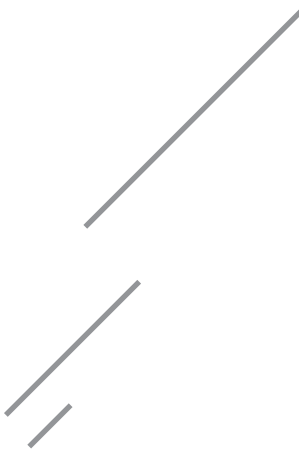
فراتر از محصول به ازای قطره

نویسندگان: Susanne M. Scheierling and David O. Tre guer

مترجمین: سینا فاضلی و الهام گل کار



چاپ اول | سال ۱۴۰۱

فراتر از محصول به ازای قطره

نویسندگان:
Susanne M. Scheierling
and David O. Tr guer

مترجمین:
سینا فاضلی
و الهام گل‌کار

اندیشکده تدبیر آب ایران

شناسنامه | فیپا

فراتر از محصول به ازای قطره

نویسندگان: Susanne M. Scheierling and David O. Tr guer

مترجمین: سینا فاضلی و الهام گل‌کار | **تهیه‌کننده:** اندیشکده تدبیر

آب ایران | **طراحی گرافیک و صفحه‌آرایی:** نشرآنلاین | **مدیرهنری:**

محمد حسین منتظری | **نوبت چاپ:** اول/پاییز ۱۴۰۱ | **شمارگان:**

۱۰۰۰ نسخه

اندیشکده تدبیر آب ایران

آدرس دفتر: تهران، خیابان فتحی شقاقی، بین خیابان چهلستون و سیدجمال‌الدین اسدآبادی پلاک ۴۵، طبقه ۴

آدرس تارنما: http://iwpri.ir

آدرس پست الکترونیکی: info@iwpri.ir

شماره تماس: ۸۸۷۰۲۸۰۵ - ۸۸۷۰۲۰۱۳ - ۰۲۱

فهرست مطالب

۱ خلاصه مدیریتی

۱ چرا بر بهره‌وری و کارآیی آب در کشاورزی آبی تمرکز می‌شود؟

۴ پیشینه مصرف آب در کشاورزی آبی

۵ مسائل مفهومی: کارایی و بهره‌وری در مصرف آب کشاورزی

۶ روش‌های ارزیابی بهره‌وری و کارایی آب کشاورزی

۱۰ کاربردهای روش‌ها در اقتصاد آب توسعه یافته

۱۵ برخی از مفاهیم پیش‌رو

۱۷ فصل ۱: چرا بر مدیریت آب در کشاورزی آبی تمرکز می‌کنیم؟

۲۵ دامنه گزارش و نقشه راه

۳۳ فصل ۲: تاریخچه استفاده آب در کشاورزی آبی

۳۵ ویژگی‌های خاص و مفاهیم مربوط آب

۳۸ نقش محوری استفاده از آب در کشاورزی آبی

۵۷ فصل ۳: مسائل مفهومی: کارایی و بهره وری در استفاده آب کشاورزی

۵۹ کارایی آبیاری و بهره‌وری آب در مهندسی و زراعت

۶۹ کارایی و بهره‌وری در اقتصاد

۷۵ فصل ۴: روش‌هایی برای ارزیابی بهره‌وری و کارایی آب کشاورزی

۸۴ شاخص‌های بهره‌وری کل عامل‌ها

۱۰۲ مشخصات روش‌ها با استفاده از ویژگی‌های کلیدی

۱۱۵ فصل ۵: کاربرد روش‌ها در اقتصاد آب بالغ

۱۱۷ ارتباط روش‌ها در زمینه‌های مختلف

۱۲۲ بعضی از کاربردها برای ادامه مسیر

خلاصه مدیریتی

چرا بر بهره‌وری و کارآیی آب در کشاورزی آبی تمرکز می‌شود؟

کمیابی آب در بسیاری از مناطق جهان به عنوان یک خطر عمده تلقی می‌شود و بحران‌های آب همواره جزء مهمترین مخاطرات جهانی شمرده می‌شوند. کشاورزی آبی با فاصله زیاد بیشترین سهم از میزان مصرف آب در سرتاسر جهان را دارد که حدود ۷۰ درصد از کل برداشت‌های آب شیرین را تشکیل می‌دهد. در بسیاری از کشورهای کم‌آب‌تر، بیش از ۹۰ درصد کل برداشت‌ها در بخش کشاورزی مصرف می‌شود. هرچه آب کمیاب‌تر می‌شود، مدیریت کشاورزی آبی به نگرانی اصلی مدیریت آب تبدیل می‌گردد. عدم ارتقا مدیریت و سیاست‌گذاری یکپارچه‌تر در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، کمبود آب و مشکلات مربوط به آب در طی چند دهه آینده به طرز چشمگیری وخیم‌تر می‌شود. با این وجود، این سؤال که بهترین راه حل برای تطبیق مدیریت آب کشاورزی با شرایط کم‌آبی چیست هنوز پیچیده است، چرا که کشاورزی آبی در مرکز دو روند وسیع و متناقض است.

از یک سو، کشاورزی آبی با افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی به سرعت در حال گسترش بوده و در طی نیم قرن گذشته میزان مناطق آبیاری شده تقریباً دو برابر شده است که مصرف آب نیز تواما افزایش یافته است. پیش‌بینی می‌شود که تقاضای جهانی برای محصولات کشاورزی تا سال ۲۰۵۰ حدود ۷۰ درصد رشد کند-در نتیجه رشد جمعیت، افزایش مصرف گوشت و لبنیات، گسترش مصرف سوخت‌های بیولوژیکی- موجب می‌گردد مصرف آب به صورت مداوم افزایش یابد. به علاوه، اثرات تغییر اقلیم از جمله افزایش نوسان در الگوهای بارش، در گسترش کشاورزی آبی موثر بوده است.

از طرف دیگر، تطبیق با تقاضای بیشتر برای آب مورد نیاز آبیاری در بسیاری

از مناطق جهان دشوار است. برداشت‌های کشاورزی پیش‌تر نیز سهم ناپایداری از کل منابع آب تجدیدپذیر را در بسیاری از کشورهایی که در مناطق خشک واقع شدند به خود اختصاص داده‌اند و افزایش تقاضا برای آب در بخش‌های دیگر رقابت مضاعفی را در دسترسی به منابع آب به دنبال داشته است. از آنجا که تصور عمومی این است که مصرف آب در کشاورزی نسبت به سایر مصارف آبی راندمان خالص کمی دارد، سایر بخش‌ها غالبا کشاورزی را به عنوان منبع بالقوه تأمین آب مورد نیاز خود در نظر می‌گیرند.

متداول‌ترین رویکرد برای سازگاری مدیریت آب کشاورزی با شرایط افزایش کم آبی، بر بهبود بهره‌وری و کارآیی آب کشاورزی و در نتیجه دستیابی به محصول بیشتر به ازای مصرف هر قطره آب تمرکز دارد. با توجه به باور عمومی نسبت به ناکارآمدی مصرف آب در بخش کشاورزی و همچنین مقدار قابل توجه مصرف آب در این بخش، انتظار می‌رود که افزایش ولو اندک در کارایی و بهره‌وری آب، تأثیر زیادی در بهبود بیلان محلی و ملی آب داشته باشد. چنین پیشرفت‌هایی در صورت تحقق، می‌تواند تولید محصولات کشاورزی بیشتر با همان مقدار آب یا همان میزان تولید با آبی به مراتب کمتر را در پی داشته باشد. در ادامه، با صرفه جویی در مصرف آب می‌توان آن را مجدداً به سایر مصارف با ارزش بالاتر اختصاص داده یا به مصرف جریان‌های زیست محیطی رساند. البته مشروط بر آنکه چنین پیشرفت‌هایی در بهره‌وری و کارآیی آب، متقابلاً به افزایش تولید محصولات و حفاظت از آب کشاورزی و بازتخصیص آب برای مصارف ضروری و با ارزش بیانجامد.

بسیاری از سازمان‌های بین المللی و آژانس‌های ملی مرتبط با مدیریت آب، افزایش کارایی و بهره‌وری آب کشاورزی را به عنوان یک هدف مهم سیاسی برگزیده و درصدد بهبود آن برآمده‌اند. در پشتیبانی از این تفکر، سرمایه گذاری‌های قابل توجه دولتی و خصوصی نیز برای بهبود بهره‌وری وکارایی آب در کشاورزی آبی در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه انجام می‌شود.

با این وجود رویکرد مذکور مشکلات عدیده‌ای نیز با خود به همراه دارد. این موارد شامل مسائل مفهومی، روش‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری بهره وری و کارایی آب کشاورزی و استفاده از این مفاهیم و روش‌ها در زمینه‌های مختلف است - همه این موارد در انتخاب مداخلات و ارزیابی عملکرد آن‌ها تأثیر می‌گذارد.

این گزارش با هدف شفاف‌سازی بیشتر در خصوص موارد ذیل تهیه شده است:

۱) برخی از مفاهیم اساسی در بحث بهره‌وری و کارآیی آب کشاورزی؛
۲) مرور و تحلیل روش‌های موجود برای ارزیابی بهره‌وری و کارایی آب؛ و
۳) بحث در مورد کاربرد و ارتباط آن‌ها در زمینه‌های مختلف.

به عنوان مقدمه‌ای بر این تجزیه و تحلیل، گزارش حاضر در ابتدا به بررسی نقش اصلی استفاده از آب در کشاورزی آبی و ارتباط آن با افزایش کمیابی آب پرداخته است. این موضوع در بستر گذار از یک اقتصاد آب در حال توسعه به اقتصاد آب بالغ مورد بحث قرار گرفته است.

مرحله در حال توسعه توسط توسعه آب در دسترس و برای پاسخگویی به افزایش تقاضای آب آبیاری به منظور افزایش تولید محصولات کشاورزی شناخته می‌شود. در مرحله توسعه یافته، با تشدید رقابت برای آب، شاهد تشدید کمبود آن خواهیم بود. در این گذار، وابستگی متقابل بین مصرف کنندگان آب افزایش می‌یابد و تنظیمات هیدرولوژیکی و افزایش عوامل بیرونی باید لحاظ گردد. در این مرحله هدف افزایش تولید محصولات کشاورزی باید با هدف جدید حفظ آب به تعادل برسد. مداخلات، که در مرحله در حال توسعه، برروی‌کردهای فنی و مهندسی برای گسترش منابع آب کشاورزی متمرکز بوده‌اند، لازم است با استفاده از سیاست گذاری‌های تقاضا محور و در نتیجه گزینه‌هایی برای بازتخصیص و تنظیمات نهادی، اقتصاد آب را به سمت توسعه یافتگی ببرد.

این گزارش چارچوبی را برای انعکاس این مسائل در مدیریت آب در کشاورزی آبی (جدول ES.۱) ارائه می‌دهد که بر این اساس روش‌های ارزیابی برای انتخاب و اجرای مداخلات بایستی متناسب با آن تنظیم شوند. تجزیه و تحلیل سود و هزینه اصلی‌ترین روش ارزیابی در مرحله توسعه است، این در حالی است که در مرحله بالغ نیاز به ترکیب موضوعات آب با جزییات بیشتر، بازتاب جامع‌تر هیدرولوژیک، زمینه‌های نهادی و تمرکز بر ارزش آب برای ارزیابی بازتخصیص وجود دارد.

این گزارش چارچوب اقتصاد در حال تغییر را اعمال می‌کند تا این مسئله را بیان کند که تلاش‌های مداوم برای بهبود بهره‌وری و کارایی آب کشاورزی نیازمند حرکت به سمت رویکردهای فراتر از محصول در هر قطره است، چراکه در بسیاری از شرایط اقدام به عمل نه تنها برای انطباق مدیریت آب کشاورزی به یک اقتصاد آب کامل ناکافی است، بلکه گاهی نتیجه معکوس در پی دارد.

جدول Es.۱: کشاورزی آبی در مراحل توسعه و بلوغ یک اقتصاد آب

	در حال توسعه	توسعه یافته
عرضه و تقاضا آب کشاورزی	- تقاضای کم، اما در حال رشد - رقابت حداقلی برای آب - منابعی که به راحتی در دسترس هستند(با هزینه افزایشی منابع جدید نسبتاً کم و با گذشت زمان ثابت)	- تقاضای زیاد و افزایش آن - رقابت شدید برای آب - افزایش کمیابی آب (به دلیل تشدید سریع هزینه‌های منابع جدید، که حتی در برخی نقاط این هزینه‌ها بیش از ارزش اقتصادی مقرون به صرفه در برخی از مصارف موجود است)
تنظیم هیدرولوژیکی	- مصرف کنندگان آب نسبتاً مستقل و دارای اختلافات اندک هستند - کمرنگ بودن عوامل محیطی	- افزایش وابستگی متقابل بین کاربران بالادست و پایین دستی، به ویژه هنگامی که جریان‌های برگشتی مهم هستند. - قابل توجه بودن عوامل محیطی، که شدت آن به بسترهای هیدرولوژیکی و نهادی وابسته است.
اهداف سیاست گذاری	- افزایش تولید محصولات کشاورزی (و درآمد خالص کشاورزی)	- پرداختن به ارتباطات بین رشد تولید محصولات کشاورزی و حفظ آب (یا بازتخصیص)
مداخلات	- تأکید بر گسترش منابع آب کشاورزی با سرمایه‌گذاری در پروژه‌های زیربنایی (نسبتاً کم هزینه) - تمرکز روی مداخلات مهندسی و فناوری در خارج از مزرعه.	- تأکید بر مداخلات طرف تقاضا و تسهیل در بازتخصیص و تراز سرمایه‌گذاری‌های خصوصی - افزایش اهمیت سیاست‌گذاری ویژه و مداخلات نهادی
روش‌های ارزیابی انتخاب و اجرای مداخلات	- آنالیز سود- هزینه پروژه‌های منفرد (بدون توجه ویژه به مسائل مربوط به آب) - تمرکز بر نرخ بازده داخلی	- روش‌های جامع‌تری که زمینه‌های هیدرولوژیکی، نهادی و همچنین ارتباطات را نیز در بر می‌گیرد - تمرکز بر ارزش آب و جریان‌های زیست محیطی

پیشینه مصرف آب در کشاورزی آبی

ویژگی‌های منحصر به فرد آب که آن را از بسیاری از منابع و کالاهای دیگر متمایز می‌کند،

باید در هر بحثی در مورد نقش آن در کشاورزی آبی در نظر گرفته شود. این ویژگی‌های منحصر به فرد شامل سیال و جاری بودن آب، عرضه متغییر و استفاده ندرتاً بهینه آن می‌شوند. در کشاورزی آبی رایج است که نیمی از آب برداشت شده به منظور آبیاری به عنوان جریان‌های بازگشتی به سیستم‌های هیدرولوژیکی برگردد- در این حالت ممکن است مصرف کنندگان پایین دست تنها به همین میزان جریان بازگشتی در شرایطی تشدید کم آبی، متکی باشند.

این ویژگی استفاده از آب و بهبود کاربرد آن و اندازه‌گیری‌های متفاوت مورد نیاز از مقدار آب، را پیچیده‌تر می‌کند. آب برداشت شده از یک منبع به مصرف کشاورزی و تبخیر و تعرق آب آبیاری می‌رسد که اندازه‌گیری‌های آنها از جمله موارد کلیدی به شمار می‌آیند.

این گزارش نقش مهم مصرف آب در کشاورزی آبی را با ارائه روند جهانی از مصرف آب کشاورزی و مجموع آب مصرفی، هم از نظر آب برداشت شده و مصرف شده، وهم به عنوان سهم از کل مصرف آب را نشان می‌دهد. ما با استفاده داده‌های کشوری برگرفته از پایگاه‌های داده سازمان فائو[1] به ارتباط نزدیک بین آب برداشتی کشاورزی و کل آب برداشتی و همچنین آب برداشتی کشاورزی و سطح آماده شده برای آبیاری، پی بردیم.

همچنین ارتباط بین کشاورزی آبی و کمبود آب را با داده‌هایی در سطح جهانی ارائه داده و در ادامه نشان می‌دهیم که آب مصرف شده در بخش کشاورزی یکی از عوامل کلیدی کمیابی آب - در نتیجه انتقال از مرحله در حال توسعه به مرحله بالغ اقتصاد آب- در کشورهاست که تعداد آن‌ها رو به افزایش است. تا کنون میزان کمیابی آب در یک کشور تاثیر اندکی بر روند برداشت آب کشاورزی آن و سطح آماده شده برای آبیاری داشته است.

مسائل مفهومی: کارایی و بهره‌وری در مصرف آب کشاورزی

این گزارش مسائل مفهومی مرتبط با کارایی و بهره‌وری در استفاده از آب کشاورزی را مورد بحث و بررسی قرار می‌دهد. مجموعه‌ای از رشته‌های مختلف در این زمینه از جمله هیدرولوژی و هیدروژئولوژی، مهندسی عمران و آبیاری، زراعت و فیزیولوژی محصول و اقتصاد دخیل هستند، همچنین هر رشته‌ای که مفاهیم و اصطلاحاتش را با اندکی تبادلات بین رشته‌ای به کار می‌برد. استدلال ما این است که لازم می‌باشد یک تمایز کلیدی بین مفاهیم و اصطلاحات رشته‌های مهندسی و زراعت ایجاد شود که بر ادبیات آبیاری و مفاهیم و اصطلاحات مربوط به حوزه اقتصاد تسلط داشته باشد. رشته‌های زراعت تمایل به تکیه بر رویکردهای تک عاملی دارد و بر روی اثرات سطح مزرعه تمرکز می‌کند، در حالی

۱. سازمان خواروبار و کشاورزی سازمان ملل

که رشته‌های مهندسی رویکردی چند عاملی داشته و می‌تواند اثرات را در مقیاس حوضه درنظر بگیرد.

این تفاوت‌های مفهومی بخشی از دلایل توسعه و بکارگیری روش‌های مختلف در ادبیات موضوعات مختلف مربوط به ارزیابی بهره‌وری و کارایی آب کشاورزی است. علاوه بر این، مداخلات مختلف برای بهبود بهره‌وری و کارایی آب کشاورزی به روش ارزیابی بکار برده شده برای آنها نیز بستگی دارد.

ادبیات حاکم بر آبیاری شامل اقدامات بهره‌وری تک عاملی، مانند نسبت میزان محصول به ازای هر قطره، است. ادبیات اقتصادی در زمینه بهره‌وری و کارایی کشاورزی عمدتا از دو گروه دیگر از روش‌ها شامل شاخص‌های بهره‌وری کل و روش‌های مرزی استفاده می‌کند. علاوه بر این سه روش، یک گروه چهارم به نام روش‌های قیاسی نیز وجود دارد که بخش مهمی از ادبیات آب آبیاری و کشاورزی را تشکیل می‌دهد. در حالی که شاخص‌های بهره‌وری کل و روش‌های مرزی وابسته به روش‌های قیاسی هستند - به‌کارگیری منطق قیاسی، معمولا به عنوان روش‌های آماری یا اقتصادسنجی، برای استنباط کلیت بخشی از مشاهدات فردی - که از آن‌ها با تکیه بر فرآیندهای منطقی، برای استدلال بحث‌های کلی و احصاء نتایج خاص استفاده می‌شوند. آنها از مدل‌های ساخته شده‌ای استفاده می‌کنند که شامل مجموعه‌ای از فرضیه‌های رفتاری (یعنی حداکثرسازی سود) و مفروضات تجربی است و دربردارنده روش‌های نسبت باقیمانده، برنامه نویسی ریاضی، مدل‌های هیدرو اقتصادی و مدل‌های موازنه عمومی قابل محاسبه است.

روش‌های ارزیابی بهره‌وری و کارایی آب کشاورزی

این گزارش چهار روش اصلی را تجزیه و تحلیل می‌کند که در گذشته موجود بوده و یا می‌توان آن را برای مطالعه بهره‌وری و کارایی آب کشاورزی مورد استفاده قرار داد. ما رویکردهای مختلف و کاربردهای این چهار روش را مورد بررسی قرار می‌دهیم و یافته‌های کلیدی را ارائه می‌دهیم. همچنین از ویژگی‌های کلیدی انتخاب‌شده برای مقایسه بین چهار روش استفاده کرده و دیدگاه‌های مربوط به نقاط قوت و ضعف آن‌ها را فراهم می‌کنیم (جدول Es. ۲).

جدولEs. ۲- خصوصیات روش‌ها توسط ویژگی‌های کلیدی

	اقدامات بهره‌وری تک عاملی	شاخص‌های بهره‌وری کل عامل‌ها	روش‌های مرزی	روش‌های استقرایی
پیشینه روش				
زمینه تحقیق	مهندسی آبیاری، زراعت	اقتصاد تولید کشاورزی (آنالیز بهره‌وری و کارایی)	اقتصاد تولید کشاورزی (آنالیز بهره‌وری و کارایی)	کشاورزی و آبیاری / اقتصاد آب
رویکرو تحلیلی	محاسبه نسبت‌ها (در اصطلاحات فیزیکی یا اقتصادی)	آنالیز اقتصادسنجی	آنالیزهای اقتصادسنجی و بهینه‌سازی	معمولا بهینه‌سازی
تمرکز بر تجزیه و تحلیل	معمولا "تحلیل شکاف" نسبت‌ها	تمرکز بر تغییرات تکنولوژیکی	معمولاً ارزیابی کارایی فنی واحدهای تصمیم گیری	تجزیه و تحلیل سیاست‌گذاری ("چه می‌شود - اگر")
Incorporation of water				
اندازه‌گیری مصرف آب	برداشت آب، آب به کاربرده شده، آب مصرف شده	معمولاً متغیرهای نماینده (مثلاً زمین آبیاری)	اغلب متغیرهای نماینده (به عنوان مثال، تعداد آبیاری)، همچنین آب به کاربرده شده	برداشت آب، آب به کاربرده شده، آب مصرف شده
مقیاس‌های درنظر گرفته شده				
مقیاس مکانی	زمین؛ با تجمیع در اصطلاحات اقتصادی همچنین مزرعه و حوضه	سطح ملی (اخیراً نیز فراملی)	واحد تصمیم‌گیری، بیشتر مزرعه (همچنین منطقه‌ای)	زمین، مزرعه، منطقه، حوضه، پهنه اقتصادی

مقیاس زمانی	معمولاً فصل برداشت	سالانه	فصل برداشت؛ چند ساله (با داده)	مقیاس‌های مختلف، از جمله پیش‌بینی ها
ارزیابی بهره‌وری و کارایی آب کشاورزی				
منابع داده‌ها	داده‌های اندازه‌گیری و مدل‌سازی شده	اندازه‌گیری / جمع‌آوری داده‌ها	داده‌های اولیه با تنوع در بین مزارع	دامنه منابع داده، بیشتر داده‌های ثانویه
تابع تولید اصلی	ندارد	دارد (براساس شاخص‌ها)	دارد (ممکن است عملکرد تخمین زده شود)	دارد (اغلب ضمنی)
مفهوم بهره‌وری و کارایی	مفهوم بهره‌وری موجب می‌شود که فراتر از بازده آبیاری سنتی باشد	مفاهیم بهره‌وری و کارایی از تئوری اقتصادی	بهره‌وری وکارایی از تئوری اقتصادی؛ با تمرکز بر روی راندمان فنی چند عاملی	صریحاً مربوط به بهره‌وری نیست، اما می‌توان اقدامات را تخمین زد؛ کارایی فنی که صریحاً مورد توجه قرار نگرفته است
ورودی‌ها	تمرکز بر ورودی آب (مغفول ماندن ورودی‌های دیگر)	گنجاندن همه ورودی‌ها (موارد عرضه شده به بازار)	گنجاندن کلیه ورودی‌های مربوط به واحدهای تصمیم‌گیری	گنجاندن کلیه ورودی‌ها

خروجی‌ها	تمرکز بر روی تولید یک محصول (اقدامات "اقتصادی" ممکن است محصول دیگری را شامل شود)	گنجاندن همه خروجی‌ها (موارد عرضه شده به بازار)	تنها یک خروجی متداول است، اما چندین خروجی را می‌توان گنجانید. تولید اغلب از نظر درآمد اندازه‌گیری می‌شود	گنجاندن چندین خروجی(در سطح مزرعه / حوضه)
هزینه و قیمت‌ها	قیمت‌های خروجی مورد استفاده برای تجمیع در اقدامات "اقتصادی" (هزینه ورودی‌ها نیز می‌تواند درج شود)	قیمت‌ها و هزینه‌های مورد استفاده برای تجمیع	مرزها را می‌توان از نظر هزینه، سود یا درآمد بیان کرد	گنجاندن قیمت‌ها و هزینه‌های منطقه‌ای یا به عنوان نماینده

نقطه قوت **مطالعات بهره‌وری تک عاملی** که بر نسبت محصول به ازای هر قطره متمرکز شده است، توجه ویژه آن‌ها به ورودی آب (یا عامل) است و همچنین سهولت استفاده که آن‌ها را قادر می‌سازد اندازه‌گیری مختلفی از کمیت آب را به صورت یکجا در برگیرد. مطالعات بهره‌وری تک عاملی غالباً تغییرات زیادی را در بهره‌وری آب کشاورزی کشف می‌کنند، اما معمولاً عواملی که ممکن است چنین نتایج متفاوتی را توضیح دهند به طور تجربی مورد بررسی قرار نمی‌دهند. ضعف آن‌ها عدم توجه به سایر عوامل (غیرآبی)، قیمت‌ها و هزینه‌ها و منابع مختلف بهره‌وری است.

شاخص‌های بهره‌وری چند عاملی، سعی دارند همه ورودی‌ها، خروجی‌ها، قیمت‌ها و هزینه‌ها را در تحلیل خود از رشد بهره‌وری کشاورزی- که معمولاً در سطح ملی است- لحاظ کنند. پیشرفت‌ها معمولاً به تغییرات فناوری نسبت داده می‌شوند. با توجه به نگرش متغیرهای ساختگی به موضوع آب (مانند مزارع آبیاری شده و دیم)، مشکلات مربوط به داده (از نظر کمیت و قیمت) وجود دارد. این امر دیدگاه متفاوتی راجع به تأثیر آب بر الگوهای بهره‌وری کشاورزی ایجاد نمی‌کند و جنبه‌های حفاظت از آب را نمی‌توان در نظر گرفت.

مطالعات **روش مرزی** می‌تواند چندین ورودی و خروجی را در برگیرد. توجه این مطالعات بر چگونگی مدیریت واحدهای تصمیم‌گیری (معمولاً مزارع) در تبدیل منابع

ورودی به خروجی‌ها معطوف است. اندازه‌گیری اصلی، عملکرد راندمان فنی است (که اغلب برابر با توانایی مدیریتی غیرقابل کنترل است)، که به عنوان کاهش ورودی بالقوه یا گسترش بازده بالقوه اندازه‌گیری شده، نسبت به مرجع "بهترین عمل" یا مرز کارآمد توسط تکنیک‌های مختلف از ورودی‌های مشاهده شده و تحقق خروجی آن‌ها ساخته شده است. تاکنون مطالعات نسبتاً معدودی به صراحت معیار کمیت آب را در بر گرفته و در هر مورد از آن استفاده شده است. برخی از این مطالعات تصور می‌کنند که اگر ناکارآمدی فنی مربوط به آب کاهش یابد (مثلاً توسط آموزش کشاورزان) می‌توان تولید را افزایش داد. معمولاً در مورد تأثیرات احتمالی بر مصرف و جریان برگشتی بحث نشده است.

روش‌های قیاسی می‌توانند برخی از کاستی‌های روش‌های دیگر را برطرف کنند. آن‌ها می‌توانند چندین عامل و خروجی را شامل شوند و کلیه اندازه‌گیری‌ها مربوط به کمیت آب را در نظر بگیرند. رویکردهای پیچیده‌تر از مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی استفاده می‌کنند. به طور خاص، مدل‌های اقتصادی آب می‌توانند موضوعات مربوط به سطح حوضه، از جمله عوامل محیطی در بین کاربران را در برگیرند. در حالی که روش‌های قیاسی به صراحت مسائل مربوط به بهره‌وری را در نظر نمی‌گیرند، می‌توان تخمین‌هایی از بهره‌وری آب به دست آورد که شامل هزینه فرصت کلیه ورودی‌های غیرآب است و ارزش اقتصادی آب را برآورد می‌کند. با این حال، روش‌های مرزی برای انعکاس "بهترین عملکردها" و پیشرفت‌ها نسبت به روش‌های قیاسی (قیاسی) مناسب‌تر می‌باشند.

کاربردهای روش‌ها در اقتصاد آب توسعه یافته

مرحله بعد، تجزیه و تحلیل گسترده‌تر روش‌ها با توجه به سودمندی آن‌ها، هنگام استفاده در مراحل در حال توسعه یا توسعه یافته اقتصاد آب است. ما از پنج ویژگی معرفی شده در جدول ES.۱ برای ارزیابی اینکه هر یک از روش‌ها تا چه حد شرایط تغییر را در بر گرفته و به آن اشاره کرده‌اند، استفاده می‌کنیم. نتایج در جدول ES. ۳ خلاصه شده است. به طور کلی ما درمی‌یابیم که این چهار روش با ترکیب قوی‌تر آن‌ها از جنبه‌های مرتبط با آب، برخی از مزایای آنالیزهای سود- هزینه را دارا هستند. این موضوع همان روش ارزیابی اصلی در مرحله توسعه اقتصاد آب است. با این وجود وقتی از برخی از این روش‌ها برای ارزیابی مداخلات سازگاری در یک اقتصاد آب توسعه یافته استفاده می‌کنیم باید نهایت دقت را به خرج دهیم.

جدول ES. ۳ ارتباط روش‌ها در اقتصاد آب توسعه یافته

	اقدامات بهره وری تک عاملی	شاخص‌های بهره‌وری کل عامل‌ها	روش‌های مرزی	روش‌های استقرایی (قیاسی)
عرضه و تقاضا آب کشاورزی	توجه به کمیابی آب؛ غالباً این فرض غلط است که پرداختن به درک استفاده ناکارآمد و غیرمؤثر از آب (خارج از مزرعه و داخل مزرعه) به غلبه بر آن کمک می‌کند	عدم توجه به کمیابی آب	عدم توجه به کمیابی آب	گنجاندن تقاضا و عرضه آب کشاورزی ضمن ارزیابی تأثیر مداخلات بر کمیابی آب
تنظیم هیدرولوژیکی	- تمرکز مکرر برسطح مزرعه، با شناخت ناکافی از وابستگی متقابل کاربران - شناخت ناکافی از عوامل محیطی (و زمینه ها)	آب به عنوان یکی از ورودی‌های متعدد در تجزیه و تحلیل کاملی از بهره‌وری کشاورزی، بدون در نظر گرفتن مباحث مکانی و ظاهری	تمرکز بر سطح مزرعه بدون در نظر گرفتن وابستگی‌های بین مصرف کنندگان مختلف آب	پیچیدگی‌های تنظیم هیدرولوژیکی اغلب در آن گنجانیده شده است
اهداف سیاست‌گذاری	- معمولاً تمرکز ضمنی بر تولیدات کشاورزی (در برخی موارد در مورد حفظ آب) -غالباً این فرض غلط است که اصلاح نسبت محصول به ازای هر قطره باعث می‌شود تا ارتباط بین اهداف محقق شود	تمرکز بر رشد (ملی یا منطقه ای) کشاورزی	تمرکزها به تولید محصولات کشاورزی در مزرعه گرایش دارند. همچنین در نظر گرفتن راندمان فنی خاص آب و ورودی محور (تاکنون فقط از نظر آب مورد استفاده است)	بیشتر بهینه‌سازی درآمد خالص کشاورزی است، اما اهداف حفاظت از آب نیز می‌تواند مدل‌سازی شود

مداخلات	تأکید بر مداخلات مهندسی و فناوری در مزرعه و سیستم‌های آبیاری (اغلب در پروژه‌های زیربنایی موجود) که به محصول بیشتر به ازای هر قطره کمک می‌کند	آب به عنوان عامل مهمی در رشد کشاورزی شناخته می‌شود، اما بدون در نظر گرفتن مداخلات مرتبط با آب	تأکید بر مداخلات مهندسی و فناوری درسطح مزرعه؛ تأثیر مداخلات مرتبط با مدیریت نیز می‌تواند در نظر گرفته شود	ترکیب مداخلات مختلف (نه تنها مهندسی و فن آوری، بلکه سیاسی و نهادی) و زمینه‌های نهادی برای ارزیابی معاملات (از جمله درونی و درون بخشی).
روش‌های ارزیابی انتخاب و اجرای مداخلات	- تمرکز بر مقایسه نسبت محصول به ازای هر قطره نسبت به مکان و زمان -با درج صریح تنها یک ورودی، تجزیه و تحلیل نسبت‌های توصیه شده قبلی را در مورد مداخلات مجاز نمی‌داند.	تجزیه و تحلیل نسبت‌های گذشته نشان می‌دهد بررسی علل با گذشت زمان، ارزیابی‌های قبلی از سهم مداخلات (در سطح کشور) مربوط به آب آبیاری بر رشد کشاورزی را امکان‌پذیر می‌سازد	معمولا ارزیابی بعدی؛ - ارزیابی با گذشت زمان می‌تواند پیشرفت در حرکت به سمت مرز تولید را سنجش کند -می تواند برای ارزیابی‌های قبلی از دامنه مداخلات، از جمله بهبود مهارت‌های مدیریتی کشاورزان مورد استفاده قرار گیرد.	-برای تجزیه و تحلیل اولیه گزینه‌های سیاست‌گذاری و تأثیر آن بر درآمد و منابع آب کشاورزان مفید است. - برای تجزیه و تحلیل ثانویه با توانایی تخمین ارزش آب کمتر استفاده می‌شود، انتخاب ارجح برای ارزیابی بازتخصیص بین مزارع، مناطق و بخش‌ها (از جمله محیط زیست)

اقدامات بهره‌وری تک عاملی با نگرانی در مورد کمبود فزاینده آب توسعه و ارتقا یافته است. مقایسه اقدامات بهره‌وری تک عاملی زمانی که سایرعوامل مرتبط با آن در کنار آب نسبتا به خوبی کنترل شوند، می‌تواند در زمینه آزمایش‌های میدانی مفید باشد (به عنوان مثال، "همه موارد یکسان نگه داشته می‌شوند"). در چنین شرایطی، نسبت‌ها می‌توانند راهنمایی برای بهبود و کاهش شکاف‌ها باشند برای مثال بهبود برنامه‌ریزی آبیاری. با

این حال، هنگامی که نسبت‌ها در مکان‌های مختلف و متنوع با هم مقایسه می‌شوند، عوامل مهم ایجاد اختلاف را نمی‌توان شناسایی کرد - و بدون تحلیل عمیق‌تر توصیه‌ها برای انتخاب مداخلات انجام نمی‌شود. همچنین، نسبت‌ها به اندازه کافی نمی‌توانند وابستگی‌های متقابل را در میان کاربران منعکس کنند.

با وجود این کاستی‌ها، توصیه مشترک در **مطالعات بهره‌وری تک عاملی** - و به طور کلی در بیشتر بحث‌های عمومی - بر این مبنا است که سرمایه‌گذاری در مداخلات مهندسی و فناوری در مزرعه و سیستم‌های آبیاری صورت گیرد. پیشرفت‌های حاصل از نسبت محصول به ازای هرقطره، لزوماً دلالت بر ارتباط بین رشد تولید محصولات کشاورزی و حفظ آب ندارند. حتی مشخص نیست که در چه هدفی می‌توانند سهم داشته باشند یا اینکه آیا تغییرات مربوط به ورودی آب دلیل بهبود بوده است یا خیر؟ بسته به فرمول نسبت‌ها و بسترها، ممکن است آن‌ها واقعاً کمیابی آب را وخیم‌تر کنند - مثلاً هنگامی که جریان‌های برگشتی اهمیت دارند، و کشاورزان مجاز به استفاده کامل از حقابه خود هستند.

مطالعات بهره‌وری کل عامل‌ها بر محور رشد تولید محصولات کشاورزی استوار است. این مطالعات شرایط کمیابی آب را در نظر نمی‌گیرند. حتی اگر یک اندازه‌گیری از مصرف آب می‌توانسته به درستی در تجزیه و تحلیل گنجانیده شود، بدست آوردن درک و فهم در مورد انجام مداخلات ضروری مرتبط با آب، دشوار خواهد بود، برای مثال، بهبود تخصیص منابع یا کمک به حفظ آب. شاخص‌های بهره‌وری کل عامل‌ها را می‌توان به عنوان روش‌های ارزیابی برای مرحله توسعه اقتصاد آب در نظر گرفت.

مطالعات روش مرزی اکثراً خروجی محور بوده و متمایل به این هستند که چگونه می‌توان تولید محصولات کشاورزی را با مجموعه مشخصی از ورودی‌ها افزایش داد. تعداد معدودی از مطالعات ورودی محور از مفهوم بهره‌وری فنی ویژه آب، برای بررسی حفاظت بالقوه آب استفاده می‌کنند. با این حال، از آنجا که روش‌های مرزی تنها بر مزرعه متمرکز شده‌اند، استفاده از آن‌ها در بسیاری از موارد برای استنتاج کردن پیامدهای گسترده‌تر به منظور بهبود مدیریت آب آبیاری جهت مقابله با کمیابی آب محدودیت دارد. دلیل این امر آن است که آن‌ها فقط آب بکاربرده شده را در نظر گرفته‌اند و فرض کرده‌اند که هرگونه کاهش در آب بکاربرده شده باعث صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود که ممکن است در مناطقی که جریان‌های برگشتی منبع مهم آب هستند مصرف کنندگان پایین دست نادیده گرفته شوند.

مطالعات روش مرزی تمایل دارد تا با بهبود مهارت‌های مدیریتی کشاورزان، بر بهره‌وری فنی و پتانسیل حرکت مزارع به سمت مرز تولید، تأکید کند. در این روش برنامه‌های

آموزش استفاده از فناوری‌های آبیاری و مدیریت آب آبیاری یک توصیه متداول است.

تاکنون در مطالعات مرزی تلاشی در جهت در نظر گرفتن وابستگی‌های متقابل مصرف آب صورت نگرفته است. این مسئله در تنظیمات هیدرولوژیکی که جریان‌های برگشتی مهم تلقی نمی‌شوند، مسئله‌ای نیست. در چنین شرایطی، مطالعات مرزی می‌تواند بینشی در مورد طراحی مداخلات مبتنی بر مزرعه و ارزیابی بعدی آن‌ها فراهم کند. با استفاده از داده‌های حاصل از بررسی‌های دقیق کشاورزان، روش‌های مرزی می‌توانند یک مبنای اولیه را درهنگام آماده‌سازی پروژه برای تعیین درجه کارآمدی کشاورزان و دلایل احتمالی ناکارآمدی ایجاد کنند. این امر به راهنمایی طراحی پروژه در زمینه چگونگی کمک به کاهش ناکارآمدی فنی با تمرکز بر اطلاعات، دانش و مسائل مربوط به مدیریت می‌پردازد - هرچند که غالباً نادیده گرفته می‌شوند اما می‌توانند به اهداف گنجاندن و کاهش فقر کمک کنند. بررسی‌های بعدی در یک مطالعه مرزی، از جمله هنگام اتمام پروژه، می‌تواند به بینش در مورد پیشرفت‌های کلیدی در طول اجرای پروژه کمک کند.

در مقایسه با سه روش اصلی دیگر، **روش‌های قیاسی** احتمالاً مناسب‌ترین ابزار برای ارزیابی انتخاب و اجرای مداخلات سازگاری در تغییر اقتصاد آب است. یک عامل مهم، انعطاف‌پذیری آن‌ها در اصلاح، نه تنها برای شرایط هیدرولوژیکی بلکه برای زمینه‌های سیاسی و نهادی جهت منعکس کردن زمینه‌های مختلف است.

زمینه هیدرولوژیکی، از جمله فرایندهای فیزیکی پیچیده همچون مسائلی که بین آب‌های سطحی و زیرزمینی وجود دارد، اغلب در مدل‌های هیدرو اقتصادی به صراحت مورد بررسی قرار می‌گیرند.

با توجه به زمینه سیاست‌گذاری، می‌توان روش‌های قیاسی را برای بررسی هر یک از این سه هدف تدوین کرد که عبارتند از: پرداختن به رویکردهایی برای افزایش تولید کشاورزی آبی، شناسایی فرصت‌های مربوط به حفاظت از آب و ارائه دیدگاه‌های مربوط به نقش کشاورزی آبی در حمایت از درآمد و توسعه اقتصادی. این اهداف برای مقابله با پیچیدگی موارد مختلف مداخلات مرتبط با آب در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف، از جمله معاملات تجاری استفاده شده‌اند.

روش‌های قیاسی همچنین جهت تشریح بستر نهادی درارزیابی‌ها، مناسب و قابل استفاده‌اند. تمهیدات نهادی مربوط به حقوق کاربران و مواجهه با حقوق دیگران است، و اینکه چگونه این حقوق، انگیزه‌ها و دلگرمی‌های میان کاربران را در تصمیم گیری‌های خود در مورد استفاده از آب، ایجاد می‌کنند. با افزایش کمیابی آب، قوانین، قواعد و اشخاص تأثیرگذار بر تخصیص آب مورد توجه قرار می‌گیرند و - در حالی که پیشرفت‌های تکنولوژیکی

تمایل به کاهش هزینه‌های معامله دارند - سیستم‌های پیچیده‌تر و پرجزئیات‌تری از حقابه‌ها و اداره آن‌ها پدیدار می‌شود. در حالی که بستر نهادی یک عامل مهم در تعیین مداخلات مناسب برای سازگاری است، در عین حال، برای اینکه درگیری‌های مربوط به افزایش رقابت آب کاهش یابند و مدیریت پایدار آب کشاورزی بیش از پیش‌تسهیل گردد مداخلات باید بطور فزاینده‌ای بر توسعه و تعدیل تمهیدات نهادی تمرکز کنند. روش‌های قیاسی، به ویژه مدل‌های ریاضی، می‌توانند "قواعد" مختلف سازمانی را در برگیرند و همچنین اینکه تصویب قوانین مختلف چه تاثیری بر رفتار احتمالی کشاورزان و عوامل مربوط به آب می‌گذارد را ارزیابی کنند.

روش‌های قیاسی برای مداخلات مختلف انعطاف‌پذیر هستند. آن‌ها می‌توانند مداخلات مهندسی و فن‌آوری را ارزیابی کنند و احتمالاً برای ارزیابی سیاست‌ها و مداخلات نهادی ضروری دریک اقتصاد آب توسعه یافته، کاربرد پیشرفته‌تری دارند. علاوه بر این، آن‌ها با تمرکز بر ارزش اقتصادی آب، می‌توانند در تخصیص کارآمد منابع آب در مواقع کمبود سهیم باشند. این روش‌ها معمولاً برای ارزیابی انتخاب مداخلات اولیه استفاده می‌شوند، اما پس از اجرا، اثرات پیش‌بینی شده و واقعی می‌توانند با یکدیگر مقایسه و تحلیل شوند.

برخی از مفاهیم پیش‌رو

با تشدید کمیابی آب و رشد تعداد کشورهایی که از مرحله در حال توسعه اقتصاد آب به مرحله آن حرکت می‌کنند، نیاز به سازگاری سرمایه گذاری‌ها با مدیریت آب کشاورزی از هر دو بخش خصوصی و دولتی افزایش می‌یابد. در حال حاضر، بسیاری از بحث‌های عمومی طرفدار تلاش برای بهبود بهره‌وری و کارایی آب کشاورزی و دستیابی به محصول بیشتر به ازای هر قطره هستند. تجزیه و تحلیل ما درباره موضوعات اساسی مفهومی از چنین اقدامات بهره‌وری تک عاملی، و همچنین کاربردها و مناسب بودن آن‌ها در توسعه یافتگی اقتصاد آب، محدودیت‌های مهم این اقدامات را نشان داده است.

هم اکنون توده‌ای از شواهد تجربی در مورد اثرات مداخلات مهندسی و فناوری در حال گسترش است، که معمولاً با استفاده از رویکرد تک عاملی، بویژه تبدیل به فناوری‌های آبیاری با سرمایه بیشتر، ترویج می‌شود که توسط مساعدت‌های فنی و مالی کمک هزینه آن تهیه می‌شود. در گذشته، اثرات مرتبط با آب در مورد مداخلاتی فراتر از سطح مزرعه یا سیستم آبیاری، به خوبی مورد بررسی قرار نگرفته است، که بخشی از آن به دلیل فقدان اطلاعات در مورد اقدامات کلیدی آب - از جمله برداشت آب، استفاده و مصرف آن - و

چگونگی امکان تغییر آن‌ها در نتیجه مداخلات خاص بوده است. به عنوان مثال برای ایالات متحده، تعداد زیادی از مطالعات - که بیشتر مبتنی بر روش‌های قیاسی هستند- نشان می‌دهد چنین سرمایه گذاری‌هایی که استفاده از مزرعه را کاهش می‌دهند، لزوماً در حفاظت از آب نقش ندارند. دلیل اصلی اقدامات مختلفی است که کشاورزان می‌توانند انجام دهند - به عنوان مثال گسترش منطقه آبیاری.

همچنانکه اقتصاد آب توسعه یافته می‌شود، نیاز به طراحی مداخلات با زمینه‌های محلی هیدرولوژیکی، سیاستی و نهادی در ذهن وجود دارد و علاوه بر این، مداخلات خاص با زمینه‌های سیاستی و نهادی با اهمیت می‌شوند. این بدان معنی است که برای برآورد هزینه‌ها و مزایای اقتصادی و مالی و همچنین تأثیرات مربوط به آب از گزینه‌های مختلف، لازم است از قبل ارزیابی‌های بیشتر و بهتری انجام شود. همچنین ارزیابی‌های بعدی برای سنجیدن فرآیندهای اجرا و نتایج متناسب با اهداف اساسی، باید بیشتر مورد تأکید قرار گیرد. این ارزیابی‌ها در نهایت به آگاهی تصمیم گیرندگان در بخش‌های دولتی و خصوصی کمک می‌کنند.

تجزیه و تحلیل در این گزارش حاکی از آن است که، در مناطقی که آب کمیاب است، بحث باید فوراً به سمت مسأله فراتر از محصول به ازای هرقطره برود. تجزیه و تحلیل ما از روش‌های اندازه‌گیری موجود نشان می‌دهد که رویکردهای بهتر و جامع‌تری برای در نظر گرفتن الزامات یک اقتصاد آب توسعه یافته، به ویژه در بین روش‌های قیاسی، در دسترس است. این روش‌ها بسیار مناسب هستند و اغلب به طور مؤثر موضوعات با زمینه خاص را ادغام می‌کنند. اقدامات بهره‌وری چند عاملی با محوریت آب شامل هزینه‌های فرصت ورودی‌های غیرآبی که در اکثر روش‌های قیاسی به صورت ضمنی است، می‌تواند بطور گسترده‌تر گزارش و بحث شوند. در حالی که استفاده از روش‌های چند عاملی ممکن است به منابع، زمان و مهارت بیشتری نسبت به اقدامات بهره‌وری تک عاملی اخیر نیاز داشته باشد، اما استفاده گسترده‌تر از چنین روش‌هایی در بسیاری از موارد می‌تواند با توجه به بزرگی سرمایه گذاری‌های عمومی در مداخلات مربوط به کمیابی آب و اجرای عاقلانه آن‌ها قابل توجیه باشد.

اختصارات

FAO: Food and Agricultur Organization of the United Nations
GDP: gross domestic product
IWMI: International Water Management Institute
OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development

۱

فصل اول

چرا بر مدیریت آب در کشاورزی آبی تمرکز می‌کنیم؟

کمیابی آب در بسیاری از نقاط جهان به عنوان یک چالش اساسی شناخته می‌شود، و بحران‌های آب به طور مداوم در رتبه‌های بالا در ریسک‌های مهم جهانی قرار دارند (مجمع جهانی اقتصاد[۱] ۲۰۱۷). پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که بدون پیشرفت در مدیریت آب و سیاست‌گذاری یکپارچه‌تر، در کشورهای توسعه یافته و درحال توسعه، کمیابی آب و مشکلات مربوط به آب در طی چند دهه آینده تشدید خواهد شد (Jiménez Cisneros et al. 2014؛ WWAP 2012).

از مهم‌ترین عوامل مؤثر در به وجود آمدن این وضعیت، استفاده آب در کشاورزی آبی است. کشاورزی آبی تقریباً بیشترین میزان مصرف آب در سراسر جهان را تشکیل داده و تخمین زده می‌شود که در حدود ۷۰ درصد از کل برداشت‌های آب شیرین را به خود اختصاص می‌دهد (Molden 2007). در بسیاری از کشورهای خشک‌تر، این میزان حتی از ۹۰ درصد کل برداشت‌ها نیز فراتر رفته است (FAO 2016a). بنابراین انتظار می‌رود که با افزایش کمیابی آب، مدیریت آب کشاورزی به یک چالش نگران‌کننده تبدیل شود.

با این حال چگونگی مدیریت آب در کشاورزی آبی و بهترین نحوه سازگاری با این شرایط هنوز هم پیچیده است. از یک طرف، کشاورزی آبی با افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی به سرعت در حال گسترش است (FAO 2016b). در طول نیم قرن گذشته، مناطق تحت آبیاری تقریباً دو برابر شده و استفاده آب نیز گسترش یافته است. پیش‌بینی می‌شود تقاضای جهانی برای محصولات کشاورزی تا سال ۲۰۵۰ حدود ۷۰ درصد رشد کند (موسسه منابع جهانی، ۲۰۱۴)[۲] و طبیعتاً انتظار می‌رود این افزایش تقاضای کشاورزی که ناشی از رشد جمعیت، افزایش مصرف گوشت و لبنیات و گسترش استفاده از سوخت‌های زیستی می‌باشد، به افزایش مداوم استفاده آب کشاورزی منجر شود (Alexandratos

۱. World Economic Forum

۲. World Resources Institute

and Bruinsma 2012). همچنین تلاش‌ها برای سازگاری با تغییر اقلیم و افزایش نوسان منابع آب دلیل دیگری بر گسترش استفاده از آب در کشاورزی آبی است (Elliott et al. 2014؛ World Bank 2012). از طرف دیگر، تطبیق با تقاضای اضافه‌تر برای آب آبیاری در بسیاری از مناطق دنیا بسیار دشوار شده است. به نحوی که در حال حاضر در بسیاری از کشورهای خشک‌تر، برداشت‌های کشاورزی سهم ناپایدار از کل منابع آب تجدیدپذیر را تشکیل می‌دهند (FAO 2016a). همچنین افزایش تقاضا برای آب در بخش‌های دیگر باعث افزایش رقابت در بهره‌برداری از منابع آبی شده است. استفاده آب در کشاورزی آبی نسبت به سایر مصارف، بازده خالص نسبی پایین‌تری دارد. با درنظرگرفتن استفاده بالای آب و بازده خالص پایین بخش کشاورزی، سایر بخش‌های استفاده‌کننده آب به این بخش به عنوان یک منبع بالقوه توجه دارند، به این صورت که آن‌ها معتقدند که می‌توان بخشی از آب کشاورزی را به سایر بخش‌ها با بازده خالص بالاتر اختصاص داد.

احتمالاً متداول‌ترین رویکرد برای پرداختن به این چالش‌ها و سازگاری مدیریت آب کشاورزی با افزایش کمیابی آب، تمرکز بر بهبود بهره‌وری و کارایی آب کشاورزی می‌باشد، که نتیجه آن رسیدن به محصول بیشتر به ازای هر قطره است. با توجه به حجم زیاد آب استفاده شده در بخش کشاورزی و این اعتقاد رایج که استفاده آب در کشاورزی نسبتاً بهره‌وری و کارایی پایینی دارد، تصور می‌شود که حتی افزایش اندک در کارایی و بهره‌وری، تأثیر زیادی در بیلان محلی و جهانی آب خواهد داشت. چنین پیشرفت‌هایی باعث تولید بیشتر محصولات کشاورزی با همان مقدار آب و یا همان میزان تولید محصولات کشاورزی با مقدار آب کمتر می‌شود. در ادامه، آب ذخیره شده می‌تواند به سایر مصارف با ارزش بالاتر بازتخصیص داده شود، یا برای تأمین بخشی از جریان‌های زیست محیطی مورد نیاز رهاسازی شود. فرض ضمنی بر این است که چنین بهبودهایی در بهره‌وری و کارآیی آب، منجر به افزایش تولید محصولات کشاورزی، حفاظت آب و بازتخصیص آن خواهد شد.

همچنین بسیاری از سازمان‌های بین المللی دخیل در زمینه مدیریت آب، ارتقا بهره‌وری و کارایی آب کشاورزی را به عنوان یک هدف مهم سیاست‌گذاری، ترویج می‌نمایند. از جمله آن‌ها می‌توان به همیاری آب جهانی[۱] (۲۰۰۰)، شورای آب جهانی[۲] (۲۰۰۰)، مؤسسه بین المللی مدیریت آب[۳] (Molden 2007)، برنامه ارزیابی آب جهانی[۴] (WWAP 2009، 2012)، برنامه محیط زیست سازمان ملل[۵] (Keys، Barron، and

۱. Global Water Partnership
۲. World Water Council
۳. International Water Management Institute
۴. World Water Assessment Program
۵. United Nations Environment Program

Lannerstad 2012)، بانک توسعه آسیا[۱] (۲۰۱۳)، بانک جهانی[۲] (۲۰۱۳)، و سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل[۳] (FAO 2012، 2017) اشاره کرد. طبیعی است که به دنبال ترویج چنین تفکری، سرمایه‌گذاری دولتی و خصوصی در کشورهای توسعه یافته و درحال توسعه، به طرز قابل توجهی بر افزایش بهره‌وری و کارایی آب در کشاورزی متمرکز گردد.

با این همه، این رویکرد مرسوم با برخی از مشکلات جدی همراه است (Scheierling and Tréguer 2016a؛ Tréguer، and Booker 2016). منشأ این مشکلات موضوعات مفهومی (روش‌هایی برای سنجش بهره‌وری و کارایی آب کشاورزی) و کاربرد آن‌ها در زمینه‌های مختلف است، که در انتخاب اقدامات و ارزیابی عملکرد آن‌ها تأثیرگذار هستند.

اصطلاحات بهره‌وری و کارآیی آب کشاورزی در تعاریف رشته‌های مختلف به نحوی کاملاً مبهم به کار رفته است. دیوید سکلر[۴]، به عنوان رئیس جدید مؤسسه بین المللی مدیریت آب (از سال ۲۰۰۰ رسماً به عنوان مؤسسه بین المللی مدیریت آب شناخته می‌شود)، احتمالاً اولین کسی بود که از تمرکز بر بهره‌وری آب در کشاورزی برای بیان بهتر افزایش کمیابی آب استفاده می‌کرد (Seckler 1996). از آن زمان، تحقیقات گسترده‌ای، به ویژه در ادبیات آبیاری، با ارزیابی و بهبود بهره‌وری آب در کشاورزی صورت گرفته است (Giordano et al. 2017). اگر تعریفی از اصطلاح بهره‌وری ارائه شده باشد، با تأکید بر اینکه آب تنها نهاده دارای اهمیت است، بهره‌وری به این معنی است که معمولاً به ازای یک مقدار مشخص آب استفاده‌شده باید به تولید محصول بیشتر دست یافت. اغلب مشخص نیست که کدام "محصولات زراعی" و "میزان آب استفاده‌شده" متناسب با آن‌ها درنظر گرفته شده است و چگونه می‌توان آن‌ها را اندازه‌گیری کرد. معمولاً اهداف سیاستی (درمورد محصولات زراعی و آب) ناظر بر چنین تلاش‌هایی مانند رشد تولید محصولات کشاورزی، افزایش درآمد خالص کشاورزان یا حفاظت از آب و بازتخصیص آن، بیان نشده است. حتی اگر هدفی هم بیان شده باشد، برای کمک به نشان دادن کمیابی آب بوده و اینکه با بهبود شاخص بهره‌وری می‌توان به محصول بیشتر به ازای هر قطره دست یافت (FAO 2017؛ GFFA 2017). اصطلاح کارایی آب نیز مشابه همین وضعیت است. کارایی آب اغلب مترادف با کارآیی استفاده آب و کارآیی آبیاری به کار برده می‌شود. با این وجود این اصطلاحات ممکن است مفاهیم و معانی اساسی یکسانی نداشته باشند، و با آنچه

---

۱. Asian Development Bank

۲. World Bank

۳. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)

۴. David Seckler

اندازه‌گیری می‌شوند، متفاوت باشند. معمولاً افزایش در کارایی آب به معنای کاهش اتلاف با نزدیک کردن مقدار آب استفاده‌شده به مقدار آب مورد نیاز برای یک هدف خاص است.

به دلیل عدم شفافیت مربوط به چارچوب‌های مفهومی، روش‌های ارزیابی مناسب و همچنین کاربرد صحیح آن‌ها، انتخاب و تأثیر اقدامات برای افزایش بهره‌وری و کارآیی آب کشاورزی نیز به ندرت به صورت سیستماتیک مورد بحث قرار گرفته است. سرمایه‌گذاری در بهبود زیرساخت‌های آبیاری، به ویژه سرمایه‌گذاری بیشتر برای تکنولوژی‌های آبیاری در مزرعه، راهکارهای محبوب و فراگیر است. فرض بر این است که این سرمایه‌گذاری‌ها باعث افزایش کارایی آبیاری شده و منجر به بهره‌وری بیشتر آب از نظر محصول بیشتر به ازای هر قطره می‌شوند. با این حال، بدون تحلیل دقیق‌تر، اثرات واقعی چنین اقداماتی در استفاده آب کشاورزی و کمیابی آب اغلب نامشخص است و در برخی موارد حتی ممکن است منجر به نتایج ناخواسته شود. این گزارش قصد دارد مسیر مواجه با موضوعات ذکر شده را ضمن تمرکز بر موضوعات مفهومی، روش‌های ارزیابی و کاربرد و ارتباط آنها در زمینه‌های مختلف، روشن سازد.

کشاورزی آبی در اقتصاد آب در حال توسعه: چارچوب

چارچوب اساسی تحلیل، از منظر گذار اقتصاد آب از مرحله توسعه، به اقتصاد توسعه‌یافته است. این توصیف برای اولین بار توسط Randall (۱۹۸۱) معرفی شد تا اقتصاد آب استرالیا را تحت شرایط افزایش کمیابی توصیف کند و خواستار اصلاحات سیاست‌گذاری برای تطبیق با مفهوم جدید شد. بعداً توسط Young and Haveman (۱۹۸۵) بعنوان چارچوبی برای تحلیل مسائل مربوط به تغییر آب در غرب ایالات متحده و همچنین نیازهای مربوط به تطبیق در سیاست‌گذاری عمومی مورد استفاده قرار گرفت. از آن زمان به بعد، این چارچوب برای سایر کشورها مانند شیلی که با افزایش کمیابی آب مواجه هستند (Rosegrant et al. ۲۰۰۰) نیز مورد استفاده قرار گرفت. همچنین به صورت کلی‌تر (به عنوان مثال، برای بررسی سیر تکوینی مدل‌های سیاست اقتصاد آب) از آن استفاده شده است تا منعکس‌کننده وضعیت در اقتصاد آب توسعه‌یافته باشد (Booker et al. 2012).

چارچوب این گزارش غالبا برای انعکاس مسائل مربوط به مدیریت آب در کشاورزی آبی توسعه داده شده است. در جدول ۱-۱ مرور کلی از هر دو مرحله توسعه و توسعه‌یافته بر اساس پنج ویژگی ارائه شده است. در طول گزارش، از این خصوصیات در مورد مزایا، معایب، مفاهیم، روش‌های مختلف و کاربرد آن‌ها در زمینه‌های مختلف استفاده شده است.

جدول ۱-۱ کشاورزی آبی در مراحل توسعه و توسعه یافتگی اقتصاد آب

	مرحله توسعه	مرحله توسعه یافتگی
منابع و تقاضای آب کشاورزی	تقاضا کم، اما در حال رشد رقابت حداقلی برای آب منابعی که به راحتی در دسترس هستند(با هزینه افزایشی نسبتاً کم منابع جدید و با گذشت زمان ثابت)	تقاضا زیاد و افزایش آن رقابت شدید برای آب افزایش کمیابی آب (به دلیل تشدید سریع هزینه‌های منابع جدید، که حتی در برخی نقاط این هزینه‌ها بیش از ارزش اقتصادی مقرون به صرفه در برخی از استفاده‌های موجود است)
شرایط هیدرولوژیکی	مصرف کنندگان آب نسبتاً مستقل و دارای اختلافات اندک هستند کمرنگ بودن عوامل محیطی	افزایش وابستگی متقابل بین کاربران بالادست و پایین دستی، به ویژه هنگامی که جریان‌های برگشتی نقش مهمی دارند. قابل توجه بودن عوامل محیطی، که شدت آن بسته به بسترهای هیدرولوژیکی و نهادی است.
اهداف سیاستی	افزایش تولید محصولات کشاورزی (و درآمد خالص کشاورزی)	پرداختن به بده‌بستان‌ها بین رشد تولید محصولات کشاورزی و حفظ آب (یا بازتخصیص)
اقدامات	تأکید بر گسترش منابع آب کشاورزی با سرمایه‌گذاری در پروژه‌های زیرساختی (نسبتاً کم هزینه) تمرکز روی اقدامات مهندسی و فناوری در خارج از مزرعه.	تأکید بر اقدامات طرف تقاضا و تسهیل در بازتخصیص و همسویی سرمایه‌گذاری‌های خصوصی افزایش اهمیت سیاست‌گذاری خاص شرایط و تدابیر نهادی
روش‌های ارزیابی انتخاب و اجرای اقدامات	تحلیل سود- هزینه پروژه‌های منفرد (بدون توجه ویژه به مسائل مربوط به آب) تمرکز بر نرخ بازده داخلی	روش‌های جامع‌تری که شرایط هیدرولوژیکی، نهادی و همچنین بده‌بستان‌ها را نیز در بر می‌گیرد تمرکز بر ارزش آب و جریان‌های زیست محیطی

تقاضا و تأمین آب کشاورزی. مرحله توسعه با تأمین آسان آب برای برآورده کردن تقاضای رو به رشد آب آبیاری به منظور افزایش تولید محصولات کشاورزی شناخته می‌شود. تقاضا را می‌توان با سرمایه‌گذاری در پروژه‌های زیرساختی نسبتاً کم هزینه، به راحتی پوشش داد. افزایش هزینه اقتصادی منابع جدید آب نسبتاً کم است.

شرایط در مرحله توسعه‌یافتگی چالش برانگیزتر می‌شود، در نتیجه افزایش کمیابی رقابت بر سر آب شدت می‌یابد. تقاضای آب برای گسترش کشاورزی آبی همچنان در حال افزایش است؛ اما در همان زمان، سایر بخش‌ها به دنبال بازتخصیص آب کشاورزی هستند. دلیل این امر این است که کشاورزی آبی به طور معمول بیشترین سهم آب را استفاده می‌کند، و ارزش نهایی بلند مدت آن در مقایسه با استفاده‌های رقیب پایین‌تر است. هنگامی که سایر تقاضاها به سرعت در حال افزایش هستند، سود خالص پیش‌بینی شده در نتیجه کاهش استفاده آب کشاورزی ممکن است کمتر از هزینه‌های تأمین جدید باشد. بازتخصیص آب به استفاده‌های با ارزش‌تر، احتمالاً با اقدامات حفاظت از آب در کشاورزی ترکیب شده و ممکن است منجر به صرفه‌جویی اقتصادی قابل توجهی در مقایسه با سرمایه‌گذاری برای پروژه‌های جدید تأمین آب شود.

شرایط هیدرولوژیکی. غالباً در مرحله توسعه شرایط هیدرولوژیکی مورد توجه نیستند. رقابت برای آب حداقل است، و وابستگی‌های متقابل در بین استفاده‌کنندگان آب و اثرات خارجی مربوط به آن ناچیز است. با این حال، در مرحله توسعه‌یافتگی، وابستگی متقابل بین بهره‌برداران بالادست و پایین دست، به ویژه هنگامی که جریان‌های برگشتی نقش مهمی دارند، بیشتر قابل توجه است. آثار خارجی در استفاده از روش‌ها و ارزیابی اقدامات باید مورد توجه قرار گیرد.

اهداف سیاستی. همچنین با توجه به اهداف سیاستی در دو مرحله (Scheierling and Tréguer 2016a) یک تغییر معنادار نیز قابل مشاهده است. هدف اصلی مرحله توسعه، افزایش تولید محصولات کشاورزی و به طور همزمان افزایش درآمد خالص کشاورزان است. با توجه به اینکه در مرحله توسعه‌یافتگی، هدف جدید حفاظت از آب نیز در نظر گرفته می‌شود، لازم است بین این اهداف تعادلی ایجاد شود. هدف حفاظت از آب ممکن است در پاسخ به فشارهایی برای بازتخصیص آب به سایر استفاده‌ه (از جمله نیازهای زیست محیطی) یا برای مقابله با کمیابی آب باشد.

اقدامات. انواع اقدامات متناسب با مرحله اقتصاد آب توسعه‌یافته به کار گرفته می‌شوند و حرکت از اقدامات طرف تأمین که متمرکز بر اقدامات مهندسی است به سمت اقدامات طرف تقاضا که شامل سیاست‌گذاری و سازگاری نهادی است صورت می‌گیرد.

روش‌ها. پیامدهایی برای نقش اقتصاد در سیاست‌گذاری آب از جمله تحلیل سود-هزینه، نرخ بازده داخلی و... وجود دارد (Booker et al. ۲۰۱۲). در مرحله توسعه، فعالیت اصلی تحلیل سود-هزینه، پروژه‌های زیرساختی پیشنهادی و اغلب یارانه‌ای برای توسعه منابع جدید است. تمرکز آنالیزها معمولاً روی نرخ بازده داخلی و استفاده سودمند از سرمایه کمیاب بدون توجه ویژه به منابع آبی می‌باشد.

در مرحله توسعه‌یافته، هنگامی که وابستگی‌های متقابل در بین استفاده‌کنندگان آب فراگیر است، تحلیل سود-هزینه چالش برانگیزتر می‌شود. ارزیابی‌های اقتصادی متکی به روش‌های جامع‌تری هستند که بتوانند شرایط مختلف هیدرولوژیکی و زمینه‌های نهادی را شرح دهند و ارتباط‌های متفاوت شامل آن‌هایی که بین اهداف و اقدامات مختلف است را تعیین کنند. همچنین ارزیابی‌ها برای کمک به تخصیص کارآمدتر، تمایل بیشتری به تخمین ارزش اقتصادی آب در استفاده‌ها، زمان‌ها و مکان‌های مختلف دارند.

این گزارش چارچوب تغییر اقتصاد آب را از مرحله توسعه به توسعه‌یافته درنظر می‌گیرد تا نشان دهد که تلاش‌های مداوم برای بهبود بهره‌وری و کارآیی آب کشاورزی و دستیابی به محصول بیشتر به ازای هر قطره، در بسیاری از شرایط برای سازگاری با اقتصاد آب توسعه‌یافته، ناکافی و بعضاً متناقض هستند. با توجه به پنج ویژگی جدول ۱-۱، کاستی‌ها شامل (الف) باور اشتباه مبنی بر اینکه اگر بتوانیم استفاده ناکارآ از آب کشاورزی را به حداقل برسانیم، به طور خودکار مشکلات کمیابی آب برطرف می‌شود؛ (ب) تمرکز مکرر روی سطح مزرعه یا زمین کشاورزی که مانع از شناخت کافی وابستگی متقابل کاربران می‌شود؛ ج) فرض ضمنی مبنی بر اینکه با بهبود بهره‌وری و کارآیی آب کشاورزی، ارتباط بین اهداف تولید محصولات کشاورزی و حفاظت از آب صورت خواهد گرفت؛ (د) تأکید مداوم بر اقدامات مهندسی و فناوری بدون توجه به سیاست‌گذاری و تدابیر نهادی؛ و (ه) از نظر روش شناختی، تمرکز بر نسبت محصول به ازای هر قطره که تمایل به چشم پوشی از تأثیر سایر عوامل در کنار آب دارد و نمی‌تواند تمهیدات نهادی را در نظر بگیرد (مثلاً ممکن است بر رفتار کشاورزان تأثیر بگذارد).

دامنه گزارش و نقشه راه

به منظور کمک به بهبود تعاریف رایج در مورد بهره‌وری و کارایی آب کشاورزی، هدف از این گزارش شفاف‌سازی برخی از مفاهیم اساسی، بازبینی و تجزیه و تحلیل روش‌های موجود برای ارزیابی بهره‌وری و کارآیی آب، و همچنین بحث در مورد کاربرد و ارتباط آن‌ها در زمینه‌های مختلف است.

روشن ساختن جنبه‌های مفهومی. با توجه به اینکه محدودیت‌های رویکرد مشترک تا حدودی بخاطر مسائل مفهومی مانند تعاریف کارآیی و بهره‌وری است، هدف اول روشن شدن مفاهیم اساسی است. یک عامل پیچیده‌کننده درگیری طیف وسیعی از رشته‌ها در این موضوع است، از جمله رشته‌های درگیر می‌توان به هیدرولوژی و هیدروژئولوژی، مهندسی عمران و آبیاری، زراعت و فیزیولوژی گیاهی، و اقتصاد اشاره کرد، ضمن اینکه هر رشته‌ای مفاهیم و اصطلاحات خاص خود را بکار می‌برد و با توجه به اینکه تبادل زیادی بین رشته‌ها صورت نمی‌گیرد می‌توان بیان کرد که آنها از هم نسبتاً مستقل هستند. در این گزارش استدلال می‌شود که باید بین مفاهیم و اصطلاحات در زمینه‌های مهندسی و زراعت که حاکم بر ادبیات آبیاری است، و مفاهیم و اصطلاحات اقتصادی، تمایز اساسی ایجاد شود. رشته مهندسی و زراعت تمایل به پایه‌گذاری رویکردهای تک عاملی دارند و بر تأثیرات سطح-مزرعه متمرکز می‌شوند، در حالی که مفاهیم اقتصادی رویکردهای چند عاملی را اعمال می‌کنند و همچنین می‌توانند اثرات حوضه را به صورت گسترده در نظر بگیرند.

این اختلافات مفهومی تا حدودی روش‌های مختلف توسعه داده شده و به کار رفته در بخش‌های مختلف ادبیات مربوط به ارزیابی بهره‌وری و کارآیی آب کشاورزی را توضیح می‌دهد. علاوه بر این، بسته به روش ارزیابی به کار رفته، بر اقدامات مختلفی برای بهبود بهره‌وری و کارآیی آب کشاورزی تأکید شده است.

بازبینی روش‌های ارزیابی. هدف دوم این گزارش بررسی عمیق و تجزیه و تحلیل روش‌های ارزیابی موجود است. بررسی ما از ادبیات، چهار گروه روش را نشان می‌دهد. ادبیات آبیاری با شاخص‌های بهره‌وری تک عاملی، از جمله نسبت محصول به ازای هر قطره همراه است. ادبیات اقتصاد عمدتا از شاخص‌های بهره‌وری کل عامل‌ها و روش‌های مرزی در مورد بهره‌وری و کارایی کشاورزی استفاده می‌کند. روش بهره‌وری کل عامل‌ها سعی در مشمول کردن"همه" عوامل تولید دارد و برای تحلیل بهره‌وری اقتصادی در سطح ملی یا منطقه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش مرزی می‌تواند چندین ورودی و خروجی را دربرگیرد، و بر اندازه‌گیری کارایی فنی مزارع نسبت به "الگوی موفق" یا مرز کارآ متمرکز شود.

علاوه بر این سه گروه از روش‌ها، گروه چهارمی به نام روش‌های قیاسی وجود دارد که بخش مهمی از ادبیات اقتصاد آب کشاورزی و آبیاری را تشکیل می‌دهد. در حالی که شاخص‌های بهره‌وری کل عامل‌ها و روش‌های مرزی وابسته به روش‌های استقرایی (نتیجه‌گیری بر مبنای استدلال از جز به کل) هستند، روش‌های قیاسی (نتیجه‌گیری بر مبنای استدلال از کل به جز) شامل فرایندهای منطقی برای استدلال از نظریه‌های کلی تا

نتیجه‌گیری خاص می‌باشند. آن‌ها از مدل‌های ساخته شده‌ای استفاده می‌کنند که شامل مجموعه‌ای از فرضیه‌های رفتاری (یعنی حداکثرسازی سود) و مفروضات تجربی است و دربردارنده روش‌های نسبت باقیمانده، برنامه نویسی ریاضی، مدل‌های هیدرو اقتصادی و مدل‌های موازنه عمومی قابل محاسبه است. روش‌های قیاسی همچنین شامل چندین ورودی و خروجی است و می‌تواند برای مقیاس‌های مختلف (معمولاً مبتنی بر "مدل‌های مزرعه نماینده") فرموله، و برای تحلیل سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی پروژه استفاده شوند.

تجزیه و تحلیل تناسب روش‌ها در اقتصاد آب بالغ. هدف سوم این گزارش، ارائه یک تحلیل گسترده‌تر از روش‌ها با توجه به سودمندی آن‌ها هنگام استفاده در مرحله توسعه یا توسعه‌یافته اقتصاد آب است. به طور خاص، پنج ویژگی در جدل ۱-۱ برای ارزیابی کاربرد هر یک از روش‌ها و درنظر گرفتن شرایط تغییر استفاده می‌شود. نتیجه مهم به دست آمده این است که روش‌های قیاسی انعطاف‌پذیری لازم به منظور برطرف کردن بسیاری از محدودیت‌های موجود در سایر روش‌ها را دارند، و قادر به پاسخگویی به نیازهای مختلف ناشی از اقتصاد آب توسعه‌یافته هستند.

این گزارش برخی از کارهای قبلی ما در مورد بهره‌وری و کارایی آب کشاورزی را توسعه می‌دهد (Giordano et al. 2017؛ Scheierling et al. 2014؛ Scheierling، Scheierling and Tréguer 2016a، 2016b؛ Tréguer and Booker 2016)، و آن را در چارچوبی فراتر از اقتصاد آب توسعه‌یافته قرار می‌دهد. تأکید این گزارش بر جنبه‌های کمیت آب است و جنبه‌های کیفیت آب و سایر فعالیت‌های کشاورزی که در کنار کشاورزی آبی وجود دارند را شامل نمی‌شود. تا آنجا که می‌دانیم، این نخستین تلاش برای انجام چنین ارزیابی گسترده‌ای به منظور بهبود تعاریف رایج در مورد بهره‌وری و کارایی آب کشاورزی در شرایط افزایش کمیابی آب است. تمرکز این گزارش بیشتر بر روشن کردن روش‌های ارزیابی است و کمتر به ارائه راهبردهای سیاست‌گذاری توجه دارد. مطالعات آینده ممکن است راهبردهای سیاست‌گذاری را بیشتر توسعه دهند.

فصل دوم به ارائه حقایقی برای استفاده از آب در کشاورزی و بحث درباره خصوصیات ویژه آب می‌پردازد. یکی از ویژگی‌های کلیدی آب این است که مقدار برداشت شده به صورت کامل به مصرف نمی‌رسد و این امر به دلیل اتلافات موجود بین آب برداشت شده، به کار برده شده و مصرف شده است. هرچه کمیابی آب شدیدتر شود، استفاده‌کنندگان پایین دست بیشتر به جریان آب بازگشتی وابسته می‌شوند و تحت تاثیر تغییراتی که در نتیجه مداخلات مربوط به آب توسط مصرف کنندگان بالادست ایجاد شده، قرار می‌گیرند. بنابراین تغییرات مشاهده شده مربوط به آب در سطح مزرعه ممکن است دیدگاهی در

مورد تغییرات در سطح حوضه را ارائه ندهند. فقط اقدامات تعریف شده دقیق و کاربردی استفاده از آب می‌تواند به بهبود درک کمک کنند.

مباحث این گزارش با نگاهی جهانی به کشاورزی آبی و منابع آبی ادامه می‌یابد. براساس شاخص‌های اصلی استفاده از آب، روندهای جهانی در استفاده از آب کشاورزی نمایش داده می‌شوند.

با استفاده از داده‌هایی در سطح کلان (کشور) برگرفته از پایگاه داده سازمان خواروبار و کشاورزی سازمان ملل متحد (FAO)، به ارتباط تنگاتنگی بین برداشت‌های کشاورزی و برداشت کل و همچنین بین برداشت‌های کشاورزی و مناطق مجهز به سیستم آبیاری پی برده می‌شود و نشان داده می‌شود که استفاده از آب کشاورزی در بسیاری از کشورها نقش مهمی در کمیابی آب (در نتیجه انتقال از مرحله توسعه به مرحله توسعه‌یافته اقتصاد آب) دارد.

فصل سوم مباحث مربوط به بهره‌وری و کارایی در مصرف آب کشاورزی را مورد بحث قرار می‌دهد. استدلال می‌شود که لازم است بین مفاهیم و اصطلاحات در زمینه‌های مهندسی و زراعت حاکم بر ادبیات آبیاری، و مفاهیم مربوط به اقتصاد، تمایز اساسی قائل شد. زمینه‌های مهندسی و زراعت تمایل دارند مبتنی بر رویکردهای تک عاملی باشند و بر تاثیرات سطح مزرعه متمرکز شوند درحالی‌که زمینه اقتصادی رویکردهای چند عاملی را اعمال می‌کند و می‌تواند اثرات حوضه‌ای گسترده‌تر را درنظر بگیرد. به عنوان بخشی از نتیجه این تفاوت‌های مفهومی، روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری بهره‌وری و کارایی آب کشاورزی توسعه داده شده است. همچنین بسته به روش اندازه‌گیری، بر اقدامات مختلفی برای بهبود بهره‌وری و کارایی آب کشاورزی تاکید می‌شود.

در فصل چهارم، چهار گروه اصلی از روش‌هایی که برای مطالعه بهره‌وری آب کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته، ارائه می‌شوند. با توجه به ادبیات گسترده درمورد هریک از روش‌ها، این گزارش ادعایی مبنی بر جامع بودن مباحث ندارد. در ادامه رویکردها و برنامه‌های مختلف را مرور شده و یافته‌های کلیدی ارائه می‌شوند. همچنین از ویژگی‌های اصلی انتخاب شده برای مقایسه چهار روش به صورت منظم‌تر و ارائه دیدگاه درمورد نقاط قوت و ضعف مربوط به آن‌ها استفاده می‌شود.

سرانجام در فصل پنجم هر یک از روش‌ها به صورت گسترده‌تر با توجه به کارایی در زمان کاربرد مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. این کاربرد مربوط به ارزیابی انتخاب و اجرای اقدامات جهت سازگاری با مدیریت آب کشاورزی در اقتصاد آب توسعه‌یافته است. روش‌های قیاسی با توجه به انعطاف‌پذیری بالای آنها برای انعکاس شرایط مختلف هیدرولوژیکی و همچنین زمینه‌های سیاست‌گذاری و نهادی، مناسب‌ترین ابزار است.

REFERENCES

Alexandratos، N.، and J. Bruinsma. 2012. “World Agriculture towards Food and .03-The 2012 Revision، ESA Working Paper 12 “ .2050/2030 .Agriculture Organization of the United Nations، Rome

Annan، K. 2002. “Address of Secretary General Kofi Annan to the ‘Group of 77’ Developing Countries. ” South Summit، Havana، Cuba. Press .Release SG/SM/7358. New York: United Nations

Asian Development Bank. 2013. Asian Water Development Outlook 2013: Measuring Water Security in Asia and the Pacific. Mandaluyong: .Asian Development Bank

Booker، J. F.، R. E. Howitt، A. M. Michelsen، and R. A. Young. 2012. “Economics and the Modeling of Water Resources and Policies. ” .218-Natural Resource Modeling 25 (1): 168

Elliott، J.، D. Deryng، C. Müller، K. Frieler، M. Konzmann، D. Gerten، M. Glotter، M. Flörke، Y. Wada، N. Best، S. Eisner، B. M. Fekete، C. Folberth، I. Foster، S. N. Gosling، I. Haddeland، N. Khabarov، F. Ludwig، Y. Masaki، S. Olin، C. Rosenzweig، A. C. Ruane، Y. Satoh، E. Schmid، T. Stacke، Q. Tang، and D. Wisser. 2014. “Constraints and Potentials of Future Irrigation Water Availability on Agricultural Production under Climate Change. ” Proceedings of the National Academy of Sciences .44-111 (9): 3239

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2012. Coping with Water Scarcity: An Action Framework for Agriculture and .Food Security. FAO Water Report 38. Rome: FAO

2016a. “AQUASTAT Main Database. ” FAO، Rome (accessed April 1، .2017)، www. fao. org/ nr/water/aquastat/main/index. stm

2016b. “FAOSTAT. FAO Statistics Division. ” FAO، Rome (accessed ./April 1، 2017)، www. fao. org/s tatistics/en

Coping with Water Scarcity in Agriculture: A Global Framework .2017 .for Action in a Changing Climate. Rome: FAO

GFFA (Global Forum for Food and Agriculture). 2017. “Agriculture and Water—Key to Feeding the World. ” GFFA Communique: Ninth Berlin .Agriculture Ministers’ Conference 2017، GFFA، Berlin، January 21

Giordano، M.، H. Turral، S. M. Scheierling، D. O. Tréguer، and P. G. McCornick. 2017. Beyond “More Crop per Drop”: Evolving Thinking on Agricultural Water Productivity. IWMI Research Report 169. Colombo، Sri Lanka: International Water Management Institute، and

.Washington، DC: World Bank

Global Water Partnership. 2000. Towards Water Security: A Framework

.for Action. Stockholm، Sweden: GWP

Jiménez Cisneros، B. E.، T. Oki، N. W. Arnell، G. Benito، J. G. Cogley، P. Döll، T. Jiang، and S. S. Mwakalila. 2014. “Freshwater Resources. ” In Climate Change 2014: Impacts، Adaptation، and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects، edited by C. B. Field، V. R. Barros، D. J. Dokken، K. J. Mach، M. D. Mastrandrea، T. E. Bilir، M. Chatterjee، K. L. Ebi، Y. O. Estrada، R. C. Genova، B. Girma، E. S. Kissel، A. N. Levy، Cambridge .69-S. Macracken، P. R. Mastrandrea، and L. L. White، 229 and New York: Cambridge University Press. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel .on Climate Change

Keys، P.، J. Barron، and M. Lannerstad. 2012. Releasing the Pressure: Water Resource Efficiencies and Gains for Ecosystem Services. Nairobi: Stockholm: Stockholm ؛United Nations Environment Programme .Environment Institute

Molden، D.، ed. 2007. Water for Food، Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. London: Earthscan .and International Water Management Institute

Randall، A. 1981. “Property Entitlements and Pricing Policies for a Maturing Water Economy. ” Australian Journal of Agricultural Economics .220-25 (3): 195

Rosegrant، M. W.، C. Ringler، D. C. McKinney، X. Cai، A. Keller، and G. Donoso. 2000. “Integrated Economic Hydrologic Water Modeling at the Basin Scale: The Maipo River Basin. ” Agricultural Economics Vol. 24 .46-(1): 33

Scheierling، S. M.، and D. O. Tréguer. 2016a. “Enhancing Water Productivity in Irrigated Agriculture in the Face of Water Scarcity. ” .Choices. Third Quarter

2016b. “Investing in Adaptation: The Challenge of Responding .——— to Water Scarcity in Irrigated Agriculture. ” Federal Reserve Bank of Kansas City Economic Review. Special Issue on Agriculture’s Water .100-Economy، 75

Scheierling، S. M.، D. O. Tréguer، and J. F. Booker. 2016. “Water Productivity in Agriculture: Looking for Water in the Agricultural Productivity and Efficiency Literature. ” Water Economics and Policy 2 .(3)، 1650007 (33 pages). doi: 10. 1142/S2382624X16500077

Scheierling، S. M.، D. O. Tréguer. J. F. Booker، and E. Decker. 2014. Looking for Water in ؟“How to Assess Agricultural Water Productivity the Agricultural Productivity and Efficiency Literature. ” Policy Research .Working Paper 6982، World Bank، Washington، DC

Seckler، D. 1996. The New Era of Water Resources Management: From

"Dry" to "Wet" Water Savings. Research Report 1. Colombo، Sri Lanka: .International Water Management Institute

World Bank. 2012. Turn Down the Heat: Why a 4°C Warmer World Must Be Avoided. A report for the World Bank by the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics. Washington، DC: .World Bank

Implementing .2015-Agriculture Action Plan 2013 .2013 .——— .Agriculture for Development. Washington، DC: World Bank

World Economic Forum. 2017. The Global Risks Report 2017. 12th ed. .Geneva: World Economic Forum

World Resources Institute. 2014. Creating a Sustainable Food Future. Interim Findings. Washington، DC: :14-World Resources Report 2013 .World Resources Institute

World Water Council. 2000. World Water Vision: Making Water .Everybody's Business. London: Earthscan Publications

WWAP (World Water Assessment Program). 2009. The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World. Paris: .UNESCO

The United Nations World Water Development Report 4: .2012 .——— .Managing Water under Uncertainty and Risk. Paris: UNESCO

Young، R. A.، and R. H. Haveman. 1985. "Economics of Water Resources: A Survey. " In Handbook of Natural Resource and Energy .529-Economics، edited by A. V. Kneese and J. L. Sweeney، vol. II، 465 .Amsterdam: Elsevier Science Publishers

۲

فصل دوم

تاریخچه استفاده آب در کشاورزی آبی

آب دارای ویژگی‌های منحصر به فردی است که آن را از سایر منابع و کالاهای دیگر متمایز می‌کند بنابراین ضرورت دارد تا در هر بحثی پیرامون استفاده آن در کشاورزی مورد توجه قرار گیرد. همانطور که در بخش بعدی توضیح داده شده است، این خصوصیات بر پیچیدگی ارزیابی نحوه استفاده از آب (به ویژه در مواقع افزایش کمیابی آب) افزوده و نیاز به شاخص‌های متمایز کمی آب دارند. در این فصل نقش اصلی آب (استفاده) در کشاورزی آبی مورد بحث قرار گرفته و ارتباط تنگاتنگ میان مصرف آب کشاورزی و کمیابی آب مورد بررسی قرار گرفته است.

ویژگی‌های خاص و مفاهیم مربوط آب

آب خصوصیات ویژه‌ای دارد که آن را از اکثر منابع و کالاهای دیگر متمایز می‌کند (Young ۱۹۸۶، ۲۰۰۵؛ Young and Haveman ۱۹۸۵). این چالش‌های مهمی را برای مسأله تعریف و کاربرد مفاهیم مربوط به استفاده از آب را با پیچیدگی‌های قابل توجهی روبرو می‌نماید چرا که آب به عنوان یکی از نهاده‌های اصلی برای تولید محصولات کشاورزی و مدول‌های ارزیابی و بهبود مدیریت آب کشاورزی درنظر گرفته می‌شود. برخی از ویژگی‌های اصلی آب در طرف تأمین و تقاضا در زیر مورد بحث قرار گرفته است و در ادامه مفاهیم آنها برای اندازه‌گیری آب ارائه می‌شود. این ویژگی‌های منحصر به فرد در هر دوسوی تأمین و تقاضای این منبع مهم قابل مشاهده است.

خصوصیات ویژه آب

ویژگی‌های منبع. پویایی آب یکی از خصوصیات مهم فیزیکی آن در طرف عرضه است. عموماً آب به صورت مایع در طبیعت یافت می‌شود و از طریق جریان، تبخیر و نفوذ

در چرخه هیدرولوژیکی جابه‌جا می‌شود. در مواجهه با کالایی با چنین درجه بالایی از پیچیدگی، وضع و پیاده‌سازی حقوق مالکیت انحصاری، که اساس بازار یا اقتصاد مبادله‌ای است، برای تأسیس و اجرای آن نسبتاً دشوار و گران است.

اگرچه به طور کلی منابع تجدیدپذیر، با توجه به زمان، مکان و کیفیت، غیرقابل پیش‌بینی و متغیر هستند. در دسترس بودن مکانی آب، معمولاً به طور منظم در تمام فصول سال و نوسانات دوره‌ای بلند مدت تغییر می‌کند. درحال حاضر تغییر اقلیم دسترسی مکانی آب بر هر دو روند تحت تأثیر نوسانات منظم فصلی و نیز در طول دوره‌های بلندمدت و همچنین توزیع‌های احتمالاتی مانند سیل و خشکسالی تأثیر می‌گذارد.

ویژگی‌های تقاضا. همانند طرف تأمین، تغییرپذیری نیز بر تقاضای آب تأثیر می‌گذارد. نیازهای کشاورزی آبی در پاسخ به الگوهای بارندگی و دما در فصول سال و در طی دوره‌های طولانی‌تر تغییر می‌یابد. یکی دیگر از ویژگی‌های تقاضا تنوع کاربردهاست. بیشترین استفاده از آب توسط تولیدکنندگان است که از آن به عنوان یک کالای واسطه استفاده می‌کنند؛ برای سایر کاربران، آب کالای مصرفی نهایی است. هر نوع استفاده ممکن است مکان، شکل، بعد زمان و کمیت آب را تغییر دهد.

علاوه بر این، آب دارای ارزش اقتصادی نسبتاً کم حاشیه‌ای، به ویژه در بیشتر کاربردهای آن در کشاورزی آبی می‌باشد. هزینه جابجایی، استحصال از منابع و ذخیره‌سازی در مقایسه با کاربردشان در کشاورزی آبی معمولاً زیاد است.

سایر ملاحظات ویژه آب. به دلیل تغییرات در منبع آب و تقاضای محلی، مسائل مربوط به آب عموما درمورد یک مکان خاص است. بنابراین برای اطمینان از دستیابی به نتایج مطلوب، اقدامات غالبا باید متناسب با شرایط محلی باشند.

همچنین، آب باعث وابستگی ویژه‌ای در بین استفاده‌کنندگان آن می‌شود که با شدت گرفتن کمیابی آب، فراگیرتر و پیچیده‌تر می‌شود. دلیل این امر آن است که آب در طی فعالیت‌های تولیدی و استفاده‌های انسانی به ندرت به صورت کامل به مصرف می‌رسد. معمول است که نیمی از آب برداشت شده برای آبیاری به شکل رواناب سطحی یا زهکشی زیرسطحی به سیستم هیدرولوژیکی برگردد. این درحالی است که معمولا میزان آب برگشتی از برداشت‌های شهری و صنعتی بیشتر است. سایر کاربران، به ویژه آنهایی که در پایین دست هستند، بیشتر تحت تأثیر کمیت، کیفیت و زمان آزادسازی یا جریان برگشتی از آبیاری‌های بالادست قرار می‌گیرند. حضور این عوامل محیطی حاکی از آن است که کل هزینه‌های یک فعالیت اقتصادی در تصمیمات فردی تشخیص داده نمی‌شود. در نتیجه، تصمیماتی که از دیدگاه فردی منطقی هستند، منجر به نتایجی می‌شوند که از دیدگاه

مصرف‌استفاده‌کنندگان جامعه آب بهینه نیستند. به همین خاطر سیاست‌گذاری‌های عمومی و اقدامات برای متوازن‌ساختن اهداف خصوصی و اجتماعی ضروری می‌شوند.

یک عامل پیچیده‌کننده، تعداد زیاد استفاده‌کنندگان آب و تصمیم‌گیری‌های فردی است. در حالی که هر یک از اقدامات منفرد استفاده آب ممکن است تأثیر ناچیزی داشته باشد، تأثیر تجمعی بسیاری از تصمیمات کوچک می‌تواند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد، بخصوص در مواردی که از طریق ساز و کارهای دیگر سهمی از منابع برای آنها تعیین نشده است. در این حالت مقررات عمومی موثر به دست آمده از تصمیم‌گیرندگان جز و پراکنده، بسیار دشوار و ارزشمند است.

این امر هزینه‌های مبادله-منابع کسب اطلاعات و دستیابی و اجرای توافق نامه‌ها، قراردادها و قوانین عمومی- در مقایسه با ارزش اقتصادی آب نسبتاً زیاد هستند. این مورد به ویژه در مورد کشاورزی آبی وجود دارد. با این حال، افزایش کمیابی آب، همراه با پیشرفت‌های فناوری که باعث کاهش هزینه‌های معامله می‌شود، ایجاد سیستم‌های مدیریتی دقیق‌تر را تشویق می‌کند.

سنجه‌های آب

خصوصیات ویژه آب نیاز به سنجه‌های متفاوتی درباره استفاده از آب را ایجاد کرده است. به طور خاص، با توجه به اینکه آب به ندرت در استفاده‌های مختلف به طور کامل مصرف می‌شود، تفکیک بین سه معیار مختلف استفاده از آب می‌تواند مفید باشد: برداشت آب، کاربرد آب و مصرف آب. در جدول ۲-۱ تعاریف مربوط به این سه معیار ارائه شده است.

جدول ۲-۱ سنجه‌های استفاده از آب

اصطلاحات و تعاریف
برداشت آب (یا انحراف): مقدار آب خارج شده از یک منبع سطحی یا آب زیرزمینی
کاربرد آب (یا تحویل): مقدار آب تحویل داده شده به محل استفاده، به عنوان مثال مزرعه
تلفات انتقال: تفاوت بین برداشت آب و کاربرد آن
مصرف آب (یا استفاده مصرفی، کاهش، تبخیر و تعرق): مقدار آبی که به صورت واقعی توسط کاربر مصرف می‌شود
جریان برگشتی: تفاوت بین برداشت آب و مصرف آب

منبع: بر اساس یافته‌های Young 2005

تفکیک میان سنجه‌های مختلف در کشاورزی آبی بسیار مهم است (Scheierling،

Young، and Cardon 2004). برداشت آب-مقدار آب خارج شده از منبع آب- بیش از کاربرد آب در مزرعه است زیرا مقداری آب در هنگام انتقال آب از نقطه برداشت به نقطه استفاده از دسترس خارج می‌شود. تفاوت برداشت و کاربرد آب همان تلفات انتقال است. دلیل اصلی این تلفات ناشی از نشت است، برای مثال نشت ازکانال‌های بدون پوشش.

مصرف آب در کشاورزی آبی تبخیر و تعرق نیز نامیده می‌شود. این مقدار آب از طریق تبخیر از سطح گیاه و خاک و تعرق توسط گیاهان به اتمسفر منتقل می‌شود.

تفاوت بین کاربرد آب و مصرف آن عمدتا نتیجه انتقال در مزرعه و تلفات ناشی از عدم دقت در روش‌های کاربرد آب است. به عنوان مثال در مورد آبیاری غرقابی، از ابتدا مقدار زیادی آب استفاده می‌شود تا اطمینان حاصل شود که آب کافی در انتهای مزرعه در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. همچنین ممکن است آبیارها درمورد مقدار دقیق آب مورد نیاز گیاهان اطلاعات کافی نداشته باشند و بنابراین بیش از حد لازم آب استفاده کنند. در برخی مناطق، آب بیش از نیاز مصرفی نیز ممکن است برای شستشوی نمک در زیر منطقه ریشه گیاه استفاده شود. مصرف آب به طور معمول ۴۰ تا ۶۰ درصد از کاربرد آب است.

تفاوت بین برداشت آب و مصرف-مجموع تلفات انتقال و تلفات در مزرعه-جریان برگشتی نامیده می‌شود. در بسیاری از حوضه‌های آبریز، این جریان‌های برگشتی بخش مهمی از تأمین آب پایین دست را تشکیل می‌دهند.

داده‌های مربوط به بخش آبیاری در ایالات متحده (Solley et al. 1998، cited in Young 2005) نشان‌دهنده اهمیت تمایز بین برداشت، کاربرد و مصرف آب و مقدار جریان‌های بازگشتی است. میزان آب به کار برده شده در حدود ۸۰ درصد برداشت آب بوده و گزارش شده است که میزان مصرف آب در حدود ۶۰ درصد از آب به کار برده شده است. به طور کلی، مقدار خالص مصرفی کمتر از نیمی از مقدار برداشت شده در ابتدا بود. بنابراین، میزان جریان‌های برگشتی-و تغییر آنها- دارای پیامدهای اقتصادی (و زیست محیطی) قابل توجهی است.

در بحث استفاده از آب در کشاورزی در بخش بعد، لازم است که مقدار آب اندازه‌گیری شده در نظر گرفته شود و یافته‌ها را نیز براساس آنها تفسیر کرد.

نقش محوری استفاده از آب در کشاورزی آبی

این بخش نقش محوری استفاده از آب در کشاورزی آبی را نشان می‌دهد و با نمایش روند جهانی در استفاده از آب کشاورزی و کل استفاده آب- هم از نظر برداشت آب و هم مصرف آب آغاز می‌شود. این مورد پس از تحلیل داده‌های سازمان غذا و کشاورزی (FAO

2016a، 2016b) میزان استفاده آب کشاورزی در سطح کشور را نشان می‌دهد.

روند جهانی در استفاده آب کشاورزی و کل استفاده آب

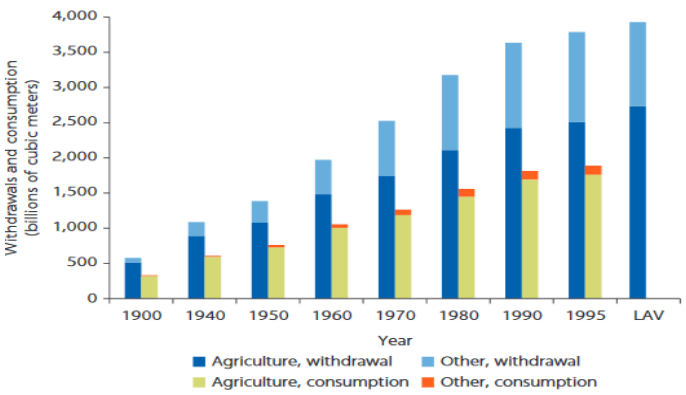
بر اساس برآوردهای Shiklomanov and Rodda (۲۰۰۳) و داده‌های گزارش شده (FAO 2016a)، شکل ۲-۱ توسعه کشاورزی و کل استفاده آب در سطح جهانی از سال ۱۹۰۰ را نشان می‌دهد. این شکل شامل دو معیار استفاده از آب است: برداشت آب و مصرف آب.

بخش کشاورزی از نظر تاریخی بیشترین سهم برداشت آب را به خود اختصاص داده است. از سال ۱۹۰۰ تا ۱۹۹۵ سهم کشاورزی از ۸۹ درصد کل برداشت آب به ۶۶ درصد کاهش یافته است، اما اخیراً دوباره به ۷۰ درصد افزایش یافته است (FAO 2016a).

تقریباً کل مصرف آب نیز در بخش کشاورزی بوده است. سهم اندکی از ۹۷ درصد در سال ۱۹۰۰ به ۹۳ درصد در سال ۱۹۹۵ کاهش یافته است. با این حال، در همین مدت، مصرف کشاورزی به عنوان سهم برداشت آب کشاورزی از ۶۳ درصد به ۷۰ درصد افزایش یافته است.

به طور کلی هم برداشت آب کشاورزی و هم کل برداشت‌ها از سال ۱۹۰۰ به طرز چشمگیری افزایش یافته است، اما نرخ رشد آنها از حدود سال ۱۹۸۰ کاهش یافته است. در بیشتر کشورهای عضو سازمان همکاری اقتصادی و توسعه[۱] (OECD)، در برداشت آب کشاورزی و برداشت کل آب، تمایل به پایداری یا کاهش وجود دارد (OECD 2015)، که به این نتیجه کمک کرده است.

شکل ۲-۱ روند جهانی برداشت و مصرف آب در کشاورزی



منبع: Scheierling and Tréguer 2016a بر اساس FAO 2016؛ Shiklomanov and Rodda 2003.
(LAV: آخرین مقدار موجود)

۱. Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD)

استفاده از آب کشاورزی در سطح کشور

تحلیل میزان استفاده آب در سطح کشور با بحث در مورد ۱۰ کشور که بیشترین برداشت آب در بخش کشاورزی را دارند، انجام می‌شود. سپس این موضوع با نشان دادن رابطه نزدیک بین برداشت آب کشاورزی و کل برداشت آب و همچنین برداشت آب کشاورزی و مناطق مجهز به سیستم آبیاری دنبال می‌شود.

کشورهایی که بیشترین برداشت آب کشاورزی را دارند. ۱۰ کشوری که بیشترین برداشت سالانه آب کشاورزی را دارند، بر اساس آخرین داده‌های موجود از (FAO 2016a) در جدول ۲-۲ آورده شده‌اند. هند تاکنون در صدر جدول قرار گرفته و به دنبال آن چین، ایالات متحده و پاکستان هستند.

همین ۱۰ کشور با بیشترین برداشت کشاورزی بیشترین برداشت‌های کل آب را نیز دارا هستند. جای تعجب نیست که آنها همچنین در بین کشورهایی هستند که بزرگترین مناطق مجهز به سیستم‌های آبیاری را دارند (FAO 2016b).

به استثنای ایالات متحده و چین، درصد کل آب برداشتی اختصاص یافته به کشاورزی مربوط به این ده کشور بیشتر از متوسط جهانی است. میانگین برداشت آب جهانی در بسیاری از منابع در حدود ۷۰ درصد ذکر شده است (Molden and Oweis ۲۰۰۷) رکورد ۹۵ درصد از کل برداشت برای کشاورزی در ویتنام ثبت شده است، پس از آن ۹۴ درصد در پاکستان و ۹۲ درصد در جمهوری اسلامی ایران.

هنگام تقسیم میزان برداشت آب کشاورزی توسط مناطق مجهز به سیستم آبیاری، نیمی از ۱۰ کشور ذکر شده برای برداشت از عمق آبیاری ۱ متر یا بیشتر در مناطق مربوطه خود استفاده می‌کنند. کمترین عمق استفاده ۰. ۵ متر است که برای چین نشان داده شده است. با اینکه چین مساحت بیشتری برای آبیاری نسبت به هند دارد (۶۹ میلیون هکتار در مقایسه با ۶۷ میلیون)، اما نسبت به هند فقط ۵۲ درصد از میزان آب را برای اهداف کشاورزی برداشت می‌کند.

جدول۲-۲ کشورها با بیشترین برداشت آب کشاورزی

کشور	برداشت آب کشاورزی (میلیارد مترمکعب)	کل برداشت آب (میلیارد مترمکعب)	سهم برداشت آب کشاورزی به عنوان درصدی از برداشت کل (درصد)	مناطق مجهز به سیستم آبیاری (میلیون هکتار)	مناطق مجهز به سیستم آبیاری به عنوان درصدی از مناطق کشاورزی (درصد)	برداشت آب کشاورزی در مناطق مجهز به سیستم آبیاری (M)
هند	۶۸۸	۷۶۱	۹۰	۶۷	۳۷	۰.۱
چین	۳۵۸	۵۵۴	۶۵	۶۹	۱۳	۵.۰
ایالت متحده آمریکا	۱۷۵	۴۸۶	۴۰	۲۶	۶	۷.۰
پاکستان	۱۷۲	۱۸۴	۹۴	۲۰	۷۵	۹.۰
اندونزی	۹۳	۱۱۳	۸۲	۷	۱۲	۳.۱
ایران	۸۶	۹۳	۹۲	۱۰	۱۹	۹.۰
ویتنام	۷۸	۸۲	۹۵	۵	۴۲	۶.۱
فیلیپین	۶۷	۸۲	۸۲	۲	۱۳	۴.۳
مصر	۶۷	۷۸	۸۶	۴	۱۰۰	۵.۱
مکزیک	۶۲	۸۰	۷۷	۷	۶	**۹.۰**

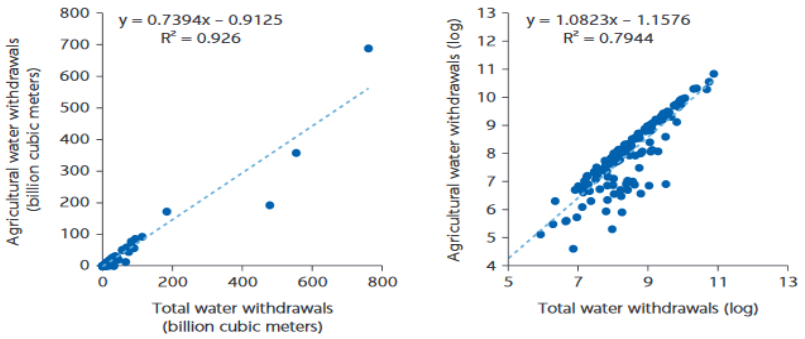
منبع: Scheierling and Tréguer 2016b، برمبنای FAO 2016a، FAO 2016b

ارتباط بین برداشت کشاورزی و کل برداشت آب. شکل ۲-۲ براساس آخرین داده‌های موجود در (FAO 2016a) برداشت‌های کشاورزی و کل برداشت آب برای همه کشورها را نشان می‌دهد. نقطه گوشه بالا سمت راست نمودار اول نشان‌دهنده هند است، کشوری که بیشترین برداشت کشاورزی و کل برداشت آب را دارد. به طور کلی، برآوردهای ما حاکی از آن است که برداشت‌های کشاورزی با برداشت کل ارتباط زیادی دارد. براساس

نمودار اول در شکل ۲-۲، به طور متوسط یک متر مکعب از کل برداشت آب با حدود ۰.۷۴ متر مکعب برداشت کشاورزی همراه است. به عبارت دیگر حدود ۷۴ درصد از برداشت آب در سراسر جهان برای اهداف کشاورزی است. این موضوع برآوردهای قبلی را که در بالا ذکر شد تأیید می‌کند.

ارتباط بین برداشت کشاورزی و مناطق مجهز به سیستم آبیاری. داده‌های برداشت آب کشاورزی و مناطق مجهز به آبیاری برای همه کشورها در شکل ۲-۳ نشان داده شده است. برآوردها همچنین نشان می‌دهد که بین برداشت آب کشاورزی و مناطق مجهز به سیستم آبیاری ارتباط زیادی وجود دارد. مطابق نمودار اول شکل ۲-۳، یک متر مربع زمین مجهز به سیستم آبیاری به طور متوسط، برداشت آب کشاورزی به میزان ۰/۷۷ متر مکعب را به خود اختصاص داده است. این موضوع به این معنی است که عمق متوسط آبیاری در سراسر جهان ۰.۷۷ متر است (جدول ۲-۲).

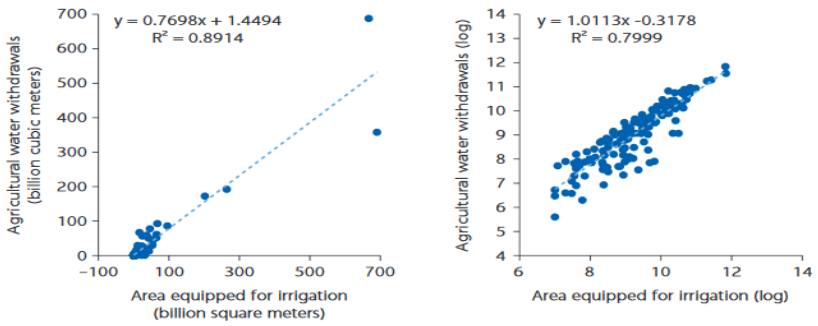
شکل۲-۲ برداشت آب کشاورزی و کل برداشت آب توسط کشورها



منبع: Scheierling and Tréguer 2016b، برمبنای FAO 2016a، سمت چپ الف سمت راست ب

توضیح: در نمودار اول خطای استاندارد ۰.۰۱۷۴ و t-stat ۴۲. ۴۶ است. در نمودار دوم خطای استاندارد ۰.۰۴۵۷ و t-stat ۲۳. ۶۷ است.

شکل۲-۳ برداشت آب کشاورزی و مناطق مجهز به سیستم آبیاری توسط کشورها



منبع: Scheierling and Tréguer 2016b، برمبنای FAO 2016a، 2016b

توضیح: در نمودار اول خطای استاندارد ۰.۰۲۲۴ و t-stat ۳۴.۳۷ است. در نمودار دوم خطای استاندارد ۰.۰۴۲۳ و t-stat ۲۳.۹۱ است.

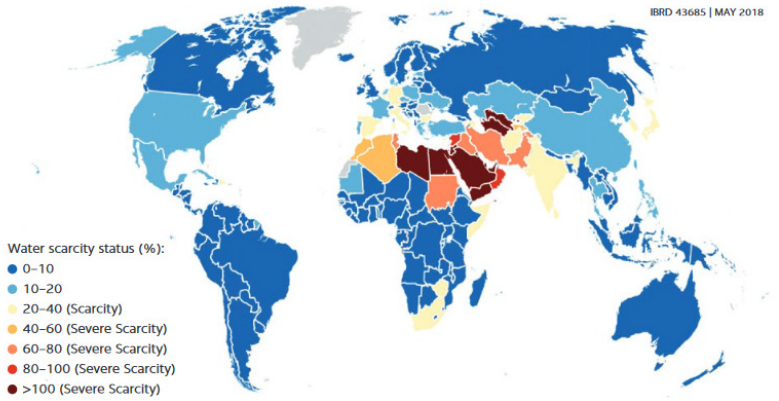
کشاورزی آبی و کمیابی آب

تعدد مسائل، ایجاد ارتباط بین کشاورزی آبی و کمیابی آب در سطح جهان را دشوار می‌کند. در میان این مسائل نه تنها خصوصیات ویژه آب بحث شده (قسمت قبل)، بلکه تعریف کمیابی آب و در دسترس بودن داده‌های مربوط به استفاده از آب کشاورزی وجود دارد (Scheierling and Tréguer 2016b). در این بخش ارتباط تنگاتنگی بین کشاورزی آبی و کمیابی آب در سطح جهان نشان داده می‌شود که این ارتباط بر اساس یک شاخص پرکاربرد برای کمیابی آب است. این موضوع با نمایش روند مناطق مجهز به سیستم آبیاری در سطح منطقه‌ای، روند برداشت کشاورزی و سطح کمیابی آبی در کشورهای منتخب دنبال می‌شود و در نهایت این بخش با بررسی پیش‌بینی‌ها در مورد استفاده از آب کشاورزی در آینده به پایان می‌رسد.

ارتباط برداشت کشاورزی و کمیابی آب. تعاریف مختلفی از کمیابی آب در منابع ذکر شده و شاخص‌های مختلفی برای آن ارائه شده است (UNEP 2012). یک شاخص که به صورت گسترده استفاده می‌شود مبتنی بر مقایسه داده‌های سالانه کل برداشت آب و کل منابع آب تجدیدپذیر در سطح ملی است (UNEP 2012). درصورتیکه یک کشور ۲۰ تا ۴۰ درصد کل منابع آب تجدیدپذیر خود را برداشت کند در یک سال خاص تجربه "کمیابی" را خواهد داشت و اگر این مقدار از ۴۰ درصد تجاوز کند با "کمیابی شدید" مواجه می‌شود. نقشه ۲-۱ این شاخص را بر اساس داده‌های سال ۲۰۱۳ یا آخرین سال در دسترس FAO

2016a)) نشان می‌دهد. کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا کمیابی شدید آب را تجربه می‌کنند. در سایر مناطق جهان، از جمله بیشتر کشورهای جنوب آسیا و آسیای میانه، نیز آب کمیاب و یا به شدت کمیاب تلقی می‌شود. برداشت آب برخی کشورها حتی از کل منابع آب تجدیدپذیر آنها نیز بیشتر است. عربستان سعودی شدیدترین مورد است و تقریباً ۱۰ برابر مقدار منابع تجدیدپذیر موجود را برداشت می‌کند و بنابراین بیشتر به آب‌های زیرزمینی غیر قابل تجدید متکی است.

نقشه ۲-۱: کل برداشت آب به عنوان درصدی از کل منابع آب تجدیدپذیر



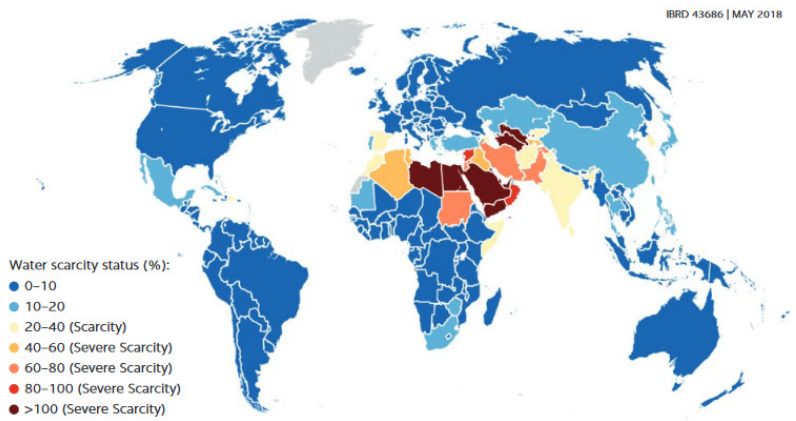
منبع: Scheierling and Tréguer 2016b, based on FAO 2016a

برای نشان دادن ارتباط بین کمیابی آب و کشاورزی آبی، شاخص تغییر داده می‌شود و به جای کل برداشت آب، برداشت آب کشاورزی با کل منابع آب تجدیدپذیر مقایسه می‌شود. نقشه ۲-۲ داده‌های مربوط به شاخص اصلاح شده را مجددا برای سال ۲۰۱۳ یا آخرین سال در دسترس نشان می‌دهد.

طبقه بندی کشورها براساس "کمیابی" و "کمیابی شدید" تقریباً مشابه با نقشه ۲-۱ است، حتی اگر تنها برداشت‌های کشاورزی درنظر گرفته شود. جزئیات مربوط به دو شاخص کمیابی آب-از نظر کل برداشت آب و برداشت کشاورزی-برای هر کشور در جدول A. ۱ در پیوست آورده شده است. نقشه‌ها و جدول نقش اصلی کشاورزی آبی در ارزیابی کمیابی آب در سطح ملی را نشان می‌دهد. شدیدترین موارد در خاورمیانه و شمال آفریقا در عربستان سعودی است، آب برداشت شده در عربستان برای کشاورزی آبی بیش از هشت برابر کل منابع آب تجدیدپذیر است؛ در لیبی، حدود پنج برابر است؛ در جمهوری یمن یک و نیم برابر و در جمهوری عربی مصر اندکی بیشتر از مقدار کل منابع آب تجدیدپذیر است.

برخی از هشدارها برای هر دو شاخص اعمال می‌شوند. از یک طرف، آنها ممکن است کمیابی آب را ناچیز درنظر بگیرند. از آنجا که آنها به سطح ملی ارجاع داده می‌شوند و داده‌های سالانه را اعمال می‌کنند، وضعیت کمیابی آب را که ممکن است در سطح منطقه‌ای یا محلی رخ دهد (به ویژه در کشورهای بزرگ مانند ایالات متحده یا چین)، نشان نمی‌دهند. آنها تغییرات عمده در طول سال مربوط به عرضه و تقاضای آب را منعکس نمی‌کنند (که در بخش مشخصات ویژه آب به آن اشاره شده است) که ممکن است منجر به تغییرات زیادی در کمیابی آب طی یک سال شود. آنها همچنین مسائل مربوط به کیفیت آب یا نیازهای زیست محیطی از قبیل حداقل جریان رودخانه در نظر نمی‌گیرند. از طرف دیگر، ممکن است کمبود آب را بیش از حد تخمین بزنند، زیرا داده‌های برداشت شامل استفاده مجدد از جریان‌های برگشتی می‌شوند که در بسیاری موارد می‌تواند قابل ملاحظه باشد-مانند رود نیل در کشور مصر، جایی که ممکن است چندین بار از جریان‌های برگشتی استفاده شود.

نقشه ۲-۲: برداشت آب کشاورزی به عنوان درصدی از کل منابع آب تجدیدپذیر



منبع: Scheierling and Tréguer 2016b, based on FAO 2016a

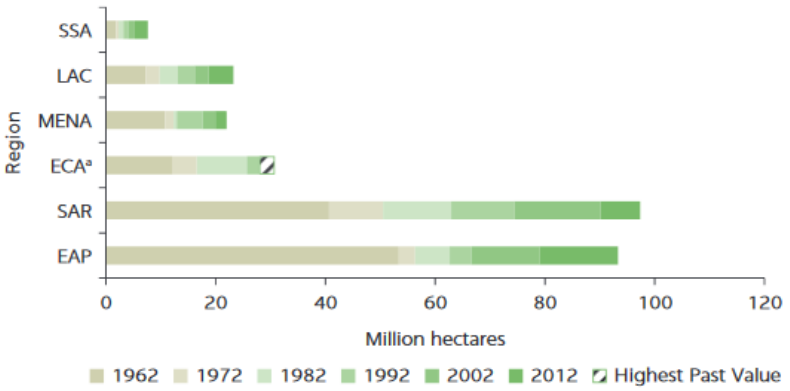
روند در مناطق مجهز به سیستم آبیاری در سطح منطقه‌ای. داده‌های موجود در مورد برداشت آب کشاورزی اجازه نمی‌دهند درمورد چگونگی روند برداشت آب کشاورزی و تاثیر آن با گذشت زمان بر کمیابی آب در سطح جهانی تحلیل صورت گیرد. با این حال، نگاهی به داده‌های تاریخی در مورد مناطق مجهز به آبیاری می‌تواند برخی از دیدگاه‌ها (FAO 2016b) را ارائه دهد. در سراسر جهان، در طی یک دوره ۵۰ ساله مناطق مجهز به آبیاری از ۱۶۴ میلیون هکتار به ۳۲۴ میلیون هکتار گسترش یافته است یعنی تقریباً دو برابر شده است. این نشان می‌دهد که سطح زیر کشت از ۱۲ درصد در سال ۱۹۶۲ به ۲۱ درصد

در سال۲۰۱۲ افزایش یافته است. شکل ۲-۴ روند مناطق جغرافیایی مجهز به سیستم آبیاری (به استثنای کشورهای پردرآمد) از سال ۱۹۶۲ تا ۲۰۱۲ را نشان می‌دهد. شکل A.۱ در پیوست نیز روند مناطق زراعی و درصد سطح زیرکشت مجهز شده برای آبیاری توسط منطقه جغرافیایی و در جهان رانشان می‌دهد.

در این میان بیشترین گسترش در مناطق مجهز به آبیاری در جنوب آسیا از سال ۱۹۶۲ رخ داده است- به دنبال آن آسیای شرقی و اقیانوس آرام، دو منطقه‌ای که در سال ۱۹۶۲ بیشترین مناطق آبیاری را در اختیار داشتند. کاهش تنها در مناطق مجهز به آبیاری از اواسط دهه ۱۹۹۰ در اروپا و آسیای میانه رخ داده است، و دلیل آن هم عمدتا محدود شدن کشور شوروی سابق است. از سال ۲۰۱۲، جنوب آسیا منطقه‌ای با بیشترین مساحت مجهز به سیستم آبیاری (حدود ۹۷ میلیون هکتار) و بیشترین سهم سطح زیر کشت مجهز به سیستم آبیاری (۴۶ درصد) بود. کشورهای جنوب صحرای آفریقا با ۴ درصد کمترین سهم را دارند، اما بیشترین افزایش نسبی (بیش از ۴۰۰ درصد) را در مناطق مجهز به سیستم آبیاری بین سال‌های ۱۹۶۲ تا ۲۰۱۲ تجربه کرده‌اند.

در سطح کشور، برخی از بیشترین میزان گسترش از نظر درصد در کشورهایی از خاورمیانه و شمال آفریقا رخ داده است. بیشترین درصد افزایش در عربستان سعودی با بیش از ۴۳۰ درصد (از ۰. ۳ میلیون هکتار به ۱. ۶ میلیون هکتار) و پس از آن لیبی با ۳۰۰ درصد (از ۰. ۱ میلیون هکتار به ۰. ۵ میلیون هکتار) و جمهوری یمن با ۱۵۰ سال درصد (از ۰. ۲ میلیون هکتار به ۰. ۷ میلیون هکتار) رخ داد. همانطور که در رابطه با نقشه ۲-۲ ذکر شد، همین سه کشور اکنون نیز شدیدترین سطح از کمیابی آب را تجربه می‌کنند. افزایش مساحت، هم از نظر درصد و هم به طور مطلق، در هند (هند کشوری است که هم اکنون با کمیابی آب مواجه است و از ۲۶ میلیون هکتار به ۶۷ میلیون هکتار افزایش مساحت داشته) و چین (از ۴۵ میلیون هکتار به ۶۸ میلیون هکتار افزایش مساحت) رخ داده است.

شکل ۲-۴: روند افزایش سطوح مجهز به سیستم آبیاری، ۲۱۰۲-۲۶۹۱

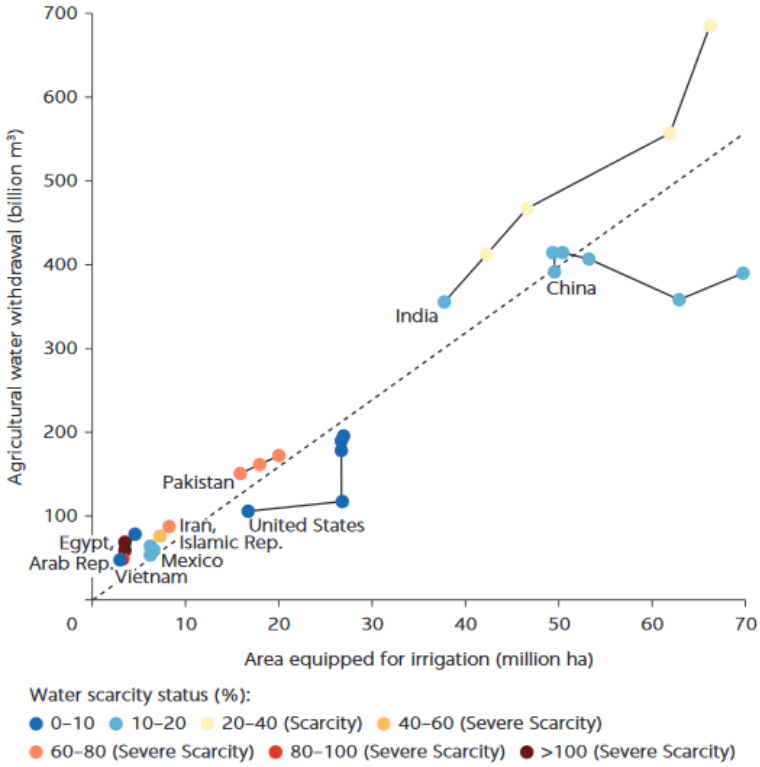


منبع: Scheierling and Tréguer 2016a، based on FAO 2016b
SSA = Sub-Saharan Africa، LAC = Latin America and the Caribbean، MENA = Middle East and North Africa، ECA = Europe and Central Asia، SAR = South Asia Region، EAP = East Asia and Pacific.
a. Includes data for USSR/Russian Federation.

روند برداشت کشاورزی، مناطق مجهز به سیستم آبیاری و سطوح کمیابی. داده‌های (FAO 2016a، 2016b) اجازه می‌دهد تا برای برخی از کشورها تحلیل جزئی انجام شود که این تحلیل شامل تغییراتی است که با گذشت زمان در برداشت آب کشاورزی و مساحت مجهز به سیستم آبیاری و وضعیت مرتبط با کمیابی آب صورت گرفته است.

شکل ۲-۵ روند این متغیرها برای برخی از کشورها که بیشترین برداشت کشاورزی را دارند و شکل ۲-۶ برای تعدادی از کشورها که برداشت کشاورزی کمتری دارند را نشان می‌دهد. هر نقطه در شکل‌های ۲-۵ و ۲-۶ نشان‌دهنده سالی است که داده‌های آن در دسترس است، با رنگی که نشان‌دهنده سطح کمیابی کشور است. شیب هر نقطه نسبت به خط گذرانده شده از مبدأ نشان‌دهنده عمق آبیاری آن نقطه است. خطوط نقطه‌دار در شکل‌های ۲-۵ و ۲-۶ نشان‌دهنده میانگین عمق آبیاری در حدود ۰.۸ متر در سراسر جهان (مانند شکل۲-۳) است.

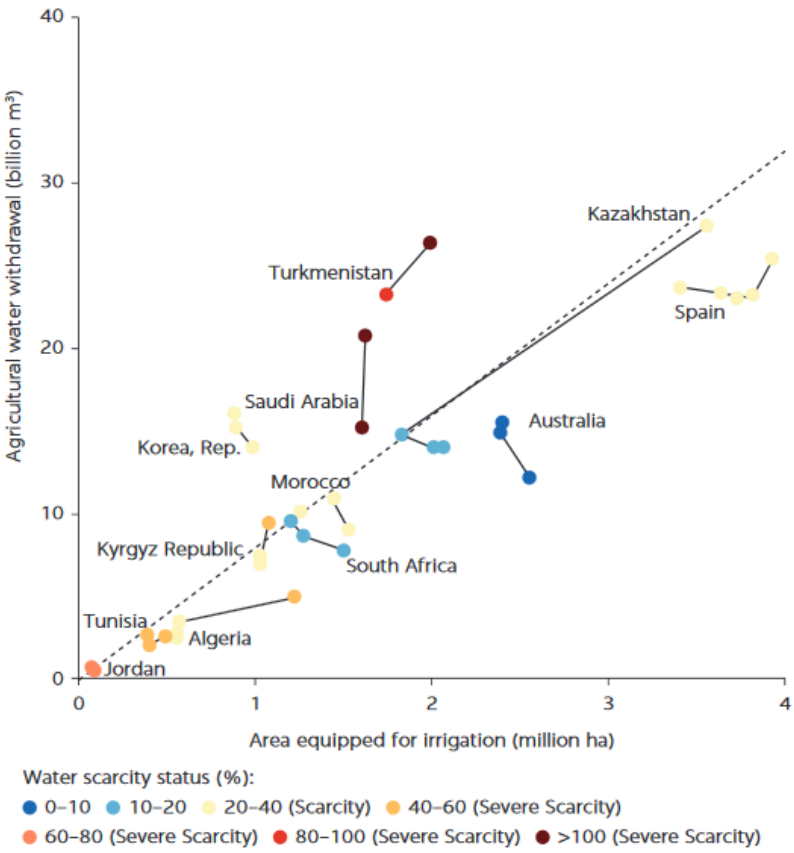
شکل۲-۵: روند برداشت کشاورزی و مناطق مجهز به سیستم آبیاری برای کشورهایی با بیشترین برداشت کشاورزی



منبع: برمبنای FAO 2016a و FAO 2016b

توضیح: هند (۱۹۷۷، ۱۹۸۲، ۱۹۸۷، ۲۰۰۲، ۲۰۱۲)؛ چین (۱۹۸۲، ۱۹۸۷، ۱۹۹۲، ۱۹۹۷، ۲۰۰۷، ۲۰۱۷)؛ آمریکا (۱۹۷۷، ۱۹۸۲، ۱۹۹۲، ۲۰۰۲، ۲۰۰۷، ۲۰۱۲)؛ پاکستان (۱۹۹۲، ۲۰۰۲، ۲۰۱۲)؛ ایران (۱۹۹۷، ۲۰۰۷)؛ ویتنام (۱۹۹۲، ۲۰۰۷)؛ مصر (۱۹۹۷، ۲۰۰۲، ۲۰۱۲)؛ مکزیک (۱۹۹۷، ۲۰۰۲، ۲۰۰۷، ۲۰۱۲).

شکل ۲-۶: روند برداشت کشاورزی و مناطق مجهز به سیستم آبیاری برای سایر کشورها



منبع: برمبنای FAO 2016a و FAO 2016b

توضیح: ترکمنستان (۱۹۹۷، ۲۰۰۷)؛ اسپانیا (۱۹۹۲، ۱۹۹۷، ۲۰۰۲، ۲۰۰۷، ۲۰۱۲)؛ عربستان سعودی (۱۹۹۲، ۲۰۰۷)؛ قزاقستان (۱۹۹۷، ۲۰۰۲، ۲۰۰۷، ۲۰۱۲)؛ جمهوری کره (۱۹۹۲، ۱۹۹۷، ۲۰۰۲)؛ استرالیا (۱۹۹۷، ۲۰۰۲، ۲۰۰۷)؛ مراکش (۱۹۹۲، ۲۰۰۲، ۲۰۱۲)؛ آفریقای جنوبی (۱۹۹۲، ۱۹۹۷، ۲۰۰۲)؛ جمهوری قرقیزستان (۱۹۹۷، ۲۰۰۷، ۲۰۱۲)؛ الجزایر (۱۹۹۲، ۲۰۰۲، ۲۰۱۲)؛ تونس (۱۹۹۲، ۲۰۰۲، ۲۰۱۲)؛ اردن (۱۹۹۲، ۲۰۰۷).

شکل‌های ۲-۵ و ۲-۶ نشان می‌دهد که کشورها درحال طی کردن مسیرها هستند و در برخی موار انعطاف‌پذیر، نیستند. هند و چین نمونه‌های قابل توجه‌ای هستند: دو کشور با بیشترین برداشت کشاورزی و مناطق مجهز به سیستم آبیاری. در حالی که هر دو کشور در سه یا چهار دهه گذشته مناطق مجهز به آبیاری را بطور قابل ملاحظه‌ای گسترش دادند، برداشت کشاورزی در هند افزایش یافت، اما در چین یکسان باقی ماند (و در سال ۲۰۱۷ نسبت به سال ۱۹۸۲ کمی پایین‌تر بود). میانگین عمق آبیاری در هند در سال ۲۰۱۲

نسبت به سال ۱۹۷۷ بالاتر بود، در حالی که در چین به میزان قابل توجهی کاهش یافته است.

جدول ۲-۳ کشورها را بر اساس توسعه نسبی در برداشت‌های کشاورزی و مناطق مجهز به سیستم آبیاری، طبقه‌بندی می‌کند.

اکثر کشورها همچنان به افزایش برداشت آب کشاورزی و مناطق مجهز به سیستم آبیاری ادامه داده‌اند- از جمله کشورهایی که قبلاً از کمیابی شدید رنج می‌برند مانند مصر، ترکمنستان و عربستان سعودی. بر اساس آخرین داده‌های موجود، آنها اکنون آب بیشتری برای کشاورزی نسبت به منابع آب تجدیدپذیر در دسترس خود برداشت می‌کنند (جدول A. ۱ در پیوست). شدیدترین روند در عربستان سعودی مشاهده می‌شود، جایی که مناطق مجهز به آبیاری بین سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۷ فقط کمی گسترش یافت، اما برداشت کشاورزی حدود ۴۰ درصد رشد کرد. این مثال‌ها حاکی از آن است که حتی کمیابی شدید آب، لزوماً کشورها را به سمت محدود کردن برداشت آب کشاورزی سوق نمی‌دهد.

جدول ۲-۳: روند در برداشت کشاورزی و مناطق مجهز به سیستم آبیاری برای کشورهای منتخب

برداشت کشاورزی	مناطق مجهز به سیستم آبیاری	
	افزایش	کاهش
افزایش کشورهایی با بیشترین برداشت	هند، پاکستان، ایران، مکزیک، ویتنام، مصر	
سایر کشورها	اسپانیا، ترکمنستان، عربستان سعودی، الجزایر، تونس	کره
کاهش کشورهایی با بیشترین برداشت	چین	آمریکا
سایر کشورها	استرالیا، مراکش، آفریقای جنوبی، اردن	قزاقستان، قرقیزستان

منبع: Based on FAO 2016a

تعداد معدودی از کشورها کاهش را هم در برداشت کشاورزی و هم در مساحت مجهز به آبیاری نشان می‌دهند. در میان کشورهایی که بیشترین برداشت کشاورزی را دارند، ایالات متحده تنها کشوری است که کاهش نسبتاً کمی دارد. در میان سایر کشورها، قزاقستان

و جمهوری قرقیزستان کاهش بیشتری در این متغیرها نشان می‌دهند؛ هر دو کشور در سالهای پس از فروپاشی اتحاد جماهیر شوروی کاهش چشمگیری در بخش آبیاری تجربه کردند.

شماری از کشورها روند کاهشی در برداشت آب را نشان دادند در حالی که مناطق مجهز به آبیاری همچنان در حال افزایش است. علاوه بر چین، این کشورها شامل استرالیا، مراکش، آفریقای جنوبی و اردن هستند. یکی از عواملی که ممکن است این توسعه را تسهیل کند انتقال به فناوری‌های آبیاری سرمایه‌برتر است. برخی از داده‌ها در مورد روند استفاده از سیستم‌های آبیاری در مزرعه از FAO (2016a) در دسترس هستند. یک تمایز بین سه سیستم آبیاری اصلی ایجاد شده است: آبیاری سطحی، آبیاری بارانی و آبیاری موضعی. شکل‌های A. ۲ و A. ۳ در ضمیمه روند استفاده از فناوری‌های مختلف آبیاری را به عنوان سهمی از مناطق مجهز به سیستم آبیاری، به ترتیب برای کشورها با بیشترین برداشت و سایر کشورها نشان می‌دهد. همه پنج کشور از آبیاری ثقلی به سمت آبیاری‌های نوین، مانند آبیاری بارانی و آبیاری قطره‌ای حرکت می‌کنند. اردن و آفریقای جنوبی نسبت به سایر کشورها کمتر به سمت آبیاری‌های نوین حرکت کرده‌اند به این ترتیب که در اردن تا سال ۲۰۰۷ تنها حدود ۱۸ درصد از مساحت و در آفریقای جنوبی تا سال ۲۰۱۲ تنها ۲۳ درصد مجهز به آبیاری نوین شده است.

تحلیل روند محصول به ازای هر قطره مورد توجه است، اما هنوز داده‌های سطح کشور در مورد محصولات آبیاری در دسترس نیست. اگر "سطح مجهز به آبیاری" به عنوان نماینده برای تولید محصول از منطقه آبیاری استفاده شود، و بدین ترتیب به عنوان معیاری برای "محصولات زراعی" درنظر گرفته شود و همچنین برداشت آب کشاورزی به عنوان معیاری برای "قطره‌ها" استفاده شود، شیب خط مستخرج از مبدأ به سمت یک نقطه خاص که نشان‌دهنده عمق آبیاری در شکل‌های ۲-۵ و ۲-۶ است، می‌تواند به عنوان پارامتر معکوس محصول به ازای هر قطره تعبیر شود. گرایش به سمت محصول بیشتر به ازای هر قطره، با حرکت خط‌های رسم شده به سمت گوشه سمت چپ پایین شکل مربوطه، مانند موارد مربوط به آفریقای جنوبی از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲ نشان داده می‌شود (شکل ۲-۶). با این حال، باید در نظر داشته باشید که نسبت محصول به ازای هر قطره لزوماً هیچ دیدگاهی از نظر کمیابی آب را ارائه نمی‌دهد. به عنوان مثال، حرکت چین از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ تقریباً در همان شیب بود. با این حال برداشت آب کشاورزی حدود ۱۰ درصد (یا ۲.۳۴ میلیارد متر مکعب) افزایش یافته است، تغییری که نسبت ثابت محصول به ازای هر قطره را نشان نمی‌دهد.

برخی از پیش‌بینی‌های احتیاطی-به ویژه در رابطه با استفاده از آب-با توجه به روند تحلیل‌های فوق وجود دارد. همانطور که در مورد شاخص‌های کمیابی آب، داده‌ها به سطح ملی ارجاع داده می‌شوند و مقدار سالانه را نشان می‌دهند؛ بنابراین آنها ممکن است تغییرات مکانی و زمانی بالقوه بزرگ را پنهان کنند. همچنین، حتی اگر کشوری کاهش برداشت کشاورزی را ناشی از تغییر به سمت فناوری‌های آبیاری سرمایه‌برتر و احتمالاً اقدامات دیگر نشان دهد، این لزوماً به معنای کاهش مصرف واقعی آب محصولات زراعی نیست. ممکن است که فقط برداشت‌ها و جریان برگشتی حاصل کاهش یابد. اگر مساحت مجهز به آبیاری همچنان افزایش یابد، به احتمال زیاد مصرف آب به طور همزمان افزایش می‌یابد و تاثیر آن بر کمیابی آب ممکن است منفی باشد حتی اگر برداشت‌ها کاهش یابد.

روندهای پیش‌بینی شده استفاده آب کشاورزی. استفاده آب کشاورزی همچنان عامل مهمی در شکل دهی شرایط آب در سطح جهان خواهد بود، این موضوع با توجه افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی اهمیت بیشتری می‌یابد. پیش‌بینی‌های جهانی بسته به مدل‌های به کار رفته و همچنین داده‌ها، فرضیات و سناریوهای مورد استفاده متفاوت است. بررسی پیش‌بینی‌های اخیر در مورد استفاده از آب کشاورزی در OECD (۲۰۱۴) یافت می‌شود، از جمله تحلیل همگرایی و واگرایی. از جامع‌ترین مطالعات، می‌توان پیش‌بینی‌های FAO (Alexandratos and Bruinsma 2012) را نام برد. آنها اظهار داشتند که برای تأمین تقاضای احتمالی، تولید کشاورزی در سال ۲۰۵۰ باید ۶۰ درصد بیشتر از سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۰۷ باشد و برداشت آب آبیاری از ۷۶۱،۲ به ۹۲۶،۲ میلیارد مترمکعب در سال افزایش می‌یابد. با توجه به روند تاریخی استفاده جهانی آب در شکل ۲-۱ و رشد سریع سایر تقاضاهای آبی، به ویژه بخش شهری و محیط زیست، این افزایش پیش‌بینی شده -که مبتنی بر فرضیات نسبتاً خوش بینانه است- بسیار نگران‌کننده است.

هنگامی که اثرات تغییر اقلیم در نظر گرفته می‌شود، پیش‌بینی‌ها حتی نامشخص‌تر هم می‌شوند. با درنظر گرفتن تغییر اقلیم لازم است که سازگاری‌های مرتبط با آب در کشاورزی آبی افزایش یابد و همچنین باعث افزایش پیچیدگی هم در کشاورزی آبی و هم در کشاورزی دیم می‌شود (Jiménez Cisneros et al. 2014؛ Pachauri and Reisinger 2007). منابع آب شیرین تحت تأثیر میزان متغیر و تناوب بارش قرار می‌گیرند. این تاثیرات در مناطق نیمه خشک و خشک که اغلب در حال حاضر کمیابی آب را تجربه می‌کنند، بیشتر است. با بارندگی شدیدتر و طولانی شدن دوره خشکی، ممکن است مزارع دیم نیاز به آبیاری داشته باشند. رشد محصول به طور کلی نه تنها با تغییر در میزان بارش

تحت تأثیر قرار خواهد گرفت، بلکه تغییر دما، رطوبت خاک، تبخیر و تعرق و غلظت کربن نیز تأثیرگذار هستند.

در اواخر این قرن، طبق پیش‌بینی‌های (Elliott et al. ۲۰۱۴)، کل منابع آب تجدیدپذیر ممکن است هنوز هم این امکان را فراهم کنند که کشاورزی آبی در برخی از مناطق، مانند شمال و شرق ایالات متحده، و در بخش‌هایی از آمریکای جنوبی و آسیای جنوب شرقی را گسترش داد. در سایر مناطق مانند غرب ایالات متحده، چین، خاورمیانه و شمال آفریقا و آسیای میانه و جنوب آسیا، لازم است توسعه از کشاورزی دیم به سمت کشاورزی آبی کاهش یابد.

References

Alexandratos، N.، and J. Bruinsma. 2012. “World Agriculture towards Food and .03-The 2012 Revision، ESA Working Paper 12 “ .2050/2030 .Agriculture Organization of the United Nations، Rome

Elliott، J.، D. Deryng، C. Müller، K. Frieler، M. Konzmann، D. Gerten، M. Glotter، et al. 2014. “Constraints and Potentials of Future Irrigation Water Availability on Agricultural Production under Climate Change. ” .44-Proceedings of the National Academy of Sciences 111 (9): 3239

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2016a. “AQUASTATMain Database. ” FAO، Rome (accessed April 1، 2017)، .www. fao. org/nr/water/aquastat/main/index. stm

2016b. “FAOSTAT. FAO Statistics Division. ” FAO، Rome (accessed . ./April 1، 2017)، www. fao. org/statistics/en

Jiménez Cisneros، B. E.، T. Oki، N. W. Arnell، G. Benito، J. G. Cogley، P. Döll، T. Jiang، and S. S. Mwakalila. 2014. “Freshwater Resources. ” In Climate Change 2014: Impacts، Adaptation، and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects، edited by C. B. Field، V. R. Barros، D. J. Dokken، K. J. Mach، M. D. Mastrandrea، T. E. Bilir، M. Chatterjee، K. L. Ebi، Y. O. Estrada، R. C. Genova، B. Girma، E. S. Kissel، A. N. Levy، Cambridge .69-S. Macracken، P. R. Mastrandrea، and L. L. White، 229 and New York: Cambridge University Press. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel .on Climate Change

Kochhar، K.، C. Pattillo، Y. Sun، N. Suphaphiphat، A. Swiston، R. Tchaidze، B. Clements، S. Fabrizio، V. Flamini، L. Redifer، H. Finger، Issues ؟and IMF Staff Team. 2015. “Is the Glass Half Empty or Half Full in Managing Water Challenges and Policy Instruments. ” IMF Staff

Washington، DC: International Monetary .11/Discussion Paper، SDN/15 .Fund

Molden، D. 1997. “Accounting for Water Use and Productivity. ” System-Wide Initiative for Water Management (SWIM) Paper 1، International .Water Management Institute، Colombo، Sri Lanka

Molden، D.، and T. Y. Oweis. 2007. “Pathways for Increasing Agricultural Water Productivity. ” In Water for Food، Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture، edited by D. Molden، London: Earthscan and International Water Management .310-279 .Institute

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2014. Global Irrigation Water Demand Projections to 2050: An Analysis of Convergences and Divergences. Working Party on Biodiversity، .Water، and Ecosystems. Environment Directorate. Paris: OECD

Policy Approaches to Droughts and Floods in Agriculture. .2015 .——— Joint Working Party on Agriculture and the Environment، September. Trade and Agriculture Directorate and Environment Directorate. Paris: .OECD

Pachauri، R. K.، and A. Reisinger، eds. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I، II، and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate .Change (IPCC). Geneva: IPCC

Scheierling، S. M.، R. A. Young، and G. E. Cardon. 2004. “Determining the Price-Responsiveness of Demands for Irrigation Water Deliveries versus Consumptive Use. ” Journal of Agricultural and Resource .45-Economics 29 (2): 328

Scheierling، S. M.، and D. O. Tréguer. 2016a. “Enhancing Water Productivity in Irrigated Agriculture in the Face of Water Scarcity. ” .Choices. Third Quarter

2016b. “Investing in Adaptation: The Challenge of Responding .——— to Water Scarcity in Irrigated Agriculture. ” Federal Reserve Bank of Kansas City Economic Review. Special Issue on Agriculture’s Water .100-Economy، 75

Shiklomanov، I. A.، and J. C. Rodda، eds. 2003. World Water Resources at the Beginning of the Twenty-first Century. Cambridge: Cambridge .University Press

Solley، W. B.، R. R. Pierce، and H. A. Periman. 1998. Estimated Use of Water in the United States in 1995. Circular 1200. Washington، DC: U. .S. Geological Survey

UNEP (United Nations Environment Programme). 2012. Measuring Water Use in a Green Economy. A Report of the Working Group on

Water Efficiency to the International Resource Panel. Nairobi، Kenya: .UNEP

World Bank. 2016. World Development Indicators 2016. Washington، DC: International Bank for Reconstruction and Development/World .Bank

Young، R. A. 1986. “Why Are There So Few Transactions Among Water .51-American Journal of Agricultural Economics 68 (5): 1143 “؟Users

Determining the Economic Value of Water: Concepts and .2005 .——— .Methods. Washington، DC: Resources for the Future

Young، R. A.، and R. H. Haveman. 1985. “Economics of Water Resources: A Survey. ” In Handbook of Natural Resource and Energy .529-Economics، edited by A. V. Kneese and J. L. Sweeney، vol. II، 465 .Amsterdam: Elsevier Science Publishers

۳

فصل سوم

مسائل مفهومی: کارایی و بهره‌وری در استفاده آب کشاورزی

در این فصل برخی از موضوعات اصلی مفهومی مرتبط با بهره‌وری و کارایی در استفاده آب کشاورزی مورد بحث قرار گرفته است. این بحث تمایز اساسی بین تعاریف و استفاده از اصطلاحات کارآیی و بهره‌وری در ادبیات آبیاری- تحت سلطه رویکردهای مهندسی و زراعت- و در ادبیات اقتصاد برجسته می‌کند. بخش اول بر کارآیی آبیاری و بهره‌وری آب همانطور که در ادبیات مهندسی و زراعت به کار رفته است، و بخش دوم بر کارآیی و بهره‌وری که در ادبیات اقتصادی به کار رفته است متمرکز شده است. فصل چهارم روش‌ها و رویکردهایی را که بر مفاهیم و اصطلاحات مهندسی و زراعت و سایر مواردی که به مفاهیم و اصطلاحات اقتصاد متکی هستند، بحث خواهد کرد.

کارایی آبیاری و بهره‌وری آب در مهندسی و زراعت

بخش عمده‌ای از مباحث عمومی در مورد لزوم بهبود بهره‌وری و کارایی آب کشاورزی برای بحث در مورد مشکلات کمیابی آب، بر اساس مفاهیم و اصطلاحاتی از ادبیات آبیاری می‌باشد (Scheierling، Tréguer و Booker 2016). مطالعات موجود در ادبیات آبیاری از رشته‌های مختلفی- به ویژه مهندسی عمران و آبیاری، و زراعت و فیزیولوژی گیاهان- سرچشمه گرفته است، اما کمتر احتمال دارد که منشأ اقتصادی داشته باشد.

مفاهیم و اصطلاحات کلیدی. لفظ کارایی مرتبط با آب برای چندین دهه، در بحث ادبیات آبیاری حاکم بوده است. آنها دقیقا به اقدامات مختلف استفاده از آب (جدول ۲-۱) مرتبط هستند و برای در نظر گرفتن یکی از خصوصیات ویژه آب فرموله شده‌اند: به این صورت که به ندرت به طور کامل مورد استفاده قرار می‌گیرد" یا در جریان تولید کشاورزی آبی مصرف می‌شود. برخی اصطلاحات کلیدی و تعاریف مشترک آن‌ها در جدول ۳-۱ ارائه شده است.

کارآیی آبیاری اصطلاح مهمی در مهندسی آبیاری است. در تعریف کلاسیک خود، به نسبت (درصد) آب مصرف شده به آب برداشت شده یا آب به کار برده شده اشاره دارد (Israelsen 1950؛ Jensen 2007). هدف آن بیان درصدی است که به طور مفید در آبیاری استفاده شده و همچنین درصدی که از دسترس خارج شده است.

اگر کارآیی آبیاری به عنوان نسبت آب مصرفی نسبت به آب برداشت شده درک شود، می‌توان آن را شامل کارآیی انتقال و کارآیی مصرف آب دانست. کارآیی انتقال- نسبت آب تحویل شده در ورودی مزرعه نسبت به آب برداشت شده از منبع آب- کارآیی انتقال آب در کانال‌ها را نشان می‌دهد. کارآیی استفاده از آب- نسبت آب ذخیره شده در منطقه ریشه و درنهایت مصرف آن، نسبت به آب تحویل شده به مزرعه- بیانگر کارآیی کاربرد آب در مزرعه است. به عنوان مثال، اگر کارآیی آبیاری ۶۰ درصد تخمین زده شود، ۴۰ درصد باقیمانده جریان برگشتی را تشکیل می‌دهد (جدول ۲-۲). از طرف دیگر، اگر کارآیی آبیاری به نسبتی از آب مصرفی نسبت به آب به کار برده شده اشاره کند، این همان کارآیی مصرف آب خواهد بود.

نسبت‌های کارایی می‌توانند مقادیر گسترده‌ای داشته باشند (Brouwer et al. 1989). کارآیی استفاده از آب برای آبیاری غرقابی از ۴۰ درصد و برای سایر سیستم‌های آبیاری سطحی۶۰ درصد، برای برخی از انواع آبیاری بارانی ۷۵ درصد و برای آبیاری قطره‌ای حدود۹۰ درصد و یا بیشتر است. کارآیی انتقال به طور عمده به طول کانال‌ها، نوع خاک یا نفوذپذیری جداره کانال بستگی دارد. بازه آن ممکن است از ۶۰٪ در کانال‌های خاکی بلند با خاک ماسه‌ای و تا ۹۵٪ در کانال پوشش‌دار باشد (یعنی، تلفات انتقال بین ۵ تا ۴۰ درصد است).

بسیاری از تغییرات این اصطلاحات با نام‌ها و تعاریف اندکی متفاوت در ادبیات آبیاری یافت می‌شود. در مباحث بعدی، تمرکز بر کارآیی آبیاری است که به عنوان نسبت آب مصرفی نسبت به آب به کار برده شده در مزرعه تعریف شده است. کارآیی انتقال به طور جداگانه مورد بحث قرار گرفته می‌شود.

کارآیی استفاده آب اصطلاحی است که غالباً توسط متخصصین علوم زراعت و فیزیولوژیست‌های محصول استفاده می‌شود و در تعاریف مختلف از جمله نسبت زیست توده گیاهی یا نسبت عملکرد به تعرق یا آب مصرفی استفاده می‌شود (Hsiao، Steduto و Fereres 2007). اگر به عنوان نسبت عملکرد به آب مصرفی استفاده شود، معادل یکی از تعاریف بهره‌وری آب و اصطلاح محصول به ازای هر قطره است.

بهره‌وری آب یک اصطلاح جدید است، و تنها پس از آنکه اسکلر خاطر نشان کرد که با افزایش کمیابی آب، بهبود محلی در کارآیی آبیاری- به عنوان مثال، با جابجایی به آبیاری‌های نوین در سطح مزرعه- ممکن است لزوماً منجر به صرفه جویی در مصرف

واقعی آب برای جابجایی‌ها نشود، و یا لزوماً به سود بیشتر بهره‌وری در حوضه تبدیل نشود، بیشتر مورد استفاده قرار گرفت (Seckler 1996). به جای آن، وی تمرکز بر بهره‌وری آب را در کشاورزی آبیاری توصیه کرد اما این اصطلاح را بیه طور جزئی‌تر تعریف نکرد.

نویسندگان دیگر، که بسیاری با IWMI[1] در ارتباط بودند، متعاقباً تعاریفی را اغلب در راستای محصول به ازای هر قطره ارائه می‌دادند، (Molden 1997؛ Molden and Oweis 2007؛ Molden and Sakthivadivel 1999؛ Molden et al. 2003). این‌ها، به نوبه خود، بعدا مورد بررسی قرار گرفت و در شمار زیادی از مطالعات بحث شدند (Giordano et al. 2017).

بهره‌وری آب به عنوان یک نسبت محصول به ازای هر قطره می‌تواند به عنوان عملکرد نسبت به آب برداشت شده، به کار برده شده یا مصرف شده تعریف شود. اگر به عنوان نسبت عملکرد به آب مصرفی تعریف شود، می‌تواند مشابه کارآیی استفاده آب در یکی از تعاریف آن باشد. بهره‌وری آب معمولاً به عنوان نسبت عملکرد به یکی از سنجه‌های استفاده آب برای محصول خاصی در سطح زمین یا مزرعه بیان شده است. اگر به عنوان مثال، میزان بهره‌وری آب برای بیش از یک محصول در سطح مزرعه تخمین زده شود، اغلب قیمت‌های خروجی برای تجمیع استفاده می‌شود، و بهره‌وری آب وارد بحث اقتصادی می‌شود.

تمرکز بر یک عامل واحد. اصطلاحات کارایی و بهره‌وری از ادبیات آبیاری ارائه شده در جدول ۳-۱ بر روی یک عامل واحد متمرکز است: که همان آب است. یعنی آن‌ها هیچ فاکتور اضافی مانند سایر ورودی‌ها به فرآیند تولید یا عوامل محیطی موثر بر نسبت‌های مختلف را در نظر نمی‌گیرند. علاوه بر این، این اصطلاحات عبارات فیزیکی هستند که قیمت خروجی‌ها و ورودی‌هایی موثر بر رفتار کشاورزان در رابطه با استفاده از آب و بسیاری از متغیرهای دیگر را در نظر نمی‌گیرند. تعریف "ارزش اقتصادی" از بهره‌وری آب شامل قیمت‌های خروجی با هدف تجمیع آن‌ها است.

تمرکز بر تأثیرات در سطح مزرعه. این اصطلاحات به دلیل دغدغه آنها نسبت به کارآیی و بهره‌وری که با توجه به آن‌ها منبع خاصی از آب برای تولید محصولات زراعی استفاده می‌شود (در نظر گرفتن باقیمانده "از دست رفته") عمدتاً بر سطح زمین یا مزرعه متمرکز شده‌اند. مسائل مربوط به سطح حوضه تحت تاثیر شناخت ناکافی از جمله وابستگی‌های متقابل بین کاربرهای بالا دستی و پایین دستی که در یک اقتصاد آب توسعه یافته از اهمیت بیشتری برخوردارند، قرار می‌گیرند. همچنین این‌گونه مسائل هم از طریق "تلفات" به وجود می‌آیند (نه تنها از نظر کمیت بلکه کیفیت و زمان بندی).

۱.

تمرکز بر سطح مزرعه بیشتر شامل تعویض سیستم آبیاری از آبیاری‌های سنتی به تکنولوژی آبیاری سرمایه‌برتر با کارآیی آبیاری بیشتر است. چنین انتقالی اغلب به عنوان یک رویکرد مهم برای استفاده بیشتر از بهره‌وری و کارآیی آب کشاورزی (همانطور که در جدول ۳-۱ تعریف شده است) ترویج می‌شود و در صورت افزایش کمیابی و رقابت برای آب، به سازگاری کمک می‌کند. اما لزوما اینگونه نیست، به خصوص در یک شرایط هیدرولوژیکی که جریان برگشتی برای مصرف کنندگان پایین دست مهم است.

در شکل ۳-۱، بهره‌وری آبیاری در مزرعه به عنوان یک نتیجه از تغییر سیستم ثقلی به سیستم بارانی بهبود می‌یابد. نقش سایر ورودی‌ها نیز همانند تأثیر قیمت‌ها و هزینه‌ها مورد غفلت واقع می‌شود. فرض بر این است که کشاورز از دانش و توانایی دستیابی کامل به افزایش بهره‌وری در آبیاری که توسط فناوری جدید امکان‌پذیر است، برخوردار است. بهره‌وری آب به عنوان یک نسبت عملکرد نسبت به ورودی آب اندازه‌گیری می‌شود. بسته به اینکه کدام سنجه آب برای ورودی آب در نظر گرفته شده باشد- مانند آب برداشت شده، آب به کار برده شده یا مصرف شده- نسبت محصول به ازای هر قطره و تغییرات مربوط به آن‌ها در نتیجه بهبود بهره‌وری ممکن است متفاوت باشد، و ممکن است پیام‌های متناقضی در مورد استفاده از آب و تأثیرات آن در حوضه ارائه دهد.

جدول۳-۱: اصطلاحات کارآیی و بهره‌وری مرتبط با آب از مهندسی و زراعت

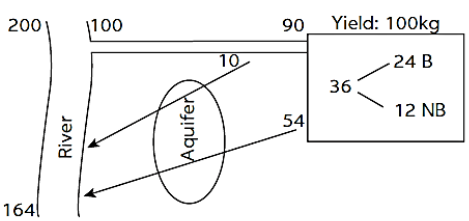
اصطلاحات	تعریف	رشته
کارآیی آبیاری کلاسیک	نسبت آب مصرف‌شده به آب خارج شده از یک منبع یا آب به کار برده شده (Israelsen ۱۹۵۰؛ Jensen ۲۰۰۷)	مهندسی آبیاری
کارآیی انتقال	نسبت آب تحویل شده در ورودی مزرعه نسبت به آب برداشت شده از منبع آب (Jensen ۲۰۰۷)	مهندسی عمران
کارآیی کاربرد آب	نسبت آب ذخیره شده در منطقه ریشه (و در نهایت مصرف شده) نسبت به آبی که در مزرعه تحویل داده می‌شود / به کاربرده می‌شود (Jensen ۲۰۰۷)	مهندسی آبیاری
کارآیی استفاده آب	نسبت زیست توده (ماده) گیاهی یا عملکرد گیاه نسبت به تعرق (Hsiao، Steduto و Fereres ۲۰۰۷؛ Molden ۱۹۹۷)	زراعت و فیزیولوژی گیاهان
بهره‌وری آب	نسبت تولید فیزیکی(از نظر عملکرد) یا به اصطلاح "ارزش اقتصادی" تولید (معمولاً از نظر درآمد)، نسبت به مصرف آب (از نظر برداشت آب، کاربرد یا مصرف آب) (مولدن ۱۹۹۷)	زراعت و فیزیولوژی گیاهان

.Source: Scheierling، Tréguer، and Booker 2016

شکل ۳-۱ فرض می‌کند که یک منطقه آبیاری در ابتدا ۱۰۰ کیلوگرم از یک محصول خاص تولید می‌کند. آب از یک رودخانه خارج شده و از طریق کانال به منطقه تحویل داده می‌شود. کارآیی انتقال حدود ۹۰ درصد است، با در نظر گرفتن ۱۰ درصد آب خارج شده از رودخانه‌ای، که در اثر نشت کانال از دست می‌رود. فرض بر این است که تلفات انتقال و آب‌هایی که در مزرعه مصرف نمی‌شود از طریق یک سفره کم عمق به عنوان جریان برگشتی به رودخانه بر می‌گردد. در حالت ۱، کارآیی آبیاری اصلی در مزرعه، که به عنوان نسبت آب مصرفی به آب کاربردی تعریف شده، ۴۰ درصد است. میزان مصرف آب ۳۶ متر مکعب است که از ۲۴ متر مکعب مصرف مفید (که برای رشد گیاهان ضروری است) و ۱۲ متر مکعب مصرف غیر مفید (که ممکن است شامل تبخیر از سطوح خاک باشد) تشکیل شده است. بنابراین، ۹۰ متر مکعب آب باید در منطقه آبیاری شده، به کار برده شود و ۱۰۰ متر مکعب از رودخانه خارج شود. بسته به سنجه آب در نسبت محصول به ازای هر قطره، مقادیر بهره‌وری آب کشاورزی از ۰.۱ تا ۲/۸ متغیر است.

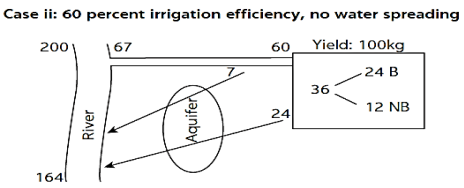
شکل ۳-۱: تأثیر بهره‌وری بهبود یافته در آبیاری مزرعه بر نسبت‌های محصول به ازای هر قطره و جریان رودخانه

	سنجه آب (m۳)	**میزان محصول به ازای آب** (kg/m۳)
آب		
برداشت شده	۱۰۰	۱
به کاربرده شده	۹۰	۱/۱
مصرف شده	۳۶	۲/۸



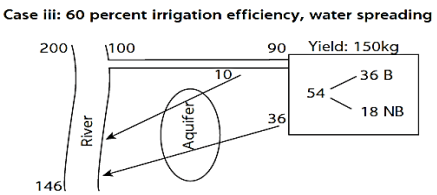
حالت ۱: ۴۰ درصد کارآیی آبیاری

	سنجه آب (m۳)	میزان محصول به ازای آب (kg/m۳)
آب		
برداشت شده	۶۷	۱/۵
به کاربرده شده	۶۰	۱/۸
مصرف شده	۳۶	۲/۸



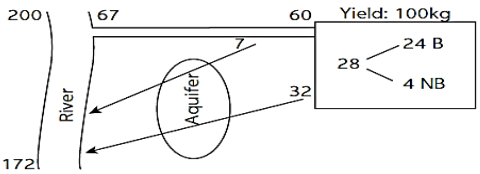
حالت ۲: کارآیی آبیاری ۶۰ درصد، عدم انتشار آب

	سنجه آب (m۳)	میزان محصول به ازای آب (kg/m۳)
آب		
برداشت شده	۱۰۰	۱/۵
به کاربرده شده	۹۰	۱/۷
مصرف شده	۵۴	۲/۸



حالت ۳: کارآیی آبیاری ۶۰ درصد، انتشار آب

	سنجه آب (m3)	میزان محصول به ازای آب (kg/m3)
آب		
برداشت شده	۶۷	۱/۵
به کاربرده شده	۶۰	۱/۷
مصرف شده	۲۸	۳/۶



Source: Scheierling, Tréguer, and Booker 2016.

حالت ۴: کارآیی آبیاری ۶۰ درصد، عدم انتشار آب، کاهش مصرف غیر مفید آب مصرفی (NB) تا حدود ۶۶ درصد.

.Source: Scheierling، Tréguer، and Booker 2016

حالت ۲ اثرات بهبود کارآیی آبیاری (از ۴۰ به ۶۰ درصد) را در مزرعه نشان می‌دهد. اگر شرایط به همین شکل باقی بماند، کاربرد آب از ۹۰ به ۶۰ متر مکعب و برداشت آب از ۱۰۰ به ۶۷ متر مکعب کاهش می‌یابد. مقادیر مربوط به پارامتر محصول به ازای هر قطره به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. اما به دلیل اینکه مصرف آب تغییر نمی‌کند، مقدار بهره‌وری آب کشاورزی از نظر آب مصرفی یکسان می‌ماند. حتی اگر به نظر برسد که آب در نتیجه مداخله ذخیره شده است (با کاهش قابل توجه در آب برداشت شده و به کار رفته)، از نظر آب مصرفی در واقع هیچ حفاظتی از آب وجود نداشته، با توجه به این که جریان رودخانه در پایین دست منطقه آبیاری در همان سطح قبلی باقی مانده است.

حالت ۳ وضعیتی را نشان می‌دهد که کشاورز پس از تغییر به کارایی بیشتر در زمینه آبیاری در مزرعه، همچنان به برداشت مقدار اصلی آب و سطح زیر کشت را توسعه می‌دهد. بازده به ۱۵۰ کیلوگرم و میزان مصرف آب به ۵۴ متر مکعب افزایش می‌یابد. مقادیر بهره‌وری

آب کشاورزی همانند مورد (۲) خواهد بود، اما جریان رودخانه پایین دست از ۱۶۴ متر مکعب به ۱۴۶ متر مکعب کاهش می‌یابد.

در حالت ۴، اقدامات اضافی فراتر از افزایش کارآیی آبیاری (مانند بهبود شیوه‌های زراعی) برای تولید جریان برگشتی بیشتر از مزرعه نسبت به مورد ۲ انجام می‌شود، در حالی که بر کارآیی تأثیر نمی‌گذارد. مصرف مفید ۲۴ متر مکعب لازم برای رشد محصول مانند موارد ۱ و ۲ باقی می‌ماند، اما مصرف غیرمفید در نتیجه اقدامات اضافی به میزان دو سوم - از ۱۲ متر مکعب به ۴ متر مکعب - کاهش یافته است. جریان برگشتی اضافی ۸ متر مکعب است. مقادیر پارامتر محصول به ازای هر قطره برای آب برداشت شده همانند موارد ۱ و ۲ است، اما مقدار پارامتر محصول به ازای هر قطره برای آب مصرف شده افزایش می‌یابد.

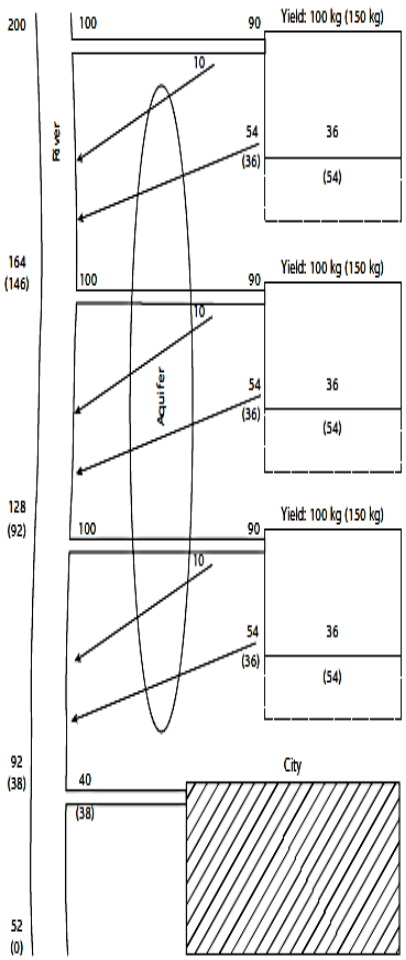
در یک اقتصاد در حال توسعه آب با حداقل رقابت برای آب، تغییرات ناشی از بهبود کارآیی آبیاری احتمالاً کمی فراتر از سطح مزرعه خواهد بود. به عنوان مثال، اگر هیچ فعالیت تولید و مصرف آب در پایین دست انجام نشود، کاهش جریان برگشتی ناشی از پخش آب در حالت ۲ یا افزایش ناشی از کاهش مصرف غیرمفید در حالت ۴، تأثیر زیادی روی جریان رودخانه نخواهد گذاشت. با این حال، شرایط در اقتصاد توسعه‌یافته آب به شدت تغییر خواهد کرد، جایی که بسیاری از کاربران دیگر ممکن است در پایین دست واقع شده و به آب رودخانه وابسته باشند- از جمله جریان برگشتی از طرف استفاده‌کننده بالادست. در این حالت، جریان‌های برگشتی اضافی که با اقدامات در حالت ۴ ایجاد می‌شوند، واقعاً نمایانگر آب حفظ شده برای استفاده‌های اضافی در پایین دست هستند.

اثرات در سطح حوضه. شکل ۳-۲ وضعیت سطح حوضه را با همان رودخانه و چندین کاربر در پایین دست نشان می‌دهد. این شکل شامل دو منطقه آبیاری اضافی با ویژگی‌های شبیه به منطقه آبیاری اصلی در شکل ۳-۱، و شهری است که نیاز به ۴۰ متر مکعب مصرف آب دارد.

در ابتدا، مانند حالت ۱، سه منطقه آبیاری با کارآیی آبیاری ۴۰ درصد (در مزرعه) و عملکرد ۱۰۰ کیلوگرم وجود دارند. در این شرایط، آب مورد نیاز شهر به میزان ۴۰ متر مکعب تأمین می‌شود و جریان رودخانه در پایین دست به ۵۲ متر مکعب می‌رسد که این امر برای اهداف زیست محیطی کافی تلقی می‌شود. اگر کارایی آبیاری در مزرعه به ۶۰ درصد تبدیل شود، مانند حالت ۳، و همچنان همان مقدار آب را برداشت کنند (چراکه حقابه‌ها از نظر برداشت مقدار مشخص شده‌ای هستند)، می‌توانند آب را در اراضی بیشتری توزیع کنند و عملکرد ترکیبی آن‌ها از ۳۰۰ کیلوگرم به ۴۵۰ کیلوگرم افزایش یابد(در شکل ۳-۲ در پرانتز نشان داده شده است). با این حال، جریان برگشتی از مناطق آبیاری کاهش می‌یابد، و شهر در این حالت

با مشکل آب مواجه است. حتی اگر شهر تمام آب باقیمانده در رودخانه را در نظر بگیرد، فقط ۳۸ متر مکعب دریافت می‌کند. در چنین شرایطی، مذاکرات بین کاربران بالادست و پایین دست ممکن است به رفع مشکل کمک کند. به عنوان مثال، این شهر می‌تواند به کشاورزان در مناطق آبیاری یارانه دهد تا اقدامات زراعی مورد نیاز را برای کاهش مصرف غیرمفید تا دو سوم اتخاذ کنند. این اقدام باعث می‌شود که نیاز آبی شهر تامین شود، اما ممکن است بر استفاده‌های زیست محیطی بیشتر از پایین دست اثرات منفی بگذارد.

شکل ۳-۲: اثرات افزایش کارآیی آبیاری در مزرعه از ۴۰ به ۶۰ درصد در سطح حوضه



Source: Scheierling، Tréguer، and Booker 2016.

Note: The effects of water spreading are indicated in parentheses.

احتساب شرایط هیدرولوژیکی. حالت‌های موجود در شکل‌های ۳-۱ و ۳-۲ براساس فرضیه آبخوان‌های کم عمق است که اجازه می‌دهند تا با بازگشت جریان، تمام آب‌هایی که در اثر انتقال آب و آبیاری روی زمین هدر می‌روند، به رودخانه برگردند و از این رو برای استفاده بیشتر در دسترس قرار گیرند. در اقتصاد توسعه‌یافته آب، حفاظت از آب متعاقبا احتیاج به در نظر گرفتن دیدگاهی در سطح حوضه و تمرکز برکاهش استفاده مصرفی دارد، مانند حالت ۴ در شکل ۳-۱.

اما بسته به شرایط هیدرولوژیکی، همه جریان‌های برگشتی ممکن است برای استفاده بیشتر در پایین دست در دسترس نباشند. ممکن است شرایط هیدرولوژیکی به گونه‌ای باشد که جریان‌ها فقط به صورت جزئی به رودخانه بر می‌گردند یا اصلاً برنمی‌گردند. ممکن است جریان‌های برگشتی به منابعی تخلیه شوند که در این حالت دیگر نمی‌توان آن‌ها را به دلیل مسائل کیفیتی برداشت یا استفاده کرد. به عنوان مثال، هنگامی که یک منطقه آبیاری در نزدیکی اقیانوس قرار دارد، ممکن است جریان برگشتی قابل بازیابی نباشد. سایر شرایط هیدرولوژیکی همچنین ممکن است اجازه استفاده بیشتر از جریان‌های برگشتی را ندهند، همچون زمانی که خاک‌های زیرزمینی و سفره‌های آب برای استفاده مجدد بسیار شور یا آلوده باشند. حالت دیگر زمانی رخ می‌دهد که منبع آب رودخانه‌ای نباشد بلکه یک آبخوان بسیار عمیق باشد که جریان برگشتی ممکن است هرگز به آن نرسد یا پس از گذشت چندین دهه به این آبخوان عمیق راه پیدا کند.

در شرایط هیدرولوژیکی که جریان‌های برگشتی در حقیقت از بین رفته‌اند (یعنی در دسترس نیستند و یا برای استفاده بیشتر قابل بازیافت نیستند) حفاظت از آب می‌تواند در سطح زمین یا مزرعه صورت گیرد. سپس اقدامات می‌توانند بر بهبود کارآیی آبیاری (انتقال و کارآیی استفاده از آب) متمرکز شوند و تا حد امکان از مقادیر برداشت و کاربرد آبی که در دسترس است، استفاده کنند. به عنوان مثال، این امر می‌تواند شامل جابجایی از حالت ۱ به حالت ۳ در شکل ۳-۱ به همراه پخش آب باشد، که در این شرایط جریان رودخانه را به میزان ۱۰۰ متر مکعب ثابت نگه می‌دارد. یا جابجایی از حالت ۱ به حالت ۴ با کاهش مصرف غیر مفید- همچنان با پخش بیشتر آب - که باز هم باعث می‌شود جریان رودخانه به میزان ۱۰۰ متر مکعب حفظ شود. در روش جایگزین، در صورت نیاز به نگهداری آب و در دسترس قرار دادن آن برای سایر استفاده‌های پایین دست، مقادیر برداشت و کاربرد می‌تواند تا حداقل مقدار ممکن کاهش یابد که در این شرایط هنوز هم استفاده مصرفی تاریخی را تضمین می‌کند، جابجایی از حالت ۱ به حالت ۲، باعث افزایش جریان رودخانه از ۱۰۰ به ۱۳۳ متر مکعب می‌شود. اقدامات مازاد برای کاهش سطح مصرف غیرمفید، مانند حالت ۴، به حفاظت بیشتر آب کمک نمی‌کند.

کارایی و بهره‌وری در اقتصاد

در این بخش مفاهیم کلیدی کارایی و بهره‌وری از ادبیات اقتصاد بررسی می‌شود. در مقایسه با ادبیات آبیاری، رویکردهای اقتصاد این امکان را فراهم می‌کند تا منابع تغییر در بهره‌وری را مورد توجه بیشتری قرار گیرد. قیمت‌ها و هزینه‌ها در آن گنجانیده شده است، و تلاش می‌شود تمام ورودی‌های اثر گذار بر سطح تولید، در نظر گرفته شوند. در مورد آب، تمرکز بر دو اقدام اساسی استفاده از آب بوده که گرایش به سمت کنترل توسط کشاورز یا سازمان آبیاری می‌باشد که شامل برداشت از منبع آب و کاربردهای آب در سطح مزرعه بوده که در بعضی مواقع نمی‌توان بین آن‌ها یک تمایز دقیق ایجاد کرد. اخیراً، پیشرفت در مدل‌سازی همراه با داده‌های سنجش از دور باعث پیشرفت در ترکیب سومین سنجه آب شده است: استفاده مصرفی.

مفاهیم و اصطلاحات کلیدی. در ادبیات اقتصاد، به ویژه در اقتصاد تولید کشاورزی، بهره‌وری و کارآیی، متفاوت از مهندسی و زراعت تعریف می‌شود. بهره‌وری یک بنگاه آب به عنوان نسبت خروجی آن به ورودی آن تعریف می‌شود و کارایی یک مقایسه‌ای بین مقادیر مشاهده شده و بهینه از خروجی و ورودی آن است (Fried، Knox Lovell، and Schmidt 2007).

بهره‌وری به طور گسترده‌ای به عنوان سنجه عملکرد که در آن مقادیر بزرگتر این نسبت با عملکرد بهتر همراه است استفاده می‌شود. می‌توان آن را به سادگی به عنوان یک شاخص بهره‌وری تک عاملی، اندازه‌گیری و یک خروجی را به یک ورودی مرتبط کرد. نمونه‌ای از چنین شاخصی، همان پارامتر محصول به ازای هر قطره است. سنجه جامع‌تر بهره‌وری کل عامل‌ها، یک نسبت است که همه خروجی‌ها را به همه ورودی‌ها مرتبط می‌کند.

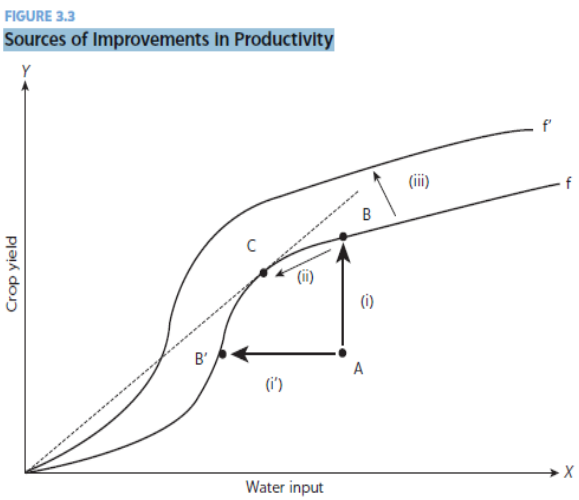
بهبود پتانسیل بهره‌وری را می‌توان هنگامی ارزیابی کرد که بنگاه‌ها با معیاری مشخص شامل داده‌های مقطعی و سری زمانی مقایسه می‌شوند. در داده‌های مقطعی، بنگاه‌ها در همان دوره با یکدیگر مقایسه می‌شوند، در حالی که داده‌های سری زمانی امکان مقایسه در طول زمان را فراهم می‌کنند. در مورد مقایسه با داده‌های مقطعی، یک بنگاه می‌تواند با بهبود کارآیی فنی، کارآیی تخصیصی یا کارآیی مقیاس، کارآیی خود را نسبت به سایر بنگاه‌ها افزایش دهد. در حالت دوم، تغییر فناوری منبع دیگری برای افزایش بهره‌وری است. این امر مستلزم تغییر صعودی تابع تولید است و این بدان معنی است که یک بنگاه می‌تواند برای هر سطح ورودی، خروجی بیشتری تولید کند (Latruffe 2010).

برای نشان دادن افزایش منابع مختلف بهره‌وری، شکل ۳-۳ یک مورد با خروجی و

ورودی واحد (Y = f [X]) را نشان می‌دهد، که X نمایانگر ورودی آب، Yعملکرد محصول، و f تابع تولید است. در ابتدا بنگاه از نقطه A فعالیت را آغاز می‌کند.

بهره‌وری ممکن است از طریق (الف) افزایش کارآیی فنی بهبود یابد، یعنی همان عملکرد محصول با ورودی کمتر (حرکت از نقطه A به نقطه B')، یا خروجی بیشتری با همان سطح ورودی تولید شود (حرکت از نقطه A به نقطه B) که هر دو حالت حرکت به سمت تابع تولید را شامل می‌شود. (ب) صرفه مقیاسی، یعنی فعالیت در نقطه (از نظر فنی) مقیاس بهینه، جایی که خط رسم شده از مبدا مماس بر تابع تولید باشد (حرکت از نقطه B به نقطه C). و (ج) تغییر فنآوری، که ممکن است با تغییر صعودی در عملکرد محصول (یک حرکت از f به f') نشان داده شود. اگر قیمت‌ها (و یک فرض رفتاری) نیز در تحلیل گنجانده شود، کارآیی تخصیصی به عنوان منبع دیگر تغییر بهره‌وری قابل بررسی است.

شکل ۳-۳: منابع بهبود در بهره‌وری



.Source: Based on Coelli et al. 2005

در انتخاب ورودی وابسته به آن دسته از ورودی‌ها است که مقدار معینی از خروجی را با حداقل هزینه فراهم می‌کنند.

خطی از مبدا در شکل ۳-۳ که دارای شیب y / x است، مقدار میانگین بهره‌وری را همانند مقدار محصول به ازای هر قطره، فراهم می‌کند. با هر جابجایی که در بالا توضیح داده شد می‌توان محصول بیشتری به ازای هر قطره را بدست آورد. بنابراین، حتی در

موردی با ورودی و خروجی واحد، افزایش در این نسبت می‌تواند نتیجه منابع مختلف باشد و با مصرف کمتر یا بیشتر آب همراه باشد. بدون تحلیل بیشتر، این علل اساسی آشکار نخواهد بود (Scheierling، Tréguer، and Booker 2016).

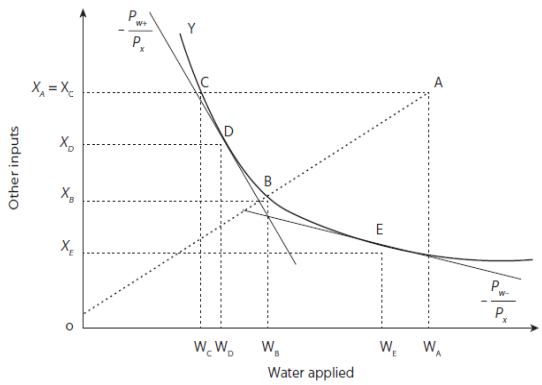
فراتر از چارچوب تک عاملی. شکل ۳-۴ شرایطی را نشان می‌دهد که بیش از یک ورودی در تولید یک خروجی در نظر گرفته شود. همچنین امکان بحث در مورد مفاهیم بهره‌وری فنی و تخصیصی را فراهم می‌آورد. این وضعیتی را نشان می‌دهد که یک کشاورز، در اصل در نقطه A، با استفاده از آب آبیاری به مقدار WA (با یک فن‌آوری سنتی، که سیستم ثقلی نامیده می‌شود) و تمام ورودی‌های دیگر به مقدار XA، محصول معینی را در مقدار Y تولید می‌کند.

پیرو (Karagiannis، Tzouvelekas، and Xepapadeas 2003)، کارآیی فنی خاص آب توسط نسبت دو فاصله، WA / WC = A *XA / C *XA اندازه‌گیری می‌شود. این اندازه‌گیری حداقل مقدار آب به کاربرده شده را مشخص می‌کند(WC) و همچنین حداکثر پتانسیل کاهش در آب به کاربرده شده (WC – WA) را نشان می‌دهد که هنوز هم می‌تواند اجازه دهد Y در حالی که ورودی‌های دیگر را در مقدار XA نگه می‌دارد، تولید شود. کارآیی فنی ورودی گرا به معنای حرکت به سمت نقطه B است که در آن مقدار آب به کاربرده شده به WB کاهش می‌یابد. این کاهش بالقوه (WB – WA) کوچکتر از (WA – WC) است و دومی (WC – WA) به عنوان یک حد بالایی در نظر گرفته می‌شود.

با در نظر گرفتن قیمت نهاده‌ها (ورودی ها)، کشاورز می‌تواند تلاش کند که از نظر تخصیصی کارآ باشد و با توجه به قیمت آب (به ترتیب PW یا +PW (با PW> +PW)) به سطحی از آب به کاربرده شده همان WE یا WD (با WE> WD) دست یابد.

به طور کلی، نقاطی مانند D و E بیانگر استفاده تخصیصی کارآ از آب و سایر ورودی‌های احتمالی به نسبت قیمت آب و ورودی‌های دیگر است. طبق تئوری تولید استاندارد، کمترین هزینه تولید خروجی Y هنگامی حاصل می‌شود که نسبت تولیدات نهایی آب و سایر ورودی‌ها برابر با نسبت قیمت آن‌ها (PW / PX) = (MPW / MPX) برای هر نقطه (یا ترکیبی از ورودی‌ها) در یک مقدار مشخص (isoquant) باشد، PW و PX به ترتیب هزینه‌های کامل فرصت استفاده از آب و سایر ورودی‌ها را ارائه می‌دهند. سپس تولید نهایی آب می‌تواند به صورت MPW = (PW / PX) MPX نوشته شود. این بدان معناست که می‌بایست تغییر مقدار به این ترتیب، بهره‌وری آب کشاورزی، در شرایطی که به عنوان یک تولید نهایی در نظر گرفته شده باشد، را متناسب با قیمت آب انتظار داشت. در چنین شرایطی هزینه سایر نهاده‌ها نیز کم و تولید نهایی سایر نهاده‌ها زیاد باشد.

شکل ۴-۳: اثرات بهره‌وری فنی خاص آب، کارآیی فنی ورودی محور و کارآیی تخصیصی بر آب بکار برده شده و سایر استفاده‌ها از نهاده



فراتر از اثرات در سطح مزرعه. لازم به ذکر است که شکل ۳-۴ با در نظر گرفتن آب به کار برده شده و غفلت از مسائل مربوط به جریان برگشتی در سطح مزرعه متمرکز است. با این حال، مسائل گسترده حوضه را می‌توان در چارچوب چند عاملی در نظر گرفت. در مورد وضعیت شکل ۳-۴، کشاورز در نقطه A همان مقدار محصول Y را تولید می‌کند و بعد از انتقال به نقطه‌ای در تابع تولید، نیز تولید می‌شود. در تمام این موارد، مقدار آب مصرفی ثابت می‌ماند. فقط مقدار آب به کار برده شده و جریان برگشتی حاصل تغییر می‌یابد این در حالی است که جریان رودخانه یکسان خواهد بود. برای مثال، در شرایطی که عملکرد محصول تغییر می‌کند و می‌توان از آن مقدار بیشتری محصول را با همان مقدار نهاده‌ها تولید کرد، وضعیت متفاوت خواهد بود. این امر منجر به افزایش میزان آب مصرفی و کاهش جریان‌های برگشتی می‌شود.

REFERENCES

Brouwer، C.، K. Prins، and M. Heibloem. 1989. Irrigation Water Management: Irrigation Scheduling. Training Manual no. 4، Technical Report 4، FAO Land and Water Development Division. Rome: Food and .Agriculture Organization of the United Nations

Coelli، T.، D. S. Prasada Rao، C. O'Donnell، and G. Battese. 2005. An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis. 2nd Ed. New York: .Springer

Fried، H. O.، C. A. Knox Lovell، and S. S. Schmidt. 2007. "Efficiency and Productivity. " In The Measurement of Productive Efficiency and Productivity، edited by H. O. Fried، C. A. Knox Lovell، and S. S. Schmidt، .New York، NY: Oxford University Press .106-1

Giordano، M.، H. Turral، S. M. Scheierling، D. O. Tréguer، and P. G. McCornick. 2017. beyond "More Crop per Drop": Evolving Thinking on Agricultural Water Productivity. IWMI Research Report 169. Colombo، Sri Lanka: International Water Management Institute، and Washington، .DC: World Bank

Hartmann، L. M.، and D. A. Seastone. 1965. "Efficiency Criteria for .71-Market Transfers of Water. " Water Resources Research 1 (2): 165

Hsiao، T. C.، P. Steduto، and E. Fereres. 2007. "A Systematic and Quantitative Approach to Improve Water Use Efficiency in Agriculture. " .31-Irrigation Science 25 (3): 209

Huffaker، R.، and N. Whittlesey. 1995. "Agricultural Water Conservation Legislation: Will It Save

.28-Choices، Fourth Quarter، 24 "؟Water

A Theoretical Analysis of Economic Incentive Policies" .2003 .——— Encouraging Agricultural Water Conservation". International Journal of .53-Water Resources Development 19 (1): 37

Israelsen، O. W. 1950. Irrigation Principles and Practices. New York: Wiley. Jensen، M. E. 2007. "Beyond Irrigation Efficiency. " Irrigation .45-Science 25 (3): 233

Karagiannis، G.، V. Tzouvelekas، and A. Xepapadeas. 2003. "Measuring Irrigation Water Efficiency with a Stochastic Production Frontier. " .72-Environment and Resource Economics 26: 57

Latruffe، L. 2010. "Competitiveness، Productivity and Efficiency in the Agricultural and Agrifood Sectors. " OECD Food، Agriculture and .Fisheries Papers 30، OECD Publishing، Paris

Molden، D. 1997. "Accounting for Water Use and Productivity. " System-Wide Initiative for Water Management (SWIM) Paper 1، International

.Water Management Institute، Colombo، Sri Lanka

Molden، D.، H. Murray-Rust، R. Sakthivadivel، and I. Makin. 2003. “A Water-Productivity Framework for Understanding and Action. ” In Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement، Wallingford، UK: .18-edited by J. W. Kijne، R. Barker، and D. Molden، 1 .CAB International

Molden، D.، and T. Y. Oweis. 2007. “Pathways for Increasing Agricultural Water Productivity. ” In

Water for Food، Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water London: .310-Management in Agriculture، edited by D. Molden، 279 .Earthscan and International Water Management Institute

Molden، D.، and R. Sakthivadivel. 1999. “Water Accounting to Assess Use and Productivity of

-Water. ” International Journal of Water Resources Development 15 (1 .71-55 :(2

Scheierling، S. M.، D. O. Tréguer، and J. F. Booker. 2016. “Water Productivity in Agriculture: Looking for Water in the Agricultural Productivity and Efficiency Literature. ” Water Economics and Policy 2 .(3)، 1650007 (33 pages). Doi: 10. 1142/S2382624X16500077

Seckler، D. 1996. The New Era of Water Resources Management: From “Dry” to “Wet” Water

Savings. Research Report 1. Colombo، Sri Lanka: International Water Management Institute

۴

فصل چهار

روش‌هایی برای ارزیابی بهره‌وری و کارایی آب کشاورزی

در شرایطی که منابع آب به راحتی در دسترس است و حداقل رقابت برای آب وجود دارد، سرمایه‌گذاری‌ها بیشتر بر پروژه‌های زیرساختی جهت گسترش عرضه آب کشاورزی متمرکز شده و روش اصلی برای ارزیابی انتخاب و اجرای این‌گونه سرمایه‌گذاری‌ها، تحلیل فایده-هزینه است (جدول ۱-۱). تحلیل فایده-هزینه در دهه ۱۹۳۰ در ایالات متحده توسعه یافت، این توسعه هنگامی صورت گرفت که حمایت دولت فدرال از پروژه‌های آبیاری بزرگ مقیاس و سایر پروژه‌های آبی به سرعت افزایش یافت، و هدف از آن اطمینان از هزینه مناسب بودجه بود. در زمینه بحث اقتصاد، ارزیابی پروژه برای توسعه منابع آب، Eckstein (۱۹۵۸) تحلیل فایده-هزینه را به عنوان ابزاری برای آزمایش کیفیت یک پروژه و انتخاب مطلوب‌ترین پروژه‌ها از دید کارآیی اقتصادی مورد بررسی قرار داد. تمرکز بر نرخ بازده داخلی بود، و اطمینان از اینکه سرمایه کمیاب به طور کارآمد-بدون توجه ویژه به منابع آب مورد استفاده قرار گیرد.

با افزایش رقابت برای آب، تحلیل فایده-هزینه چالش برانگیزتر می‌شود، بنابراین ارزیابی‌ها باید به روش‌هایی متکی باشند که بتوانند آب را صریح‌تر در خود بگنجانند. بخش اول این فصل روش‌های اصلی را مورد تحلیل قرار داده و بین چهار گروه تمایز قائل شده است: شاخص‌های بهره‌وری تک عاملی، شاخص‌های بهره‌وری کل عامل‌ها، روش‌های مرزی و روش‌های قیاسی. رویکردهای مختلف مرور و یافته‌های کلیدی ارائه داده می‌شوند. با توجه به ادبیات گسترده در مورد هر یک از این روش‌ها، ادعا نمی‌شود که این گزارش کاملا جامع است. در بخش دوم ضمن مقایسه این روش‌ها با ویژگی‌های مهم کلیدی برای تحلیل، دیدگاه منظم‌تری در مورد آن‌ها ارائه می‌شود. این مقایسه پیش‌زمینه را برای فصل بعدی آماده می‌کند که در آن فصل، ارزیابی وسیع‌تری از کاربرد روش‌ها در اقتصاد آب بالغ ارائه می‌شود.

تحلیل روش‌ها

تجزیه و تحلیل چهار روش اصلی، با استفاده از یک مرور ادبیات در زمینه‌های مربوطه صورت می‌گیرد (Scheierling، Tréguer، 40 | and Booker ؛Giordano et al. 2017 2016؛ Scheierling and Tréguer 2016). هر یک از روش‌ها و رویکردهای مرتبط با آن‌ها مورد بحث و مطالعات منتخب مورد توجه قرار گرفتند و در نهایت یافته‌های کلیدی ارائه شده است.

شاخص‌های بهره‌وری تک عاملی

ادبیات موجود در مورد شاخص‌های بهره‌وری تک عاملی بسیار گسترده‌تر از سایر روش‌ها است. این مطالعات عمدتاً از رشته‌های مهندسی عمران و آبیاری، و زراعت و فیزیولوژی گیاهان برگرفته شده است و غالبا در ادبیات آبیاری یافت می‌شوند. منشأ شاخص‌های بهره‌وری تک عاملی آب را می‌توان به Seckler (۱۹۹۶) نسبت داد. نویسندگان دیگر که با مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI) همکاری داشتند، متعاقباً تعاریفی را در راستای پارامتر محصول به ازای هر قطره ارائه دادند (Molden 1997؛ Molden and Oweis 2007؛ Molden and Sakthivadivel 1999؛ Molden et al. 2003) که بعدا در مطالعات بی‌شماری تصحیح و به کار برده شد.

مروری بر رویکردها. شاخص‌های بهره‌وری تک عاملی نسبت‌هایی هستند که خروجی را فقط به یک ورودی مرتبط می‌کنند. این روش برای بهره‌وری آب کشاورزی به این صورت به کار می‌رود که نسبت محصول کشاورزی در واحد حجم آب (جدول ۳-۱) است. احتمالاً متداول‌ترین شاخص‌ها، نسبت‌هایی هستند که در آن‌ها صورت کسر پارامتر فیزیکی (میزان محصول) یا پارامتر درآمد (خروجی فیزیکی محصول ضربدر قیمت خروجی) است. بسیار نادر است که در صورت کسر، بازده هزینه‌های متغیر یا درآمد خالص در نظر گرفته شوند. سنجه‌های مبتنی بر حسابداری یک مورد خاص است. این موارد بیشتر در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرند.

شاخص‌ها از دیدگاه فیزیکی. در شکل اصلی آن، بهره‌وری فیزیکی آب کشاورزی مربوط به تولید (خروجی) سالانه در واحد سطح زمین به ورودی سالانه آب در واحد سطح زمین است. صورت کسر معمولاً به عنوان وزن تولید، مانند عملکرد محصول (کیلوگرم بر متر مکعب) درنظر گرفته می‌شود (Giordano et al. 2017؛ Molden 2007). مخرج کسر معمولاً به عنوان یکی از سه مفهوم استفاده از آب بیان می‌شود: آب برداشت شده، آب به کار برده شده و آب مصرف شده (جدول ۲-۱). در سطح زمین، اغلب آب به کار برده شده در نظر گرفته می‌شود. در سطح مزرعه، آب مصرف شده می‌تواند مورد توجه باشد، در حالی که آب برداشت شده یک شاخص مهم در محدوده طرح آبیاری است. بنابراین،

مخرج بسته به هدف مطالعه، مقیاس مکانی و زمانی مورد نظر و در دسترس بودن داده، انتخاب می‌شود.

به طور سنتی، شاخص‌های بهره‌وری تک عاملی از نظر عملکرد محصول و استفاده از آب، توسط متخصصین زراعت برای آزمایش‌های میدانی در مزارع اعمال شده است. چنین مطالعاتی معمولاً سعی در کنترل سایر ورودی‌های مرتبط دارند و اغلب در طی چندین سال انجام می‌شوند تا بتوانند نوسانات اقلیمی را هم در خود جای دهند (به عنوان مثال، Hachum، and Kijne 1999؛ Oweis and Hachum 2003 .) تنها "متغیر" ورودی، آب آبیاری است که می‌تواند دقیقا با متغیر خروجی یک محصول خاص مرتبط باشد. چنین مطالعاتی تمایل به تمرکز بر زمان و منابع دارند و نتایج آن‌ها به راحتی قابل تعمیم به سایر شرایط نمی‌باشد.

با این حال، بسیاری از مطالعات دیگر شاخص‌ها را از نظر فیزیکی نه تنها با استفاده از داده‌های آزمایش میدانی در یک مکان خاص بلکه با مشاهدات در مکان‌های مختلف مقایسه می‌کنند (معمولاً با تمرکز بر عملکرد یک محصول استراتژیک مانند گندم). برای محصولات زراعی در یک طرح آبیاری خاص، در حوضه‌ها، کشورها و حتی در مقیاس جهانی، مقایسه‌هایی انجام شده است. هدف، اغلب شناسایی عوامل مهم و در نتیجه بیان توصیه‌هایی به منظور اصلاح سیاست‌گذاری و اقدامات برای "از بین بردن شکاف" در یافته‌های بهره‌وری آب بوده. تفاوت‌های اساسی در بهره‌وری مکانی و زمانی آب ثبت شده است. این تفاوت‌ها به نسبت خاص انتخاب شده بستگی دارند (e. g.، Sakhthivadivel et al. 1999). بسیاری از محققان از این یافته‌ها استفاده می‌کنند تا استدلال کنند که اقدامات گسترده‌ای برای بهبود بهره‌وری آب و در نتیجه افزایش عملکرد یا صرفه‌جویی در آب وجود دارد. مفاهیم موجود سیاست‌گذاری بسیار گسترده هستند، و غالباً با شواهد مستحکم از تحلیل‌های انجام شده پشتیبانی نمی‌شوند. تعداد محدودی از محققان مانند Cai et al. (۲۰۱۰)، به درستی خاطرنشان کردند که این نسبت‌ها تحت تأثیر عوامل بسیاری از جمله شرایط طبیعی و مدیریتی قرار دارند.

داده‌های مشاهده‌ای نیز با برآوردهای ایجاد شده توسط روش‌های مختلف، از جمله مدل‌سازی و سنجش از دور، تکمیل شده‌اند. Vazifedoust et al. (۲۰۰۸) نمونه‌ای برای ترکیبی از داده‌های اندازه‌گیری شده با یک مدل اگروهیدرولوژیکال (زراعت آبی) ارائه دادند. آن‌ها با استفاده از مدل گیاه آب خاک (SWAP)[1] که توسط داده‌های مزارع کشاورزان یک منطقه آبیاری در جمهوری اسلامی ایران کالیبره شده، مورد بررسی قرار دادند. سایر

۱. Soil، Water، Atmosphere and Plant

مطالعات برای ارزیابی میزان بهره‌وری آب در مقیاس‌های بزرگتر، مدل اگروهیدولوژیکی را با داده‌های سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) ترکیب کردند. به عنوان مثال Singh et al. (۲۰۰۶) از مدل SWAP به همراه داده‌های جغرافیایی و ماهواره‌ای برای محاسبه بهره‌وری آب کشاورزی در منطقه‌ای در هند با استفاده از تعاریف مختلف استفاده کردند.

برخی از مطالعات، بهره‌وری آب زراعی را در مقیاس جهانی مدل کردند. Zwart et al. (۲۰۱۰) روی محصول گندم متمرکز شدند و بر اساس مجموعه داده‌های ورودی حاصل از سنجش از دور، مدلی را برای بهره‌وری آب (WATPRO) از نظر عملکرد تخمین زده شده نسبت به آب مصرفی ایجاد کرند. آن‌ها در کاربرد این مدل در مقیاس جهانی، تغییرات زیادی در شاخص‌های بهره‌وری آب مشاهده می‌کنند. به نظر آن‌ها، نتایج این مدل، برنامه‌ریزی تولید مواد غذایی را در رابطه با منابع آبی محدود برای کشاورزی تسهیل می‌کند. مدل به روز شده WATPRO توسط Bastiaanssen and Steduto (۲۰۱۷) برای تهیه نقشه‌های جهانی بهره‌وری آب محصولات گندم، برنج و ذرت بر اساس برآورد عملکرد و آب مصرفی استفاده شده است. این مدل برای انواع محصولات زراعی، شرایط اقلیمی و پتانسیل تولید محلی به منظور تسهیل مقایسه تعدیل شده است. استدلال شده است که تفاوت‌هایی که توسط عوامل فیزیکی قابل توضیح نیست ممکن است با تصمیم‌گیری‌های صورت گرفته در سطح مزرعه، مرتبط باشد.

ترکیبی از داده‌های سنجش از دور، نظرسنجی از کشاورزان و اندازه‌گیری‌های میدانی در یک دوره آماری چندساله برای بررسی تأثیر پذیرش فناوری‌های "حفاظت از منابع" استفاده شد. پژوهشی در مورد مصرف آب، در سطح زمین، مزرعه و سیستم آبیاری برای زراعت گندم و برنج در استان پنجاب (Ahmad، Ahmad et al. 2007a، 2007b؛ Masih، and Giordano 2014) مورد بررسی قرار گرفت. عوامل مؤثر در پذیرش، افزایش عملکرد و کاهش هزینه‌های ورودی بودند. کاربرد آب نیز کاهش یافته است. همانطور که محققان خاطرنشان کردند، کاهش مصرف آب و صرفه‌جویی در مصرف واقعی آب در مقیاس‌های بزرگتر به بستر آن، از جمله بیلان آبی، سیستم هیدرولوژیکی گسترده‌تر و شرایط نهادی بستگی دارد. در این حالت، افزایش سودآوری به بسیاری از کشاورزان به ویژه کشاورزانی که در مقیاس متوسط و بزرگ، دسترسی بهتر به زمین‌های زراعی و ماشین آلات لازم دارند، امکان گسترش سطح زیر کشت یا افزایش شدت برداشت را می‌دهد. در مناطقی که آب زیرزمینی شیرین در دسترس است، کشاورزان بهره‌وری کاربردی از آب کانال را بهبود بخشیده و در عین حال، برداشت آب زیرزمینی را افزایش داده‌اند بنابراین

میزان مصرف کلی آب به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. درحالی که همه کشاورزان از مزایای این اقدام استفاده می‌کردند، کشاورزان متوسط و بزرگ (بزرگ مالکان) از سهم نامتناسبی از مزایا برخوردار بودند. به طور کلی، بهبود در بهره‌وری آب در مقیاس مزرعه (از نظر عملکرد و درآمد در هر واحد آب به کار برده شده) منجر به کاهش مصرف آب (از نظر مصرف واقعی) در مزرعه یا مقیاس‌های بزرگتر نمی‌شود. این تحقیق در میان معدود مواردی است که به صورت تجربی اثر مساحت نابرابر زمین‌های کشاورزی را نشان می‌دهد.

شاخص‌ها از دیدگاه درآمد. برخی از مطالعات شاخص بهره‌وری تک عاملی، درآمد را به عنوان صورت کسر استفاده کردند (e. g.، Cai et al. 2010). این موضوع شامل استفاده از قیمت‌های بازار (یا قیمت‌های دیگر) برای تبدیل این معیار از نظر فیزیکی به یک معیار اقتصادی است، که با تولید محصول خاص باعث ایجاد ارزش برای تولیدکننده یا جامعه می‌شود. شاخص‌ها از دیدگاه درآمد همچنین می‌توانند چندین خروجی در مزرعه یا سیستم آبیاری را به خود اختصاص داده و تولید آبیاری محصولات زراعی مختلف را در مکان‌های متفاوت با هم مقایسه کند. با این حال، مشابه شاخص‌ها از دیدگاه فیزیکی، آن‌ها ورودی‌های دیگر را در نظر نمی‌گیرند، که ممکن است اثرشان به اندازه آب یا حتی مهمتر از آن باشند. در حالی که قیمت‌های خروجی گنجانده شده است، هزینه‌های مربوط به تولید محصول (خروجی) در نظر گرفته نمی‌شود.

شاخص‌ها از دیدگاه بازگشت بیش از هزینه متغیر. در این حالت شاخص‌های بهره‌وری تک عاملی نه تنها درآمد محصول را مورد بررسی قرار می‌دهند بلکه به هزینه‌های ورودی (یعنی برای ورودی‌های خریداری شده) نیز اهمیت می‌دهند. با وجود اینکه چنین شاخص‌هایی کمتر در ادبیات بهره‌وری تک عاملی مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما آن‌ها می‌توانند به صراحت نیازهای ورودی کاملاً متفاوت (مانند کارگر یا کود) محصولات مختلف را درنظر بگیرند.

شاخص‌ها از دیدگاه درآمد خالص. در این حالت بر خلاف حالت قبل که تنها هزینه‌های متغیر را در نظر می‌گرفت، هزینه‌های ضمنی یا "ارزش سایه‌ای" متعلق به شرکت (که در بازار خرید و فروش نمی‌شوند) شامل سرمایه برابر، مهارت‌های کارآفرینی و مدیریتی و... در نظر گرفته می‌شوند. چرا که، این هزینه‌ها یک بخش مهم حسابداری کامل برای هزینه‌های فرصت هستند (Young 2005). اگر بتوان این نوع ورودی‌های را در بازار قیمت‌گذاری کرد، قیمت حاکم بر بازار یا بازار مورد انتظار می‌تواند معیار مناسبی برای هزینه فرصت محسوب شود. در شرایط خاص، اگر قیمت تمامی ورودی‌های به جز آب قابل تعیین باشد، تفاوت کل هزینه‌ها با هزینه ورودی‌های غیر از آب، به عنوان بازده

خالص یا ارزش اقتصادی آب در نظر گرفته می‌شود. این مقادیر اگر از نظر مکان، شکل و زمان متناسب باشند، می‌توانند برای مقایسه در بین مصارف از جمله برای انتخاب تخصیص آب استفاده شوند. اگر این قیمت‌ها به طور صحیح محاسبه شوند، شاخص‌ها از دیدگاه درآمد خالص همان شاخص بودجه‌های زراعی هستند که به عنوان ورودی اصلی در بسیاری از روش‌های قیاسی به کار رفته در اقتصاد آب آبیاری، در نظر گرفته می‌شوند. هر چند به دلیل دشواری محاسبات، آن‌ها معمولا به عنوان راهی برای برآورد شاخص بهره‌وری مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. در این دیدگاه شاخص‌های تولیدی نسبت به شاخص‌های فیزیکی یا شاخص‌های مبتنی بر درآمدها، ارجح هستند (به عنوان مثال Barker ،Kijne و Molden 2003 مراجعه کنید). با توجه به مورد نیاز بودن مجموعه وسیعی از داده‌ها، این شاخص تا کنون زیاد مورد استفاده قرار نگرفته است.

شاخص‌ها از دیدگاه حسابداری. شاخص‌ها از دیدگاه حسابداری بر اساس توابع تولید محصولات زراعی ساخته نمی‌شوند بلکه از داده‌های کلان در سطح ملی برای برآورد بهره‌وری آب استفاده می‌کنند. برای محاسبه شاخص بهره‌وری تک عاملی در این قسمت، صورت کسر تولید ناخالص داخلی (GDP)[1] در نظر گرفته می‌شود. مخرج کسر نیز کل برداشت آب شیرین بر اساس داده‌های FAO (۲۰۱۶) است. شاخص‌های مختلف مبتنی بر حسابداری می‌توانند فرموله شوند. به عنوان مثال، بانک اطلاعاتی شاخص‌های توسعه جهانی (WDI)[2] از داده‌های بانک جهانی، در مورد شاخص "بهره‌وری آب" گزارش می‌دهد. این گزارش براساس مقدار ثابت تولید ناخالص داخلی (بادرنظر گرفتن قیمت دلار ایالات متحده) در هر متر مکعب از کل برداشت آب شیرین است. میانگین جهانی این شاخص در سال ۲۰۱۴، ۱۸ دلار بر مترمکعب بوده که به صورت گسترده توزیع شده است (به عنوان مثال از ۱ دلار بر مترمکعب در افغانستان تا ۱۴۸۱ دلار بر مترمکعب در سنگاپور). از این رو باید در مقایسه کشورها احتیاط کرد، زیرا این شاخص، شرایط مختلف کشورها را هم برای صورت کسر و هم برای مخرج کسر دربر می‌گیرد.

تطبیق این شاخص اقتصادی با کشاورزی می‌تواند شاخص "بهره‌وری آب کشاورزی" باشد، که به عنوان تولید ناخالص داخلی کشاورزی بر برداشت‌های آب کشاورزی تعریف شده است. با این حال، این شاخص می‌تواند شامل فعالیت اقتصادی هر دو نوع کشاورزی دیم و آبیاری برای صورت کسر باشد اما مخرج فقط مربوط به کشاورزی آبی می‌شود. برای کشورهایی که سهم زیادی از مزارع آن‌ها به کشت دیم اختصاص داده شده است، تغییر

۱. Gross Domestic Product

۲. World Development Indicators

در سطح این شاخص تا حد زیادی نشان‌دهنده عواملی مانند تغییر در متغیرهای اقلیمی مؤثر بر تولید محصولات زراعتی می‌باشد.

با محدود کردن "بهره‌وری آب کشاورزی" به کشاورزی آبی، یک شاخص جایگزین ایجاد می‌شود. بنابراین این شاخص به عنوان تولید ناخالص داخلی کشاورزی آبی به برداشت آب شیرین کشاورزی تعریف می‌شود. برای یک کشور معین، این شاخص می‌تواند با گذشت زمان شدت آب (از نظر برداشت کشاورزی) از بخش آبیاری شده، تولید محصولات کشاورزی را ردیابی کرده و تغییرات عمده‌ای را در بخش آبیاری به ثبت برساند. با این حال، در حال حاضر کمبود اطلاعات در مورد تولید ناخالص داخلی ناشی از کشاورزی آبیاری وجود دارد.

یافته‌های کلیدی. شاخص‌های بهره‌وری تک عاملی که برای بهره‌وری آب کشاورزی اعمال می‌شود، نسبت‌ها یا شاخص‌هایی هستند که خروجی کشاورزی را فقط به ورودی آب مرتبط می‌کنند. آن‌ها سعی در وارد کردن ورودی‌های دیگر یا عوامل محیطی ندارند (حتی ممکن است در فرآیند تولید نقش داشته باشند)، بلکه از شدت و زمان استفاده در این عوامل تأثیر می‌پذیرند بدون اینکه بتوانند مستقیماً آن‌ها را حساب کنند. آن‌ها به صراحت مبتنی بر مفاهیم بهره‌وری نیستند و نمی‌توانند منابع مختلف بهبود بهره‌وری را نشان دهند. با این‌حال، مطالعات بهره‌وری تک عاملی با محوریت آب، به دلیل درنظر گرفتن شاخص‌های مختلف کمیت آب، برتری دارند و درمورد انتخاب ابعاد مناسب تحلیل انعطاف‌پذیر هستند. آن‌ها همچنین می‌توانند به صورت پویا برای ارزیابی اثرات تغییرات، مانند فعالیت‌های مزرعه کشاورزان به دلیل تغییر سیاست یا اقدامات دیگر، مورد استفاده قرار گیرند.

بیشتر مطالعات اخیر که نسبت‌های بهره‌وری آب را با داده‌های دیگر شامل شاخص‌ها، مدلسازی و سنجش از دور ترکیب می‌کنند، می‌توانند مفاهیم مهمی را ارائه دهند، به ویژه هنگامی که در ترکیب با چارچوب‌های مناسب برای حسابداری آب انجام شوند (Escriva-Bou et al. 2016 ؛Chalmers، Godfrey، and Potter 2012).

در حالی که برخی مطالعات برآورد شاخص‌های بهره‌وری تک عاملی، مشخص نمی‌کنند که کدام هدف را دنبال می‌کنند، در اصل آن‌ها می‌توانند هر یک از این سه مورد را دنبال کنند: رشد تولید، درآمد خالص کشاورزی و حفاظت از آب. تمرکز اغلب بر افزایش تولید محصولات کشاورزی است. با این حال، از آنجا که انگیزه اصلی برای ترویج مفهوم بهره‌وری از آب کشاورزی در ادبیات آبیاری، نگرانی در مورد افزایش کمیابی آب و چگونگی اطمینان از دستیابی به صرفه جویی واقعی آب در مقیاس حوضه بود، بسیاری

از مطالعات صریحاً هدف حفاظت از آب را دنبال می‌کنند.

شاخص‌های بهره‌وری تک عاملی به خودی خود برای ارائه توصیه‌های مربوط به مدیریت آب، عملکرد کشاورزان یا تغییر سیاست‌گذاری مناسب نیستند. بسیاری از مقالات توصیه‌هایی در مورد چگونگی بهبود بهره‌وری آب ارائه می‌دهند، و در بیشتر موارد اقدامات زراعی و مهندسی را پیشنهاد می‌دهند که به نظر می‌رسد با تحلیل‌های انجام شده ارتباطی ندارند. برای مثال اگر نسبت‌ها برای یک محصول خاص در بین کشاورزان مشابه در یک طرح آبیاری با یکدیگر مقایسه شوند، نتایج مهمی به عنوان مبنایی برای تحلیل بیشترعوامل اصلی تغییرات، بدست می‌آید. با این حال، چنین نتایجی برای هر زمینه متفاوت هستند. تغییرات در موقعیت‌های مختلف یا حتی مناطق مختلف، تأثیر بسیاری از عوامل دیگر را نشان می‌دهد. تحقیقات اخیر حداقل تعداد عوامل فیزیکی و نهادی را به خود اختصاص می‌دهند (Giordano et al. 2017).

با اصلاح پارامتر صورت کسر و در نظر گرفتن درآمدها و هزینه‌های تمام ورودی‌ها به جز آب می‌توان پیشرفتی ایجاد کرد. اگر این کسر به درستی تخمین زده شود، تفاوت کل هزینه‌ها با هزینه ورودی‌های غیر از آب، به عنوان بازده خالص یا ارزش اقتصادی آب در نظر گرفته می‌شود و می‌تواند به منظور مقایسه در بین استفاده‌کنندگان و استفاده‌ها به کار رود. همچنین این مورد در روش‌های قیاسی هم به کار گرفته می‌شود.

شاخص‌های بهره‌وری کل عامل‌ها

همانند شاخص‌های بهره‌وری تک عاملی، شاخص‌های بهره‌وری کل عامل‌ها (TFP) به عنوان نسبت خروجی‌ها به ورودی‌ها بیان شده است. برخلاف شاخص‌های بهره‌وری تک عاملی، آن‌ها نگران درنظر گرفتن کلیه عوامل فرآیند تولید[1] هستند، و همچنین می‌توانند چندین خروجی را به خود اختصاص دهند. بنابراین، آن‌ها یک خروجی واحد یا یک شاخص خروجی کل را به یک شاخص ورودی کل مرتبط می‌کنند. شاخص‌ها به طور معمول برای خروجی‌ها و ورودی‌های موجود نیاز به اطلاعات کمی و قیمت دارند.

مروری بر رویکردها. از نظر مفهومی شاخص‌ها، تغییراتی در مجموعه‌ای از متغیرهای مرتبط از دوره مرجع یا "پایه"، به همراه دوره‌ای که برای آن شاخص به عنوان دوره فعلی محاسبه می‌شود را مورد سنجش قرار می‌دهند. یکی از راه‌های سنجش تغییر بهره‌وری، استفاده از معیار رشد خروجی یا خالص رشد در ورودی‌ها است (Coelli et al. ۲۰۰۵). به

۱. با توجه به دشواری در نظر گرفتن تمام عوامل ورودی موثر بر خروجی‌ها، شاخص بهره‌وری چند عاملی به جای شاخص بهره‌وری کل عامل‌ها در نظر گرفته می‌شود (Coelli et al، ۲۰۰۵)

عنوان مثال، اگر خروجی دوره فعلی نسبت به دوره پایه دو برابر شده است، و این رشد خروجی با استفاده از تنها ۶۰ درصد رشد در ورودی حاصل شده باشد، دریافت می‌شود که این بنگاه به پیشرفت بهره‌وری رسیده است. بنابراین، شاخص‌های بهره‌وری کل عامل‌ها برای مقایسه در طول زمان استفاده می‌شوند، اما می‌توانند برای اندازه‌گیری سطح بهره‌وری در بنگاه‌ها، صنایع، مناطق یا کشورها نیز مورد استفاده قرار گیرند (Coelli et al. 2005).

روش‌های مختلف تجمعی منجر به شاخص‌های متفاوت بهره‌وری کل عامل‌ها می‌شود، درحالی که شاخص‌های Fisher ،Paasche ،Laspeyres و Törnqvist رایج‌ترین شاخص‌های مورد استفاده هستند (Latruffe 2010). هر شاخص، مربوط به یک تابع تولید خاص است. به عنوان مثال شاخص Laspeyres، به معنای تابع تولید Leontief است، که از عوامل تولید در نسبت‌های از پیش‌تعیین شده از نظر فنی و بدون جایگزینی بین آن‌ها استفاده می‌شود. این شاخص‌ها با استفاده از وزن قیمت آن‌ها ساخته می‌شوند؛ در مورد یک بنگاه، وزن قیمت، سهم نسبی هر خروجی در درآمد بنگاه و سهم نسبی هر ورودی در هزینه‌های شرکت را به خود اختصاص می‌دهد. تغییر در بهره‌وری کل عامل‌ها در طول زمان به تغییرات تکنولوژیکی نسبت داده شده است (و سایر منابع بهبود بهره‌وری مشخص نشده است). یک استثناء شاخصMalmquist است، این شاخص این امکان را فراهم می‌کند که تغییر بهره‌وری را به اجزای مختلف از جمله تغییر کارایی و تغییر تکنولوژی تجزیه کند (Coelli et al. 2005).

شاخص‌های بهره‌وری کل عامل‌ها در تعداد زیادی از مطالعات تجربی عمدتاً در سطح ملی به کار رفته‌اند، اما اخیراً در سطوح محلی نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. تولید کالاها و خدمات قابل عرضه به بازار، شاخص‌های متداول را به خود اختصاص می‌دهند اما نسبت به مواردی مانند آب که معمولاً در بازار عرضه نمی‌شوند (به عنوان مثال، معامله نمی‌شوند یا قیمت‌گذاری نمی‌شوند، حتی با هزینه فرصت) بی‌اعتنا هستند. بی‌توجهی به کالاها و خدمات بدون بازار مدت‌هاست که به عنوان یک مشکل شناخته شده است (Antle and Capalbo 1988). طبق گفته‌های Gollop and Swinand (۱۹۹۸)، "از آنجا که مصرف منابع آب مستلزم صرف هزینه‌های فرصت بوده (این هزینه‌ها کمتر از مصرف نیروی کار، سرمایه یا سایر ورودی‌ها نیست) ، لازم است شاخص‌های بهره‌وری کل عامل‌ها ازنظر چگونگی تخصیص عادلانه منابع کمیاب در جامعه مورد ارزیابی قرار گیرند (صفحه ۵۷۷). از منظر دیگری، Fuglie، Wang، and Ball (2012a) خاطرنشان کردند که برای دستیابی به تولید محصولات کشاورزی بیشتر در آینده و همچنین جلوگیری از تأثیرات منفی بر محیط زیست

ناشی از توسعه کشاورزی، نه تنها به صرفه‌جویی در زمین، بلکه در مجموعه وسیع‌تری از منابع طبیعی مانند آب نیاز است. محدودیت داده‌ها در مورد ورودی آب همچنان یک عامل است (Alston and Pardey 2014). به عنوان مثال، Wang et al. (۲۰۱۳) اشاره می‌کنند که سهم آب به عنوان یک منبع جداگانه، در برآوردهای رشد بهره‌وری کل عامل‌ها در چین به دلیل عدم وجود داده‌های مناسب قابل محاسبه نیستند. حتی در مواردی که هزینه‌های آب و پمپاژ در برآورد بهره‌وری کل عامل‌ها گنجانده شده باشد، اگر قیمت‌های پرداخت شده توسط کشاورزان منعکس‌کننده هزینه فرصت‌های اجتماعی آن‌ها نباشد، این ورودی‌ها کم ارزش می‌شوند.

رویکردهایی که سایر جنبه‌های آب را به صورت جزیی درنظر می‌گیرند، معمولاً به دو دسته مجزا از ورودی‌ها تقسیم می‌شوند که این دو دسته عبارتند از متغیرهای ساختگی و محصولات دیم و آبی. این رویکردها را می‌توان در مطالعات مربوط به الگوهای بهره‌وری کشاورزی در سطح ملی، منطقه‌ای یا جهانی در دو کتاب اخیر Alston، Babcock، and Pardey (2010a) و Fuglie، Wang، and Ball (2012b) یافت. به عنوان مثال، Fuglie (2010a) در یک مطالعه در مورد رشد کشاورزی در اندونزی، بین مزارع آبیاری شده و آبیاری نشده شده تمایز قائل شد. فرض بر این است که توسعه در اراضی آبی نسبت به توسعه در اراضی دیم دارای تأثیر بیشتر در تولید است. هنگام بررسی الگوهای تغییر بهره‌وری کشاورزی در ایالات متحده، Alston، Babcock، and Pardey (2010b) همچنین بین مزارع دیم و آبی تفاوت قائل شدند و یک دسته ورودی متفاوت به منظور درنظر گرفتن هزینه‌های آبیاری اضافه کردند.Fuglie (2010b) در مطالعه‌ای دیگر درباره بهره‌وری کل عامل‌ها در اقتصاد جهانی کشاورزی با استفاده از داده‌های FAO، مزارع را به مزارع دیم و مزارع مجهز به سیستم آبیاری تقسیم کرد و متناسب با سهم هر کدام، هزینه‌های آبیاری را نیز به آنها اختصاص داد. این مثال‌ها چالش‌های مربوط به جنبه‌های آب را در مطالعات سطح ملی یا بالاتر نشان می‌دهد، به این ترتیب که برای تقریب آب آبیاری از طریق منطقه آبیاری شده و همچنین تقریب قیمت یا هزینه فرصت آب از طریق هزینه‌های آب آبیاری تلاش‌هایی صورت می‌گیرد. در حالی که این مطالعات می‌تواند سهم تغییرات منطقه آبیاری در رشد کشاورزی را به خود اختصاص می‌دهند، اما آن‌ها هیچ نتیجه‌گیری دیگری در رابطه با تأثیر آب در الگوهای بهره‌وری کشاورزی ارائه نمی‌دهند.

جنبه‌های آب در مطالعات بسیاری در سطوح محلی، مانند سطوح استانی و بخش، با جزئیات بیشتری گنجانیده شده است. برای مثال مطالعه Conradie، Piesse، and

Thirtle (۲۰۰۹) بر بهره‌وری کل عامل‌ها در استان کیپ غربی آفریقای جنوبی متمرکز شده و بعدا شاخص‌ها را برای نواحی و بخش‌های این استان تفکیک کرده است. نتایج حاکی از آن بود که در دسترس بودن آب (به عنوان یک متغیر ساختگی برای نشان دادن اینکه آیا این ناحیه رودخانه بزرگی دارد که از آن عبور کند؟) یک متغیر توضیحی مهم است. در مطالعه رشد کشاورزی در ایالت‌های هند، Rada and Schimmelpfennig (۲۰۱۵) دریافتند که گسترش آبیاری، به ویژه از آب‌های زیرزمینی، باعث افزایش بهره‌وری کل عامل‌ها در سطح مزرعه می‌شود. از آنجا که به هزینه‌های آبیاری و پمپاژ در هند یارانه زیادی تعلق گرفته است و بنابراین به طور کامل در هزینه‌های ورودی مزرعه منعکس نشده‌اند، سود به دست آمده از اندازه‌گیری بهره‌وری کل عامل‌ها احتمالاً تا حدی ناشی از کم ارزش بودن هزینه واقعی آبیاری خواهد بود.

یافته‌های کلیدی. شاخص‌های بهره‌وری کل عامل‌ها در تلاش هستند تا همه ورودی‌ها را در فرآیند تولید وارد کنند و همچنین می‌توانند همه خروجی‌ها را در خود جای دهند. قیمت و هزینه‌ها به عنوان وزن محاسبه شاخص‌ها درج می‌شوند. زیربنای شاخص‌ها، توابع مختلف تولید هستند. این رویکردها مقایسه‌هایی را در طول زمان و همچنین در مقیاس‌های مختلف امکان‌پذیر می‌سازد، اما مقیاس‌ها مربوط به آب نیستند بلکه بیشتر مربوط به سطوح مختلف تجمیع تا سطح ملی (یا حتی جهانی) هستند. با توجه به فرضیات هر شاخص، تغییرات شناسایی شده معمولاً به تغییرات تکنولوژی نسبت داده می‌شوند.

اکثر مطالعاتی که جنبه‌های آب را در برگرفته بودند با تحلیل توسعه کشاورزی در سطح ملی یا محلی/ منطقه‌ای در ارتباط بودند. شکاف در داده‌های آب کشاورزی، از جمله هزینه فرصت اجتماعی آن، در این سطح باعث شده است که این مطالعات، آب را در قالب متغیرهای ساختگی (مانند اراضی آبیاری در مقابل اراضی دیم) بگنجانند. در حالی که این امر می‌تواند به روشن شدن چگونگی کمک به گسترش آبیاری در رشد کشاورزی بپردازد، نتیجه‌گیری‌های بعدی مربوط به تأثیر آب در الگوهای بهره‌وری کشاورزی دشوار است. جنبه‌های حفاظت از آب نیز ذکر نشده است. با این وجود، نیاز به یکپارچه‌سازی مصرف پایدار و مدیریت آب در سیاست‌گذاری های کشاورزی و تحقیقات مرتبط با بهره‌وری کشاورزی، زمانی به شدت احساس می‌شود که برای جلوگیری از مبادله بین رشد بهره‌وری در کوتاه مدت و بلند مدت که با کاهش تدریجی دارایی‌های منابع آب است، همراه باشد (OECD 2015). بازتاب این نگرانی، فراخوانی به عنوان بخشی از برنامه رهبران گروه G20 (۲۰۱۷)، برای گسترش چارچوب تحلیلی بهبود بهره‌وری آب کشاورزی و پایداری به منظور انطباق بیشتر جنبه‌های مرتبط با آب بود (G20 2017).

روش‌های مرزی

همانند شاخص‌های بهره‌وری کل عامل‌ها، روش‌های مرزی می‌توانند ورودی‌ها و خروجی‌های متعدد را به خود اختصاص دهند و بخشی از ادبیات بهره‌وری و کارآیی کشاورزی هستند. روش‌های مرزی با اندازه‌گیری عملکرد "واحدهای تصمیم‌گیری" از نظر چگونگی مدیریت تبدیل ورودی‌ها به خروجی‌ها، عمل می‌کنند. معیار سنجش عملکرد، کارآیی فنی است که اغلب به طور ضمنی با توانایی مدیریتی غیرقابل کنترل برابر است. کارایی فنی به عنوان پتانسیل کاهش ورودی یا پتانسیل توسعه خروجی، نسبت به مرجع "بهترین راه و رسم"[1] یا مرز کارآمد اندازه‌گیری می‌شود، که از ورودی‌های مشاهده شده و تحقق خروجی آنها ساخته شده است.

مروری بر رویکردها. روش‌های مرزی به دو دسته روش‌های پارامتری و غیرپارامتری طبقه‌بندی می‌شوند (Latruffe 2010). روش‌های پارامتری به تعیین مرز تولید و برآورد پارامترهای آن متکی هستند. تحلیل قطعی مرزی، پارامترهای مفروضی را کالیبره می‌کنند که به دلیل هرگونه انحراف ناکارآمد هستند. تحلیل تصادفی مرزی، پارامترها را از نظر اقتصادی ارزیابی می‌کنند و باعث می‌شوند هم ناکارآمدی و هم نوسانات آماری در داده‌ها مشخص شوند؛ این کار از طریق یک ساختار خطای مرکب، با یک جزء یک طرفه اندازه‌گیری ناکارآمدی و یک پارامتر متقارن دو طرفه برای ضبط نوسانات آماری مدل‌سازی شده است. مرزهای تولید تصادفی محدود به یک خروجی واحد در فرمول تولیدی خود هستند؛ با این وجود خروجی‌های متعدد حاصل جمع کردن مقادیر خروجی‌ها با استفاده از قیمت‌ها است به گونه‌ای که اندازه‌گیری واحد خروجی همان ارزش تولید محصولات کشاورزی است.

از طرف دیگر، روش‌های غیرپارامتری از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای ساختن یک مرز در فضای ورودی-خروجی استفاده می‌کنند. هدف استفاده از این روش محاسبه سطح ناکارآمدی به عنوان فاصله تا مرز کارآمد است. محبوب‌ترین روش برای انجام این کار تحلیل پوششی داده‌ها است. تحلیل پوششی داده‌ها می‌تواند با مقادیر مختلف خروجی‌های متعدد برخورد کند. با این حال، هنگامی که اندازه نمونه نسبت به تعداد متغیرهای ورودی و خروجی نسبتاً کم است، از تکنیک‌های مشابه جمع‌آوری مانند تحلیل مرزی تصادفی برای کاهش ابعاد مسئله استفاده می‌شود.

بررسی عمیق مطالعات مرزی در ادبیات اقتصاد تولید محصولات کشاورزی که شامل جنبه‌های آب است، براساس Scheierling et al. (۲۰۱۴) و Bravo-Ureta et al. (۲۰۱۶)

۱. Best Practice

منجر به یافت ۱۱۰ مطالعه مرتبط با آب شد. به جز ۱۰ مطالعه که از داده‌های جمع‌آوری شده برای یک منطقه استفاده می‌کردند، تمام مطالعات دیگر مبتنی بر مزرعه بودند. در اکثر مطالعات از متغیرهای نماینده برای کمیت آب استفاده شده است (مانند تعداد یا مدت زمان آبیاری یا مساحت یا درصد مساحت تحت آبیاری). فقط ۲۸ مطالعه اندازه‌گیری میزان استفاده از آب را شامل شده‌اند: در همه موارد منظور از استفاده از آب، مقدار آب به کار برده شده بود. برخی مطالعات از متغیرهای اضافی وابسته به آب (مانند میزان بارش یا متغیر ساختگی برای سیستم آبیاری) استفاده کردند.

از ۲۸ مطالعه، ۱۷ مورد شاخص عملکردی که خاص آب است را نشان دادند، از جمله: پاسخ خروجی به آب، راندمان فنی خاص آب (شکل ۳-۴)، کارایی هزینه فنی آبیاری یا ارزش سایه‌ای آب در کشاورزی آبی. در میان آن‌ها، ۱۱ مطالعه از تحلیل مرزی تصادفی استفاده کردند (۶ مطالعه ورودی محور و ۵ مطالعه دیگر خروجی محور)، ۶ مطالعه از تحلیل پوششی داده‌ها (۵ ورودی محور و ۱ خروجی محور)، و یک مطالعه از داده‌های تجمیعی استفاده کردند.

مطالعات McGuckin، Gollehon، and Ghosh (۱۹۹۲) و Karagiannis، Tzouvelekas، and Xepapadeas (۲۰۰۳) در اینجا برای اهداف ما از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هر دو مطالعه مدل‌سازی تصادفی مرزی را برای مزارع آبیاری بکار گرفتند و بر اهمیت تمایز بین کارایی آبیاری (همانطور که در ادبیات مهندسی آبیاری استفاده می‌شود) و کارآیی اقتصادی شامل کارایی فنی و تخصیصی تأکید کردند. آن‌ها متذکر می‌شوند که کارآیی آبیاری تنها یک بعد استفاده از ورودی است، این بعد شامل یک شاخص فیزیکی فناوری آبیاری با فرض یک سطح از مدیریت است، در حالی که کارآیی فنی و تخصیصی معیارهای توانایی مدیریت است[۱]. هر دو مطالعه شامل آب آبیاری (از نظر آب به کار برده شده) به عنوان یک متغیر دائمی هستند که به ذخیره آب آبیاری کشاورزان توجه دارند. با این حال، "ذخیره آب" که در اینجا مورد بحث قرار می‌گیرد به شکل کاهش مصرف آب به کار برده شده است و نه آب مصرفی، بنابراین پتانسیل عوامل محیطی فراتر از سطح مزرعه از نظر جریان برگشتی نادیده گرفته می‌شود.

McGuckin، Gollehon، and Ghosh (۱۹۹۲) از مشاهدات مزرعه برای تولیدکنندگان ذرت در یک منطقه همگن نبراسکا آمریکا استفاده کردند. در این منطقه

---

۱. در مقایسه با سیستم آبیاری جویچه، سیستم آبیاری بارانی می‌تواند مصرف آب را کاهش داده و کارایی آبیاری را افزایش دهد. اما در این صورت هزینه‌ها افزایش می‌یابد. با هزینه پایین آب، سیستم آبیاری بارانی از نظر تخصیصی و فنی ناکارآمد خواهد بود. در این حالت با بهبود مدیریت سیستم آبیاری بارانی به همان اندازه سیستم آبیاری جویچه، آب استفاده می‌کند و بنابراین از نظر فنی در مقایسه با سیستم جویچه مدیریت شده ناکارآمد هستند. (ص ۳۰۷-۳۰۶) McGuckin، Gollehon، and Ghosh (۱۹۹۲)

آب‌های زیرزمینی با استفاده از سیستم‌های ثقلی یا سیستم آبیاری بارانی به عنوان آبیاری مکمل استفاده شده است. آن‌ها مرز تولید را به عنوان یک مدل آبیاری Cobb-Douglas از نظر آب مورد استفاده تخمین زدند، این برآورد با توجه به شرایط خاک، بارش، و فناوری آبیاری که به عنوان متغیر برون‌زا هستند و مرز را تغییر می‌دهند، صورت می‌گیرد. این محققان فرض می‌کنند که ناکارآمدی فنی آبیاری به اطلاعات میدانی موجود بستگی دارد (به عنوان مثال، کنترل رطوبت خاک، گزارش وضعیت آب و هوا)، بنابراین، اطلاعات در مورد شرایط میدانی از سنسورهای رطوبت می‌تواند یک عامل مهم برای بهبود بهره‌وری فنی آبیاری باشد.

Karagiannis، Tzouvelekas، and Xepapadeas (۲۰۰۳) کارایی آب آبیاری را در مزارع با کشت گیاهان خارج از فصل (گلخانه) در Crete یونان اندازه‌گیری کردند. آن‌ها کارایی آب آبیاری را در راستای مفهوم مهندسی محور تعریف نمی‌کنند، بلکه از مفهوم کارآیی فنی خاص آب استفاده می‌کنند، این مفهوم به عنوان "نسبت حداقل امکان‌پذیر مصرف آب به مصرف آب مشاهده شده، مشروط به فناوری تولید و میزان مشاهده شده از میزان خروجی و سایر ورودی‌های مورد استفاده" تعریف می‌شود (صفحه ۵۸). آن‌ها خاطرنشان می‌کنند که صرفه‌جویی در هزینه مربوط به تنظیم آب آبیاری، در یک سطح فنی کارآمد به واسطه قیمت‌ها متفاوت خواهد بود. این تفاوت در حالی است که سایر ورودی‌ها و خروجی‌های دیگر را در سطح مشاهده شده نگه می‌دارند. درحالی که شاخص‌های کارایی فنی خروجی و ورودی محور، استفاده کارآمد از ورودی‌های منحصر به فرد را مشخص نمی‌کند، از تکنولوژی آبیاری و مقادیر سایر ورودی‌ها استفاده می‌کنند (ص ۶۰)[۱]. قابل ذکر است"کارآیی فنی خاص آب" یک شاخص تک عاملی ورودی محور است که اطلاعاتی را فراهم می‌کند، این اطلاعات در مورد این است که مصرف آب به چه میزان می‌تواند کاهش یابد بدون اینکه تغییری در خروجی صورت گیرد. نتایج تجربی نشان می‌دهد که کارایی فنی خاص آب به طور متوسط بسیار پایین‌تر از کارایی فنی خروجی محور است، که این موضوع نشان می‌دهد کشاورزان با توجه به وضعیت فعلی فناوری و استفاده از آب آبیاری به عنوان ورودی کارامدتر عمل می‌کنند. فناوری‌های مدرن گلخانه‌ای، آموزش و خدمات مازاد اصلی‌ترین عواملی هستند که به صورت مثبت درجه‌ای از کارایی فنی خاص آب را دارند.

یافته‌های کلیدی. ویژگی اصلی روش‌های مرزی، تابع تولید است که به عنوان بخشی از مدل‌سازی تخمین زده می‌شود. تمرکز آن‌ها بر کارایی فنی است. با این حال، با استفاده از داده‌های موجود، پیشرفت تکنولوژی نیز می‌تواند تخمین زده شود و از آن برای بیان

۱. نکته مشابهی توسط Barker، Dawe and Inocencio، ۲۰۰۳ در انتقاد از شاخص‌های بهره‌وری تک عاملی مطرح شد.

رشد خروجی استفاده شود. به طور کلی، مطالعات معدود مرزی در ادبیات اقتصاد تولید محصولات کشاورزی، مقدار استفاده از آب را شامل می‌شوند و در هر حالت منظور از استفاده از آب همان آب به کار برده شده است. این موضوع ممکن است به این واقعیت مربوط باشد که اکثر مطالعات در سطح مزرعه متمرکز شده‌اند و کاربرد آب، متغیر اصلی تصمیم‌گیری برای کشاورزان است. اما این امر تاکنون مانع توجه به عوامل محیطی مرتبط با آب مانند جریان‌های برگشتی شده است.

هدف اکثر مطالعات مرزی افزایش سطح خروجی کشاورزی یا درآمد با گذشت زمان (بسته به نحوه تعریف خروجی) و توصیه‌هایی در جهت افزایش میزان خروجی است. مطالعاتی که کارایی فنی خاص آب را برآورد می‌کنند معمولاً نشان می‌دهند که کاربردهای آب می‌تواند بدون تأثیر بر میزان خروجی کاهش یابد. ناکارآمدی توسط کمبود توانایی و دانش بیان می‌شود که می‌تواند با آموزش یا اطلاعات در مورد نیازهای آبیاری برطرف شود. در مورد تأثیر احتمالی مصرف واقعی آب و جریان‌های برگشتی بحث نشده است. برخی از مطالعات توصیه می‌کنند که به جای ارتقا فناوری باید بر فناوری‌های موجود مسلط شد، چرا که ارتقا فناوری لزوماً موجب افزایش کارایی فنی کلی و کارایی خاص آب نمی‌شود.

روش‌های قیاسی

روش‌های قیاسی چهارمین گروهی هستند که در ادبیات اقتصاد آب کشاورزی و آبیاری استفاده می‌شوند. مانند شاخص‌های بهره‌وری کل عامل‌ها و روش‌های مرزی، آن‌ها به دسته رویکردهای چند عاملی تعلق دارند. روش‌های قیاسی شامل یک فرآیند استدلال از کل به جز هستند (یعنی از مشاهدات گرفته تا روابط عمومی). همچنین روش‌های شاخص بهره‌وری کل عامل‌ها و روش‌های مرزی به تکنیک‌های استقرایی تکیه دارند و شامل یک فرآیند استدلال از جز به کل هستند. در اقتصاد آب آبیاری، روش‌های قیاسی با مصرف‌کنندگان فرضی آب شروع می‌شود و داده‌های کمی درمورد شرایط فیزیکی و مالی با مفروضاتی در مورد اهداف این کاربران (به عنوان مثال، سود یا حداکثر استفاده) برای تخمین میزان تولید، استفاده از آب، درآمد، هزینه‌ها و درآمد خالص ترکیب می‌شوند (Young 2005). یک نتیجه مستقیم از روش‌های قیاسی تخمین سهم آب آبیاری در تولید محصول و درآمد تولیدکنندگان است. نتایج ضمنی آن هم شامل شاخص‌های مختلف بهره‌وری آب است.

روش‌های قیاسی شامل طیف وسیعی از رویکردها است. شش روش اصلی در جدول ۴-۱ نشان داده شده است. در یک بررسی اخیر از روش‌های قیاسی در ادبیات اقتصاد آب

آبیاری، در ۳۵۴ مورد انتشار مجله‌ای یافت شد (Booker ۲۰۱۶). آن‌ها از برنامه‌های ساده کاربردی همچون حساب‌های درآمد و هزینه محصول گرفته تا روش‌های بهینه‌سازی استفاده شده در مزرعه و مقیاس‌های وسیع‌تر و مدل‌های سیستمی را شامل می‌شوند. چنین مدل‌هایی می‌توانند پیامدهای بهره‌وری محلی یا منطقه‌ای آب را برای پاسخگویی به شرایط هیدرولوژیکی و وابستگی متقابل کاربران (مدل‌های هیدرو-اقتصادی) و همچنین تعامل بخش مزرعه با اقتصاد وسیعتر(به عنوان مثال، مدل‌های موازنه عمومی با قابلیت محاسبه) گسترش دهند. این وسعت کاربردها نشانگر انعطاف‌پذیری ذاتی روش‌های قیاسی می‌باشد. این انعطاف‌پذیری بخاطر ترکیب عوامل مرتبط با سؤالات خاص مورد بررسی است و در عین حال آشکارا بیانگر محدودیت‌های فیزیکی و سایر محدودیت‌ها موثر در تولید مزرعه هستند. به دلیل توانایی روش‌های قیاسی در مدل‌سازی سناریوهای مختلف، همچنین از آنها برای تحلیل سیاست و برنامه‌ریزی پروژه استفاده می‌شود.

استنتاج برآوردهای بهره‌وری آب. روش‌های قیاسی مبتنی بر نتیجه‌گیری از کل (مثلاً حساب‌های درآمد و هزینه محصول) و استفاده از این نتایج به صورت جز هستند (به عنوان مثال، شرایط آینده مزرعه، از جمله در دسترس بودن آب). در حالت کل، همانند بودجه محصولات زراعی[1]، شاخص‌های بهره‌وری تک عاملی برای محصولات خاص است، در حالت جز پتانسیل اندازه‌گیری وزنی از ترکیب محصولات زراعی پیش‌بینی شده برای مزارع نماینده مشخص می‌شود. معیار فیزیکی (عملکرد در هر واحد آب) و همچنین معیار مربوط به قیمت خروجی (درآمد هر واحد آب) می‌تواند حاصل شود. تا آنجا که امکان قیمت‌گذاری تمام ورودی‌ها وجود داشته باشد، می‌توان شاخص‌های بهره‌وری چند عاملی ساده را محاسبه کرد، که این شاخص‌ها شامل هزینه‌های فرصت ورودی‌های غیرآبی (درآمد خالص در هر واحد آب) می‌شوند. این رویکرد متکی به ایده نسبت باقی‌مانده (در این روش مقدار کل ورودی‌های غیر آبی از مقدار کل تولید فعالیت‌های صنعتی یا کشاورزی کم می‌شوند)[2] پایه است: بهره‌وری از ورودی آب به لحاظ پولی، مشروط بر استفاده مشخص از ورودی‌های دیگر، همان درآمد خالص برای واحد تولید است که به عنوان تفاوت بین درآمد محصول و هزینه‌های فرصت محاسبه می‌شود. یک بحث مفصل، از جمله در مورد ورودی‌های غیرآبی و همچنین تجهیزات، نیروی کار، زمین، مدیریت و مهارت کارآفرینی، سرمایه اجاره‌ای و حقوق صاحبان سهام در مزرعه، در پژوهش Young (۲۰۰۵) آمده است.

۱. بودجه محصول زراعی شامل هزینه‌های تولید محصول، سودآوری و تقاضای نیروی کار و همچنین یک مرور کلی از نیازهای ورودی و نیروی کار می‌باشد (FAO).

۲. کاربرد روش نسبت باقی‌مانده در تعیین ارزش اقتصادی آب به عنوان کالای واسطه در کشاورزی و صنعت می‌باشد.

جدول ۴-۱: رویکردهای اصلی روش‌های قیاسی

طبقه‌بندی	خصوصیات
بودجه محصول زراعی	کاربرد نسبت باقیمانده پایه به تولید واحد
برنامه‌ریزی خطی و رویکردهای مرتبط	فعالیت‌های تولید گسسته؛ قطعی؛ مناطق تولید مستقل. اهداف شامل تولید، درآمد
برنامه‌ریزی عمومی ریاضی	تقاضای آب استنتاج شده یا قیمت خروجی متغیر؛ هدف غیرخطی؛ انتقال صریح آب
برنامه‌ریزی تصادفی/ پویا	برخورد صریح با ریسک؛ فعالیت‌های گسسته یا تقاضا
مدل‌های هیدرو-اقتصادی	اهداف اقتصادی با جزییات هیدرولوژیکی سازگار؛ یکپارچه
موازنه عمومی قابل محاسبه	نمایندگی سیستم کامل اقتصادی

منبع: Booker 2016؛ Young 2005

بیشتر کاربردهای روش قیاسی شامل استفاده از پاسخ رفتاری به نتایج انتخاب‌ها (از نظر درآمد خالص)، مانند ترکیب‌های زراعی و مصرف آب، است. سود خالص یک انگیزه مهم است و با توجه به تفاوت بین درآمد و هزینه به دست می‌آید. فرضیات رفتاری متداول شامل تولیدکنندگانی است که به دنبال بیشینه‌سازی درآمد، بیشینه‌سازی درآمد آستانه یا به حداقل رساندن ضرر در شرایط نامساعد هستند (مثلاً خشکسالی).

رویکردهای متکی بر روش‌های قیاسی از کاربردهای بودجه محصولات زراعی گرفته تا مدل‌های موازنه عمومی قابل محاسبه متغیر می‌باشند که این مدل‌ها به دنبال نشان دادن تعامل بین تولید آبیاری و اقتصاد وسیع‌تری هستند. به طور معمول، مدل‌های برنامه‌نویسی ریاضی (گاهی اوقات شامل هزاران فعالیت تولید ممکن) به دنبال نشان دادن طیف وسیعی از گزینه‌های پیش‌روی تولیدکنندگان و کشف پاسخ در مورد آن گزینه‌ها هستند. چنین مدل‌های برنامه‌نویسی، به صراحت نشان‌دهنده تولید محصولات خاص هستند و می‌توانند جزئیات قابل توجهی از ویژگی‌های فیزیکی آب آبیاری را نشان دهند. علاوه بر فعالیت‌های مشخص‌کننده فناوری آبیاری، حسابداری مصرف واقعی آب، جریان‌های برگشتی و اندرکنش آب‌های زیرزمینی در مشخصات مدل ادغام می‌شوند. با افزایش پیچیدگی هیدرولوژیکی و نهادی، مدل‌های هیدرو اقتصادی متمرکز بر استفاده از آب و تخصیص، معمولاً از تولید محصولات خاص و مناطق آبیاری شده با استفاده از

توابع تقاضا به دست می‌آیند. در این مدل‌های سیستم یکپارچه، وابستگی‌های متقابل بین مناطق مصرف‌کننده آب شفاف است، و شرایط سیاسی که در آن آب تخصیص داده می‌شود باید صریحاً بیان شود.

جدا از رویکردها، پاسخ‌های استنباط شده امکان محاسبه انواع شاخص‌های بهره‌وری تک عاملی و بهره‌وری چند عاملی متمرکز بر آب (به صورت آب برگشتی) را فراهم می‌کند، این پاسخ‌های استنتاج شده شامل هزینه فرصت ورودی‌های غیرآبی هستند. شاخص‌های بهره‌وری در جایی که جزییات تولید محصولات خاص نشان داده می‌شوند، را می‌توان از طریق محاسبات جزیی به دست آورد. در بسیاری موارد می‌توان با استفاده از جداول و یافته‌های مطالعات، میزان بهره‌وری تک عاملی یا چند عاملی را محاسبه کرد. در موارد دیگر که محققان کمتر به جزئیات تولید محصول نسبت به مصرف آب و برآورد درآمد توجه داشتند، ممکن است لازم باشد برای بازیابی ارقام تولید محصول (ارقامی که منجر به برآورد بهره‌وری آب می‌شود) از مدل اصلی استفاده شود.

در مواردی که تقاضای آب آبیاری به عنوان نقطه شروع برای نشان دادن نتایج آبیاری (به عنوان مثال، در اکثر مدل‌های هیدرو-اقتصادی) مورد استفاده قرار می‌گیرد، لازم است به مطالعاتی رجوع شود که بر اساس آن، تخمین تقاضا پایه‌گذاری می‌شود. این پایه‌گذاری برای بازیابی حالت‌های ضروری تولید به منظور تخمین شاخص بهره‌وری تک عاملی است. از آنجا که یکی از ویژگی‌های اصلی چنین مدل‌هایی قیمت سایه‌ای یا هزینه فرصت آب برای مناطق می‌باشد (به عنوان مثال، Vaux و Howitt 1984)، یک شاخص بهره‌وری درآمد خالص چند عاملی (به عنوان مثال، درآمد خالص برای هر واحد آب) از مدل همیشه موجود است. این شاخص به طور معمول در نتایج مدل گزارش می‌شود اما این تخمین‌های بهره‌وری مربوط به یک واریته از گونه‌های گیاهی است.

مروری بر رویکردها. روش‌های قیاسی با توجه به طبقه‌بندی جدول ۴-۱ در ادامه بیشتر مورد بحث قرار می‌گیرد.

بودجه محصول زراعی. بودجه زراعی را می‌توان به عنوان یک حالت خاص روش نسبت باقیمانده برای یک مورد با خروجی واحد در نظر گرفت. نسبت باقیمانده از نظریه نئوکلاسیک برگرفته شده است. به طور کلی، اگر عملکرد تولید و مقادیر سایر ورودی‌های دیگر مشخص باشد، و قیمت‌های دقیق را بتوان به تمام ورودی‌ها اختصاص داد (اما در اینجا فقط آب مدنظر است)، تولید اجازه می‌دهد تا نسبت باقیمانده ارزش کل محصول، به ورودی مورد نظر برسد. این امر به شما این امکان را می‌دهد که به ازای نقطه بهینه آب به کار برده شده، یک نقطه از درآمد خالص تولیدکننده را به دست آورید (Young 2005).

این رویکرد نقطه آغازی[۱] برای رویکردهای قیاسی پیچیده‌تر است که تغییرات در عرضه آب و موارد چند محصولی را در خود گنجانده است.

پارامترهای تابع تولید (فیزیکی) ممکن است الگوهای منطقه‌ای مصرف ورودی (برای مثال در مورد ورودی آب، الگوی مصرف آب برای هر محصول در هر منطقه متفاوت است) را برای یک محصول خاص یا مقادیر دیگری که برای تجزیه و تحلیل مناسب هستند، منعکس کند. استفاده از نرخ مصرف ورودی منطقه‌ای، کارایی فنی تولید را منعکس می‌کنند که غالباً مقدار آن کمتر از ۱ هست. در حالی که بهبود مدیریت می‌تواند عملکرد محصول را به مرز تولید نزدیکتر کند، بودجه محصول نمی‌تواند به راحتی منعکس‌کننده تغییر مدیریت یا مداخلات سیاستی منجر به افزایش کارآیی فنی باشد. اگر نهایتاً بهترین شیوه‌ها به عنوان نماینده درنظر گرفته شوند، در این صورت سطوح ورودی سازگار با کارایی فنی و تخصیصی استفاده می‌شود.

به منظور پرداختن به مسائل مربوط به بهره‌وری آب کشاورزی با استفاده از روش‌های قیاسی، راحت‌ترین کاربرد درنظر گرفتن بودجه محصول برای یک خروجی خاص است. اگر تولیدکنندگان دستورالعمل خاصی از وروی‌ها را دنبال می‌کردند و می‌توانستند ورودی‌ها و خروجی‌ها را با قیمت مشخص خرید و فروش کنند، در این صورت بودجه محصول، شاخص فیزیکی بهره‌وری آب (به عنوان مثال، kg/m3) و شاخص مبتنی بر درآمد ($/m3) و یک شاخص درآمد خالص (یا اقتصادی) ($/m3) را پیش‌بینی می‌کند. معیار درآمد خالص باقیمانده‌ای است که نشان‌دهنده درآمد پس از کم شدن هزینه‌های اقتصادی تولید است. این شاخص باقیمانده می‌تواند به عنوان یک معیار بهره‌وری چند عاملی تعبیر شود، زیرا اطلاعاتی راجع به کلیه ورودی‌ها از طریق استفاده از کل هزینه‌های تولید محصولات زراعی را شامل می‌شود. معیار درآمد خالص با درنظر گرفتن تمامی ورودی‌ها در شاخص بهره‌وری از جمله ارزش محصول تولیدی، کاربردی بودن یک روش خاص تولید محصول را نشان می‌دهد. شاخص بهره‌وری چند عاملی به شرح زیر است:

P ارزش واحد محصول ($ / کیلوگرم)
Q کل تولید (کیلوگرم)
Xi ورودی i ام
wi هزینه فرصت ورودی iام ($ / واحد)
X مقدار آب (m3)

---

۱. Building Block

درآمد و هزینه ممکن است ترکیبی از ورودی‌ها و خروجی‌های عرضه شده در بازار و یا آن‌هایی باشد که مستقیماً مصرف می‌شوند. درصورتی که فرض شود رویکرد بودجه زراعی، قیمت زمین همان قیمت اجاره‌ای آن بدون درنظر گرفتن آب آبیاری است، آنگاه می‌توان درآمد خالص برآورد شده از محصول زراعی را به عنوان معیاری از میانگین ارزش آب در تولید محصولات زراعی درنظر گرفت (Young 2005). در عمل محدودیت‌هایی در کاربرد بودجه محصول برای تجزیه و تحلیل بهره‌وری وجود دارد. این موارد شامل محدودیت داده‌ها، نحوه برخورد با ریسک و همچنین مسائل مفهومی در نسبت باقیمانده درآمد خالص است.

یک موضوع خاص ارزش‌گذاری مالی ورودی‌های قیمت‌گذاری نشده محصولات زراعی می‌باشد که شامل ورودی‌هایی مانند مدیریت و... است. درحالی که بازارهای اجاره‌ای محلی اغلب شاخص‌های معقول و منطقی را برای زمین‌های آبیاری شده و غیرآبیاری ارائه می‌دهند، ارزش‌گذاری کمی مدیریت ارائه شده توسط مالک زمین دشوار است. این مسئله مشکل ساز است زیرا مزایای مدیریت در مقایسه با درآمد خالص حاصل از تولید محصول (همانطور که توسط ادبیات روش‌های مرزی پیشنهاد شده است) به طور بالقوه بیشتر است. از آنجا که ورودی مدیریت به طور بالقوه قابل انتقال به سایر فعالیت‌های اقتصادی است، باید هزینه فرصت آن در بالاترین مقدار ممکن ارزش‌گذاری شود؛ با این حال، در عمل، این امر به ندرت قابل مشاهده است.

بسیاری از نهاده‌های تولید محصولات کشاورزی و هزینه‌های مرتبط با آن‌ها در کوتاه مدت ثابت هستند. هنگامی که هدف از نسبت باقیمانده، ارائه یک مقدار برای درآمد خالص از بهره‌وری آب در بلند مدت است، چنین هزینه‌های ثابتی باید علاوه بر هزینه‌های متغیر تولید، در نظر گرفته شوند. این امر زمانی از اهمیت بیشتری برخوردار است که از روش‌های مبتنی بر نسبت باقیمانده استفاده شود، هدف از این امر درنظر گرفتن ماندگاری اقتصادی تولید محصول آبی در یک منطقه‌ای است که در حال حاضر آبیاری نشده است. در این حالت کلیه هزینه‌های توسعه آبیاری از جمله هزینه‌های سیستم آبیاری باید به عنوان هزینه فرصت گنجانده شود. هنگامی که تمام هزینه‌های مربوطه درنظر گرفته شوند، درآمد خالص باقیمانده فقط می‌تواند به ورودی آب نسبت داده شود (Young 2005). این بهره‌وری اقتصادی محاسبه شده آب معمولاً به عنوان "ارزش اقتصادی آب" مورد توجه قرار می‌گیرد.

شاخص باقیمانده (یا درآمد خالص) ذاتاً نسبت به فرضیات پارامتر حساس هست. از آنجا که درآمد خالص، تفاوت بین برآورد پارامترها است عدم قطعیت در ارزش تخمینی

می‌تواند نسبتاً بزرگ باشد. این امر محدودیت رویکرد نیست بلکه بازتاب حساسیت اقتصادی تولید کشاورزی آبی به شرایط فیزیکی و اقتصادی است.

به طور کلی، تعداد محدودی از مطالعات در ادبیات به صراحت از نسبت باقیمانده صرفاً با بودجه‌های زراعی استفاده می‌کند، و شامل داده‌های عملکرد و مصرف آب هستند که امکان محاسبه بهره‌وری تک عاملی را فراهم می‌آورند. با این وجود، در برخی موارد، توضیحات مدل‌های برنامه‌نویسی در سطحی از جزئیات ارائه می‌شود که بودجه محصول اساسی را نشان می‌دهد. به عنوان مثال، Howe and Ahrens (۱۹۸۸) برآورد درآمد خالص برای هشت محصول آبی را در هشت زیر حوضه رودخانه کلرادو در ایالات متحده ارائه دادند، که این برآوردها تمام هزینه‌های متغیر و ثابت و تخمین‌های خود را برای توسعه منحنی عرضه اولیه به منظور بازتخصیص به مصارف سایر حوضه‌ها را شامل می‌شوند. از آنجا که داده‌های تولید و عملکرد ارائه شده است، می‌توان شاخص‌های بهره‌وری جایگزین را توسط محصول و زیرحوضه مقایسه کرد. نویسندگان مصرف واقعی آب را به عنوان معیار اندازه‌گیری آب استفاده می‌کنند. این موضوع به ویژه برای کاربرد در سطح حوضه رودخانه که درآن جریان‌های برگشتی توسط کاربران پایین دست مورد استفاده قرار می‌گیرد، مناسب است: بودجه محصول معمولاً میزان مصرف آب را از نظر آب به کاربرده شده در سطح مزرعه بیان می‌کند اما جریان‌های برگشتی بیش از حد مصرف واقعی به احتمال زیاد در پایین دست مورد استفاده کاربران قرار می‌گیرد و اثر متقابل آب‌های زیرزمینی از طریق نشت و جریان‌های مزرعه ممکن است دسترسی به آب‌های زیرزمینی محدود، لایه اشباع خاک یا کیفیت آب را تحت تأثیر قرار دهد. در همه این موارد بهتر است که در بودجه محصولات زراعی علاوه مقدار آب به کاربرده شده، مصرفی واقعی آب نیز لحاظ شود. Howe and Ahrens همچنین نشان می‌دهند که ترتیب ساده درآمد خالص (مبتنی بر شاخص‌های بهره‌وری از باقیمانده‌های بودجه محصول زراعی) یک شیب نزولی ناشی از تقاضای آب را تولید می‌کند. در این حالت (معمولی) متوسط بهره‌وری آب در حداقل مصرف مفید از ارزش حاشیه‌ای فراتر خواهد رفت.

برنامه‌ریزی خطی. غالباً مطلوب است که محصول آبیاری با انواع محصولات زراعی، شیوه‌های تولید و مقیاس‌های فراتر از سطح مزرعه در نظر گرفته شود. هدف سیاست‌گذاری می‌تواند شامل شناسایی ترکیباتی باشد که برای توسعه اقتصادی و حمایت از درآمد پایدار مزرعه مفید هستند (Bowen and Young ،e. g. ۱۹۸۵). یک چشم‌انداز سیاستی جایگزین، بر شناسایی گزینه‌های حفاظت از آب (Scheierling، Young و Cardon 2006)، یا فرصت‌هایی برای جابجایی آب آبیاری به منظور مصارف جدید متمرکز شده

است (Howe and Arens 1988). در هر دو حالت، درآمدها و هزینه‌های مربوط به بودجه به طور سیستماتیک برای مقایسه ترکیبات جایگزین محصولات زراعی، شیوه‌ها و مقیاس‌ها استفاده شده است.

برنامه‌ریزی خطی و رویکردهای بهینه‌سازی مرتبط، به طور گسترده‌ای برای انتخاب ترکیبات خاص محصولات زراعی و آبیاری تحت شرایط منابع ثابت مانند زمین و آب، مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طور رسمی، مدل‌های برنامه‌ریزی خطی با مجموعه فعالیت‌هایی که عملکردها، هزینه‌های ورودی، درآمد و کاربرد آب یا مصرف آب را برای گزینه‌های خاص آبیاری و محصولات کشاورزی توصیف می‌کنند، آغاز می‌شوند. ساده‌ترین فرمول، درجایی که زمین و آب منابع محدودکننده هستند، عبارتند از: بیشینه‌سازی Y، مشروط به فرمول که در آن Y درآمد خالص است، Xcrop مساحت منطقه کاشت یا برداشت برای هر محصول، Qcrop کل آب به کار برده شده برای هر محصول زراعی است، و Qtotal کل آب در دسترس برای کاربرد در مزرعه است. راه حل‌های برنامه‌ریزی برای بیشینه کردن درآمد، از ترکیبات فنی کارآمد فعالیت‌های زراعی بهره می‌برد. بنابراین در حالی که داده‌هایی که مدل‌ها براساس آن پایه‌گذاری می‌شوند، ممکن است خود نشان‌دهنده شیوه‌های تولید ناکارآمد (هر چند معمولی) باشند، راه حل‌های برنامه‌ریزی لزوماً از این فعالیت‌ها در ترکیبات کارآمد استفاده می‌کند. در بیشتر موارد، بسیاری از فعالیت‌های زراعی (کاشت، داشت و برداشت) در هیچ یک از راه حل‌های برنامه‌ریزی گنجانده نمی‌شود. به عنوان مثال، هنگام در نظر گرفتن یک محصول واحد که می‌تواند با سطوح مختلف استفاده از آب آبیاری یا فناوری‌های آبیاری مختلف تولید شود، تنها یکی از فعالیت‌ها زراعی، ممکن است در راه حل مدل برنامه‌ریزی استفاده شود. اگر یک فعالیت زراعی در مدل به یک ورودی نسبی بیشتر ارجاع داده شود آن فعالیت نسبت به سایر فعالیت‌ها، مقادیر کمتری از ورودی را استفاده می‌کند.

برنامه‌ریزی خطی فرض می‌کند که در هر بودجه محصول زراعی به ازای افزایش ورودی‌ها، همان مقدار افزایش خروجی حاصل می‌شود، که در این حالت با راه حل‌هایی که تولید را در هر مقیاس (مزرعه، منطقه و سطح حوضه) مشخص می‌کند ضمن توجه به عملکرد و محدودیت‌ها، بیشترین سود را ارائه می‌دهد. آن‌ها ممکن است با استفاده مقیاس‌های سالانه، فصلی، یا سایر مقیاس‌های زمانی توسعه یابند. به طور کلی، رویکردهای برنامه‌ریزی خطی می‌توانند به راحتی فاکتورهای زراعی و هیدرولوژیکی دقیق را در برگیرند، و برای درنظر گرفتن پاسخ‌های آبیار به تغییرات در دسترس بودن آب (از جمله بارندگی و آبیاری و همچنین کیفیت آب) یا خط مشی (به عنوان مثال قیمت‌گذاری)

مناسب هستند. مطالعات برنامه‌ریزی خطی، برداشت آب، رطوبت خاک و جریان برگشتی که در مفاهیم آبیاری رایج هستند مورد بررسی قرار می‌دهند.

برنامه‌ریزی ریاضی عمومی. برنامه‌ریزی ریاضی عمومی به طور معمول از مدل‌های برنامه‌ریزی خطی استفاده می‌کنند تا انواع اصلاحات رفتاری، نهادی و فیزیکی را ارائه دهند. در بیشتر این موارد، مفهوم بهره‌وری آب مبتنی بر درآمد خالص (یعنی "ارزش اقتصادی آب") نقش محوری دارد.

یک نوع دیگر از برنامه‌ریزی، برنامه‌ریزی مثبت ریاضی است، که به حل مسئله متداول کمک می‌کند و در آن نتایج مدل‌های بزرگ برنامه‌ریزی خطی به ندرت منجر به راه‌حل‌های منعکس‌کننده الگوهای محصول یا سایر رفتارها می‌شود. این اختلافات ممکن است ناشی از هزینه‌های بدون نظارت، جزئیات تولید، شرایط بازار و همچنین ملاحظات ریسک مربوط به عدم مدلسازی ریسک باشد. روش مدل‌سازی استاندارد شامل ترکیبی از محدودیت‌های زمین و توابع جریمه است که منجر به سخت‌گیری در مدل‌ها می‌شود. برای دور زدن این مشکل، برنامه‌نویسی مثبت ریاضی تدوین شده است که وجود ناهمگونی‌های بدون نظارت را تشخیص می‌دهد و این موارد را در یک روش خود کالیبراسیون گنجانیده است (Howitt 1995). این روش و رویکردهای مرتبط، امروزه در انواع مدل‌های برنامه‌نویسی مورد استفاده قرار می‌گیرد که به دنبال توصیف رفتار تولیدکننده در مقیاس مزرعه، منطقه‌ای و رودخانه‌ای هستند.

برنامه‌ریزی تصادفی و پویا. معمولاً بین درآمد و ریسک یک تعامل وجود دارد. گسترش متداول روش‌های برنامه‌ریزی خطی شامل جریمه ریسک در تابع هدف است که بعداً به طور معمول تفاوت بین درآمد خالص مورد انتظار و جریمه ایجاد شده، تغییر شکل ایجاد می‌کند. با در نظر گرفتن ریسک به عنوان واریانس درآمد، تابع هدف یک تابع درجه دو با متغیر تصمیم مصرف آب است و نتیجه آن نیز درجه دوم است. برنامه‌ریزی تصادفی یک روش جایگزین است که به طور خاص ریسک و عواقب رفاهی مختلف را نشان می‌دهد.

علاوه بر این، بعید است تصمیمات مربوط به مصرف آب که در مقاطع مختلف زمانی اتخاذ می‌شود، تأثیر مستقلی بر درآمد مزرعه داشته باشد. به عنوان مثال، آبیاری زود هنگام فصلی، سود عملکرد حاصل از آبیاری‌های بعدی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، حالت دیگر در مورد پمپاژ آب‌های زیرزمینی و مصرف آن‌ها در هر فصل است، که احتمالاً روی حالت آبخوان و هزینه‌های مربوط به آب در آینده تأثیر می‌گذارد. به طور مشابه، مشکلات مدیریت مخازن آب سطحی ذاتاً پویا هستند. فرمول‌های برنامه‌ریزی پویا وابسته به زمان

و یک روش بهینه‌سازی هستند که به طور گسترده در اقتصاد و ادبیات آب استفاده می‌شود. آن‌ها معمولاً تصمیم‌گیری را در تنظیمات تصادفی و پویا به عنوان برنامه‌ریزی تصادفی گسسته (DSP)[1] شکل می‌دهند، با قرار گرفتن DSP به صورت متوالی برنامه‌ریزی تصادفی متوالی گسسته (DSSP)[2] شکل می‌گیرد. کاربردهای معمول این نوع برنامه‌ریزی شامل تصمیم‌گیری در مورد آبیاری درون فصلی است که منابع آبیاری در مراحل مختلف رشد نامشخص است. کاربردهای بی‌شمار آن شامل استفاده تلفیقی از آب زیرزمینی، و کیفیت آب و مسائل مربوط زهکشی است.

مدل‌های هیدرو اقتصادی. از روش‌های قیاسی می‌توان برای ترکیب عوامل خارجی فیزیکی استفاده کرد، مانند مواردی که در تصویر ۳-۲ نشان داده شده است. مدل‌های هیدرو-اقتصادی روش‌هایی هستند که صریحاً ساختارهای هیدرولوژیکی تجربی را در نظر می‌گیرند (Booker et al. 2012؛ Harou et al. 2009). چنین مدل‌های یکپارچه به ویژه برای ارزیابی اثرات بهبود کارایی آبیاری از طریق گسترش سرمایه‌گذاری در فناوری آبیاری مفید هستند. این موضوع باعث می‌شود که برداشت آب و آب به کار برده شده کاهش یابد، در حالی که ممکن است میزان مصرف واقعی آب در همان سطح قبلی باقی بماند و حتی ممکن است افزایش یابد. این موارد در تئوری Huffaker and Whittlesey (۲۰۰۳) و با مدل‌سازی یکپارچه توسط Scheierling، Young، and Cardon (۲۰۰۶) and Ward and Pulido-Velazquez (۲۰۰۸) به اثبات رسید. به طور کلی، مدل‌های هیدرو اقتصادی به دنبال این هستند که تصور کنند که مصرف کنندگان آب به طور بالقوه از طریق فرآیندهای فیزیکی پیچیده، از جمله اندرکنش‌هایی که بین آب‌های سطحی و زیرزمینی وجود دارد، در ارتباط هستند. کاربرد اولیه از چنین رویکردی توسط Bredehoeft and Young (۱۹۷۰) انجام شد، که به بررسی گزینه‌های تخصیص برای نتایج بهتر در مورد آبیاری یک سیستم جریان آبخوان پرداختند و در آن کشاورزان می‌توانند از آب‌های زیر زمینی و سطحی استفاده کنند. اخیراً توسط Taylor et al. (۲۰۱۴) رفتار جریان‌های برگشتی به عنوان یک عامل خارجی فیزیکی مورد بررسی قرار گرفت.

مدل‌های موازنه عمومی قابل محاسبه. در حالی که مدل‌های هیدرو-اقتصادی ممکن است پیوندهای فیزیکی مهمی را در بر بگیرند، آن‌ها اکثراً مدل‌های موازنه جزئی از منظر اقتصادی هستند که در این مدل‌ها پیوندها با بخش‌های اقتصادی (مانند بازارهای کار) احتمالاً آشکارا نمایان نیست. رویکردهای موازنه عمومی لازم است تا بازخورد ناشی

۱. Discrete stochastic programs

۲. Discrete stochastic sequential programs

از تغییرات سطح مزرعه در اقتصاد گسترده‌تر، و برعکس را شامل شود. Roe و همکاران (۲۰۰۵) بحثی را در مورد موضوعات مرتبط و کاربرد یک مدل موازنه عمومی قابل محاسبه در مدیریت آب آبیاری ارائه دادند. برنامه‌ای که شامل استفاده تلفیقی از آب سطحی و زیرزمینی در مطالعه Diao و همکاران (۲۰۰۸) و کاربردهای جدیدتر در تحقیقات Luckmann (۲۰۱۶) می‌باشد. با این حال، در حرکت به سمت مدل‌های موازنه عمومی قابل محاسبه، بسیاری از پیوندها و تمایزات کلیدی، به عنوان مثال بین آب به کار برده شده و مصرفی غالبا از بین می‌رود. همچنین برخی از محدودیت‌های داده‌ای که مطالعات بهره‌وری کل عامل‌ها را به چالش می‌کشد ممکن است دوباره پدیدار شود.

یافته‌های کلیدی. روش‌های قیاسی از مجموعه‌ای از ابزارهای پرکاربرد و کامل برای ارزیابی میزان مصرف آب در کشاورزی آبی تشکیل شده‌اند. آن‌ها مبتنی بر تابع تولید محصول آبی هستند. معمولا نقطه شروع آن‌ها بودجه‌های زراعی (به ازای نقطه بهینه آب به کار برده شده، یک نقطه از درآمد خالص تولیدکننده را به دست می‌آورد (Young 2005). این رویکرد نقطه آغازی برای رویکردهای قیاسی پیچیده‌تر است که تغییرات در عرضه آب و موارد چند محصولی را در خود گنجانده است.) است که شامل ورودی‌های چندگانه و هزینه آن‌ها یا متناوبا تخمین تقاضای استنتاج شده که شامل هزینه‌های ورودی است. این رویکرد برخلاف شاخص بهره‌وری تک عاملی است که مصارف ورودی‌های غیر آبی را کنترل نمی‌کند. روش نسبت باقیمانده پایه (در این روش مقدار کل ورودی‌های غیر آبی از مقدار کل تولید فعالیت‌های صنعتی یا کشاورزی کم می‌شوند) برای برآورد درآمد خالص، بطور ویژه از کاربرد سایر ورودی‌ها به عنوان هزینه کسر می‌کند، که منجر به کاهش بهره‌وری درآمد خالص می‌شود و با افزایش استفاده از ورودی غیرآبی، افزایش می‌یابد. روش‌های قیاسی می‌توانند به عنوان روشی برای توسعه مجموعه وزنی همگن از ورودی‌ها و خروجی‌های جمع شده، درنظر گرفته شوند. با توجه به این موضوع، شاخص‌های بهره‌وری درآمد خالص استفاده از آب، با رویکردهای بهره‌وری کل عامل‌ها ارتباط نزدیکی دارد.

مسائل محوری برای روش‌های قیاسی، فرضیاتی در مورد رفتار آبیارها هستند. به عنوان مثال، آبیاران ممکن است با توجه به آستانه درآمد، ریسک را به حداقل برسانند. رفتار و ترجیحات تولیدکننده باید در ارزیابی صحیح استفاده از آب کشاورزی به صراحت مورد توجه قرار گیرد و روش‌های قیاسی رویکردهای متنوعی را برای تحقق این امر فراهم می‌کنند.

منابع چندگانه داده‌ها را می‌توان در روش‌های قیاسی درنظر گرفت. درحالی که برای نقطه شروع می‌توان از بودجه‌های زراعی استفاده کرد، از نتایج تجربی مانند رفتار آبیاران در گذشته نیز، می‌توان بهره جست. به عنوان مثال، شاخص بهره‌وری تک عاملی گزارش شده

از آزمایش‌های میدانی را می‌توان در کارهای نسبت باقیمانده بعدی به کاربرد. استفاده از داده‌های تولیدکننده از مطالعات مرزی به عنوان منبع جایگزین در فعالیت‌های تولید برنامه‌ریزی خطی، مشروط به کاربرد ورودی دقیق از تولید محصول خاص است. علاوه بر این، روش‌های قیاسی محدود به شیوه‌های موجود نیست، بلکه می‌تواند گزینه‌های پیشنهادی را نیز شامل شوند و آنها را ارزیابی کنند.

هر یک از اندازه‌گیری‌های کمیت آب می‌تواند در رویکردهای قیاسی گنجانیده شود. رویکردهای پیچیده‌تر از مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی (از مزرعه تا منطقه، گرفته تا حوضه و اقتصاد وسیع) استفاده می‌کنند. با گسترش مقیاس مکانی عوامل خارجی فیزیکی در آبیاری به شدت اهمیت می‌یابند. مدل‌های هیدرو-اقتصادی به این وابستگی‌های توجه می‌کنند.

روش‌های قیاسی برای پرداختن به موضوعات مرتبط با اهداف مختلف مناسب هستند، این اهداف برای مثال عبارتند از افزایش تولید کشاورزی آبی، مشخص کردن راهکارهای صرفه‌جویی در مصرف آب و ارائه بینش از نقش تولید آبیاری در حمایت از درآمد و توسعه اقتصادی.

بر خلاف شاخص‌های بهره‌وری از نظر فیزیکی، روش‌های قیاسی به طور مستقیم تولید فیزیکی را از نظر اقتصادی با استفاده از نسبت باقیمانده ارزش‌گذاری می‌کنند به این صورت که یک تخمین درآمد خالص که ارزش اقتصادی را به تولید نسبت می‌دهد، ارائه می‌دهند. این امر یک نقطه شروع مهم برای دستیابی سهم درآمدهای خالص مزرعه و توسعه اقتصادی است که می‌تواند ناشی از تولید محصولات خاص آبی باشد. در جایی که حفاظت از آب یک هدف اصلی است، تفاوت مشخص بین تولیدات حاشیه‌ای و متوسط تولید، منجر به سیاست‌گذاری اضافی می‌شود.

مشخصات روش‌ها با استفاده از ویژگی‌های کلیدی

تجزیه و تحلیل چهار روش اصلی در بخش قبل، طیف وسیعی از رویکردها و تکنیک‌ها و کاربردهای آن‌ها در بسیاری از مطالعات با چشم اندازهای مختلف را نشان داد. این امر تعمیم آن را دشوار می‌کند، با این وجود می‌توان هنگام مقایسه هر یک از آن‌ها با برخی از ویژگی‌های کلیدی که برای تحلیل مهم است، بینش‌های کلی‌تری را از این روش‌ها استخراج کرد.

ویژگی‌های کلیدی. ویژگی اول پیشینه روش است. این ویژگی اطلاعاتی را در مورد زمینه تحقیق ارائه می‌دهد که در آن یک روش خاص بیشتر استفاده شده است. همچنین

رویکرد تحلیلی اصلی و تمرکز بر تحلیل روش را توصیف می‌کند. ویژگی دیگر مشارکت است. با توجه به ویژگی‌های خاص و مسائل مربوط به اندازه‌گیری آب، روش‌ها برای در نظر گرفتن آب به عنوان ورودی از راه‌های مختلفی استفاده می‌کنند. مطلوب‌ترین گزینه در نظر گرفتن مقداری از کمیت آب است که به خوبی تعریف شده است. پیچیده‌ترین روش درنظر گرفتن و تمایز بین کلیه مفاهیم اساسی شامل برداشت آب، کاربرد آب و مصرف آب است. ویژگی سوم، که مربوط به ویژگی‌های خاص آب است، درنظر گرفتن مقیاس مکانی و زمانی مناسب برای تجزیه و تحلیل می‌باشد. به عنوان مثال، در بعضی از تنظیمات هیدرولوژیکی، تمرکز روی سطح مزرعه یا زمین ممکن است بسیار محدودکننده باشد، به خصوص هنگامی که مسائل مربوط به جریان برگشتی نقش مهمی را ایفا می‌کنند و کاربران پایین دست به آن وابسته هستند. به طور مشابه، اگر مقیاس زمانی محدود به یک فصل برداشت کامل باشد، موضوعات مهم در طول یک فصل، مانند زمان تأمین آب در دوره رشد یک محصول خاص و اثرات عملکرد متفاوت ممکن است با جزئیات کافی درنظر گرفته نشود. سرانجام، ویژگی چهارم ارزیابی بهره‌وری و کارآیی آب کشاورزی است. این ویژگی شامل منابع اصلی داده‌ها، و اینکه آیا روش (به صورت صریح یا ضمنی) دارای تابع تولید (پایه) محصول آبی است یا خیر، می‌باشد. این ویژگی همچنین به چگونگی درک و کاربرد اصطلاحات بهره‌وری و کارآیی اشاره می‌کند و اینکه به کدام جنبه‌های مفاهیم بهره‌وری و کارایی تأکید می‌شود. همچنین این موضوع را درنظر می‌گیرد که آیا ورودی‌ها و خروجی‌های گوناگون و قیمت‌ها و هزینه‌ها در آن گنجانده شده است یا خیر.

برخی از دیدگاه‌ها در مورد روش‌ها. جدول ۴-۲ خصوصیات روش‌ها را توسط ویژگی‌های کلیدی نشان می‌دهد. به طور کلی، هر یک از روش‌ها با توجه به این ویژگی‌ها، محدودیت‌هایی را دارند.

قدرت مطالعات بهره‌وری تک عاملی، تمرکز ویژه آن‌ها بر روی آب و ترکیب شاخص‌های مختلف استفاده از آب است که اغلب بیش از یک اندازه‌گیری را در نظر می‌گیرند. آن‌ها همچنین می‌توانند در مقیاس‌های مختلف مکانی، اعم از مزرعه تا حوضه و حتی در سطح جهانی استفاده شوند. شاخص‌های بهره‌وری تک عاملی، که در نسبت محصول به ازای هر قطره بیان شده‌اند، تمایل به یافتن تغییرات زیادی در بهره‌وری آب کشاورزی دارند، اما معمولاً به طور تجربی عواملی که ممکن است یافته‌های مختلف را توضیح دهد، را نمی‌کنند. استفاده از این چنین تدابیری، که در آن همه تغییرات در خروجی به ورودی آب نسبت داده می‌شود، مسئله‌ساز است، به ویژه هنگامی که آنها شامل توصیه‌های لازم برای کاهش "شکاف" بین نسبت‌های خروجی و ورودی در مکان‌های مختلف هستند. این

شاخص‌ها اثر ارتباط یا سایر ورودی‌ها را (از جمله تأثیرات زیست محیطی)، و همچنین قیمت‌ها یا هزینه‌ها و منابع مختلف بهره‌وری را نیز درنظر نمی‌گیرند.

شاخص‌های بهره‌وری کل عامل‌ها و مدل‌های مرزی، به عنوان رویکردهای چندعاملی از برخی از مشکلات ناشی از شاخص‌های بهره‌وری تک عاملی جلوگیری می‌کنند. با این وجود، آن‌ها کاستی‌های مربوط به خود را در هنگام ترکیب ابعاد آب و ارائه دیدگاه‌هایی درمورد چگونگی استفاده از آب با بهره‌وری بیشتر، نشان می‌دهد. مطالعات بهره‌وری کل عامل‌ها، که معمولاً در سطح ملی اعمال می‌شود، به دلیل مشکلات داده، آب را به عنوان ورودی جداگانه درنظر نمی‌گیرند. مطالعات محدودی در سطوح محلی، مانند سطح بخش، ابعاد آب را به عنوان متغیرهای ساختگی درنظر می‌گیرند و ممکن است، به عنوان مثال نشان دهد که در دسترس بودن آب (در ارتباط با سایر عوامل) یک ورودی مهم و مرتبط با رشد بهره‌وری کل عامل‌ها است.

مطالعات روش مرزی تمایل دارند مبتنی بر داده‌های سطح مزرعه باشند و همچنین بیشتر بر کارآیی فنی متمرکز شوند. البته استثنائاتی هم وجود دارد، مانند مواردی که آن‌ها شامل ابعاد کیفی آب به عنوان متغیرهای ساختگی هستند. در اکثر مطالعات، علاوه بر میزان ناکارآمدی، اهمیت و شدت عواملی که ممکن است باعث این ناکارآمدی شوند، را مورد بررسی قرار می‌دهد. بسته به مورد خاص، مطالعات روش مرزی نشان می‌دهند که ابعاد آب (مانند در دسترس بودن آب، زیرساخت‌های آبیاری، محل مزارع در امتداد کانال یا تمهیدات مدیریت آب کشاورزان) از نظر کارایی فنی نقش مهمی را ایفا می‌کنند. دو مطالعه مدل مرزی، توسط McGuckin، Gollehon، and Ghosh (۱۹۹۲) و Karagiannis، Tzouvelekas، and Xepapadeas (۲۰۰۳)، برجسته است: آن‌ها به طور خاص کارایی آب آبیاری را از نظر اقتصادی بررسی می‌کنند، و سعی می‌کنند پتانسیل ذخیره آب را تخمین بزنند. با این حال، هر دو مطالعه به این مورد محدود هستند که تنها یک اندازه‌گیری از مصرف آب در سطح مزرعه، یعنی همان آب به کار برده شده را درنظر می‌گیرتد و فرض می‌کنند که هرگونه کاهش در این اندازه‌گیری می‌تواند به معنای کاهش "تلفات" آب و در نتیجه ذخیره آب باشد. این امر لزوماً در مواردی که جریان برگشتی برای مصرف‌کنندگان پایین دست مهم باشد، اتفاق نمی‌افتد-حتی اگر کارایی آبیاری به جای اصطلاح مهندسی در اصطلاح اقتصادی در نظر گرفته شده باشد.

به نظر می‌رسد با استفاده از شاخص‌های بهره‌وری کل عامل‌ها یا روش‌های مرزی هنوز رویکردی شامل ورودی‌ها و خروجی‌های متعدد و همچنین مسائل مربوط به سطح حوضه تا به حال ارائه نشده است.

روش‌های قیاسی می‌توانند برخی از کاستی‌های روش‌های دیگر را برطرف کنند. آن‌ها می‌توانند چندین عامل و چندین خروجی وهمچنین تمامی اندازه‌گیری‌های کمی آب را شامل شوند. روش‌های قیاسی می‌توانند در هر مقیاس مکانی استفاده شوند و در صورت اتصال با مدل‌های هیدرولوژیکی، مسائل مربوط به سطح حوضه را در بر می‌گیرند. آن‌ها همچنین درمورد مقیاس‌های زمانی انعطاف‌پذیر هستند. طیف وسیعی از داده‌ها قابل استفاده برای روش‌های قیاسی هستند. آن‌ها بیشتر بر پایه داده‌های ثانویه هستند که برای تدوین شیوه‌های تولید آبی به عنوان "نماینده" استفاده می‌شوند. با این حال آن‌ها همچنین قادرند گزینه‌های پیشنهادی را نیز در برگیرند. این امر اجازه می‌دهد تا از آن‌ها برای ارزیابی‌های قبلی از تخصیص آب و گزینه‌های سیاست‌گذاری به شیوه‌ای جامع استفاده کرد. درحالی که روش‌های قیاسی به صراحت به شاخص‌های تولیدی توجه نمی‌کنند، می‌توان آن‌ها را به روشی محاسبه کرد که شامل همه عوامل و برآوردهای عمومی ارزش اقتصادی آب باشد.

از آنجا که نقطه شروع روش‌های قیاسی الگوهای مصرف ورودی به عنوان نماینده برای محصول خاص هستند که به احتمال زیاد نقاط کارآیی فنی لازم در مرز تولید را نشان نمی‌دهند، به همین خاطر این روش‌ها نمی‌توانند به راحتی منعکس‌کننده تغییرات مدیریتی یا مداخلات سیاستی منجر به افزایش راندمان فنی، باشند.

جدول ۴-۲: مشخصات روش‌ها با استفاده از ویژگی‌های کلیدی

	شاخص بهره‌وری تک عاملی	شاخص بهره‌وری کل عامل‌ها	روش‌های مرزی	روش‌های قیاسی
پیشینه روش				
زمینه تحقیق	مهندسی آبیاری، زراعت	اقتصاد تولید محصولات کشاورزی (آنالیز کارایی و بهره‌وری)	اقتصاد تولید محصولات کشاورزی (آنالیز کارایی و بهره‌وری)	کشاورزی و آبیاری / اقتصاد آب
رویکرد تحلیل	محاسبه نسبت‌ها (از نظر فیزیکی یا اقتصادی)	تحلیل اقتصادسنجی	تحلیل بهینه‌سازی یا اقتصادسنجی	معمولا بهینه‌سازی

تمرکز تحلیل‌ها	"آنالیز شکاف" مربوط به نسبت‌ها	تمرکز بر تغییرات فناوری	معمولا ارزیابی کارایی فنی واحدهای تصمیم‌گیری	آنالیز سیاست "چه می‌شود- اگر"
مشارکت آب				
اندازه‌گیری مصرف آب	آب برداشت شده، آب به کار برده شده، آب مصرف شده	معمولا متغیرهای نماینده (مانند زمین آبیاری شده)	اغلب متغیرهای نماینده (مانند تعداد دفعات آبیاری و همچنین آب به کار شده)	آب برداشت شده، آب به کار برده شده، آب مصرف شده
درنظر گرفتن مقیاس‌ها				
مقیاس مکانی	زمین؛ با تجمیع در "اصطلاحات اقتصادی" همچنین مزرعه و حوضه	سطح ملی (همچنین اخیرا محلی)	واحد تصمیم‌گیری، بیشتر مزرعه (همچنین منطقه‌ای)	زمین، مزرعه، منطقه، حوضه، پهنه اقتصادی
مقیاس زمانی	معمولاً فصل برداشت	سالانه	فصل برداشت؛ چند ساله	مقیاس‌های متفاوت، شامل پیش‌بینی‌ها
ارزیابی بهره‌وری و کارایی آب کشاورزی				
پایگاه داده	داده‌های اندازه‌گیری شده و مدل شده	داده‌های اندازه‌گیری شده/ تجمعی	داده‌های اولیه متنوع در بین مزارع	محدوده پایگاه داده‌ها، بیشتر داده‌های ثانویه
تابع تولید پایه	ندارد	دارد (مبتنی بر شاخص‌ها)	دارد (تابع ممکن است برآورد شده باشد)	دارد (اغلب ضمنی)

مفاهیم بهره‌وری و کارایی	نقطه‌ای که در آن مفهوم بهره‌وری فراتر از کارایی آبیاری کلاسیک است	مفاهیم بهره‌وری و کارایی از تئوری اقتصاد	مفاهیم بهره‌وری و کارایی از تئوری اقتصاد؛ با تمرکز بر کارایی فنی چند ساله	صریحاً به بهره‌وری مرتبط نیست، اما اقدامات می‌تواند تخمین زده شود؛ کارایی فنی صریحاً مورد توجه قرار نمی‌گیرد
ورودی‌ها	تمرکز بر ورودی آب (نادیده گرفتن سایر ورودی‌ها)	شامل همه ورودی‌ها (عرضه شده در بازار)	شامل همه ورودی‌های مرتبط با واحدهای تصمیم‌گیری	شامل همه ورودی‌ها
خروجی‌ها	تمرکز بر خروجی یک محصول (اقدامات "اقتصادی" که ممکن است شامل خروجی دیگری شود)	شامل همه خروجی‌ها (موجود در بازار)	خروجی واحد غالباً رایج است، اما شامل خروجی‌های چندگانه هم می‌تواند باشد؛ خروجی غالباً به عنوان یک پارامتر درآمد اندازه‌گیری می‌شود	شامل خروجی‌های چندگانه (در سطوح مزرعه و حوضه)
قیمت‌ها و هزینه‌ها	قیمت‌های خروجی مورد استفاده برای تجمیع در اقدامات "اقتصادی" (می‌تواند شامل هزینه‌های ورودی هم باشد)	قیمت و هزینه‌های استفاده شده برای تجمیع	روش‌های مرزی از هزینه، سود یا درآمد بیان شود	شامل قیمت و هزینه منطقه‌ای

References

Ahmad، M. D.، M. Giordano، H. Turral، I. Masih، and Z. Masood. 2007a. Lessons from ؟"At What Scale Does Water Saving Really Save Water the Use of Resource Conservation Technologies in Pakistan. " Soil and .Water Conservation 62 (2): 29A-35A

2007b. Water Saving Technologies: Myths and Realities .——— Revealed in Pakistan's Rice-Wheat Systems. Colombo، Sri Lanka: .(International Water Management Institute (IWMI

Ahmad، M. D.، I. Masih، and M. Giordano. 2014. "Constraints and Opportunities for Water Savings and Increasing Productivity through Resource Conservation Technologies in Pakistan. " Agriculture، .15-Ecosystems and Environment 187: 106

Alston، J. M.، B. A. Babcock، and P. G. Pardey، eds. 2010a. The Shifting Patterns of Agricultural Production and Productivity Worldwide. Ames، .IA: The Midwest Agribusiness Trade Research and Information Center

2010b. "Shifting Patterns of Agricultural Production and .——— Productivity: Synthesis and Conclusion. " In The Shifting Patterns of Agricultural Production and Productivity Worldwide، edited by J. M. Ames، IA: The Midwest .95-Alston، B. A. Babcock، and P. G. Pardey، 63 .Agribusiness Trade Research and Information Center

Alston، J. M.، and P. G. Pardey. 2014. "Agriculture in the Global Economy. .46-" Journal of Economic Perspectives 28 (1): 121

Antle، J. M.، and S. M. Capalbo. 1988. "Introduction and Overview. " In Agricultural Productivity: Measurement and Explanation، edited by S. Washington، DC: Resources for the .14-M. Capalbo and J. M. Antle، 1 .Future

Barker، R.، D. Dawe، and A. Inocencio. 2003. "Economics of Water Productivity in Managing Water for Agriculture. " In Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement، edited by Wallingford، UK: CAB .36-J. W. Kijne، R. Barker، and D. Molden، 19 .International

Bastiaanssen، W. G. M.، and P. Steduto. 2017. "The Water Productivity Score (WPS) at Global and Regional Level: Methodology and First Results from Remote Sensing Measurements of Wheat، Rice and .611-Maize. " Science of the Total Environment 575: 595

Booker، J. 2016. "Deductive Methods and Agricultural Water Productivity: Literature Review and Critique. " Unpublished background report for the .Water Global Practice، World Bank، Washington، DC

Booker، J. F.، R. E. Howitt، A. M. Michelsen، and R. A. Young. 2012. "Economics and the Modeling of Water Resources and Policies. "

.218-Natural Resource Modeling 25 (1): 168

Bowen، R. L.، and R. A. Young. 1985. “Financial and Economic Irrigation Net Benefit Functions for Egypt’s Northern Delta. ” Water Resources .35-Research 21 (9): 1329

Bravo-Ureta، B. E.، R. Jara-Rojas، M. A. Lachaud، and V. H. Moreira. 2016. “Agricultural Productivity and Water: Evidence from the Frontier. ” Unpublished background report for the Water Global Practice، World .Bank، Washington، DC

Bredehoeft، J. D.، and R. A. Young. 1970. “Temporal Allocation of Groundwater: A Simulation Approach. ” Water Resources Research 6، .12-1

Cai، X.، B. R. Sharma، M. A. Matin، D. Sharma، and S. Gunasinghe. 2010. An Assessment of Crop Water Productivity in the Indus and Ganges River Basins: Current Status and Scope for Improvement. .(Colombo: International Water Management Institute (IWMI

Chalmers، K.، J. Godfrey، and B. Potter. 2012. “Discipline-Informed Approaches to Water Accounting. ” Australian Accounting Review 22 .85-(3): 275

Coelli، T.، D. S. Prasada Rao، C. O’Donnell، and G. Battese. 2005. An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis. 2nd ed. New York: .Springer

Conradie، B.، J. Piesse، and C. Thirtle. 2009. “District-Level Total Factor -Productivity in Agriculture: Western Cape Province، South Africa، 1952 .80-Agricultural Economics 40: 265 “ .2002

Diao، X.، A. Dinar، T. Roe، and Y. Tsur. 2008. “ HYPERLINK “https: //econpapers. repec. org/article/ blaagecon/ htm” A General .135-v_3a38_3ay_3a2008_3ai_3a2_3ap_3a117 Equilibrium Analysis of Conjunctive Ground and Surface Water Use with .35-an Application to Morocco. ” Agricultural Economics 38 (2): 117

Eckstein، O. 1958. Water Resource Development: The Economics of Project Evaluation. Vol. 104. Harvard Economic Studies. Cambridge، .MA: Harvard University Press

Escriva-Bou، A. H. McCann، E. Hanak، J. Lund، and B. Gray. 2016. Accounting for California’s Water. San Francisco، CA: Public Policy .Institute of California، Water Policy Center

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2016. “AQUASTATMain Database. ” FAO، Rome (accessed April 1، 2017)، .www. fao. org/nr/water/aquastat/main/index. stm

Fuglie، K. O. 2010a. “Indonesia: From Food Security to Market-Led Agricultural Growth. ” In The Shifting Patterns of Agricultural Production

and Productivity Worldwide، edited by J. M. Alston، B. A. Babcock، Ames، IA: The Midwest Agribusiness Trade .77-and P. G. Pardey، 343 .Research and Information Center

2010b. “Total Factor Productivity in the Global Agricultural .——— Economy: Evidence from FAO Data. ” In The Shifting Patterns of Agricultural Production and Productivity Worldwide، edited by J. M. Ames، IA: The Midwest .95-Alston، B. A. Babcock، and P. G. Pardey، 63 .Agribusiness Trade Research and Information Center

Fuglie، K. O.، S. L. Wang، and V. E. Ball. 2012a. “Introduction to Productivity Growth in Agriculture. ” In Productivity Growth in Agriculture: An International Perspective، edited by K. O. Fuglie، S. L. Wang، and V. .Wallingford، CT: CAB International .12-E. Ball، 1

2012b. Productivity Growth in Agriculture: An International .——— .Perspective. Wallingford، CT: CAB International

G20 (Group of Twenty). 2017. G20 Agriculture Ministers’ Action Plan 2017—Towards Food and Water Security: Fostering Sustainability، .Advancing Innovation. Berlin: G20

Giordano، M.، H. Turral، S. M. Scheierling، D. O. Tréguer، and P. G. McCornick. 2017. Beyond “More Crop per Drop”: Evolving Thinking on Agricultural Water Productivity. IWMI Research Report 169. Colombo، Sri Lanka: International Water Management Institute، and Washington، .DC: World Bank

Gollop، F. M.، and G. P. Swinand. 1998. “From Total Factor to Total Resource Productivity: An Application to Agriculture. ” American Journal .83-of Agricultural Economics 80: 577

Harou، J. J.، M. Pulido-Velazquez، D. E. Rosenberg، J. Medellín-Azuara، J. R. Lund، R. E. Howitt. 2009. “Hydro-Economic Models: Concepts، Design، Applications، and Future Prospects. ” Journal of Hydrology 375 .43-627 :(4-(3

Howe، C. W.، and W. A. Ahrens. 1988. “Water Resources of the Upper Colorado River Basin: Problems and Policy Alternatives. ” In Water and Edited by M. T. El- .232-Arid Lands of the Western United States، 169 .Ashry and D. C. Gibbons. New York: Cambridge University Press

Howitt، R. E. 1995. “Positive Mathematical Programming. ” American .42-Journal of Agricultural Economics 77 (2): 329

Huffaker، R.، and N. Whittlesey. 2003. “A Theoretical Analysis of Economic Incentive Policies Encouraging Agricultural Water Conservation. ” .53-International Journal of Water Resources Development 19 (1): 37

Karagiannis، G.، V. Tzouvelekas، and A. Xepapadeas. 2003. “Measuring Irrigation Water Efficiency with a Stochastic Production Frontier. ” .72-Environment and Resource Economics26: 57

Kijne، J. W.، R. Barker، and D. Molden، eds. 2003. Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series 1. Wallingford، Colombo، Sri Lanka: International Water Management ؛UK: CABI .(Institute (IWMI

Latruffe، L. 2010. “Competitiveness، Productivity and Efficiency in the Agricultural and Agri-food Sectors. ” OECD Food، Agriculture and .Fisheries Papers 30، OECD Publishing، Paris

Luckmann، J. 2016. “Editorial—Special Issue on Economy-Wide Models of Water Development and Management. ” Water Economics and Policy .2 (4): 1602003

McGuckin، T.، N. Gollehon، and S. Ghosh. 1992. “Water Conservation in Irrigated Agriculture: A Stochastic Production Frontier Model. ” Water .12-Resources Research 28 (2): 305

Molden، D. 1997. “Accounting for Water Use and Productivity. ” System-Wide Initiative for Water Management (SWIM) Paper 1، International .Water Management Institute، Colombo، Sri Lanka

ed. 2007. Water for Food، Water for Life: A Comprehensive ،——— Assessment of Water Management in Agriculture. London: Earthscan .and International Water Management Institute

Molden، D.، H. Murray-Rust، R. Sakthivadivel، and I. Makin. 2003. “A Water-Productivity Framework for Understanding and Action. ” In Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement، Wallingford، UK: .18-edited by J. W. Kijne، R. Barker، and D. Molden، 1 .CAB International

Molden، D.، and T. Y. Oweis. 2007. “Pathways for Increasing Agricultural Water Productivity. ” In Water for Food، Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture، edited by D. Molden، London: Earthscan and International Water Management .310-279 .Institute

Molden، D.، and R. Sakthivadivel. 1999. “Water Accounting to Assess Use and Productivity of Water. ” International Journal of Water Resources .71-55 :(2-Development 15 (1

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2015. Analyzing Policies to Improve Agricultural Productivity Growth، .Sustainably. Draft Framework. Paris: OECD

Oweis، T. Y.، and A. Y. Hachum. 2003. Improving Water Productivity in the Dry Areas of West Asia and North Africa. In Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement، edited by J. ؛Wallingford، UK: CABI .98-W. Kijne، R. Barker، and D. Molden، 179 .(Colombo، Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI

Oweis، T.، A. Hachum، and J. Kijne. 1999. Water Harvesting and Supplemental Irrigation for Improved Water Use Efficiency in Dry Areas. .(Colombo، Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI

Rada، N. W.، and D. E. Schimmelpfennig. 2015. Propellers of Agricultural Productivity in India. Economic Research Report 203، Economic .Research Service. Washington، DC: U. S. Department of Agriculture

Roe، T.، A. Dinar، Y. Tsur، and X. Diao. 2005. "Feedback Links between Economy-Wide and Farm-Level Policies: With Application to Irrigation -Water Management in Morocco. "Journal of Policy Modeling 27 (8): 905 .28

Sakthivadivel، R.، C. de Fraiture، D. Molden، and C. Perry. 1999. "Indicators of Land and Water Productivity in Irrigated Agriculture. " .79-161 :(2/Water Resources Development 15 (1

Scheierling، S. M.، and D. O. Tréguer. 2016. "Investing in Adaptation: The Challenge of Responding to Water Scarcity in Irrigated Agriculture. " Federal Reserve Bank of Kansas City Economic Review. Special Issue .100-on Agriculture's Water Economy، 75

Scheierling، S. M.، D. O. Tréguer، and J. F. Booker. 2016. "Water Productivity in Agriculture: Looking for Water in the Agricultural Productivity and Efficiency Literature. " Water Economics and Policy 2 .(3)، 1650007 (33 pages). doi: 10. 1142/S2382624X16500077

Scheierling، S. M.، D. O. Tréguer، J. F. Booker، and E. Decker. 2014. Looking for Water in ؟"How to Assess Agricultural Water Productivity the Agricultural Productivity and Efficiency Literature. " Policy Research .Working Paper 6982، World Bank، Washington، DC

Scheierling، S. M.، R. A. Young، and G. E. Cardon. 2006. "Public Subsidies for Water-Conserving Irrigation Investments: Hydrologic، Agronomic، and Economic Assessment. " Water Resources Research .2004WR003809/42 (3)، W03428 (11 pages). doi: 10. 1029

Seckler، D. 1996. The New Era of Water Resources Management: From "Dry" to "Wet" Water Savings. Research Report 1. Colombo، Sri Lanka: .International Water Management Institute

Singh، R.، J. C. van Dam، and R. A. Feddes. 2006. "Water Productivity Analysis of Irrigated Crops in Sirsa District، India. " Agricultural Water .78-Management 82 (3): 253

Taylor، R. G.، R. D. Schmidt، L. Stodick، and B. A. Contor. 2014. "Modeling Conjunctive Water Use as a Reciprocal Externality. " American Journal .68-of Agricultural Economics 96 (3): 753

Vaux، H. J.، and R. E. Howitt. 1984. "Managing Water Scarcity: An .Evaluation of Interregional Transfers. " Water Resources Research

Vazifedoust، M.، J. C. van Dam، R. A. Feddes، and M. Feizi. 2008. “Increasing Water Productivity of Irrigated Crops under Limited Water .102-Supply at Field Scale. ” Agricultural Water Management 95 (2): 89

Wang، S. L.، F. Tuan، F. Gale، A. Somwaru، and J. Hansen. 2013. A :2007-“China’s Regional Agricultural Productivity Growth in 1985 .51-Multilateral Comparison. ” Agricultural Economics33: 241

Ward، F. A.، and M. Pulido-Velazquez. 2008. “Water Conservation in Irrigation Can Increase Water Use. ” Proceedings of the National .20-Academy of Sciences 105 (47): 18215

Young، R. A. 2005. Determining the Economic Value of Water: Concepts .and Methods. Washington، DC: Resources for the Future

Zwart، S. J.، W. G. M. Bastiaanssen، C. de Fraiture، and D. J. Molden، 2010. “WATPRO: A Remote Sensing Based Model for Mapping Water -Productivity of Wheat. ” Agricultural Water Management 97 (10): 1628 .36

۵

فصل پنجم

کاربرد روش‌ها در اقتصاد آب بالغ

پس از مقایسه چهار روش اصلی به همراه ویژگی‌های کلیدی انتخاب شده در بخش قبلی، این فصل به تجزیه و تحلیل گسترده‌تر هر یک از روش‌ها با توجه به سودمندی آن‌ها در مراحل بالغ اقتصاد آب می‌پردازد. بخش اول به بررسی ارتباط روش‌ها در زمینه‌های مختلف پرداخته است. بخش دوم شامل برخی از مفاهیم پیش‌رو برای ادامه کار است.

ارتباط روش‌ها در زمینه‌های مختلف

بر اساس چارچوب مراحل توسعه و بالغ اقتصاد آب که در فصل ۱ بیان شد، تجزیه و تحلیل گسترده‌تر این روش‌ها بر توانایی آنها در ادغام و پرداختن به زمینه‌های خاص تمرکز دارد. این موضوع یک عامل تعیین‌کننده مهم برای سودمندی روش‌ها در هدایت انتخاب مداخلات سازگاری و ارزیابی اثرات اجرای آنها، با توجه به منابع آب و سهم آنها در فعالیت‌های مختلف است.

از پنج ویژگی معرفی شده در جدول ۱-۱ برای ارزیابی میزان درج هریک از روش‌ها و شرایط تغییر استفاده شده است. نتایج در جدول ۵-۱ خلاصه شده است. به طور کلی، نشان داده می‌شود چهار روش با ترکیب قوی‌تر ابعاد مربوط به آب، برخی از مزایای آنالیز سود-هزینه را دارند، که حاصل این ترکیب همان روش اصلی ارزیابی در مرحله اقتصاد آب بالغ یافته است. با این وجود هنگام استفاده برخی از آنها برای ارزیابی مداخلات سازگاری مربوط به اقتصاد آب بالغ، لازم است اقدامات احتیاطی صورت گیرد.

شاخص‌های بهره‌وری تک عاملی در زمینه کمیابی آب توسعه و ارتقا یافته‌اند. با این حال، از آنجا که این شاخص‌ها به عنوان نسبت محصول به ازای هر قطره بیان می‌شوند و معمولاً بر روی سطح مزرعه متمرکز هستند بنابراین به اندازه کافی نمی‌توانند وابستگی متقابل کاربران را نشان دهند. به نظر می‌رسد که هدف ضمنی، بیشینه‌سازی بهره‌وری از

آب کشاورزی است و تلاش برای "از بین بردن شکاف" بین کشاورزان است. با این حال، افزایش نسبت‌ها به خودی خود نشان نمی‌دهد که هدف آنها افزایش تولید محصولات کشاورزی بوده است یا حفاظت آب.

جدول ۵-۱: ارتباط روش‌ها در ارتباط آب بالغ

	اقدامات بهره وری تک عاملی	شاخص‌های بهره‌وری کل عامل‌ها	روش‌های مرزی	روش‌های قیاسی
عرضه و تقاضا آب کشاورزی	توجه به کمیابی آب؛ غالباً این فرض غلط است که تمرکز بر استفاده ناکارآمد و غیرمؤثر از آب (خارج از مزرعه و داخل مزرعه) به غلبه بر آن کمک می‌کند	عدم توجه به کمیابی آب	عدم توجه به کمیابی آب	گنجاندن تقاضا و عرضه آب کشاورزی ضمن ارزیابی تأثیر مداخلات بر کمیابی آب
تنظیم هیدرولوژیکی	تمرکز مکرر برسطح مزرعه، با شناخت ناکافی از وابستگی متقابل کاربران شناخت ناکافی از عوامل محیطی (و زمینه ها)	آب به عنوان یکی از ورودی‌های متعدد در تجزیه و تحلیل کاملی از بهره‌وری کشاورزی، بدون در نظر گرفتن مباحث مکانی و محیطی	تمرکز بر سطح مزرعه بدون در نظر گرفتن وابستگی‌های بین مصرف کنندگان مختلف آب	غالباً درنظر گرفتن پیچیدگی‌های تنظیم هیدرولوژیکی
اهداف سیاست‌گذاری	معمولاً تمرکز ضمنی بر تولیدات کشاورزی (در برخی موارد در مورد حفاظت آب) غالباً این فرض غلط است که اصلاح نسبت محصول به ازای هر قطره باعث می‌شود تا ارتباط بین اهداف محقق شود	تمرکز بر رشد (ملی یا منطقه ای) کشاورزی	گرایش به سمت به تولید محصولات کشاورزی در مزرعه است. همچنین در نظر گرفتن راندمان فنی خاص آب و ورودی محور (تاکنون فقط از نظر آب مورد استفاده است)	بیشتر بهینه‌سازی درآمد خالص کشاورزی است، اما اهداف حفاظت از آب نیز می‌تواند مدل‌سازی شود

مداخلات	تأکید بر مداخلات مهندسی و فنآوری در مزرعه و سیستم‌های آبیاری (اغلب در پروژه‌های زیربنایی موجود) که به محصول بیشتر به ازای هر قطره کمک می‌کند	آب به عنوان عامل مهمی در رشد کشاورزی شناخته می‌شود، اما بدون در نظر گرفتن مداخلات مرتبط با آب	تأکید بر مداخلات مهندسی و فناوری درسطح مزرعه؛ تأثیر مداخلات مرتبط با مدیریت نیز می‌تواند در نظر گرفته شود	ترکیب مداخلات مختلف (نه تنها مهندسی و فن آوری، بلکه سیاستی و نهادی) و زمینه‌های نهادی برای ارزیابی معاملات (از جمله درونی و درون بخشی).
روش‌های ارزیابی انتخاب و اجرای مداخلات	تمرکز بر مقایسه نسبت محصول به ازای هر قطره نسبت به مکان و زمان با درج صریح تنها یک ورودی، تجزیه و تحلیل نسبت‌های توصیه شده قبلی را در مورد مداخلات مجاز نیست.	تجزیه و تحلیل نسبت‌های گذشته نشان می‌دهد بررسی علل با گذشت زمان، ارزیابی‌های قبلی از سهم مداخلات (در سطح کشور) مربوط به آب آبیاری بر رشد کشاورزی را امکان‌پذیر می‌سازد	معمولا ارزیابی بعدی؛ - ارزیابی با گذشت زمان می‌تواند پیشرفت در حرکت به سمت مرز تولید را مورد سنجش قرار دهد. می‌تواند برای ارزیابی‌های قبلی از دامنه مداخلات، از جمله بهبود مهارت‌های مدیریتی کشاورزان استفاده کند.	برای تجزیه و تحلیل اولیه گزینه‌های سیاست‌گذاری و تأثیر آن بر درآمد و منابع آب کشاورزان مفید است. برای تجزیه و تحلیل ثانویه با توانایی تخمین ارزش آب کمتر استفاده می‌شود، انتخاب ارجح برای ارزیابی بازتخصیص بین مزارع، مناطق و بخش‌ها (از جمله محیط زیست)

مقایسه شاخص‌های بهره‌وری تک عاملی زمانی می‌توانند در زمینه آزمایش‌های میدانی مفید باشند که سایر عوامل مرتبط در کنار آب، به خوبی کنترل شده باشند (به عنوان مثال، "همه موارد به صورت یکسان درنظر گرفته می‌شوند"). در چنین شرایطی، نسبت‌ها می‌توانند برای "از بین بردن شکاف‌ها"، مثلاً با پیشرفت در برنامه‌ریزی آبیاری، به عنوان راهنما عمل کند. نسبت‌ها همچنین هنگامی که یک مداخله سازگار مرتبط با آب اجرا می‌شود، برای نظارت و ارزیابی تغییرات بسیار مناسب هستند.

با این حال، هنگامی که نسبت‌ها در مکان‌ها و زمان‌های مختلف با یکدیگر مقایسه

می‌شوند، عوامل مهم ایجاد اختلاف نمی‌توانند شناسایی شوند و توصیه‌ها با توجه به انتخاب مداخلات بدون تجزیه و تحلیل عمیق‌تر امکان‌پذیر نیست. علیرغم این کاستی‌ها، توصیه مشترک در ادبیات آبیاری و در بیشتر بحث‌های عمومی، سرمایه‌گذاری در مهندسی مزرعه، مداخلات فنی و اخلاقی در سیستم‌های آبیاری است. این امر مطابق با مفاهیم و اصطلاحات اساسی ناشی از زمینه‌های مهندسی و زراعت است. به عنوان مثال، مطالعاتی که نسبت محصول به ازای هر قطره را برای محصول‌های خاص از نظر عملکرد با مصرف آب تخمین می‌زنند، برای افزایش نسبت‌ها اغلب با استفاده از مدل‌های زراعی-آبیاری همراه با سنجش از دور، استفاده از خاک، آب و مدیریت بهتر محصول راتوصیه می‌کنند.

مسئله دیگر این است که بهبودهای حاصل از نسبت محصول به ازای هر قطره نشان نمی‌دهند که به معاملات بین رشد تولید کشاورزی و حفاظت از آب پرداخته شده است. در این حالت حتی مشخص نیست که در چه هدفی ممکن است سهم داشته باشند و یا اینکه تغییرات مربوط به ورودی آب دلیل بهبود بوده است یا خیر. بسته به فرمول نسبت‌ها و مفاهیم (به عنوان مثال، هنگامی که جریان‌های برگشتی اهمیت دارند و کشاورزان مجاز به استفاده کامل از حقابه خود هستند)، ممکن است حتی باعث تشدید کمیابی آب شوند.

مطالعات بهره‌وری کل عامل‌ها برمبنای رشد کشاورزی استوار هستند. آنها هیچگونه مشکل کمیابی آب را در نظر نمی‌گیرند، این مشکل تا حدی به این دلیل است که معمولاً قیمت آب در دسترس نیست (یا استفاده نشده است). حتی اگر داده‌ها اجازه دهند که یک سنجش میزان استفاده از آب درنظر گرفته شود، بدست آوردن دیدگاهی در مورد مداخلات مرتبط با آب برای مثال، بهبود تخصیص منابع یا کمک به حفاظت آب ممکن است دشوار شود. آنها می‌توانند روش‌های ارزیابی را برای مرحله اقتصاد آب بالغ در نظر بگیرند.

مطالعات روش‌های مرزی عمدتاً بر مبنای خروجی استوار (خروجی محور) بوده و بنابراین علاقه‌مند به ارزیابی چگونگی تولید محصولات کشاورزی با مجموعه مشخصی از ورودی‌ها هستند و تعداد محدودی از مطالعات نیز ورودی محور هستند و از مفهوم کارایی فنی خاص آب برای بررسی پتانسیل حفاظت از آب استفاده می‌کنند. با این حال، آنها به دلیل تمرکز بر سطح مزرعه این دیدگاه را دارند که در بسیاری از موارد برای پیامدهای گسترده‌تر به منظور بهبود مدیریت آب آبیاری و مقابله با کمیابی آب محدود هستند. دلیل این امر این است که آنها فقط آب به کار برده شده را در نظر گرفته‌اند و به طور ضمنی فرض بر این بوده که هرگونه کاهش در اندازه‌گیری آب به کار برده شده، موجب صرفه‌جویی در مصرف آب خواهد شد اما در مناطقی که جریان‌های برگشتی برای کاربران پایین دست

منابع مهمی هستند ممکن است اتفاق نیفتد. علاوه بر این، با توجه به تمهیدات نهادی موجود در بسیاری از مناطق، ممکن است کشاورزان انگیزه کافی برای رهاسازی این آب برای سایر مصارف را نداشته باشند.

مطالعات روش مرزی، مطابق با رویکردهای تخمینی خود، تمایل دارند با بهبود مهارت‌های مدیریتی کشاورزان، بر بهره‌وری فنی و پتانسیل حرکت مزارع به سمت مرز تولید تمرکز کنند. توصیه‌های متداول، برنامه‌های آموزشی در مورد استفاده از فناوری‌های آبیاری و مدیریت آب آبیاری می‌باشند. مطالعات مرزی تاکنون تلاشی به منظور درنظر گرفتن وابستگی‌های متقابل مصارف آب نداشته‌اند. با این وجود این مسئله در تنظیمات هیدرولوژیکی که جریان‌های برگشتی مهم نیستند، اهمیتی ندارند. در چنین شرایطی، مطالعات مرزی می‌توانند دیدگاه‌هایی درمورد طراحی مداخلات مبتنی بر مزرعه و سپس ارزیابی آن‌ها را فراهم کنند. با استفاده از داده‌های حاصل از بررسی‌های دقیق کشاورزان، روش‌های مرزی می‌توانند یک مبنای اولیه در طول تهیه پروژه کشاورزان با کارایی بیشتر و کمتر و همچنین دلایل اصلی آنها باشند. این امر منجر به راهنمایی در طراحی پروژه در مورد چگونگی کمک به کاهش ناکارآمدی فنی می‌شود که این راهنمایی‌ها توسط تمرکز بر اطلاعات، دانش و مسائل مربوط به مدیریت صورت می‌گیرد. موارد ذکر شده غالباً نادیده گرفته می‌شوند درحالی که می‌توانند درمورد اهداف در نظرگرفتن فقر و کاهش آن نقش داشته باشند. اگر بررسی‌های مداوم از جمله در زمان اتمام پروژه انجام شود، یک مطالعه مرزی می‌تواند به ارائه دیدگاهی درمورد پیشرفت‌های کلیدی در طول اجرای پروژه کمک کند. برخلاف روش‌های قیاسی که معمولاً در شرایط مزارعی که به عنوان مزارع "نماینده" انتخاب شده، ساخته می‌شوند، روش‌های مرزی می‌توانند ناهمگونی بین مزارع را درنظر بگیرند و اجازه دهند صریحاً به مسائل توزیعی بپردازند.

در مقایسه با سه روش دیگر، روش‌های قیاسی با توجه به رویکردهای متنوع آن‌ها احتمالاً مناسب‌ترین روش برای ارزیابی انتخاب و اجرای مداخلات سازگاری در یک اقتصاد آب در حال تغییر هستند. عامل اصلی انعطاف‌پذیری آنها در اصلاح زمینه‌های مختلف هیدرولوژیکی، سیاست‌گذاری و نهادی است. زمینه هیدرولوژیکی، با استفاده از مدل‌های هیدرو-اقتصادی می‌تواند اندرکنش بین آب‌های سطحی و زیرزمینی را مدل‌سازی کند. با توجه به زمینه سیاست‌گذاری، روش‌های قیاسی می‌توانند برای کشف هر یک از این سه هدف تدوین شوند: پرداختن به رویکردها برای افزایش تولید محصولات کشاورزی آبی، شناسایی فرصت‌ها برای حفاظت از آب؛ و ارائه دیدگاه نسبت به کشاورزی آبی در حمایت از درآمد و توسعه اقتصادی. آنها برای مقابله با پیچیدگی اهداف مختلف مداخلات مرتبط

با آب در مقیاس‌های مکانی و زمانی متفاوت، از جمله معامله تجاری استفاده شده‌اند.

روش‌های قیاسی به طور منحصر به فرد در ارزیابی‌های خود می‌توانند زمینه نهادی را به خود اختصاص دهند. تمهیدات نهادی، مربوط به حقوق کاربران و قرار گرفتن در معرض حقوق دیگران است؛ و این که چگونه این حقوق، تمایلات و عدم تمایلات در میان تصمیم‌گیری کاربران برای استفاده از آب ایجاد می‌کنند (Young 2005؛ Young and Haveman 1985). با افزایش کمیابی آب قوانین، قواعد و اجزا مؤثر بر تخصیص آب بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند، و سیستم‌های دقیق‌تری از حقابه‌ها و مدیریت آنها در حال رشد و شکل‌گیری است[1]. درحالی که پیشرفت‌های تکنولوژیکی تمایل به کاهش هزینه‌های معامله دارند. با توجه به اینکه زمینه نهادی یک عامل مهم در تعیین مداخلات مناسب سازگاری است، مداخلات باید به طور فزاینده‌ای بر توسعه و تنظیم بیشتر ترتیبات نهادی تمرکز داشته باشند تا درگیری‌های مرتبط با افزایش رقابت بر سر آب را کاهش داده و همچنین تسهیل مدیریت پایدار آب کشاورزی را افزایش دهند. روش‌های قیاسی، به ویژه مدل‌های برنامه‌ریزی، می‌توانند "قواعد" مختلف سازمانی را دربر گیرند و همچنین تأثیر تصویب قوانین مختلف بر رفتار احتمالی کشاورزان (تأثیرات مربوط به آب) را ارزیابی کنند.

روش‌های قیاسی انعطاف‌پذیری لازم برای ترکیب مداخلات مختلف را دارند. آن‌ها می‌توانند مداخلات مهندسی و فناوری را ارزیابی کنند و پیشرفته‌ترین ابزاری هستند که برای ارزیابی سیاست‌ها و مداخلات نهادی که در اقتصاد آب توسعه یافته بسیار ضروری هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه بر این، آن‌ها با تمرکز بر ارزش اقتصادی آب، می‌توانند در تخصیص کارآمدتر منابع آب به هنگام کمیابی نقش داشته باشند. آن‌ها معمولاً برای ارزیابی انتخاب مداخلات از قبل مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما پس از اجرا می‌توان اثرات پیش‌بینی شده و واقعی را با یکدیگر مقایسه و تحلیل کرد.

بعضی از کاربردها برای ادامه مسیر

با تشدید کمیابی آب و افزایش تعداد کشورهایی که از مرحله توسعه به مرحله بالغ اقتصاد آب حرکت می‌کنند، نیاز به سازگاری سرمایه‌گذاری‌های مربوط به مدیریت آب کشاورزی از بخش‌های خصوصی و دولتی افزایش می‌یابد. درحال حاضر، بسیاری از بحث‌های عمومی طرفدار تلاش برای بهبود بهره‌وری و کارایی آب کشاورزی و دستیابی به محصول

۱. جنبه مهمی که قبلاً در شکل ۳-۱ به آن اشاره شده است مشخصات حقابه است. به عنوان مثال، در مورد آب‌های سطحی، حقابه در بیشتر مناطق غربی ایالات متحده برای استفاده در یک مکان خاص و برای یک هدف خاص، یک اولویت خاص (از نظر برداشت آب‌های سطحی) تعیین می‌کند.

بیشتر به ازای هر قطره هستند. تجزیه و تحلیل ما از موضوعات مفهومی اساسی از قبیل شاخص بهره‌وری تک عاملی، و همچنین کاربردها و مناسب بودن آنها در اقتصاد آب بالغ، محدودیت‌های مهم را نشان داده است.

درحال حاضر نیز شواهد تجربی درحال گسترش در مورد اثرات مداخلات مهندسی و فنی وجود دارد، این مداخلات معمولاً در حال ارتقا به ویژه درمورد تبدیل سیستم آبیاری سنتی به سیستم آبیاری مدرن با سرمایه بیشتر هستند (یارانه‌های مالی و فنی به آن تعلق می‌گیرد). در گذشته، اثرات چنین مداخلاتی فراتر از سطح مزرعه یا سیستم آبیاری به خوبی مورد بررسی قرار نگرفته است، که بخشی از این موضوع به دلیل فقدان اطلاعات در مورد اندازه‌گیری‌های کلیدی آب از جمله آب برداشت شده، آب به کار برده شده و آب مصرف- شده، و همچنین چگونگی امکان تغییر آن‌ها در نتیجه مداخلات خاص است. به عنوان مثال نتایج تعداد زیادی از مطالعات که در ایالات متحده بر اساس روش‌های قیاسی صورت گرفته است نشان می‌دهد که اگرچه چنین سرمایه‌گذاری‌هایی ممکن است آب به کار برده شده در مزرعه را کاهش دهند، اما لزوماً در حفاظت از آب نقشی ندارند. نتایج آن حاکی از اثرات مختلط بر وضعیت کمیابی آب است (OECD 2015؛ Scheierling and Tréguer 2016). دلایل اصلی، اصلاحات مختلفی است که کشاورزان می‌توانند انجام دهند، به عنوان مثال گسترش منطقه آبیاری (همانطور که در شکل ۳-۲ نشان داده شده است).

همانطور که اقتصاد آب به بلوغ می‌رسد، نیاز به طراحی مداخلات با زمینه‌های هیدرولوژیکی، سیاست‌گذاری و نهادی وجود دارد. علاوه بر این، سیاست‌گذاری‌های خاص و مداخلات نهادی اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند. این بدان معناست که ارزیابی‌های بهتر قبلی به منظور برآورد هزینه‌ها و مزایای اقتصادی و مالی و همچنین اثرات مربوط به آب متناوباً باید انجام شود. همچنین باید بیشتر به ارزیابی‌های بعدی توجه شود تا فرآیندهای پیاده‌سازی و نتایج متناسب با اهداف اساسی ارزیابی شوند. این ارزیابی‌ها به آگاهی تصمیم‌گیرندگان در بخش‌های دولتی و خصوصی کمک می‌کنند.

تجزیه و تحلیل این گزارش حاکی از آن است که، در مناطقی که کمیابی آب وجود دارد بحث باید فوراً فراتر از مسائل مربوط به محصول به ازای هر قطره متمرکز شود. تجزیه و تحلیل ما از روش‌های اندازه‌گیری موجود نشان می‌دهد که رویکردهای بهتر و جامع‌تری برای در نظر گرفتن الزامات اقتصاد آب بالغ، به ویژه در بین روش‌های قیاسی، وجود دارد. این روش‌ها مناسب هستند و اغلب به طور مؤثر موضوعات خاص را ادغام می‌کنند. روش بهره‌وری چند عاملی با محوریت آب شامل هزینه‌های فرصت ورودی‌های غیر آب که

در اکثر روش‌های قیاسی به صورت ضمنی وجود دارند می‌توانند بطور گسترده گزارش و بحث شوند. درحالی که استفاده از روش‌های چند عاملی ممکن است نیاز به منابع، زمان و مهارت بیشتری نسبت به شاخص‌های بهره‌وری تک عاملی داشته باشد، استفاده گسترده‌تر از چنین روش‌هایی در بسیاری از موارد با توجه به بزرگی سرمایه گذاری‌های آنها در مداخلاتی که منجر به رفع کمیابی آب و کمک به انتخاب و اجرای معقول آن‌ها است قابل توجیه می‌باشد.

Reference

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2015. Policy Approaches to Droughts and Floods in Agriculture. Joint Working Party on Agriculture and the Environment، September. Trade .and Agriculture Directorate and Environment Directorate. Paris: OECD

Scheierling، S. M.، and D. O. Tréguer. 2016. “Investing in Adaptation: The Challenge of Responding to Water Scarcity in Irrigated Agriculture. ” Federal Reserve Bank of Kansas City Economic Review. Special Issue .100-on Agriculture’s Water Economy، 75

Scheierling، S. M.، R. A. Young، and G. E. Cardon. 2006. “Public Subsidies for Water-Conserving Irrigation Investments: Hydrologic، Agronomic، and Economic Assessment. ” Water Resources Research .2004WR003809/42 (3)، W03428 (11 pages). doi: 10. 1029

Young، R. A. 2005. Determining the Economic Value of Water: Concepts .and Methods. Washington، DC: Resources for the Future

Young، R. A.، and R. H. Haveman. 1985. “Economics of Water Resources: A Survey. ” In Handbook of Natural Resource and Energy .529-Economics، edited by A. V. Kneese and J. L. Sweeney، vol. II، 465 .Amsterdam: Elsevier Science Publishers

BEYOND CROP PER DROP

ASSESSING AGRICULTURAL WATER PRODUCTIVITY AND EFFICIENCY IN A MATURING WATER ECONOMY

با روند رو به رشد کمیابی آب در بسیاری از بخش‌های جهان و پیش‌بینی‌هایی که نشان‌دهنده نیاز به افزایش تولید کشاورزی، و همزمان استفاده آب در کشاورزی است، تلاش برای بهبود بهره‌وری و کارآیی آب کشاورزی افزایش یافته است. با این همه در این مسیر، مشکلات جدی در حوزه مسائل مفهومی، روش‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری بهره‌وری و کارآیی آب کشاورزی، و کاربرد این مفاهیم و روش‌ها در شرایط مختلف وجود دارد. این گزارش می‌کوشد نخست برخی از مفاهیم زیربنایی در بحث بهره‌وری و کارایی آب کشاورزی را روشن سازد. سپس روش‌های موجود ارزیابی بهره‌وری و کارایی آب، از جمله معیارهای بهره وری تک‌عاملی، شاخص‌های بهره‌وری کل عوامل، روش‌های مرزی و روش‌های قیاسی را بررسی و تحلیل می‌کند. در نهایت، کاربرد و مناسبت آنها را در شرایط مختلف توضیح می‌دهد.