شاخص بهره‌وری آب و راهکار آتیه کشاورزی کشور

۷

عباس کشاورز *

حسین دهقانی سانیج **

چکیده

با محدود شدن منابع آبی و اثرات تغییرات اقلیمی در چند دهه اخیر و همچنین افزایش نیاز بخش‌های صنعت، شرب و محیط زیست، مصرف آب در بخش کشاورزی به عنوان مصرف‌کننده اصلی منابع آب، باید به نفع سایر بخش‌ها کنترل شود. بدیهی است پایش این فرایند نیازمند مؤلفه‌های خاص خود است. در این راستا، شاخص بهره‌وری آب به عنوان یکی از این مؤلفه‌ها در چند سال اخیر در برنامه‌ریزی‌های ملی مورد توجه قرار گرفته است. بهره‌وری آب در کشاورزی، عملکرد درآمد اقتصادی، شرایط اجتماعی، تولید کالری، پروتئین و... را به ازای واحد آب به‌کاررفته بیان می‌کند و در جایی که تنها شاخص عملکرد به ازای تبخیر و تعرق گیاه مد نظر است، کارایی مصرف آب مطرح می‌شود. بهره‌وری را در سطوح مختلف گیاه، دام، جنگل، آبزی‌پروری و واحدهای تولیدی، مزرعه، سیستم آبیاری، شبکه آبیاری و حوضه آبریز یا عرضه‌های طبیعی (مرتع و فضای سبز) می‌توان محاسبه کرد. افزایش بهره‌وری، به‌ویژه از دیدگاه ارزش تولید به ازای واحد مصرف آب به طور مستقیم یا غیرمستقیم می‌تواند راهکار مهمی برای بهبود معیشت جوامع محلی باشد. در حال حاضر بهره‌وری آب کشاورزی در کشور در حدود ۰/۸۸ کیلوگرم به ازای یک مترمکعب مصرف آب است که بر اساس برنامه‌ریزی‌های بلندمدت تا سال ۱۴۰۴ باید به حداقل ۰/۲ کیلوگرم به ازای یک مترمکعب افزایش یابد. اختلاف در بهره‌وری آب محصولات مختلف در استان‌های مختلف کشور و همچنین در مقایسه با کشورهای مختلف ولی با شرایط اقلیمی مشابه نشان‌دهنده وجود پتاسیل برای افزایش بهره‌وری آب کشاورزی است.

واژگان کلیدی: شاخص بهره‌وری، کارایی مصرف آب، کشاورزی دیم، کشاورزی آبی.

طبقه‌بندی *JEL*: *Q10*.

---

* استادیار سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی (keshavarz1234@yahoo.com)

** استادیار پژوهش، دیسیپلین آبیاری و زهکشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی (dehghanisanij@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۹/۲۸ **تاریخ تصویب:** ۱۳۹۱/۵/۲

مقدمه

در دنیایی که ظرفیت توسعه منابع آب دائماً در حال کاهش است و در همان حال تأمین غذای مورد نیاز در حال افزایش، ادامه سیاست کاهش سهمیه‌های آب کشاورزی به منظور تخصیص منابع آب برای سایر مصارف (شرب، صنعت و محیط زیست) امری اجتناب‌ناپذیر است. در حال حاضر ۲۶ کشور جهان با کمبود شدید آب روبه‌رو هستند که بیشتر این کشورها در افریقا و خاورمیانه قرار دارند. بررسی جهانی حاکی از آن است که جمعیت جهانی تا سال ۲۰۲۵ میلادی به ۷/۸ میلیارد نفر خواهد رسید و فشار مضاعفی را بر امنیت غذایی به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه که بیش از ۸۰ درصد افزایش جمعیت در آن صورت خواهد گرفت، وارد خواهد آورد. در سطح جهانی، کشاورزی آبی، سهم مهمی را در تأمین غذا از دهه ۱۹۶۰ داشته و پیش‌بینی می‌شود نقش اصلی را در تأمین غذای جمعیت در حال رشد نیز داشته باشد. این در حالی است که انتظار می‌رود سهم آب برای آبیاری به دلیل افزایش مصارف غیر کشاورزی نیز کاهش یابد. بررسی‌ها نشان می‌دهد این کشورها در سال ۲۰۲۵ میلادی برای تأمین نیازهای کشاورزی، صنعتی و شهری با مشکل کمبود آب مواجه خواهند شد (Seckler et al., 1998). توافق عمومی در جامعه بین‌المللی در مورد چالش‌های فراروی آب شامل تأمین سرانه آب برای شرب و بهداشت، تقویت امنیت غذایی، توجه به حفظ منابع طبیعی و زیست‌بوم‌ها، ارتقای معیارهای قیمت‌گذاری آب و مدیریت آگاهانه و یا حکمرانی (مدیریت مردمی) آب است.

کشور ایران در سال ۲۰۲۵ میلادی جزء کشورهای با بحران آب خواهد بود. نگاهی به شاخص سرانه منابع آب تجدیدپذیر نشان‌دهندهٔ کاهش منظم آن است؛

به‌طوری‌که مقدار آن از ۵۵۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۴۴ به ۲۱۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۷۶ و به ۱۸۶۰ مترمکعب در سال ۱۳۸۵ کاهش یافته و در سال ۱۴۰۴ به کمتر از ۱۳۰۰ مترمکعب خواهد رسید (غفاری شیروان، ۱۳۷۳). این در حالی است که در شرایط حاضر شاخص سرانه برای مناطق مختلف کشور از کمتر از ۵۰۰ مترمکعب در مناطق مرکزی و شرق کشور تا بیش از ۴۰۰۰ مترمکعب در مناطقی از جنوب و غرب کشور متغیر است (شکل شماره ۱)؛ بنابراین می‌توان گفت کشور در دهه اخیر وارد مرحله تنش آبی شده و در صورت ادامه روند فعلیِ افزایش جمعیت و مدیریت تقاضا و الگوی مصرف آب، با مرحله بحران نیز مواجه خواهد شد (اگرچه بعضی از نقاط کشور از مرحله تنش عبور کرده و در حال حاضر در مرحله بحران قرار دارند).

مسئله مهم دیگر ویژگی غیر قابل جایگزینی آب است که ایجاب می‌کند هر فرد حق دسترسی به آب شرب و بهداشتی را داشته و مازاد بر آن در خدمت سایر بخش‌ها قرار گیرد. تولید هیچ‌گونه ثروتی بدون وجود آب میسر نبوده و لذا نباید با آن به عنوان یک کالای تجاری برخورد شود، زیرا وابستگی اقتصاد کشور به آب فراتر از سایر کالاهاست. در توسعه پایدار اقتصادی، اجتمایی و فرهنگی حال و آینده کشور دسترسی به آب به اندازه‌ای حیاتی است که متولیان امور کشور ناگزیر از اتخاذ برنامه‌ای استراتژیک و مدوّن در مورد آب هستند تا فعالیت‌های توسعه پایدار کشور بر مبنای آن صورت گیرد.

در بیشتر اراضی کشاورزی به طور معنی‌داری آبِ بیشتری از مقدار آبِ مورد نیاز برای هر هکتار به مزرعه منتقل شده و یا از منابع زیرزمینی برداشت می‌شود که نتیجهٔ آن پایین بودن راندمان آبیاری است. از سوی دیگر، آب به‌کاررفته به‌ندرت منطبق بر زمان مناسب آبیاری و مقدار مورد نیاز گیاه است که منجر به کاهش بهره‌وری آب آبیاری می‌شود. در بیشتر شبکه آبیاری، آب تحویل داده‌شده به کشاورزان در ابتدای شبکه متفاوت از مقدار تحویلی به کشاورزانی است که در انتهای شبکه قرار گرفته‌اند. یعنی مقدار آب مصرف‌شده توسط گیاه در یک پروژه آبیاری مدنظر است که آیا منطبق بر نیاز آبی گیاه و نیاز آبیاری بوده یا خیر؟

برای تعیین آب مورد نیاز یک پروژه باید راندمان سیستم در مراحل مختلف

انتقال، پخش و کاربرد آب در مزرعه مورد توجه قرار گیرد. متوسط آب کشاورزی به‌کاررفته با مقادیر نیاز بهینه فاصله زیادی داشته و شاخص راندمان در این رابطه نقش مهمی ایفاد می‌کند. با توجه به مطرح شدن شاخص بهره‌وری آب در سیاست‌های بخش آب در سال‌های اخیر، تبیین اهمیت و تدوین شرایط کاربرد شاخص‌های راندمان، بهره‌وری و سایر شاخص‌ها در ارزیابی و طراحی سامانه‌های آبیاری و برنامه‌ریزی‌های کلان کشور ضروری به نظر می‌رسد.

به طور کلی راندمان به‌کارگیری آب عبارت است از رابطه بین حجم واقعی آب به‌کاررفته برای یک مصرف خاص و حجم آب انتقال‌یافته و یا برداشت‌شده از منبع آب. انتقال آب و یا برداشت آن از منابع، مستقل از مدیریت آبیاری بوده و مقدار آن بستگی به مقدار نیاز آبی و یا آبیاری در مزارع تحت آبیاری دارد. در مسیر انتقال، تلفات آب ناشی از نفوذ عمقی و یا تبخیر از سطح آزاد آب است. مقدار تلفات آب در مسیر انتقال می‌تواند با پوشش مناسب کانال‌ها کاهش یافته و با قرار گرفتن آب در لوله، مقدار آن به صفر کاهش یابد. بنابراین «راندمان» شاخص مناسبی برای بررسی عملکرد مسیرهای انتقال در شبکه‌های آبیاری و یا دشت کشاورزی تا ورود به محل مصرف (ورودی مزرعه) بوده و از نظر تئوری، تا ۱۰۰ درصد نیز قابل افزایش است.

شاخص بهره‌وری، به‌کارگیری آب در کشاورزی، عملکرد، درآمد اقتصادی، شرایط اجتماعی، کار و فعالیت و... را به ازای واحد آب به‌کاررفته بیان می‌کند و در جایی که تنها شاخص عملکرد به ازای مصرف آب مد نظر باشد، کارایی مصرف آب مطرح می‌شود.

بر اساس بررسی‌های بین‌المللی، سهم آب کشاورزی در جهان در حدود ۲۷۰۰ میلیارد مترمکعب است و پیش‌بینی می‌شود این رقم تا سال ۲۰۵۰ میلادی به دو برابر افزایش یابد (Pradhan, 2007). این در حالی است که سطح اراضی آبی به میزان ۲۰ درصد افزایش خواهد داشت. به عبارتی، جامعه بین‌المللی به سمت استفاده بهینه‌تر از منابع آبی در حرکت است. در کشور چین سهم آب کشاورزی از کل منابع آبی کشور از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵ میلادی از ۸۰ درصد به ۶۰ درصد کاهش یافته و تا سال ۲۰۵۰ میلادی این مقدار ثابت خواهد بود. این در حالی است که

انتظار می‌رود، اراضی زیر کشت آبی در چین از ۵۶ به ۶۰ میلیون هکتار افزایش یابد (Gopalakrishnan, 2008). پیش‌بینی می‌شود در کشور هندوستان تا سال ۲۰۵۰ میلادی میزان تولید ۲ برابر شده و سهم آب کشاورزی ۶۸ درصد کاهش یابد (Gopalakrishnan, 2008).

از دیدگاه کمیّت آب، در حال حاضر از کل منابع آبی تجدیدشونده کشور، با در نظر گرفتن منابع آب‌های مرزی، در حدود ۹۲ میلیارد مترمکعب یعنی حدود ۷۱ درصد منابع آب تجدیدشونده برداشت می‌شود.[1] بررسی‌ها نشان می‌دهد این درصد ظرف ۲۰ سال آینده حداکثر تا ۸۸ درصد قابل افزایش است، یعنی حداکثر ظرفیت آبی تجدیدشونده کشور مقدار ۱۱۴/۵ میلیارد مترمکعب خواهد بود. با احتساب حداقل ۷/۵ میلیارد مترمکعب مصرف شرب و ۲/۵ میلیارد مترمکعب مصرف صنعت و اختصاص حداقل ۴ میلیارد مترمکعب (۵ درصد منابع) سهمیه محیط زیست حداکثر آب قابل تخصیص بخش کشاورزی به مقدار ۱۰۰/۵ میلیارد مترمکعب خواهد بود؛ به عبارت دیگر منابع آب بخش کشاورزی در افق ۲۰ سال آینده حداکثر به مقدار ۱۵/۵ میلیارد مترمکعب (۱۸ درصد فعلی) قابل افزایش خواهد بود؛ درحالی‌که افزایش تولید حدود ۱۸۰ میلیون تن و رشد ۱۰۰ درصد نسبت به وضع فعلی مورد انتظار است. لذا امکان دسترسی به منابع آب جدید جهت توسعه کشاورزی بسیار محدود خواهد بود. بررسی‌های جهانی حاکی از آن است که وضعیت منابع آب‌های زیر زمینی نیز به عنوان یک منبع ارزشمند آب آبیاری با برداشت نامتعادل مواجه است و در شرایطی که در کشور، میزان متوسط تغذیه آن حدود ۵۵ میلیارد مترمکعب است، با برداشت بیش از ۶۱ میلیارد مترمکعب (اضافه برداشت حداقل ۶ میلیارد مترمکعب یعنی بیش از ۱۰ درصد تغذیه آن) مواجه است. این اضافه برداشت سبب افت مستمر سطح ایستایی (با شدت‌های متفاوت در نقاط مختلف کشور) موجب بروز هجوم سفره‌های آب شور به آنها در بعضی از مناطق و پایین رفتن کیفیت آب آنها از یک سو و افزایش هزینه‌های برداشت و استخراج آب از سوی دیگر، شده است. بنابراین رویکرد

۱. سال پایه آماری ۸۶-۱۳۸۵ است. در خصوص آمارهای سال‌های بعدی اختلاف نظر وجود دارد.

بخش کشاورزی در مقابل کاهش سهم آب کشاورزی و تخصیص آن به سایر بخش‌ها (با هدف توسعه و رشد اقتصادی) باید بر نوآوری، فناوری، سرمایه‌گذاری و دیدگاه‌های مدیریت مصرف (تقاضا) و ارائه راهکارهای متعددی برای بخش‌های صنعت شهری و کشاورزی و همچنین تولید مواد غذایی بیشتر با استفاده از آب کمتر (در کشاورزی دیم و آبی) متمرکز باشد. تحقق این امر مشروط به این است که از هم‌اکنون نسبت به تغییر روش‌ها و اتخاذ تصمیم نسبت به اصلاح رویه‌ها و استفاده از آب به صورت جامع و خردمندانه در راستای افزایش بیشتر تولید اقدام شود.

راهکارهای تأمین غذای مورد نیاز

در ایران از ۳۷ میلیون هکتار اراضی قابل کشت، تنها ۱۹/۵ میلیون هکتار (زراعت یکساله و دائمی) آن زیر کشت بوده که ۸/۹ میلیون هکتار آن به صورت آبی و ۶/۶۶ میلیون هکتار به صورت دیم کشت می‌شود و در حدود ۴/۵ میلیون هکتار سالانه آیش است (آمارنامه کشاورزی، ۸۵-۱۳۸۴). در سال (۱۳۸۶) حدود ۹۰/۹ میلیارد مترمکعب (حدود ۹۲ درصد از منابع آبی کشور) در کشاورزی فاریاب مصرف شد ولی تولیدات کشاورزی حاصل از آن (۸۰/۱۲ میلیون تن) تقاضای نیاز غذایی کشور را برآورده نکرده است. به عبارت دیگر بهره‌وری آب در کشاورزی بسیار پایین و برابر ۰/۸۸کیلوگرم بر مترمکعب آب است. لازم به توضیح است که این عدد با احتساب کل تولیدات برداشت‌شده محاسبه شده یعنی با مصرف یک تن آب تنها ۸۸۰ گرم محصولات کشاورزی برداشت شده و یا اینکه برای تولید یک کیلوگرم محصولات کشاورزی ۱۱۳۴ کیلوگرم آب به کار رفته است.

راهکارهای تأمین غذای مورد نیاز کشور به چهار گروه قابل تقسیم‌بندی است: الف) سرمایه‌گذاری بر روی کشاورزی دیم (مدیریت رطوبت خاک، آبیاری تکمیلی، بهبود حاصلخیزی خاک، توسعه اراضی دیم و...)؛ ب) سرمایه‌گذاری بر روی کشاورزی آبی (افزایش سالانه منابع آب با سیستم‌های جدید آبیاری، استفاده از پساب‌ها، روش‌های ذخیره آب، افزایش بهره‌وری آب و...)؛ ج) برقراری معاملات کشاورزی بین کشورها (آب مجازی و...)؛ د) اصلاح الگوی غذای مورد

نیاز با ارائه برنامه‌های بهره‌وری آب، کاهش تلفات در مسیر تولید و...).

افزایش تولیدات همراه با تنوع‌بخشی به انواع محصولات مناسب تا دو برابر وضع موجود، حداقل افزایشی است که تا سال ۱۴۰۰ (طی دو برنامه آتی) مورد انتظار است. از سوی دیگر، همان‌طور که گفته شد حداکثر ظرفیت آب تجدیدشونده بخش کشاورزی فارغ از محدودیت‌های فناوری، اعتباری و زمانی حداکثر ۱۰۰ میلیارد مترمکعب بهره‌وری آب از حداکثر ۰/۸۸ فعلی باید به ۱/۸ کیلوگرم در مترمکعب (یعنی دو برابر) افزایش یابد.

آب مجازی

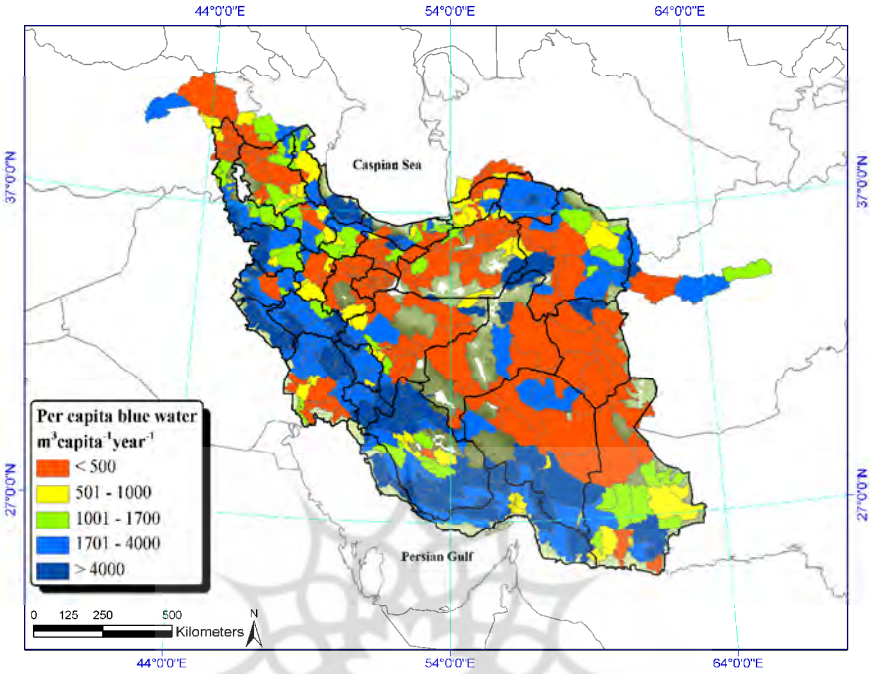
استاندارد سرانه مصرف آب آشامیدنی در کشورهای مختلف به‌ندرت از ۲۰۰ لیتر در روز تجاوز می‌کند. ولی نتایج بررسی‌های محققان نشان می‌دهد که سرانه مصرف آب بسیار بیشتر از استانداردهای تعیین‌شده در کشورهاست، زیرا انسان‌ها علاوه بر مصرف مستقیم آب، از طریق مصرف مواد غذایی، میوه‌ها، و حتی خدمات و کالا آب مصرف می‌کنند و مقدار آن به طور متوسط در حدود ۳۴۰۰ لیتر در روز به ازای هر نفر در جهان است که به عنوان آب مجازی شناخته شده است. مقدار آب مجازی معادل جمع کل آب مصرف‌شده در مراحل مختلف زنجیره تولید، از لحظه آغاز تا پایان است. شرایط اقلیمی، مکان و زمان تولید، مدیریت و برنامه‌ریزی، فرهنگ و عادات مردم از عوامل مؤثر در میزان آب مجازی هستند.

آب مجازی در سطح ملی عبارت است از کل آب مصرف‌شده به صورت مستقیم و غیر مستقیم برای تولید کالاها و خدماتی که توسط مردم یک کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد. آب مجازی ملی شامل دو مؤلفه است: آن مقدار از منابع آب داخلی یک کشور که برای تولید کالاها و خدمات به کار گرفته می‌شود، به علاوه آن حجم از منابع آب سایر کشورهای جهان که به صورت واردات به کشور وارد شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد. خودکفایی آب بر حسب نسبت آب مجازی داخلی به آب مجازی در سطح ملی تعریف می‌شود. در اینجا چنانچه تقاضای آب کشور به طور گسترده به وسیله واردات آب مجازی تأمین شود، خودکفایی به صفر نزدیک می‌شود. کشورهای مصرف‌کننده آب مجازی عملاً به منابع آبی سایر کشورهای

جهان وابسته‌اند. در تصـویر شـماره ۲، متوسـط آب مجـازی چنـد محصـول و یـا فرآورده کشاورزی در جهان و ایران آمده اسـت (Chapagain and Hoekstra, 2004). بـر همین اساس متوسط آب مجازی در سطح جهـانی بـرای گنـدم و ذرت بـه ترتیـب ۱۲۰۰ و ۹۵۰ لیتر در هرکیلوگرم بوده که این مقدار برای ایـران در حـدود ۳۰۰۰ و ۱۴۰۰ است. بالاتر بودن آب مجازی این دو محصـول در ایـران مـی‌توانـد بـا قـرار داشتن ایران در منطقه خشک و بالا بودن پتانسیل تبخیـر مـرتبط باشـد. در تصـویر شماره ۳، تغییرات آب مجازی برای گندم و سیب زمینی در کشورهای مختلف ارائه شده است. این اعداد اهمیت پرداختن و یا نپرداختن به ایـن محصـولات را از نظـر آب مجازی نشان می‌دهند (Chapagain and Hoekstra, 2004).

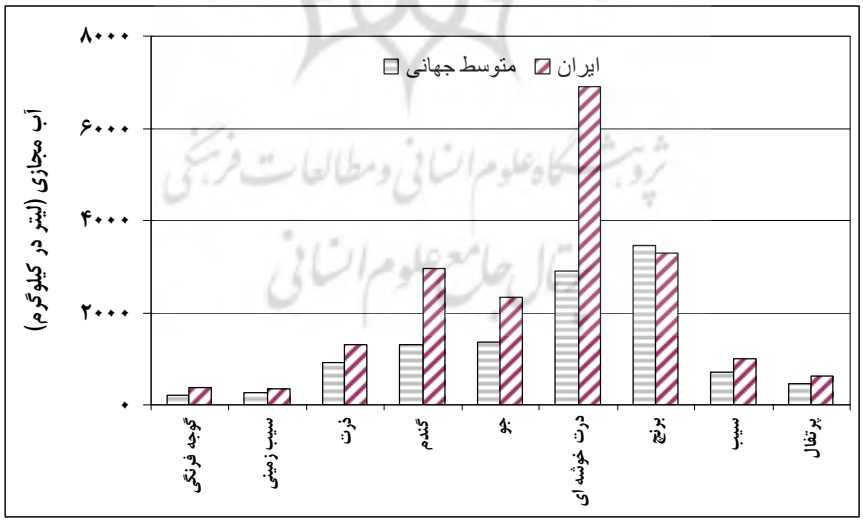
اگر بپذیریم جابه‌جایی آب بدون حرکت فیزیکی آن بـه گونـه‌ای تجـارت آب مجازی است، در آن صورت، نقش دادوستد محصولات کشاورزی که حاوی حجم زیادی آب مجازی است، در این نقـل و انتقـال حـائز اهمیـت اسـت. تجـارت آب مجازی موجب وابستگی کشورها به یکدیگر می‌شود، و همچنـین بـر قیمـت مـواد غذایی، تعاملات تجاری جهانی، عوارض و تعرفه‌ها تأثیر می‌گذارد. در تجـارت آب مجازی، به کشورهای کم‌آب توصیه می‌شود به جای اینکه از منابع آبی محدود خود برای تولید مواد غذایی و سایر نیازها استفاده کنند، مواد غذایی مورد نیاز خود را از کشورهای پرآب تأمین کنند. باید انتظار داشت در صورت افزایش سفارش خرید از کشورهای پرآب، کشورهایی که در بالادسـت رودخانـه‌هـای بـین‌المللـی مشـترک هستند، اقدام به افزایش سـطح زیـر کشـت کـرده و کشـورهای پـایین‌دسـت را بـا مشکلاتی روبه‌رو می‌کنند. بر همین اساس راهبرد تجارت آب مجازی، بیشـتر بایـد مکملی همراه با سایر اقدامات در مدیریت پایدار منبع آب باشـد و بـه عنـوان یـک راهبرد سیاست‌گذاری و تجاری مستقل، مضر به نظر می‌رسد. تجـارت آب مجـازی زمانی به عنوان یک اقدام حمایتی مناسب است که تأمین‌کنندهٔ منـافع ملـی از جنبـه امنیت غذایی و آبی کشور باشد (Horlemann and Neubert, 2007).

شکل شماره ۱. تغییرات سرانه آب در مناطق مختلف کشور



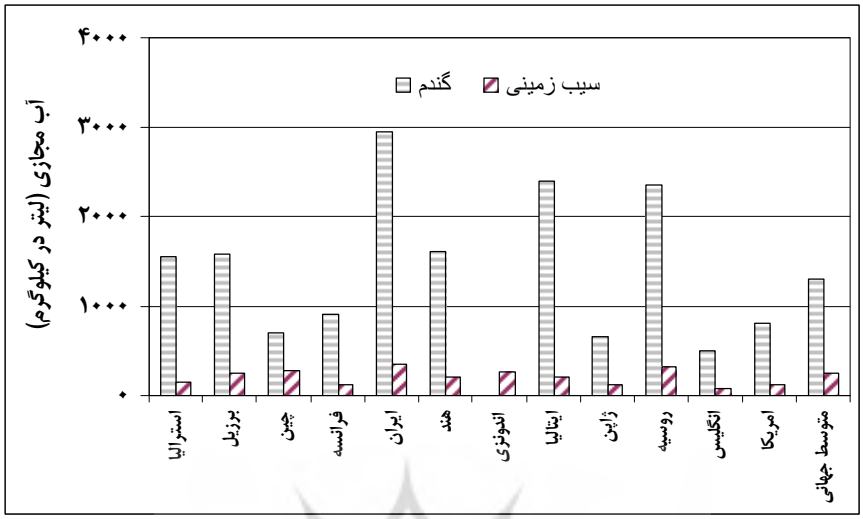
Source: Yang, 2010

شکل شماره ۲. مقدار آب مجازی محصولات مختلف زراعی و باغی در ایران و جهان



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

شکل شماره ۳. مقدار آب مجازی سیب زمینی و گندم در کشورهای مختلف



تعریف کارایی مصرف آب و بهره‌وری آب به کار رفته

کارایی مصرف آب (WUE)[1] تولید به ازای هر واحد آب مصرف‌شده (تبخیر و یا تعرق) است. این تعریف در حال حاضر نیز به طور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تنها اختلاف در استفاده از آن در مزارع، مربوط به فاکتور صورت این معادله است که می‌تواند عملکرد ماده خشک، دانه و یا کل تولیدات گیاهی[2] در بالای سطح زمین، و یا عملکرد اقتصادی محصول باشد. در مخرج کسر، ازآنجاکه منظور کردن تعرق مشکل است، بیشتر از تبخیر ـ تعرق (ETC) استفاده می‌شود. کارایی مصرف آب با ارقام گیاهی، میزان دسترسی به خورشید، فشار اتمسفر، و... متفاوت است. کارایی مصرف آب، به نوعی بیانگر ویژگی‌های یک گیاه در یک منطقه خاص است. این ویژگی‌ها بیشتر مرتبط با مشخصات گیاهی است که از علم تکنولوژی تولید بذر برمی‌خیزد. کارایی مصرف آب، نقش آبیاری را مورد توجه قرار نداده و بیشتر یک شاخص زراعی است و به معنای تولید محصول بیشتر به ازای واحد حجم آب است (شکل شماره ۴).

1. Water Use Efficiency (WUE)
2. Biomass

مولدن[1] (۱۹۹۷) برای تحلیل آب به‌کاررفته در سطوح مختلف زراعی تعریف بهره‌وری آب (WP)[2] را ارائه کرد که بر اساس آن شرایط آب به‌کاررفته در محدوده‌های مختلف مزرعه، سیستم تأمین آب، و حوضه آبریز (مصارف مختلف) مورد بررسی قرار می‌گیرد. بر همین اساس، بهره‌وری آب عبارت است از نسبت عملکرد و یا سود خالص حاصل از زراعت، جنگلداری، آبزی‌پروری، دامپروری و یا یک سیستم ترکیبی کشاورزی به میزان آب به‌کاررفته برای رسیدن به سود خالص. در واقع در بهره‌وری آب، نقش هر واحد آب در تولید ناخالص ملی (GNP) یا تولید ناخالص داخلی (GDP) مطرح است که مشاهده می‌شود مفهومی به مراتب متفاوت از کارایی مصرف آب دارد. از دیدگاه مالی و اقتصادی، بهره‌وری بیشتر آب کشاورزی به معنای سود بیشتر به ازای واحد حجم آب است. از دیدگاه اشتغال، ایجاد اشتغال بیشتر به ازای واحد حجم آب و از دیدگاه امنیت غذایی، بهره‌وری بیشتر آب کشاورزی به معنای تولید محصول بیشتر به ازای واحد حجم آب است و نه واحد سطح زیر کشت. در جایی که هدف تولید بیشتر باشد، شاخص بهره‌وری آب (WP) می‌تواند به صورت رابطه ذیل بیان شود.

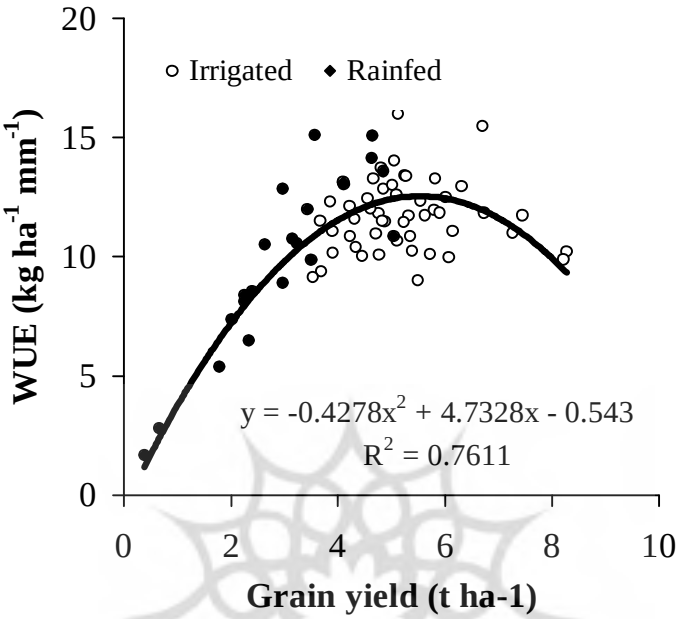
$$WP = \frac{Y}{W} \qquad (۱)$$

در این رابطه Y بیانگر کل ماده تولیدشده توسط گیاه، مقدار ماده خشک تولیدی گیاه و یا عملکرد اقتصادی (عملکرد دانه یا عملکرد بیولوژیک و یا هر دو) است. متغیر W بسته به سطح مورد ارزیابی گیاه، مزرعه، حوضه و یا دشت می‌تواند مقادیر مختلف آب شامل مقدار آب تعرق‌یافته به وسیله گیاه، مقدار تبخیر ـ تعرق، مقدار آب به‌کاررفته برای زراعت، مجموع آب آبیاری (I) و مقادیر بارندگی مؤثر (Re)، مقدار آب مفید مصرفی و یا مجموع آب مفید و غیر مفید مصرفی باشد (Lamm et al., 1994; Molden and Oweis, 2007). بر همین اساس در شرایطی که متغیر W مقدار آب تعرق یافته به وسیله گیاه، مقدار تبخیر ـ تعرق باشد، بهره‌وری آب همان کارایی مصرف آب خواهد بود.

1. Molden

2. Water Productivity (WP)

شکل شماره ۴. تغییرات کارایی مصرف آب گندم در مناطق آبی و دیم



Source: Zhang and Oweis, 1999

برای تعیین بهره‌وری آب باید جریان آب در داخل یک حوضه با دقت دنبال شود تا مشخص شود چه مقدار آب برای زندگی انسانی و دامپروری مورد استفاده قرار می‌گیرد. باران منبع طبیعی آب در یک حوضه آبریز است. انتقال‌های بین حوضه‌ای آب بیشتر افزایش‌دهندهٔ منابع آبی حوضه است. وقتی آب از قسمت بالادست به سمت پایین‌دست حوضه حرکت می‌کند، حتی مقدار کم آب می‌تواند توسط گیاه به صورت تعرق استفاده شده، به صورت تبخیر از سطح اراضی از دسترس خارج شده و یا در جریان آب به سمت پایین‌دست ادامه یابد و در بخش‌های کشاورزی، مصارف شهری و آبزی‌پروری مورد استفاده قرار گیرد. ازآنجاکه تعریف بهره‌وری آب در هر گزارش و یا بررسی متنوع می‌باشد، میزان دقیق نهاده‌ها و عملکرد بسیار قابل اهمیت است (جدول شماره ۱).

جدول شماره ۱. بهره‌وری آب در سطوح مختلف

	محصول (گیاه و دام)	مزرعه یا استخر پرورش آبزی	واحد تولیدی کشاورزی	سیستم آبیاری	حوزه آبریز یا دشت
فرایندها	تبدیل انرژی، جذب و مصرف موادغذایی، فتوسنتز و...	مدیریت آب و خاک و مواد غذایی	تعادل ریسک و بازگشت سرمایه، مدیریت نهاده‌ها در مزرعه از جمله آب	توزیع آب بین مصرف‌کنندگان، هزینه، تعمیر و نگهداری زهکشی	تخصیص بین مصرف‌کنندگان، تنظیم و تعدیل آلودگی
بهره‌برداران	تولیدکنندگان کشاورزی، فیزیولوژیست های گیاهی و حیوانی	تولیدکنندگان کشاورزی، محققان خاک و گیاه، آبزی‌پروی و دامپروی	تولیدکنندگان کشاورزی، اقتصاددانان کشاورزی، دانشجویان دانشکده کشاورزی	مهندسان آبیاری، محققان اجتماعی، مدیران آب	اقتصاددانان، هیدرولوژیست‌ها، مدیران آب
فاکتور تولید (صورت کسر بهره‌وری آب)	کیلوگرم ماده تولیدی	کیلوگرم ماده تولیدی	کیلوگرم، ریال	کیلوگرم، ریال، ارزش، خدمات زیست‌محیطی	ریال، ارزش، خدمات زیست‌محیطی
عامل آب (مخرج کسر بهره‌وری آب)	تعرق	تعرق، تبخیر، آب کاربردی	تبخیر ـ تعرق، آب آبیاری	آبیاری، انتقال، نفوذ، آب قابل دسترس	آبیاری، نفوذ، روان‌آب

Source: Molden and Oweis, 2007

تعریف و ایده بهره‌وری آب از دو رشته علمی فیزیولـوژی و آبیـاری (رابطـه آب و خاک و گیاه) برداشت شده است. فیزیولوژیست‌هـای گیـاهی در بهـره‌وری آب بـر اساس میزان کربن جذب‌شده و عملکرد گیاه به ازای تعرق تأکید داشته که بعدها به صورت میزان عملکرد گیاه به ازای تبخیر ـ تعـرق بیـان شـد. متخصصـان آبیـاری، بهره‌وری آب را برای نشان دادن اینکه آب چقدر به طور مؤثر بـه گیـاه انتقـال داده

شده و تعیین میزان تلفات آب، به کار برده‌اند ولی این تعاریف جزئی بوده و گاه گمراه‌کننده نیز هست زیرا میزان سود حاصل را نشان نداده و آب تلف‌شده در آبیاری اغلب توسط دیگر مصرف‌کنندگان دوباره مورد استفاده قرار گرفته است (Sekler et al., 2003). درحالی‌که رابطه ثابتی بین میزان عملکرد و تعرق وجود دارد، این رابطه در شرایط عملی با توجه به متفاوت بودن شاخص برداشت، شرایط اقلیمی، تنش‌های محیطی، آفات و بیماری‌ها، شرایط خاک و حاصلخیزی آن، و دیگر مسائل مدیریتی و زراعی، متفاوت است؛ بنابراین به نظر می‌رسد پتانسیل قابل توجهی برای افزایش عملکرد نسبت به تبخیر ـ تعرق پیش از رسیدن به حداکثر عملکرد وجود دارد. بیشتر این تغییرات به مسائل مدیریتی در مزرعه ارتباط داده شده است (French and Schultz, 1984). در شرایطی که میزان عملکرد کمتر از ۴۰ تا ۵۰ درصد پتانسیل باشد، فاکتورهای غیر از آب مانند حاصلخیزی خاک، میزان عملکرد و بهره‌وری آب نسبت به تبخیر ـ تعرق را محدود می‌سازد (Tanner and Sinclair, 1983). شور شدن خاک‌ها در کاهش حاصلخیزی خاک‌ها امکان افزایش بهره‌وری آب را کاهش می‌دهد. در چنین شرایطی تأمین به‌موقع آب آبیاری، کنترل آفات و بیماری‌ها، مدیریت حاصلخیزی خاک و کشت به‌موقع گیاهان تأثیر معنی‌داری در بهره‌وری آب خواهد داشت (Molden and Oweis, 2007).

اهمیت بهره‌وری آب

افزایش بهره‌وری آب اصولاً در چهار شرایط بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد: ۱) در جایی که بهره‌وری آب پایین است و بهبود بهره‌وری آب می‌تواند سبب افزایش تولید و رونق کشاورزی شود؛ ۲) در جایی که رقابت فشرده‌ای برای آب وجود دارد؛ ۳) در جایی که توسعه منابع آب محدود بوده و برگشت بخشی از آب می‌تواند تحولات زیادی به همراه داشته باشد و ۴) در جایی که مصرف آب سبب خسارت به اکوسیستم شده است مانند پایین آمدن سطح آب زیرزمینی و خشک شدن رودخانه‌ها که موجب رقابت فشرده برای آب شده است.

در مفهوم وسیع، بهره‌وری آب مرتبط با سود خالص اقتصادی، اجتماعی و محیط زیست از مصرف آب در بخش کشاورزی شامل زراعت، جنگل‌داری،

آبزی‌پروری، دامپروری و ترکیبی از آنها، می‌شود. این مفهوم بازتاب تمایل به استفادهٔ بهتر از منابع آبی محدود است. دلایل مهم برای بهبود بهره‌وری آب کشاورزی عبارت است از:

- محدودیت منابع آب برای رسیدن به امنیت غذایی جمعیت در حال رشد؛
- پاسخگویی به فشار در حال افزایش برای اختصاص بخشی از آب کشاورزی به مصارف شهری و اطمینان از تأمین آب برای مصارف محیط زیست؛
- مشارکت در کاهش فقر، رشد اقتصادی و افزایش درآمد برای جوامع روستایی. بهره‌وری بالای مصرف آب می‌تواند موجب کاهش ارزش سرمایه‌گذاری با کاهش مقدار آب مورد نیاز برای برداشت از منابع آبی شود.

افزایش بهره‌وری به‌ویژه از دیدگاه ارزش تولید به ازای واحد آب کاربردی به طور مستقیم یا غیرمستقیم می‌تواند راهکار مهمی برای بهبود معیشت جوامع محلی باشد. این افزایش می‌تواند از جنبه‌های مختلف مانند ایجاد فرصت‌های شغلی، افزایش درآمد، بهبود تغذیه و ایجاد فرصت‌هایی برای زنان برای بهبود معیشت، مهم باشد. در مورد افزایش بهره‌وری آب در دیدگاه‌های اقتصادی و فیزیکی چشم‌اندازهای ویژای حتی در زمینهٔ مسائل دامپروری و آبزی‌پروری وجود دارد.

افزایش تقاضا برای تولیدات دام و آبزی‌پروری، سبب افزایش تقاضا برای آب می‌شود. افزایش بهره‌وری آب می‌تواند با توجه به منابع غذایی و استراتژی‌های غذایی، بهبود کیفیت مواد غذایی و گنجانیدن دامپروری و آبزی‌پروی در سیستم کشاورزی به طور دقیق‌تری مورد بررسی قرار گیرد زیرا آبزی‌پروی به طور محسوسی تحت تأثیر کاهش جریان‌های سطحی بوده و در بررسی و تحلیل بهره‌وری آب در سطح حوضه آبریز، باید به اثرات آن بر مسائل اجتماعی و زیست‌محیطی در نتیجهٔ کاهش جریان‌های سطحی توجه شود.

وضعیت موجود بهره‌وری آب کشاورزی در کشور

در سال ۱۳۷۹ میانگین بهره‌وری آب در کشت آبی بر اساس میزان کل تولیدات کشاورزی (زراعت و باغبانی آبی) و کل آب مصرفی در بخش کشاورزی با صرف نظر از ترکیب محصولات زراعی و تفاوت ریزش‌های جوی در مناطق مختلف

کشور حدود ۰/۷ کیلوگرم به ازای یک مترمکعب آب آبیاری محاسبه شد (کشاورز و صادق‌زاده، ۱۳۷۹). وضعیت بهره‌وری آب در محصولات زراعی و باغی در مقاطع برنامه چهارم توسعه کشاورزی کشور در جدول شماره ۲ ارائه شده است. در این جدول تولیدات چغندر قند و نیشکر بر حسب قند و علوفه‌های حجیم بر حسب TDN و همچنین آب کاربردی برای سند برنامه چهارم توسعه نیز ارائه شده است. مقدار تولیدات زراعی و باغی آبی در دو سال پایانی برنامه سوم، ۸/۳ میلیون تن بوده و طی سال‌های ۸۹-۱۳۸۴ باید به مقدار ۹۰ میلیون تن افزایش یابد که به نظر می‌رسد تا سال ۱۳۸۶ این هدف تحقق پیدا کرده است. در حالت کلی، در سال ۸۳-۱۳۸۲ مقدار بهره‌وری آب کشاورزی ۰/۷۸ کیلوگرم به ازای مترمکعب آب کاربردی بوده که تا حدودی بیش از سال پایه برنامه است. در مجموع در بهترین سال یعنی سال ۸۶ بهره‌وری آب ۰/۸۸ کیلوگرم به ازای مترمکعب آب کاربردی بوده است که نسبت به هدف برنامه (۰/۹۶ کیلوگرم به ازای مترمکعب مصرف آب) تقریباً اختلاف فاحشی دارد. در همین سال در شرایطی که محصولات بر حسب TDN و قند ارائه شود، بهره‌وری در حدود ۰/۶۷ کیلوگرم به ازای مترمکعب آب کاربردی می‌باشد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول شماره ۲. بهره‌وری آب در محصولات زراعی و باغی آبی در مقاطع مختلف برنامه چهارم توسعه کشاورزی

سال‌های برنامه	کل تولیدات زراعی و باغی آبی و دیم (هزار تن)	کل تولیدات زراعی و باغی آبی (هزار تن)	کل تولیدات زارعی و باغی آبی پس از تبدیل علوفه بر حسب TDN چغندر قند و نیشکر بر حسب درصد قند (هزار تن)	آب مصرفی زراعی و باغی (میلیارد مترمکعب)	بهره‌وری آب نسبت به کل تولیدات زراعی و باغی آبی (کیلوگرم به مترمکعب)	بهره‌وری آب نسبت به کل تولیدات زراعی و باغی آبی پس از تبدیل نباتات علوفه‌ای بر حسب TDN و چغندرقند و نیشکر بر حسب درصد قند (کیلوگرم بر مترمکعب)
سال پایه ۱۳۸۲-۸۳	۷۷۱۴۵	۶۸۷۴۱	۵۲۲۳۳	۸۸/۳	۰/۷۷۸	۰/۵۹۱
۱۳۸۴	۸۴۸۴۴	۷۶۱۳۱	۵۷۸۹۸	۸۹/۲	۰/۸۵۳	۰/۶۴۹
۱۳۸۵	۸۶۸۰۹	۷۳۶۴۳/۴	۵۴۱۱۹	۹۰	۰/۸۱۸	۰/۶۰۱
۱۳۸۶	۸۹۶۶۴	۸۰۱۲۶	۶۰۹۴۶/۶	۹۰/۹	۰/۸۸۱	۰/۶۷۰
۱۳۸۷	–	–	–	۹۱/۸	–	–
۱۳۸۸	–	–	–	۹۲/۶	–	–
سال هدف	۹۹۱۳۱	۸۹۳۷۸	۶۲۸۱۴	۹۲/۶	۰/۹۶۵	۰/۶۷۸

در جدول شماره ۳، بهره‌وری برخی محصولات مهم کشور در مقایسه بـا مقـدار آن در کشور مصر مورد ارزیابی قرار گرفته است. بر اساس این نتایج، تنها محصولی که در ایران نسبت به مصر عملکرد بالایی دارد، ذرت است. عملکرد ذرت ایران ۷۶۹۸ کیلوگرم بوده و با توجه به متوسـط آب کـاربردی در منـاطق کشـور بهـره‌وری آب کاربردی آن حدود ۰/۵۱ کیلوگرم به ازای مترمکعب مصرف آب است که مقدار آن در مصر ۰/۳۲ است.

جدول شماره ۳. مقایسه بهره‌وری آب (تولیدات به ازای مصرف یک مترمکعب) در چند محصول مهم در کشورهای مصر و ایران در سال ۱۳۸۶ (۲۰۰۷ میلادی)

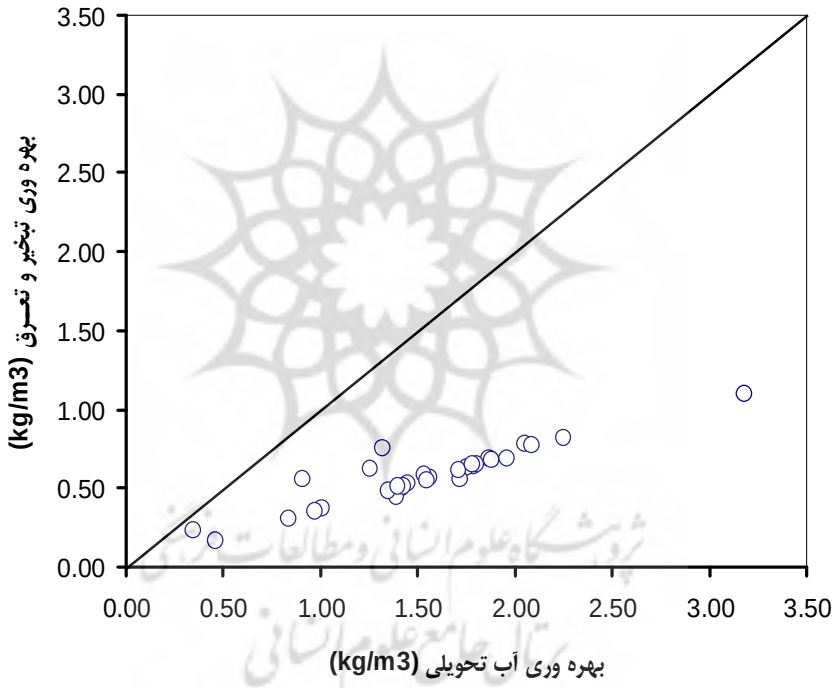
محصول	ایران			مصر		
	عملکرد (کیلوگرم)	متوسط مصرف آب (مترمکعب)	تولید به ازای مصرف یک مترمکعب آب (کیلوگرم)	عملکرد (کیلوگرم)	متوسط مصرف آب (مترمکعب)	تولید به ازای مصرف یک مترمکعب آب (کیلوگرم)
گندم	۳۸۰۱ دانه ۱۲۰۰ کاه	۶۵۰۰	۰/۷۷	۶۴۷۸ دانه ۲۰۰۰ کاه	۶۲۰۰	۱/۳۶
شلتوک	۴۳۲۶	۱۲۰۰۰	۰/۳۶	۱۰۲۸۸	۱۷۰۰۰	۰/۶۱
پنبه	۳۵۳۵	۱۵۰۰۰	۰/۱۶	۴۵۴۵/۴۷	۱۶۰۰۰	۰/۲۸
ذرت	۷۶۹۸	۱۵۰۰۰	۰/۵۱	۴۵۵۸	۱۴۰۰۰	۰/۳۲
چغندرقند*	۵۴۱۵	۱۶۰۰۰	۰/۳۴	۸۹۸۸	۱۷۰۰۰	۰/۵۳
نیشکر*	۸۷۰۷	۲۸۰۰۰	۰/۳۱	۱۱۹۵۷	۲۸۰۰۰	۰/۴۳

* تولید شکر در هکتار مبنای محاسبه می‌باشد.

در شرایط همکاری زارعان و بهره‌برداران، معمولاً همبستگی خوبی بـین عملکـرد و آب آبیاری وجود ندارد و به واسطه ضعف در مدیریت آبیاری و برنامه‌ریزی آبیاری نامناسب، وجود روان‌آب و نفوذ عمقی و گاه کم‌آبیـاری در بعضـی مراحـل رشـد، افزایش آب کاربردی دلیلی بر افزایش عملکـرد گیـاه نیسـت. در شـکل شـماره ۵، تغییرات بهره‌وری به طور متوسط در زیـر حوضـه‌هـای آبریـز کشـور بـه ازای آب

تحویلی و مقدار تبخیر ـ تعرق ارائه شده است. ازآنجاکه آن قسمت از آب تحـویلی که صرف تبخیر و تعرق نمی‌شود، به عنوان تلفات منظور می‌شـود، فاصـله نقـاط از خط ۴۵ درجه نشان‌دهندهٔ میزان تلفات آب آبیاری در زیر حوضه‌های آبریز مختلف است. بر همین اساس بیشترین تلفات آب در زیر حوضه آبریز کارون بزرگ و بعـد از آن سرخس است. نتـایج همچنـین نشـان مـی‌دهـد کمتـرین تلفـات مربـوط بـه زیرحوضه‌های تالش ـ مرداب انزلی و کویرهای ذرانجیـر و سـاغند اسـت (کـاوه و حسینی ابری، ۱۳۸۸).

شکل شماره ۵. تغییرات بهره‌وری در زیرحوزه‌های آبریز کشور به ازای آب تحویلی و مقدار تبخیر ـ تعرق



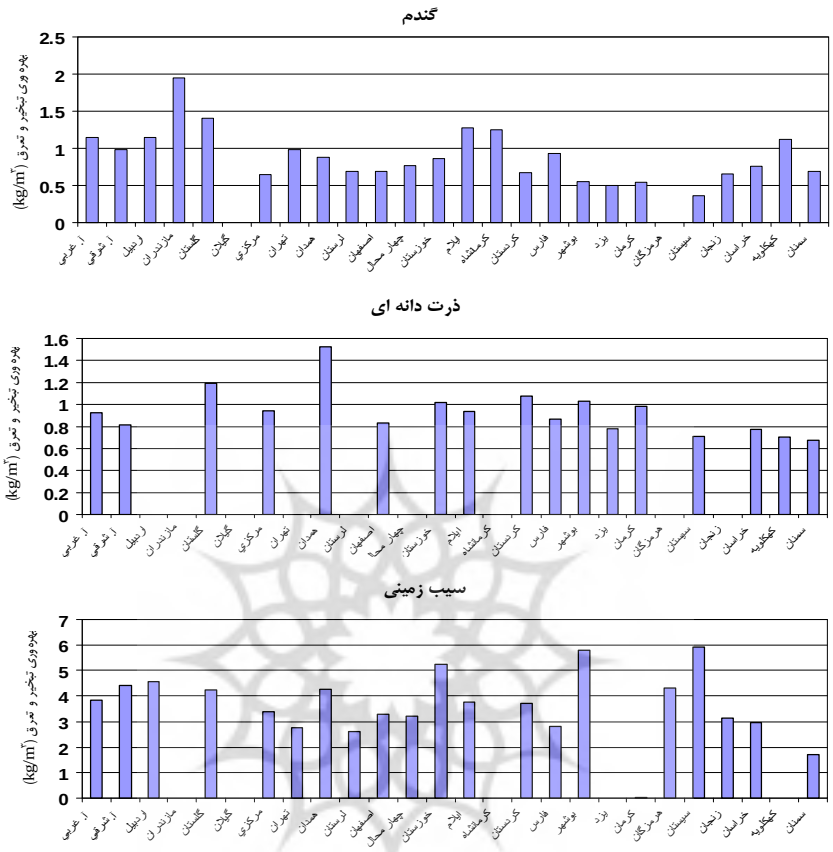
بررسی‌های منطقه‌ای بر روی بهره‌وری آب (WP) در کشور نشان‌دهنده آن است کـه بهره‌وری آب گندم و ذرت در سه شهرستان ارومیه، کرج و مشهد برای ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی متر آب آبیاری حداکثر و برابر با ۱ و ۱/۳ کیلوگرم بر مترمکعب آب کـاربردی بوده است (Dehghanisanij et al., 2008). میزان WP ذرت در ارومیه، بـرای هـر میـزان آب کاربردی، در مقایسه با کرج و مشهد بیشتر بود، ولی تفـاوت معنـی‌داری بـرای

WP گندم در این سه منطقه مشاهده نشد. علت دامنه تغییرات در مقدار WP در این سه منطقه تقویم زراعی، شرایط اقلیمی و اندازه قطعات زراعی گزارش شده است. بر این اساس، برای دسترسی به مقدار بهینه WP، اولویت کاشت گندم در این سه منطقه باید با مناطقی باشد که با مصرف آب به میزان ۴۰۰ میلی‌متر، بهره‌وری آب گندم در حدود ۱ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شود. این مقادیر برای ذرت ۶۰۰ میلی متر و ۱/۳ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شده است (دهقانی سانیج و همکاران، ۱۳۸۷).

در شکل شماره ۶ تغییرات بهره‌وری آب محصولات مختلف در بعضی مناطق کشور به ازای تبخیر و تعرق ارائه شده است. تغییرات زیاد بهره‌وری آب زراعت‌های مختلف در استان‌ها به ازای تبخیر و تعرق می‌تواند در تعیین و پیشنهاد الگوی کشت برای افزایش بهره‌وری آب کشاورزی به کار رود. بهره‌وری بالای گندم در مازندران، ذرت دانه‌ای در همدان و سیب زمینی در خوزستان (بوشهر) و سیستان در بین سایر استان‌ها در این شکل مشخص است. تفاوت در نتایج ارائه‌شده توسط *دهقانی سانیج و همکاران* (Dehghanisanij et al., 2008) و *کاوه* و *حسینی ابری* (۱۳۸۸) می‌تواند در نتیجه تعریف بهره‌وری (تبخیر و تعرق و آب مصرفی) باشد که توجه به آن در مطالعات مورد تأکید است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

شکل شماره ۶. تغییرات متوسط بهره‌وری آب محصولات مختلف در کشور به ازای مقدار تبخیر ـ تعرق



اندازه و مقادیر جهانی شاخص بهره‌وری آب

طی سال‌های اخیر تحقیقات مفیدی با هدف بازبینی و بررسی مقادیر WP در نقاط مختلف دنیا به انجام رسیده است (Zwart and Bastiaanssen, 2004; Stewart et al, 1977). نتایج این بررسی نشان داده که بهبود شیوه‌های مدیریتی آب و خاک در سال‌های اخیر سبب افزایش مقادیر WP شده است. کاربرد روش‌های جدید آبیاری از جمله آبیاری بارانی و قطره‌ای، با توجه به بهبود مدیریت آبیاری در مزرعه، WP را به میزان قابل توجه‌ای افزایش داده است (Dehghanisanij et al, 2006).

در ترکیه، متوسط دامنه تغییرات WP ذرت بین ۱/۶۵ تا ۲/۵ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شده و بیشترین مقدار WP مربوط به تیمارهای کم‌آبیاری بوده

است (Dagdelen et al., 2005). در شرایط مدیریت یکسان با افزایش شاخص برداشت، مقدار WP افزایش می‌یابد. در تحقیقی که به منظور مقایسه مقادیر WP واریته‌های قدیمی و جدید گندم در اقلیم مدیترانه‌ای استرالیا انجام شده است، گزارش شده که واریته‌های قدیمی گندم به علت شاخص برداشت (HI)[1] پایین‌تر، مقادیر WP کمتری داشتند (Siddique et al., 1990)، ولی تفاوت معنی‌داری را بین کل ماده خشک واریته‌های جدید و قدیم گندم مشاهده نکردند. بررسی رابطه بین بهره‌وری آب با تقویم زراعی گندم نشان داد ارقام با طول رشد کوتاه‌تر معمولاً دارای بهره‌وری آب بیشتری هستند (Ehdaie, 1995).

زارت و *باستیانسن* (Zwart and Bastiaanssen, 2004) با مطالعه تعداد ۸۴ منبع تحقیقاتی در ۲۵ سال اخیر، نشان دادند بهره‌وری آب محصولات گندم، برنج، پنبه، و ذرت در تمامی موارد از مقادیر گفته‌شدهٔ قبلی توسط FAO بیشتر است. بر اساس نتایج این تحقیق جهانی، متوسط شاخص بهره‌وری آب محصولات گندم، برنج، پنبه (تولید دانه)، پنبه (تولید وش)، و ذرت به ترتیب برابر ۱/۰۹، ۱/۰۹، ۰/۶۵، ۰/۲۳، ۱/۸ کیلوگرم بر مترمکعب است. دامنه شاخص بهره‌وری آب برای محصولات فوق وسیع بوده که برای گندم، برنج، پنبه (تولید دانه)، پنبه (تولید وش)، و ذرت به ترتیب برابر با ۱/۷-۰/۶، ۱/۶-۰/۶، ۰/۹۵-۰/۴۱، ۰/۳۳-۰/۱۴ و ۲/۷-۱/۱ کیلوگرم بر مترمکعب آب کاربردی بوده است. آنها تغییرات در مقدار این شاخص را به طور عمده به عوامل اقلیم، مدیریت آبیاری، و مدیریت کود نسبت دادند. نتیجهٔ بارز این تحقیق آن بود که شاخص بهره‌وری آب به مقدار زیادی می‌تواند در صورت کاهش مقدار آب آبیاری و اعمال کم آبیاری افزایش یابد.

ازآنجاکه برنج در مقایسه با سایر گیاهان آب بیشتری مصرف می‌کند، بهره‌وری آب آن پایین‌تر از سایر غلات است. بهره‌وری آب برنج در مقیاس جهانی ۰/۶-۰/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب آب است، درحالی‌که برای سایر غلات ۲/۴-۰/۲ کیلوگرم بر مترمکعب آب است. برای برنج و دیگر غلات، بهره‌وری آب در منطقه صحرای افریقا پایین‌تر از سایر مناطق است. بهره‌وری آب برنج در این مناطق

1. Harvest Index

۰/۱–۰/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب آب بوده که نتیجهٔ عملکرد ۱/۴ تن و آب مصرفی ۹۵۰۰ مترمکعب در هکتار است. مقدار بهره‌وری آب دیگر غلات در این مناطق به طور متوسط ۰/۳ کیلوگرم بر مترمکعب آب است که بین ۰/۶–۰/۱ متغیر است و نتیجه عملکرد ۲/۴ تن و آب مصرفی ۷۷۰۰ مترمکعب در هکتار است.

در میان کشورهای درحال‌توسعه، چین و بعضی کشورهای شرق آسیا دارای بالاترین مقدار بهره‌وری آب برنج ۰/۶–۰/۴ کیلوگرم بر مترمکعب آب هستند ولی متوسط آن در کشورهای درحال‌توسعه، ۰/۴۷ کیلوگرم بر مترمکعب آب است. در کشورهای بزرگ مانند چین و هندوستان، مقدار بهره‌وری آب کشاورزی بسیار متغیر است. در چین، بهره وری آب غلات بین ۱/۴–۰/۴ بوده در حالی که در هندوستان ۰/۷–۰/۲ کیلوگرم بر مترمکعب آب است.

بررسی کشورهای همسایه ایران و یا با اقلیمی مشابه حاکی از آن است که در این کشورها نیز بهره‌وری آب از سطح مطلوبی برخوردار نیست. در هندوستان بهره‌وری آب برنج ۱/۱۰– ۰/۵ کیلوگرم بر مترمکعب آب گزارش شده است. بررسی عملکرد و بهره‌وری آب در هندوستان نشان داد بین حوضه‌های آبریز مختلف آن کشور بهره‌وری آب به طور متوسط بین ۲/۷۵–۰/۴۷ برای گندم و ۳/۶۹–۰/۴۲ کیلوگرم بر مترمکعب آب برای برنج متغیر است. در منطقه پنجاب که از مناطق مهم و وسیع کشاورزی پاکستان است، بهره‌وری آب گندم در شرایط مدیریت زراعی بدون خاک‌ورزی حداکثر ۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب و در شرایط کشت روی پشته ۱/۳۶–۱/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب آب گزارش شده است. به طور متوسط در پاکستان بهره‌وری آب گندم ۰/۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب است که ۲۴ درصد کمتر از متوسط جهانی (۱/۰~ کیلوگرم بر مترمکعب آب) است. در منطقه پنجاب بهره‌وری آب برنج ۰/۴۵ کیلوگرم بر مترمکعب آب است که ۵۵ درصد پایین‌تر از مقدار متوسط آن در آسیا (۱/۰~ کیلوگرم بر مترمکعب آب) می‌باشد. بهره‌وری آب در حوزه آبریز رودخانه زرد در چین برای ذرت و گندم به ترتیب ۱/۴ و ۰/۵۹ کیلوگرم بر مترمکعب آب گزارش شده است.

در ترکیه متوسط آب مصرفی در واحد هکتار در حدود ۱۰ هزار مترمکعب بوده و متوسط بهره‌وری آب ۱/۲ کیلوگرم بر مترمکعب آب است (Burak, 2005). این

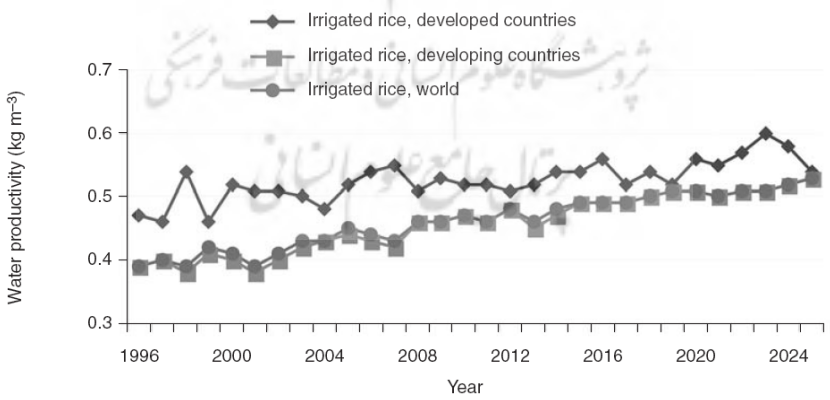
در حالی است که بهره‌وری آب گندم در مناطق نیمه‌خشک ترکیه با توجه به مدیریت کاشت ۰/۲۳ تا ۰/۹۴ کیلوگرم بر مترمکعب آب متغیر است.

(References and Further Reading May be Available for this Article. to View References and Further Reading You must Purchase this Article.Cayci Et Al., 2009).

روند تغییرات در بهره‌وری آب طی سال‌های ۲۰۲۵-۱۹۹۵

کای و *روزگرانت* (۲۰۰۳) روند تغییرات بهره‌وری آب را برای زراعت برنج و دیگر غلات طی سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۹۵ میلادی در مقیاس بین‌المللی مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مطالعه ابتدا میزان عملکرد و آب مصرفی با مدل IMPACT-WATER که توسط مؤسسه تحقیقات بین‌المللی سیاست غذا (IFPRI)[1] ارائه شده است محاسبه و سپس بهره‌وری آب بر اساس معادله شماره ۱ تعیین شد. بر اساس این مطالعات، روند افزایش بهره‌وری آب برنج در کشورهای درحال‌توسعه بیش از کشورهای توسعه‌یافته بوده و پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۲۵ میلادی مقدار آن در هر دو سری کشورها یکسان باشد ولی در مجموع، روند افزایش بهره‌وری آب برنج بسیار کند است و پیش‌بینی می‌شود مقدار فعلی ۰/۴۴ به حداکثر مقدار ۰/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب آب در سال ۲۰۲۵ میلادی برسد (شکل شماره ۷).

شکل شماره ۷. پیش‌بینی تغییرات بهره‌وری آب برنج در جهان در سال‌های ۲۰۲۵-۱۹۹۵ میلادی

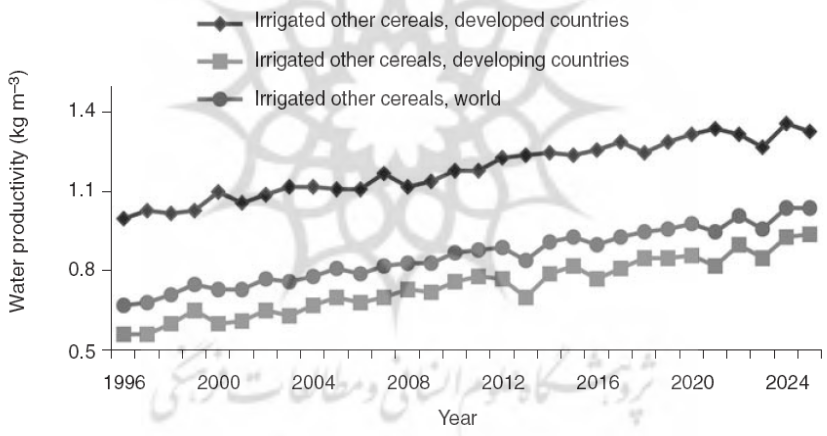


Source: Cai and Rosegrant, 2003

1. International Food Policy Research Institute (IFPRI)

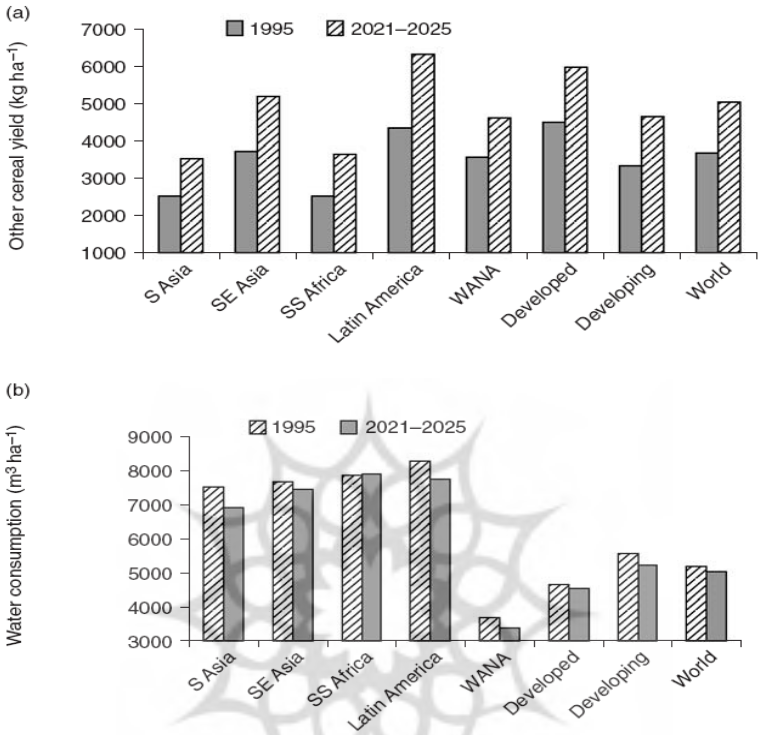
بهره‌وری آبِ سایر غلات، دارای رشد افزایشی بیشتری است و پیش‌بینی می‌شود مقدار آن در کشورهای توسعه‌یافته از ۱ به ۱/۴ و در کشورهای درحال‌توسعه از ۰/۷ به ۱/۱ افزایش یابد. این افزایش در تمام مناطق مختلف وجود دارد که پیش‌بینی تغییرات آن در شکل شماره ۸ نشان داده شده است. حال پرسش این است که آیا افزایش بهره‌وری آب در اثر افزایش عملکرد و یا افزایش راندمان آبیاری در سطح مزرعه حاصل می‌شود؟ شکل شماره ۹ نشان می‌دهد میزان عملکرد محصول افزایش یافته ولی مقدار آب مصرفی در سطح مزرعه کاهش داشته است. پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که طی سال‌های ۲۰۲۵-۱۹۹۵ میلادی سطح زیر کشت غلات حداکثر ۱۰ درصد افزایش می‌یابد. درحالی‌که میزان آب برداشتی از منابع آب در حدود ۲۳ درصد افزایش خواهد یافت که بیشتر برای مصارف غیر کشاورزی خواهد بود.

شکل شماره ۸ پیش‌بینی تغییرات بهره‌وری آب غلات بجز برنج در جهان در سال‌های ۲۰۲۵-۱۹۹۵ میلادی



Source: Cai and Rosegrant, 2003

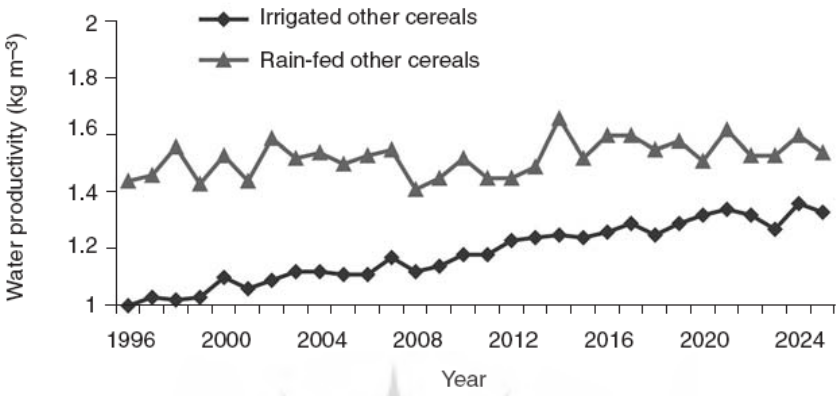
شکل شماره ۹. پیش‌بینی تغییرات عملکرد و مصرف آب در زراعت غلات بجز برنج در مناطق مختلف در سال ۱۹۹۵ و طی سال‌های ۲۰۲۵-۲۰۲۱ میلادی



Source: Cai and Rosegrant, 2003

میزان بهره‌وری آب زراعت‌های آبی کمتر از زراعت آبی است. این اختلاف با گذشت زمان به علت افزایش بهره‌وری آبیاری و عملکرد در مزارع آبی کاهش می‌یابد. پیش‌بینی می‌شود مقدار بهره‌وری آب غلات در اراضی دیم در دوره زمانی ۲۰۲۵-۱۹۹۶ میلادی بین ۱/۴ تا ۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب متغیر باشد. درحالی‌که بهره‌وری آب زراعت‌های آبی با توجه به روند توسعه تولید بذرهای با مشخصات مقاوم به انواع تنش‌های محیطی، شاخص برداشت بالا، عملکرد بالا در واحد سطح و طول دوره رشد کوتاه‌تر، از ۱ به ۱/۴ افزایش خواهد یافت (شکل ۱۰).

شکل شماره ۱۰. پیش‌بینی تغییرات بهره‌وری آب در زراعت غلات بجز برنج در اراضی آبی و دیم در کشورهای توسعه‌یافته طی سال‌های ۲۰۲۵-۱۹۹۵ میلادی



Source: Cai and Rosegrant, 2003

سیاست‌ها و راهکارهای بهبود بهروه‌وری آب

افزایش در بهره‌وری آب توسط سه سیستم بیولوژیک، محیط و مدیریت امکان‌پذیر است. واضح است که افزایش در بهره‌وری آب نتیجه فرایند ارتباط متقابل و تأثیرات سه سیستم فوق است. اگرچه در کشور فعالیت‌هایی در این زمینه به انجام رسیده تا به هدف نهایی افزایش بهره‌وری آب نائل شویم، ولی فاصلهٔ زیادی بین نتایج به‌دست‌آمده از تحقیقات و کاربرد آنها در بخش اجرا در این زمینه وجود دارد. این امر به طور عمده ناشی از تعامل محدود بین محققان، مروجان و کشاورزان برای انتقال یافته‌های تحقیقاتی و فناوری جدید و مناسب کار است.

چشم‌انداز وسیعی برای بهبود بهره‌وری آب وجود دارد که بسته به مناطق مختلف، متفاوت است. در مناطقی که در حال حاضر بهره‌وری آب بالایی دارند، چشم‌انداز بهبود بسیار محدود است ولی در بسیاری مناطق تحت آبیاری، اراضی دیم و همچنین آبزی‌پروری در بسیاری از مناطق دنیا، پتانسیل زیادی برای بهبود بهره‌وری آب وجود دارد. بسیاری از کشاورزان در کشورهای درحال‌توسعه می‌توانند با به‌کارگیری مدیریت آب و زراعت توصیه‌شده، بهره‌وری آب را به طور قابل توجهی بهبود دهند.

راهکارهای مطمئن زیادی برای بهبود بهره‌وری آب برای اراضی که کاملاً تحت آبیاری هستند تا اراضی که به طور کامل تحت مدیریت زراعی دیم قرار دارند، توصیه شده است. تعدادی از این راهکارها عبارتند از: کم‌آبیاری، آبیاری تکمیلی، مدیریت حاصلخیزی خاک، مدیریت ذخیره آب در سطوح کوچک، کاربرد فناوری‌های نوین آبیاری شامل روش‌های آبیاری تحت فشار و آبیاری قطره‌ای، مدیریت زراعی خاک شامل کم‌خاک‌ورزی و بدون‌خاک‌ورزی. اصلاح ارقام و بیوتکنولوژی نیز می‌تواند به طور غیرمستقیم با تولید ارقام مقاوم و کاهش میزان افت عملکرد در نتیجه آفت و بیماری‌ها، بهبود رشد اولیه و پوشش سطح خاک، کاهش حساسیت به خشکی و سایر تنش‌های محیطی، بهره‌وری آب را بهبود بخشند.

در حال حاضر شاخص بهره‌وری آب محصولات زراعی مناطق مختلف در کشور، چندان مشخص نبوده و اندازه‌گیری‌های دقیق و معتبر در این زمینه در سطح مزارع کشور کافی نیستند؛ لذا تعیین مقدار این شاخص از نظر برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب و اقتصاد کشاورزی در مناطق مختلف حائز اهمیت است. با تعیین شاخص بهره‌وری آب آبیاری می‌توان به اندازه این شاخص و دلایل پایین بودن شاخص از لحاظ مسائل و مشکلات مدیریتی آبیاری و زراعی محصولات مختلف در مناطق مختلف کشور پی برد و راهکارهای لازم را ارائه کرد.

دستیابی به بهبود بهره‌وری آب به عنوان شاخص مصرف آب در انواع تولیدات کشاورزی پایدار نیازمند تغییر اساسی در اهداف، سیاست‌ها و برنامه‌های مدیریت آب است. سیستم آب کشور باید مبتنی بر اهداف چندگانهٔ تولید هماهنگ (زراعت آبی، دیم، دامپروری، و آبزی‌پروری همراه با اکوسیستم سالم) تجدید ساختار شود و اهداف، سیاست‌ها و برنامه‌های مورد نیاز تعیین و مشخص شوند. مهم‌ترین این سیاست‌ها و راهکارها عبارتند از:

۱. تغییر سیاست شاخص بهره‌وری زمین به بهره‌وری آب برای دستیابی به حداکثر تولید به ازای واحد مصرف آب؛

۲. توسعه فعالیت‌های تحقیقاتی بر روی گیاهان زراعی با نیاز آبی کمتر، طول دوره رشد کوتاه‌تر و متناسب با شرایط اقلیمی مناسب، دارای فیزیولوژی متحمل به

تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش خشکی؛

۳. توسعه روش‌های به‌زراعی با هدف صرفه‌جویی در مصرف آب مانند روش‌های حفاظتی خاک (کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی)، مدیریت آبیاری در مراحل اولیه رشد، کشت نشا در محیط‌های گلخانه‌ای وغیره؛

۴. تغییر تفکر در مورد آب برای رسیدن به سه هدف امنیت غذایی، کاهش فقر و حفظ اکوسیستم به جای تصویر ایزوله کشاورزی به عنوان یک سیستم تولید و نگرش به آن به عنوان سیستم چند وجهی تلفیقی؛

۵. افزایش تولید و استفاده از آب در افزایش تولیدات کشاورزی با تکیه بر بهبود و ارتقای بهره‌وری از طریق رعایت حقوق آب کشاورزی، سرمایه‌گذاری در سیستم‌های ذخیره، انتقال، بهبود و ارزش افزوده بهره‌وری از آب، با استفاده از فناوری مناسب، متنوع کردن برنامه‌های تولیدات با شاخص بهبود بهره‌وری؛

۶. اعمال مدیریت کشاورزی همراه با ارائه خدمات اکو سیستم‌ها. انجام اقدامات و برنامه‌های تولید غذا، فیبر، پروتئین نباید به قیمت حذف رودخانه‌ها و یا تالاب‌ها تمام شود. اگرچه در برخی موارد، تغییر اکوسیستم اجتناب‌ناپذیر است و حق انتخاب مشکل؛

۷. کسب محصول یا درآمد بیشتر با مصرف آب کمتر: اتخاذ این سیاست می‌تواند تقاضای آب را در آینده نیز کاهش دهد و موجب کنترل محیط زیست و آسان‌تر کردن رقابت در آب شود. افزایش ۳۵ درصدی در بهره‌وری آب می‌تواند نیاز آبیاری محصولات را بین ۲۰ تا ۸۰ درصد کاهش دهد و غذای بیشتری به ازای حجم واحد آب تولید خواهد شد؛

۸. تطبیق آبیاری دیروز با نیاز فردا: امکان توسعه سریع و مستمر کشاورزی تمام‌آبی بسیار محدود است (با توجه به امکان افزایش حداکثر ۱۶ درصد به منابع آب کشاورزی کشور)؛ بنابراین بزرگ‌ترین چالش، انطباق سیستم آبیاری دیروز به نیاز فرداست. مدرن‌سازی، ترکیب مناسب فناوری و ارتقای مدیریت برای بهبود پاسخ به نیاز ذی‌نفعان، امکان افزایش تولید بیشتر و پایدار را فراهم می‌کند. سیستم‌های آبیاری موجود نیازمند تلفیق جدید و مناسب‌تر و اصلاح با سیستم‌های تولیدات کشاورزی برای تحقق تولید محصولات کشاورزی با بهره‌وری تولید و یا

ارزش بالاتر است؛

۹. ارتقای سیستم کشت دیم: بهبود سیستم‌های زراعی دیم با تکیه بر استفاده بیشتر از آب باران یا تدبیر آبیاری تکمیلی می‌تواند در افزایش بهره‌وری از آب باران در تولیدات کشاورزی تأثیرگذار باشد؛

۱۰. اصلاح ساختار مدیریت آب و کشاورزی: در ادامه سیاست‌های منطقی کردن مدیریت منابع آب بر مبنای بهره‌وری پایدار و توجه به اکوسیستم همراه با تغییر سیاست‌های اصلی، نیاز به سرمایه‌گذاری‌های مهم و اساسی در مدیریت آبیاری و کشاورزی و اتخاذ سیاست‌های مهم بین جوامع عرضه و مصرف با حداکثر مشارکت بخش خصوصی و اصلاح ساختار مدیریت آب و کشاورزی، نیازی اساسی است؛

۱۱. تدوین برنامه تولید، صادرات و واردات: در اجرای سیاست مدیریت بهره‌وری آب، تنظیم سیاست‌های تولید و صادرات و واردات محصولات کشاورزی با مفهوم بهره‌وری آب نظیر موارد زیر مورد نیاز است:

- تأکید بر خودکفایی در محصولاتی که تولید آنها مبتنی بر بهره‌وری آب، مزیت نسبی دارد؛
- تأکید بر تولید محصولات صادراتی با نیاز آبی کمتر (لحاظ کردن ارزش اقتصادی آبی؛
- تأکید بر واردات محصولات با نیاز آبی بیشتر.

۱۲. اطلاع‌رسانی و آگاهی عمومی: به دلیل تغییر آهسته و تدریجی فرهنگ‌های رایج مردم، اطلاع‌رسانی ذی‌نفعان، مذاکره و تفاهم با آنان به منظور تصمیم‌سازی تخصیص آب، شفاف‌سازی نیازهای کلیه بخش‌ها (خارج از عناوین رسمی آنها) توصیه می‌شود.

از سوی، افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی موضوعی استراتژیک و یک راهکار است. استراتژیک از این نظر که ابتدا باید در سطح کشور با توجه به مقادیر آب موجود در جهت بهره‌گیری بیشتر از آن، تصمیمات کلان اتخاذ شود. در این راستا مسائلی از قبیل تخصیص آب میان بخش‌های مختلف مصرف و تقویت بخش صنعت یا کشاورزی، وارد شدن به بازارهای جهانی کشاورزی، پیاده کردن الگوهای

کشت مناسب، تغییر در قوانین و حقوق آب و تعیین الگوی بهینه مصرف را می‌توان از مسائل استراتژیک آب به شمار آورد. مسائل تاکتیکی که به‌ویژه در بخش کشاورزی در جهت تحقق موضوع می‌توان به کار گرفت در چهار گروهِ راهکاریِ زیر خلاصه می‌شود:

- راهکارهای فنی (تسطیح اراضی، به‌کارگیری روش‌های نوین آبیاری تحت فشار، آبیاری دقیق و خودکارسازی سیستم‌های آبیاری و...)؛
- راهکارهای مدیریتی (برنامه‌ریزی آبیاری، آبیاری به‌موقع، کم‌آبیاری، عملیات بهتر خاک‌ورزی و استفاده مجدد از آب‌های زهکشی و روان‌آب‌های مزرعه و...)؛
- راهکارهای تشکیلاتی (ایجاد تشکیلات غیردولتی برای مشارکت‌های مردمی، کاهش یارانه‌های بخش آب و قیمت‌گذاری مناسب، فراهم آوردن چهارچوب‌های قانونی برای بازارهای مناسب و مؤثر آب، به کار گماردن افراد کاردان و ماهر به عنوان پلیس آب و...)؛
- راهکارهای زراعی (انتخاب ارقامی که به ازای هر واحد آب مصرفی حداکثر محصول را تولید کنند، انتخاب ارقام مقاوم به خشکی و اصلاح نبات در جهت افزایش بهره‌وری آب، مدیریت آبیاری بر اساس رطوبت خاک، توسعه کشت‌های حفاظتی، کم‌آبیاری، کاربرد پوشش‌های پلاستیکی و آلی، و...).

گرچه تاکنون دیدگاهی که تمامی عوامل گفته‌شده را با یکدیگر و به صورت به‌هم‌پیوسته مورد بررسی قرار دهد، وجود نداشته و در مقایسه با کالاهای دیگر، سرمایه‌گذاری چندانی بر روی کارهای تحقیقاتی در زمینه افزایش بهره‌وری آب انجام نشده، بنابراین با توجه به شرایط خاص اقلیمی ایران و پایین بودن امکان افزایش منابع جدید آب در بخش کشاورزی و ضرورت افزایش تولیدات کشاورزی از منابع آب محدود، استفاده از روش‌های علمی و فنی مناسب برای افزایش بهره‌وری از ضرورت‌های بخش کشاورزی است.

نتیجه‌گیری

با درک این واقعیت که بیشتر کشورها از جمله ایران از بحران مدیریت آب رنج می‌برند تا کمبود منابع آب، و قبول این اصل که دوران دستیابی به منابع آبی جدید

قابل ملاحظه برای توسعه کشاورزی سپری شده (خارج شـدن از ذهنیـت پُرآبـی)، بایـد چرخشـی اساسـی در سیاسـت‌هـا و برنامـه‌هـای مصـرف آب ایجـاد کـرد و سیاست‌های جدیدی در راستای انتخاب و تحقق هدف بهـره‌وری آب در تولیـدات کشاورزی در پیش گرفت. باید تمامی اقدامات و فعالیت‌ها در این راستا قرار گیرند و به جای بهره‌وری زمین، بهره‌وری آب ملاک کلیه تصمیم‌ها، رفتارها و اقدامات در بخش کشاورزی قرار گیرد. جهت‌گیری جدید در انتخاب محصولات مورد کشـت، اعمال مدیریت‌های مناسب و دقیق کاربرد آب، توجه به اقداماتی بـه منظـور انجـام امور مهندسی تأمین، انتقال، توزیع و کاربرد آب همراه با تغییر و اصلاح برنامه‌هـای کاربرد آب در بخش کشاورزی، اعمال سیاست و برنامـه تقاضـامحـوری بـا جلـب مشارکت فعال و واگذاری بخش‌های عمده‌ای از تصمیمات و اقدامات مسئولانه بـه بهره‌برداران، اصلاح سیستم‌های تولید و واردات و صادرات با رعایت آب مجازی از جمله اقدامات ضروری و اساسی اسـت کـه بایـد هرچـه سـریع‌تـر در بخـش آب کشاورزی انجام گیرد.

ارزیابی وضع موجود نشان می‌دهد در حال حاضر نرخ بهـره‌بـرداری از منـابع آب و خاک وضعیت ایده‌آلی نداشته و بهره‌برداری از این منابع با شیوه‌هـای سـنتی، هدر رفتن منابع آب و افت کیفیت منابع خاک را به دنبـال داشـته اسـت. همچنـین تغییر بدون ضـابطه کـاربری منـابع آب و خـاک تهدیـدی جـدی در مسـیر حفـظ سرمایه‌های طبیعی موجود شده است. تأمین غذای جمعیت موجـود و رو بـه رشـد کشور و همچنین وضعیت اقتصادی ـ اجتماعی کشور، چشـم‌انـداز مهمـی را بـرای آیندهٔ فعالیت‌های کشاورزی ترسیم می‌کند که اهمیت زیربخش آب و خاک نیـز در این زمینه انکارناشدنی است. در ده سال آینده، ضمن توجه به بهره‌برداری منابع آب موجود و اصلاح سـاختار مصـرف منـابع آب استحصـالی در بخـش‌هـای مختلـف مصرف‌کننده به‌ویژه در بخش کشاورزی، باید به مدیریت مصـرف آب اهمیـت لازم داده شود. در زمینه منابع خاک نیز باید ضمن جلـوگیری از تغییـر کـاربری اراضـی کشاورزی و حفاظت کیفی منابع خاک، به توسعه سطح زیر کشت در اراضی مستعد با رعایت نظام مناسب بهره‌برداری از اراضی پرداخت. ⁂

منابع

الف ـ فارسی

آمارنامه کشاورزی. ۱۳۸۵. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، دفتر آمار و فناوری اطلاعات.

دهقانی سانیج، حسین؛ نخجوانی مقدم محمدمهدی؛ مهدی اکبری. ۱۳۸۷. «بررسی کارایی مصرف آب بر اساس مزایای نسبی مناطق و کم‌آبیاری». *مجله آبیاری و زهکشی ایران*، شماره ۱، سال دوم، صص ۹۱-۷۷.

غفاری شیروان، جعفر. ۱۳۷۳. «مروری بر وضعیت بهره‌برداری منابع آب ایران»، *نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران: مدیریت تخصیص و بهره‌برداری بهینه از آب در کشاورزی*، ۶-۵ اسفند، تهران.

کاوه، فریدون. و سید علی حسینی ابری. ۱۳۸۸. «افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی آبی»، *دوازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران*، صص ۱۲۲-۱۱۱.

صادق‌زاده کوروش و عباس کشاورز. ۱۳۷۹. *توصیه‌هایی بر بهینه‌سازی کارایی مصرف آب در اراضی کشور*، دفتر تولید برنامه‌های ترویجی و انتشارات فنی مرکز آموزش کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی، به شماره ثبت ۷۸/۵۵۶ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی.

ب ـ لاتین

Burak S. 2008. *Water Use Efficiency Report Turkey. Water Use Efficiency Experts Meeting*, **5 November 2008, Sophia Antipolis. PLAN BLEU, France**

Cai X. and Rosegrant M.W. 2003. World Water Productivity: Current Situation and Future Options. CAB International 2003. 163-178.

References and further reading may be available for this article. To view references and further reading you must purchase this article.Cayci G., Heng L.K., Öztürk H.S., Sürek D., Kütük C. and Sağlam M. 2009. Crop yield and water use efficiency in semi-arid region of Turkey. Soil and Tillage Research. 2009 103(1). p.65-72.

Chapagain A.K. and Hoekstra A.Y. 2004. Water Footprints of Nations, Volume 2. UNESCO-IHE. Value of Water Research Report Series No.16.

Dagdelin N., Yilmaz E., Sezgin F., and Gurbuz T. 2006. Water-yield relation and water use efficiency of cotton (Gossypium hirsutum L.) and second crop corn (Zea mays L.) in Western Turkey. Agric. Water Manage. 82(1-2): 63-85.

Dehghanisanij H., Nakhjavani M.M., Tahiri A.Z., and Anyoji H. 2008. Assessment of wheat and maize water productivity and production function for cropping system decisions in arid and semiarid regions. ICIDJ. 58(1):105–115.

Dehghanisanij H., Oweis T., Qureshi A.S. 2006. Agricultural water use and management in arid and semi-arid areas: Current situation and measures for improvement. Annals of Arid Zone. 45(3-4):355-378.

Ehdaie B. 1995. Variation in water-use efficiency and its components in wheat: II. Pot and field experiments. Crop Science. 35(6): 1617-1626.

French, R.J., and Schultz J.E. 1984. "Water use efficiency of wheat in a Mediterranean-type Environment. I: The Relation between Yield, Water Use and Climate." Australian J. of Agri. Res. 35 (6): 743–64.

Gopalakrishnan, M. 2008. Water saving in agriculture. International Commission on Irrigation and Drainage (ICID). Pp. 91.

Horlemann L. and Neubert S. 2007. Virtual water trade: A realistic concept for resolving the water crisis. DIE Study 25, Bonn, 128 pp. In German and English

Lamm F.R., Rogers D.H., and Manges H.L. 1994. Irrigation scheduling with planned soil water depletion. Transaction of ASAE 37(5): 1491–1497.

Molden D. 1997. Accounting for water use and productivity. SWIM Paper 1. International Irrigation Management Institute, Colombo, Sri Lanka. 16 pp.

Molden D. and Oweis T. 2007. Pathways for increasing agricultural water productivity In: Molden D. 2007. Water for food water for life. International Water Management Institute. PP: 279-310.

Pradhan S. 2007. Agricultural water use. In: Molden D. 2007. Water for food water for life. International Water Management Institute. PP: 1-37.

Seckler D., Molden D., Sakthivadivel R. 2003. The concept of efficiency in water resource management and policy. In J.W. Kijne, R. Barker, and D. Molden, eds, Water productivity in agriculture: Limits and Opportunities

for Improvement. Wallingford, UK, and Colombo: CABI Publishing and International Water Management Institute (IWMI).

Seckler D., Upali A., Molden D., de Silva R. and Barker R. 1998. World Water Demand and Supply, 1990 to 2025: Scenarios and Issues. Research Report 19, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 40 pp.

Siddique K.H.M., Tennant D., Perry M.W., Belford R.K. 1990. Water use and water use efficiency of old and modern cultivars in a Mediterranean-type environment. Australian J. of Agri. Res. 41(3): 431-447.

Stewart J.I., Hagan R.M., Pruitt W.O., Hanks R.J., Riley J.P., Danielson R.E., Franklin W.T., and Jackson E.B. 1977. Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil. Utah Water Research Laboratory Publication, PRWG151-1.

Tanner, C.B., and Sinclair T.R. 1983. Efficient water use in crop production: Research or Re-search?" In H.M. Taylor, W.A. Jordan, and T.R. Sinclair, eds., Limitations to Efficient Water Use in Crop Production. Madison, Wisc.: American Society of Agronomy.

Yang H. 2010. Water-food-trade situation and implications for Iran and can we learn from China's experience? Workshop on Integrated Water Resources Management, Tarbiat Modarres University, Jun 1st, 2010, Tehran, Iran.

Zhang H. and Oweis T. 1999. Water-yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. Agri. Water Manage. 38:195-211.

Zwart S.J., and Bastiaanssen W.G.M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. Agri. Water Manage. 69(2): 115-133.