر مترمکعب به ۲/۶۳ بر سد. شکل زیر بهره‌وری آب آبیاری محصولات عمده کشور را نشان می‌دهد. مشابه مثال زده شده در صفحه قبل در خصوص ابهام در تحلیل شاخص بهره‌وری فیزیکی با تغییر ترکیب کشت، اگر در بازه زمانی ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۲، درصدی از کشت محصولات با بهره‌وری آب فیزیکی کم (نظیر زعفران، بادام، گردو، پسته) کاهش و درصد کشت محصولات با بهره‌وری فیزیکی بالا (نظیر هندوانه، گوجه فرنگی، ذرت و سیب زمینی) افزایش یابد، بهره‌وری فیزیکی آب کشاورزی افزایش خواهد یافت اما این به معنای استفاده بهتر از آب و یا تولید بهتر به ازای واحد آب مصرفی و درآمد و رفاه بالاتر (مفهوم واقعی بهره‌وری آب) نخواهد بود.



شکل پ -۲- بهره‌وری آب آبیاری محصولات عمده کشور(گزارش برآورد آب مصرفی در بخش کشاورزی، عباسی، ۱۴۰۲)

- ✓ **برای مواجهه با این ابهام در سند حاضر، رشد سالانه بهره‌وری آب فیزیکی و اقتصادی بر اساس اهداف سند تفاهم نامه سه جانبه بهره‌وری ارائه شده است (جدول ۴-۴).** پایش نرخ سالانه بهره‌وری با تغییر نوع محصول و الگوی کشت ابهام و خطای راهبردی نخواهد داشت. البته، رشد بهره‌وری در برخی از محصولات دست یافتنی‌تر و با هزینه کمتر شدنی است که این مهم خود نشان از اولویت بهبود بهره‌وری آب در آن محصولات دارد.
- ✓ **در جدول ۴-۱۴ فرم تطابق راهکارها و راهبردها با اسناد بالادستی و از جمله الگوی کشت ارائه شده است، که می‌تواند ارزیابی روشنی از اثرات اقدامات بهبود بهره‌وری آب ضمن پایبندی و یا انحراف از سند الگوی کشت را ارائه دهد.**

۳- ابهام در مقایسه شاخص بهره‌وری فیزیکی آب در دو محدوده و لزوم تحلیل بهره‌وری نسبی آب

فرض کنید در دشت A و دشت B محصول گندم کشت شده باشد. اطلاعات در جدول ارائه شده است.

جدول پ-۴- محاسبات بهره‌وری آب گندم با شاخص بهره‌وری فیزیکی

محصول	آب کاربردی (m^3/ha)	عملکرد محصول (kg/ha)	بهره‌وری آب(kg/m^3)
دشت A	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۱
دشت B	۶۰۰۰	۴۰۰۰	۰/۶۷

اگر بهره‌وری آب گندم در این دو دشت، مقایسه شود، تحلیلی که به ذهن می‌رسد، بهره‌وری آب بالاتر در دشت A و بالاتر بودن فرصت بهبود بهره‌وری آب در دشت B است. با این حال اگر اطلاعات بهره‌وری پتانسیل و بهره‌وری نسبی اضافه شود، جدول زیر را خواهیم داشت:

جدول پ-۵- محاسبات بهره‌وری آب گندم با شاخص بهره‌وری فیزیکی و شاخص بهره‌وری نسبی

محصول	آب کاربردی (m^3/ha)	عملکرد محصول (kg/ha)	بهره‌وری آب(kg/m^3)	پتانسیل عملکرد (kg/ha)	بهره‌وری آب پتانسیل(kg/m^3)	بهره‌وری آب نسبی (٪)
دشت A	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۱	۱۲۰۰۰	۳	٪ ۳۳
دشت B	۵۰۰۰	۴۰۰۰	۰/۸	۸۰۰۰	۲	٪ ۴۰

ملاحظه می‌شود که در این حالت بهره‌وری آب نسبی در دشت B بالاتر بوده است. به عبارتی، در دشت A فرصتهای بیشتری برای بهبود بهره‌وری آب می‌تواند وجود داشته باشد. این که سرمایه گذاری در بهبود بهره‌وری آب در کدام دشت اثربخشی و بازدهی بهتری خواهد داشت، بستگی به عوامل موثر بر شکاف بهره‌وری آب یا مدیریت مصرف آب در هر محدوده دارد که نیاز به تحلیل سهم عوامل موثر بر بهره‌وری در هر محدوده و سرمایه و زمان لازم برای اعمال راهکارهای بهره‌وری دارد. اگر به جای دو دشت که مثال زده شد، دو استان، دو شبکه آبیاری، و یا دو کشت و صنعت نیز مقایسه می شد، بدون تحلیل بهره‌وری نسبی نمی توانستیم قضاوت و شناخت خوبی از وضعیت فعلی بهره‌وری آب داشته باشیم.

این مثال و مثال‌های مشابهی که در سطح هر مزرعه، دشت یا حوضه می‌توان مطرح کرد، نشان می‌دهد:

- ✓ **محاسبهٔ بهره‌وری فیزیکی در یک محدوده به تنهایی نمی‌تواند معیار خوبی از میزان موفقیت در بهره‌وری آب و یا فرصت‌های موجود برای ارتقای بهره‌وری باشد و لازم است علاوه بر بهره‌وری فیزیکی، شاخص بهره‌وری نسبی آب و شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی نیز مورد محاسبه و تحلیل قرار گیرد.**
- ✓ **در کشت گندم بر روی پشته های بلند که یک نوار آبیاری برای دو ردیف کشت گندم به کار می‌رود مصرف آب در یک مزرعه نمونه در دشت قزوین به ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار و عملکرد ۹ تن در هکتار رسیده است. بهره‌وری آب معادل ۳ کیلوگرم بر مترمکعب گندم در این مثال نشان از این دارد که اصلاح سیستم کشت می‌تواند تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی بهره‌وری آب داشته باشد. در همین منطقه، رکورد عملکرد گندم ۱۱ تن گزارش شده است، اما برای دستیابی به چنین عملکردی گاهی کشاورز تا ۸۰۰۰ متر مکعب آب آبیاری در هر هکتار به کار می‌برد (دو آب پاییزه و شش آب بهاره). ملاحظه می‌شود که در مزرعه‌ای که بر اساس عملکرد کشاورز پیشرو گندم انتخاب و رکورد آن مورد تشویق قرار می‌گیرد، بهره‌وری آب کمتر از ۱/۴ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است. لذا لازم است که در انتخاب کشاورزان پیشرو در بهره‌وری آب، مسایل تولید و مصرف آب همزمان مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد.**

۴- مثال از تکمیل جدول ارزیابی راهکارهای بهره‌وری آب با رویکرد ارزیابی یکپارچه

در این بخش یک فرم ارزیابی یکپارچه راهکارهای بهبود بهره‌وری آب به عنوان نمونه ارائه شـــده اســـت. در هر کمیته و کارگروه در سطوح مختلف مزرعه، شبکه، حوضه، استان و امثال آن با توجه به شرایط منطقه ای برای راهکارهای بهره‌وری آب این فرم می‌تواند تکمیل شود. فرم تکمیل شده به عنوان نمونه است و در همه شرایط صادق نخواهد بود.

جدول پ-۶- مثال از فرم ارزیابی یکپارچه بهره‌وری آب برای اولویت بندی راهکارها و ارزیابی اقدامات بهبود بهره‌وری

ردیف		اثر بر ابعاد بهره‌وری آب							امتیاز کل (میانگین امتیاز از ابعاد بهره‌وری آب)
	راهکار/فناوری بهره‌وری	بهره‌وری فیزیکی آب	بهره‌وری زمین	بهره‌وری اقتصادی آب	امنیت غذایی	خودکفایی در تولید غذا	اشتغال	پایداری محیط‌زیست	
۱	تبدیل سامانه آبیاری سطحی به آبیاری قطره‌ای	۵	۵	۴	۵	۵	۱	۲	۳/۸
۲	ایجاد سایبان در کشت گوجه فرنگی	۳	۳	۴	۳	۳	۳	۴	۳/۴
۳	استفاده از بذر اصلاح شده مقاوم به خشکی	۵	۵	۴	۵	۵	۴	۳	۴/۴
N	.....								

۵- مثال تکمیل فرم ارزیابی راهکارها و اقدامات بهبود بهره‌وری آب

در این بخش یک فرم ارزیابی راهکارها و اقدامات بهبود بهره‌وری آب به عنوان نمونه برای اصلاح الگوی کشت در دشت قزوین (با تمرکز بر مقایسه تحلیلی محصول چغندر قند و گوجه فرنگی) ارائه شده است.

جدول پ-۷- مثال از فرم ارزیابی راهکارها و اقدامات بهبود بهره‌وری آب

مقایسه تحلیلی کشت محصول چغندر قند و گوجه فرنگی

راهکار/فناوری بهبود بهره‌وری آب: اصلاح الگوی کشت با مقایسه تحلیلی بهره‌وری آب در کشت چغندرقند و گوجه فرنگی

زمان آغاز اقدام	زمان پایان اقدام	مسئول اجرا	واحدهای همکار	منابع مالی مورد نیاز (میلیون ریال)	منابع انسانی لازم	مسئول پایش
مهر ۱۴۰۴	مهر ۱۴۰۸	سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین	شرکت آب منطقه ای استان قزوین، اتاق بازرگانی، ص، م و ک	۴۰۰۰۰	پرسنل سازمان جهاد کشاورزی، کارشناسان پهنه، بخش خصوصی	کمیته بهره‌وری آب استان

دسته‌بندی معیارها	ردیف	معیارهای ارزیابی و اولویت‌بندی راهکار	امتیاز اکتسابی گوجه فرنگی از ۱۰۰	امتیاز چغندر از ۱۰۰	توضیحات
اجرایی بودن راهکار	۱	امکانات و زیرساخت‌ها	۹۰	۸۰	زیرساخت‌های کشت و آبیاری و فرآوری هر دو محصول در دشت قزوین وجود دارد. برای صنایع تکمیلی، به ویژه بروزرسانی تجهیزات کارخانه قند و بسته بندی و بهبود کیفیت قند، نیاز به ارتقای فناوری وجود دارد.
	۲	فناوری و دانش	۹۰	۸۰	
	۳	سرمایه انسانی و مدیریتی	۹۰	۷۰	
	۴	منابع مالی	۹۰	۶۰	
	۵	ظرفیت نهادی و قانونی	۵۰	۹۰	
مطلوبیت راهکار	۱	درصد افزایش بهره‌وری فیزیکی آب	۸۰	۸۰	چغندرقند از نظر امنیت غذایی در اولویت است. روند افزایش شوری خاک را با جذب املاح کندتر می‌کند و از نظر محیط زیستی ارجحیت دارد. این محصول به پایداری تولید کشت ذرت و گندم نیز کمک می‌کند. از نظر مدیریت کنترل علف هرز و حفظ شرایط تولید پایدار در خاک، برنامه‌ریزی چغندر قند در تناوب کشت مزایای متعددی دارد. از سوی دیگر، بهره‌وری اقتصادی گوجه فرنگی بیش از دوبرابر این شاخص برای چغندرقند است (جدول صفحه بعد ملاحظه شود).
	۲	درصد افزایش بهره‌وری اقتصادی آب (NBPD)	۹۰	۷۰	
	۳	اثر بر پایداری محیط زیست (طبق جدول ۴-۱۲)	۴۰	۸۰	
	۴	تطابق با اسناد بالادستی آب و امنیت غذایی (طبق جدول ۴-۱۴)	۳۰	۸۰	
	۵	اثر بر اشتغال و خودکفایی غذایی در سطح محلی	۵۰	۶۰	
	۶	حجم کاهش آب کاربردی (در سطح مزرعه) و حجم کاهش آب تخلیه شده (درسطوح دشت، حوضه، استان و ملی)	۵۰	۵۰	
	۷	اثربخشی اعتبارات (درصد افزایش بهره‌وری اقتصادی آب به ازای هر واحد سرمایه‌گذاری)	۷۵	۵۰	
		جمع امتیازها	**۸۲۵**	**۸۵۰**	گوجه فرنگی در بهره‌وری آب امتیاز بالاتری کسب نموده است اما به دلیل مزایای چغندرقند در کشاورزی پایدار و امنیت غذایی، امتیاز نهایی آن بیشتر بوده است و حمایت از کشت آن در مقایسه با گوجه فرنگی توصیه می‌شود.

نکاتی در مورد امتیازهای اکتسابی محصولات در دشت قزوین:

- امتیازهای وارد شده در جدول بر اساس سوابق مطالعاتی و اخذنظرات کارشناسان مطلع استان وارد شده است. بدیهی است در اجرایی سازی سند بهره‌وری آب در هر سطح (استانی، ملی و ...)، لازم است این امتیازها بر اساس بررسی سوابق، ویژگی‌های منطقه و نظرات خبرگان در کمیته بهره‌وری آب تعیین شود.
- در مورد ردیف ۵ اجرایی بودن راهکارها که به ظرفیت نهادی و قانونی در کشت دو محصول پرداخته است لازم به ذکر است که کشت چغندرقند در استان به دلیل تأکید در برنامه‌های ملی و استانی مورد استقبال و حمایت است. اما کشت گوجه فرنگی به دلیل مصرف بالا در فصل تابستان و بالا بودن سطح کشت فعلی با محدودیت روبرو ست و سازمان جهاد کشاورزی و سایر نهادهای متولی در مدیریت عرضه و مصرف آب تلاش در کاهش سطح کشت آن دارند. یک نمونه از این موضوع در دشت قزوین صدور ابلاغیه‌ای برای کاهش سطح زیرکشت این محصول به شهرستان بوئین زهرا بوده است.
- در مورد ردیف ۱ و ۲ مطلوبیت راهکار، دو محصول چغندرقند و گوجه فرنگی نسبت به میانگین بهره وری فیزیکی و اقتصادی آب دشت مقایسه و امتیاز آن‌ها بر این مبنا داده شده است. هر دو محصول از نظر بهره‌وری فیزیکی نسبت به میانگین دشت (۱/۳۷ کیلوگرم بر مترمکعب) وضعیت بسیار بهتری دارند. وضعیت بهره‌وری اقتصادی آب در گوجه‌فرنگی و چغندرقند از میانگین بهره‌وری اقتصادی دشت (۲۴۶۱۵۰ ریال بر مترمکعب) نیز بهتر است. البته گوجه‌فرنگی از نظر شاخص بهره‌وری اقتصادی آب نسبت به چغندرقند نیز برتری قابل توجهی دارد (جدول بعد ملاحظه شود).
- در مورد ردیف ۴، طبق اسناد الگوی کشت ملی و استانی لازم است در دشت قزوین و استان قزوین، سطح کشت محصول چغندرقند نسبت به سطح فعلی افزایش یابد اما در مورد گوجه‌فرنگی عکس این موضوع صادق است. به ویژه که اغلب کشاورزانی که به کشت صیفی‌جات و گوجه فرنگی می پردازند به صورت اجاره زمین و انتقال آب چاه به اراضی کمتر کاشت شده، اقدام به تولید محصول می کنند. به علاوه باقی ماندن مواد پلاستیکی در خاک و استفاده بی رویه از کود و سموم در کشت گوجه فرنگی و همچنین مصرف آب بالا در تابستان موجب شده است که کارشناسان آب و محیط زیست استان نسبت به لزوم کاهش سطح زیر کشت گوجه فرنگی هشدارهایی داشته باشند. در برخی موارد بخشنامه‌هایی نیز برای کاهش سطح کشت این محصول در مناطق کم آب دشت که مشکل فرونشست شدید دارند، صادر شده است. لذا از نظر تطابق با اسناد بالادستی و امنیت غذایی چغندرقند نسبت به گوجه فرنگی در ارجحیت است.
- در مقایسه مزیت تولید محصولات چغندرقند و گوجه‌فرنگی: بهره‌وری فیزیکی محصول چغندرقند بالا است اما این محصول در بازار فروش و زنجیره ارزش با مشکل مواجه است. امکان فروش نقد، دوره رشد کوتاه و سادگی کشت ذرت و گوجه فرنگی، صرفه بالای اقتصادی و ترویج فناوری‌های نشاء کاری و آبیاری قطره‌ای نواری و استفاده از سایبان و ... باعث شده است که این محصولات سطح کشت بیشتری را نسبت به چغندرقند داشته باشند. به علاوه بازار صادراتی خوب گوجه فرنگی به کشورهای عربی نیز تأثیر زیادی در اقبال به این محصول داشته است. همانطور که در جدول زیر مشخص است سود اقتصادی گوجه فرنگی نیز بسیار بیشتر از چغندرقند است. به عنوان یک رقیب دیگر برای چغندرقند، کشت ذرت نیز به دلیل سادگی کشت و فروش نقد نسبت به چغندرقند محبوبیت بیشتری یافته است.

جدول پ-۸- تحلیل وضعیت بهره‌وری آب دو محصول در دشت قزوین

اشتغال (نفر روز بر هکتار)	بهره‌وری اقتصادی آب (Rial/m^3)	قیمت محصول (Rial/kg)	بهره‌وری آب پتانسیل (kg/m^3)	پتانسیل عملکرد (kg/ha)	بهره‌وری آب (kg/m^3)	عملکرد محصول (kg/ha)	آب کاربردی (m^3/ha)	محصول
۶۰	۱۱۶۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	رکورد: ۳۳ پیشرو: ۲۵	رکورد: ۲۰۰۰۰۰۰ پیشرو: ۱۵۰۰۰۰	۱۱/۶	۷۰۰۰۰	۶۰۰۰	گوجه فرنگی
۴۰	۳۲۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	رکورد: ۱۹ پیشرو: ۱۶	رکورد: ۱۴۷۰۰۰ پیشرو: ۱۲۰۰۰۰	۸	۶۰۰۰۰	۷۵۰۰	چغندرقند

- در کشت زیرسایبان گوجه فرنگی، به دلیل کاهش تبخیر، کنترل عوامل خسارت‌زا و کشت داربستی می‌توان به عملکرد بالا ضمن مصرف آب کمتر (طبق برآوردهای کارشناسی: آب کاربردی حدود ۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار) دست یافت. در کشت زیرتونلی با پرورش نشا در محیط کنترل شده به ۴۵ روز اول کشت، نیز مصرف آب کاهش خوبی دارد (طبق برآوردهای کارشناسی: آب کاربردی به حدود ۴۵۰۰ مترمکعب در هکتار کاهش می‌یابد).
- در کشت چغندرقند در دشت قزوین، میانگین عیار ۱۴٫۸، رکورد عیار ۱۷٫۵ و درصد افت حدود ۳ درصد می‌باشد. بر این اساس بهره‌وری آب بر حسب کیلوگرم شکر بر مترمکعب به طور متوسط برابر با ۱/۱ می‌باشد. که در محدوده خوب ارزیابی می‌شود. منتظر و کوثری (۲۰۰۸) بهره‌وری آب چغندرقند را ۱۰/۷-۱/۶۵ kg/m^3 و برای قند خالص ۱/۷-۰/۱ kg/m^3 گزارش کرده اند.
- با توجه به سرمایه بالای مورد نیاز، احداث کارخانه قند وابسته به حمایت دولت و مجموعه‌های سرمایه‌گذاری بوده است. به دلیل تغییر مدیریت‌های مکرر و وابستگی مالی کارخانه به تصمیمات دولتی و سرمایه‌گذاران، مشکلات متعددی در این حوزه به وجود آمده است. سختی کشت چغندرقند از یک سو و امکان کشت محصولی نظیر گوجه‌فرنگی که قابل عرضه به بازار بوده و فروش آسان‌تری داشتند، باعث کاهش سطح کشت چغندرقند در سطح دشت شده است.
- بهره‌وری فیزیکی هر دو محصول بالا است. چغندر قند قیمت‌گذاری نامناسب دارد. واردات بی رویه شکر و تاخیر در پرداخت مطالبات کشاورزان در برخی از دولت‌ها و همچنین واردات شکر سرخ، کشاورزان را با خسارت مواجه ساخت. به بیان دیگر کشت چغندرقند در یک دوره‌های زمانی فاقد حمایت منسجم بود. چغندر قند به دلیل مشکلات مطرح شده از الگوی کشت این دشت حذف شده است و کشت گوجه فرنگی به مقدار زیاد در این دشت رایج شده است و به استان‌های دیگر و خارج از کشور صادر می‌شود.
- در خصوص وضعیت اشتغال با کشت دو محصول چغندر قند و گوجه فرنگی لازم به ذکر است که افزایش نیاز به نیروی کار و اشتغال دارای تبعات منفی و مثبت است و لازم است این موضوع در بستر اجتماعی و اقتصادی منطقه بررسی شوند. با توجه به اینکه در دشت قزوین و در استان قزوین زمینه‌های اشتغال در بخش‌های صنعت و خدمات فراهم است و افزایش نیاز به نیروی کارگری در بخش کشاورزی هزینه تولید را بالا برده است. از طرفی، افزایش نیاز به کارگر کشاورزی مطلوبیتی برای توسعه پایدار روستاهای منطقه ندارد، تمرکز بر حفظ اشتغال در صنایع جانبی چغندرقند نسبت به تمرکز بر حفظ اشتغال در بخش کارگری در زراعت آن اولویت دارد. برای کشت چغندرقند در هر

هکتار حدود ۴۰ نفر-روز برای مراحل داشت و برداشت نیروی کاری لازم است. در کشت گوجه فرنگی نیز، برای هر هکتار، حدود ۶۰ نفر-روز نیرو به کار گرفته می شود. با این وجود، چغندر قند در بخش صنایع جانبی اشتغال بالاتری دارد. در یک تحلیل کلی، میزان اشتغال به واسطه کشت دو محصول چغندرقند و گوجه فرنگی تفاوت چندانی با هم ندارد. در هر دو محصول، نیروی کارگری مزارع در دشت قزوین عمدتا غیرایرانی هستند.

- اگرچه بخشی از ظرفیت کارخانه‌ها به تصفیه شکر سرخ اختصاص داده شده است و بدون کشت چغندرقند نیز فعالیت کارخانه به طور کامل متوقف نمی شود، کاهش سطح زیرکشت چغندر قند می‌تواند اثرات منفی بر اشتغال در کارخانه قند داشته باشد. در سال‌های اخیر با واگذاری کارخانه قند به بخش خصوصی فرآیندهای مدیریتی بهتر شده است. پرداخت نقدی مطالبات کشاورزان و استمرار حمایت از تولید کنندگان می‌تواند پایداری کشت چغندرقند را تضمین کند.