ریاست جمهوری
مرکز بررسیهای استراتژیک

آیا بهبود فن‌آوری آبیاری به صرفه‌جویی آب منجر خواهد شد؟

مروری بر شواهد موجود

سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو)

نویسندگان:

کریس پری

پاسکواله استودوتو

فازی خراجه

ترجمه‌شده در

مرکز بررسی‌های استراتژیک ریاست جمهوری

مردادماه ۱۳۹۶

بسم‌الله الرّحمن الرّحیم

عنوان گزارش: آیا بهبود فن‌آوری آبیاری به صرفه‌جویی آب منجر خواهد شد؟
DOES IMPROVED IRRIGATION TECHNOLOGY SAVE WATER
نویسنده: کریس پری، پاسکواله استودوتو و فازی خراجه
Chris Perry, Pasquale Steduto, Fawzi Karajeh
ناشر: سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو)
Food and Agriculture Organization of the United Nations
تاریخ انتشار: ۲۰۱۷
ترجمه: امید صالحی و جواد عرب یارمحمدی
ناظران: ابوالفضل غیاثوند، ابوالقاسم اسکندری
مرکز بررسی‌های استراتژیک ریاست جمهوری
آبان ۱۳۹۶

کلیه حقوق این اثر متعلق به مرکز بررسی‌های استراتژیک ریاست جمهوری است.
هر گونه بازنشر این گزارش بدون اجازه کتبی مرکز بررسی‌های استراتژیک ریاست جمهوری ممنوع است.

فهرست مطالب

ضرورت ترجمه گزارش‌های راهبردی ۴
پیش‌گفتار ۵
خلاصه مدیریتی ۶
۲– از مصرف پایدار تا مصرف ناپایدار آب ۱۳
۳– یک چارچوب پایه برای تحلیل تأثیر واکنش‌ها در برابر کم‌آبی و میزان بالای تقاضا برای آب ۱۷
۳-۱- حسابداری فیزیکی آب ۱۷
۳-۲- محاسبه میزان بهره‌وری آب ۲۰
۴. تأثیرات گزارش شده مداخلات فنی؛ مروری بر شواهد موجود ۲۴
۴-۱- استرالیا ۲۶
۴-۲ چین ۲۹
۴-۳- مصر ۳۱
۴-۴- هند ۳۳
۴-۵- رژیم صهیونیستی ۳۵
۴-۶- ایران ۳۷
۴-۷- مراکش ۳۸
۴-۸- پاکستان ۴۱
۴-۹- آفریقای جنوبی ۴۳
۴-۱۰- اسپانیا ۴۴
۴-۱۱- تونس ۴۹
۴-۱۲- ایالات متحده آمریکا ۵۰
۴-۱۳- یمن ۵۵
۴-۱۴- زیمبابوه ۵۶
۵– سخن پایانی ۵۷
۶– پیامدها در حوزه سیاست‌گذاری ۶۰

ضرورت ترجمه گزارش‌های راهبردی

نوشتارها به افکار جهت و افکار به جهان شکل می‌دهند. جهان امروز نیز دربرگیرنده هزاران اندیشکده، مؤسسه مطالعات راهبردی و اتاق‌های فکری است که کارشناسان و تحلیل‌گران راهبردی را در خود گرد آورده‌اند و با انتشار گزارش‌های راهبردی بر افکار سیاستمداران، بخش خصوصی، رسانه‌ها و جوامع تأثیر می‌گذارند. نزدیک به هفت هزار اندیشکده در جهان وجود دارد که مجموعه گسترده‌ای از دانش راهبردی درباره موضوعات مختلفی از محیط‌زیست تا اقتصاد، روابط بین‌الملل، و مسائل نظامی و امنیتی را منتشر می‌کنند. این مؤسسات هم‌چنین می‌کوشند تا برآوردهای خود از آینده را نیز ارائه کنند و آینده‌پژوهی یکی از مهم‌ترین اقدامات آن‌هاست.

آگاهی یافتن از موضوعات مدنظر اندیشکده‌ها و مؤسسات مطالعات راهبردی در جهان یکی از ضرورت‌های تفکر راهبردی در ایران است. تحلیل‌گران و استراتژیست‌های ایرانی برای ارائه تحلیل‌هایی که متضمن تأمین منافع ملی باشد به شناخت گزارش‌های اندیشکده‌های خارجی نیازمند هستند. این‌گونه گزارش‌ها هم‌چنین به لحاظ روش‌شناختی نیز گاه حائز اهمیت هستند. پوشیده نیست که هنوز روش‌شناسی پژوهش‌های راهبردی و حتی گاه شیوه نگارش گزارش‌های راهبردی مؤثر نیز در میان بسیاری از اندیشکده‌های ایرانی کاستی‌هایی دارد.

مرکز بررسی‌های استراتژیک با هدف توجه دادن کارشناسان و تحلیل‌گران کشور، و هم‌چنین جهت اطلاع‌یابی مدیرانی که در معرض مسائل و تصمیم‌گیری‌های راهبردی هستند، نسبت به ترجمه و بنا به مورد انتشار محدود یا عمومی مجموعه‌ای از متون راهبردی اقدام می‌کند. مرکز بررسی‌های استراتژیک اگرچه پیشگفتارهای کوتاهی را به ابتدای این گزارش‌ها می‌افزاید و تلاش دارد تا قرائت تحلیل‌گران این مرکز از هر گزارش را ارائه نماید، اما مندرجات این گزارش‌ها الزاماً بیانگر دیدگاه‌های مرکز بررسی‌های استراتژیک نیستند. امید است این اقدام به تعمیق تفکر راهبردی کمک نماید. مرکز بررسی‌های استراتژیک از هرگونه نقد و نظر و هم‌چنین دریافت نظرات مخاطبان این مجموعه درباره مندرجات گزارش‌ها استقبال می‌کند. کارشناسان و تحلیل‌گران هم‌چنین می‌توانند متون راهبردی را که ترجمه و ارائه آن‌ها به جامعه کارشناسان و تحلیل‌گران راهبردی کشور مناسب است به این مرکز پیشنهاد کنند.

حسام‌الدین آشنا

رئیس مرکز بررسی‌های استراتژیک

پیش‌گفتار

منطقه خاور نزدیک و شمال آفریقا صاحب یکی از پایین‌ترین مقادیر سرانه آب شیرین قابل دسترس در میان تمامی مناطق جهان است. این منطقه که به طور طبیعی در معرض کم‌آبی مزمن قرار دارد، در دهه‌های آتی به واسطه عوامل متعدد جمعیتی، سیاست‌های امنیت غذایی، توسعه اجتماعی–اقتصادی و تغییرات اقلیمی با کمبود شدید آب روبرو خواهد شد. کشت آبی که هم اکنون بیش از ۸۵ درصد آب مصرفی منابع تجدیدپذیر آب شیرین در منطقه را به خود اختصاص داده است، در تأمین افزایش میزان تقاضا برای غذا و کمک به توسعه اقتصادی در مناطق دورافتاده، با چالش‌های عمده‌ای مواجه خواهد شد.

کشورهای این منطقه از جهان در برنامه‌های ملی خود به مقوله کارآیی و بهره‌وری در بخش آبیاری و نیز حفاظت و مدیریت پایدار منابع طبیعی کمیاب و شکننده به ویژه آب توجه دارند. سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد (فائو) از طریق طرح منطقه‌ای در حال پشتیبانی و کمک به تمرکز تلاش‌ها در جهت مواجهه با شکافِ به سرعت در حال افزایش میان میزان منابع آب شیرین قابل دسترس و میزان تقاضا برای این منابع است. اما یک پرسش کلیدی که باید به آن پرداخته شود، این است که کشورها چگونه می‌توانند به طور همزمان این فاصله را کاهش دهند، مدیریت پایدار منابع آب را ترویج و به شکلی مؤثر به تقویت امنیت غذایی و نیز بهبود شرایط تغذیه کمک کنند.

این تصور معمولاً وجود داشته است که افزایش میزان کارآیی آبیاری از طریق به‌کارگیری فن‌آوری‌های جدیدی مانند آبیاری قطره‌ای، به صرفه‌جویی قابل توجه در مصرف آب منجر می‌شود و این میزان آب صرفه‌جویی شده به محیط بازگشته یا به مصارف دیگر می‌رسد. اما شواهد حاصل از تحقیقات و سنجش‌های میدانی نشان می‌دهند که چنین نیست. ممکن است در مقیاس محلی و در واحد مزرعه، مزایای انجام این کار بسیار بالا به نظر برسد، اما اگر میزان کل مصرف آب را در مقیاس زیرزمین به درستی محاسبه کنیم، درمی‌یابیم که در این شیوه میزان مصرف به جای آنکه کاهش یابد، افزایش پیدا می‌کند. امکان بالقوه افزایش میزان بهره‌وری آب (محصول بیشتر به ازای هر قطره آب) نیز در مورد اکثر انواع محصولات کشاورزی ناچیز است.

این یافته‌ها نشان می‌دهند که کاهش مصرف آب از طریق کشت آبی، حاصل صرف فن‌آوری نخواهد بود، بلکه تضمین میزان پایدار مصرف آب نیازمند اتخاذ تمهیداتی از قبیل محدود کردن میزان آب تخصیص یافته خواهد بود.

در گزارش حاضر، شواهد مورد نیاز جهت گشودن باب گفتگو با طرف‌های اصلی ذی‌نفع در زمینه مدیریت منابع آب در یک چارچوب دارای سلامت علمی مورد نیاز جهت مقابله مشترک با کم‌آبی، پایداری منابع آب و مشکلات امنیت غذایی ارائه شده‌اند؛ گفتگویی که مدت‌های مدیدی است از آن غفلت شده است.

خلاصه مدیریتی

مصرف ناپایدار آب (بهره‌برداری بی‌رویه از سفره‌های آب، رودخانه‌هایی که در برخی فصول خشک هستند، دریاچه‌هایی که در برخی فصول ناپدید می‌شوند و نیز باتلاق‌ها) در سراسر جهان به عنوان یک معضل مطرح است. این مسئله به ویژه در منطقه خاور نزدیک و شمال آفریقا صادق است که بسیاری از کم‌آب‌ترین کشورهای جهان را در خود جای داده است. این کشورها همواره برای تنظیم میزان مصرف آب جهت تأمین امنیت غذایی، مصارف خانگی و سایر انواع مصارف به مداخلات انسانی وابسته بوده‌اند. این تحولات از دیرباز در مقیاسی کوچک رخ داده‌اند، در سطح محلی مدیریت شده‌اند و به لحاظ آب‌شناسی نیز از یکدیگر مجزا بوده‌اند. نظام‌های مصرف آب در این کشورها به لحاظ آب‌شناسی خودتنظیم‌گر بوده‌اند و میزان بارش سالانه، میزان هرزآب‌ها و میزان بازگشت آب به چرخه طبیعت تعیین کننده میزان مصرف بوده‌اند. با این حال در دهه‌های اخیر، گسترش سیستم‌های ذخیره آب در مقیاس گسترده و ورود فن‌آوری حفر چاه‌های آبی عمیق، به افزایش شدید میزان استخراج آب و ایجاد وابستگی‌های متقابل و رقابت در مرزهای تازه و غالباً فاقد قواعد مشخص، به بهره‌برداری شدید از منابع غیرتجدیدپذیر منجر شده است. اما مدیریت این روابط تازه نیازمند توانی بسیار فراتر از توان نهادهای سنتی است.

راه حل مقابله با این مشکلات ظاهراً ساده است؛ آب کم‌تری باید مصرف شود، فاضلاب تصفیه شده باید مجدداً مورد استفاده قرار گیرد و تمامی آب موجود باید با حداکثر بهره‌وری به مصرف برسد. اما سیاست‌های ناظر بر این راه حل ساده به هیچ وجه ساده نیستند. چه کسی باید میزان مصرف آب را کاهش دهد؟ کدام کشور، منطقه، بخش یا کشاورز؟ پیامدهای کاهش میزان مصرف آب در حوزه اقتصادی، اجتماعی و امنیت غذایی کدام‌اند؟

تا زمانی که آب بیشتری در دسترس بوده، روندها به سمت افزایش میزان مصرف این منابع متمایل بوده است. اما اخیراً و با آشکار شدن تأثیرات زیست‌محیطی و عدم قابلیت تداوم شکل کنونی مصرف آب، راهکارهایی که ظاهراً دشواری‌های مربوط به مداخلات مستقیم جهت کاهش میزان آب مصرفی را نداشتند، در برنامه‌های برنامه‌ریزان، سیاست‌گذاران و مؤسسات مالی نمود برجسته‌ای یافته‌اند. این راهکارها متضمن شکلی از مدرنیزه‌سازی یا بازمهندسی مدیریت آبیاری هستند. هرچند اصلاحات نهادی غالباً بخشی از این برنامه‌ها بوده‌اند، اما بهبود فن‌آوری‌های آبیاری نیز همواره در این قبیل برنامه‌ها نقشی محوری داشته‌اند. این فن‌آوری‌ها شامل سیستم‌های آبرسانی عمدتاً مبتنی بر لوله‌کشی، هموار کردن اراضی با استفاده از لیزر، تغییر به سامانه‌های تحت فشار جهت آبیاری قطره‌ای، آبیاری سطحی یا زیرسطحی هستند. هدف در تمامی این موارد جایگزین کردن آبیاری سنتی و ناکارآمد با شیوه‌هایی است که میزان مصرف مفید آب در محصولات کشاورزی را به حداکثر ممکن می‌رسانند و زمان‌بندی و میزان قابلیت اتکای سیستم‌های آبرسانی را نیز بهبود می‌بخشند. در گزارش حاضر، از مجموعه این مداخلات با عنوان آبیاری پیشرفته یاد شده است.

انتظار می‌رود این نوآوری‌ها دو مزیت عمده را به همراه داشته باشند:

- صرفه‌جویی در مصرف آب و تخصیص منابع صرفه‌جویی‌شده به سایر انواع مصارف؛
- افزایش میزان تولید به ازای هر واحد آب مصرفی

درک نحوه تأثیر مداخلات مختلف بر مصرف منابع نیازمند آشنایی با مجموعه مشخصی از واژگان حسابداری است، زیرا در تحلیل سامانه‌های آبی، دیدگاه‌های طرف‌های ذی‌نفع (کشاورزان دیم، صاحبان کشت آبی، فعالان بخش صنعت، اپراتورهای سیستم، مدیران حوزه‌های آبی، حامیان محیط زیست و ...) بر نحوه نام‌گذاری و ارزش‌گذاری روندهای مختلف تأثیر می‌گذارند. مجموعه عناوین فاقد ارزش‌گذاری ذیل را می‌توان در هر مقیاس و در مورد تمامی انواع استفاده از آب به کار گرفت. به عبارت دیگر، تمامی آب مورد استفاده، در یک یا چند مقوله از مقولات ذیل قرار می‌گیرد:

۱. استفاده مصرفی (تبدیل آب به بخار آب) شامل:
   ۱-۱ مصرف مفید (تعریق محصول، تبخیر باتلاق‌ها، برج‌های خنک‌کننده)
   ۱-۲ مصرف غیرمفید (تبخیر از سطوح آب‌های آزاد و خاک‌های مرطوب، تعریق علف‌های هرز)
۲. استفاده غیرمصرفی (آبی که به حالت مایع باقی می‌ماند) شامل:
   ۲-۱ جریان‌های قابل بازیابی (که جهت استفاده مجدد احتمالی به یک رودخانه یا آبخوان بازمی‌گردند)
   ۲-۲ جریان‌های غیرقابل بازیابی (که به دریا یا یک حوضه آبریز فاقد صرفه اقتصادی می‌ریزند)
۳. تغییر در ذخیره آب

استفاده از این مفاهیم، امکان تعریف روشن‌تر مسائل و گزینه‌های پیشِ رو در حوزه کشت آبی را فراهم می‌کند. اخباری که در آنها مثلاً ادعا می‌شود که با بهبود فن‌آوری ۵۰ درصد در میزان مصرف آب صرفه‌جویی شده است، در همه موارد ناظر بر دیدگاهی محدود به مقیاس محلی در زمینه آب مصرفی در اراضی کشاورزی هستند و در آنها جریان‌های بازگشتی که مجدداً به آبخوان‌ها وارد می‌شوند یا به جریان‌های در حال حرکت به سمت پایین‌دست رودخانه‌ها می‌پیوندند، محاسبه نمی‌شود. اگر آبخوان اصلی نمکی باشد، یا جریان آب مستقیماً وارد دریا شود، مقادیر اعلام شده صرفه‌جویی واقعی خواهد بود، اما تنها توجه به مجموعهٔ کامل محاسبات آبی است که می‌تواند نشان دهد آیا صرفه‌جویی واقعی در مصرف آب صورت گرفته است یا خیر و آیا می‌توان آب صرفه‌جویی‌شده را بدون ایجاد پیامدهای منفی به سایر انواع مصرف اختصاص داد یا خیر.

بنابراین، تأثیر آبیاری پیشرفته بر میزان مصرف آب باید به لحاظ کمّی مورد سنجش قرار گیرد تا مشخص شود زمانی که در برخی مناطق به جای روش‌های سنتی از روش پیشرفته آبیاری قطره‌ای استفاده می‌شود، چه تغییراتی در مصرف آب رخ می‌دهد.

این مسئله ما را به بحث بهره‌وری آب رهنمون می‌کند. اگر آبیاری پیشرفته امکان تولید میزان مشابه یا بالاتری از (مثلاً) غلات را در عین کاهش میزان مصرف آب فراهم کند، در این صورت می‌توان گفت میزان بهره‌وری بیوفیزیکی آب در مقیاس کیلوگرم بر مترمکعب افزایش یافته است. اگر میزان آب مصرفی ثابت بماند و وسعت ناحیه تحت آبیاری افزایش یابد نیز میزان بهره‌وری بیوفیزیکی آب افزایش یافته است. اما اگر صرفه‌جویی در مصرف آب دغدغه ما باشد، باید تولید به ازای هر واحد آب مصرفی به واحد کیلوگرم بر مترمکعب را اندازه بگیریم. این مقدار به ویژه برای محصولات روی زمین (غلات، سبزیجات، علوفه دام و نیشکر) در بسیاری از

پژوهش‌های صورت‌گرفته بسیار با احتیاط تخمین زده شده است. به عبارت دیگر، برای یک محصول و یک شرایط خاص زراعی–اقلیمی، رابطه میان میزان آب مصرفی و محصول تولیدشده رابطه‌ای خطی است. معنایِ ضمنیِ مهم این رابطه خطی آن است که اگر میزان بازدهی به واحد سطح افزایش یابد، میزان آب مصرفی نیز احتمالاً افزایش خواهد یافت.

از سوی دیگر اگر آبیاری پیشرفته امکان تولید محصولات باارزش‌تری را برای کشاورزان فراهم کند، ما باید به شاخص دیگری توجه کنیم که همان میزان بهره‌وری اقتصادی آب است که به واحد دلار بر هر متر مکعب آب مصرفی محاسبه می‌شود. در اینجا شواهد قوی‌تری وجود دارند که نشان می‌دهند استفاده از فن‌آوری‌های پیشرفته (که در اکثر موارد امکان کنترل و زمان‌بندی بهتر فرایند آبیاری را فراهم می‌کند) یکی از عوامل متعددی است که کشاورزان را به سرمایه‌گذاری در تولید محصولات با بازدهی بیشتر تشویق می‌کند.

این پرسش‌ها در زمینه آبیاری با استفاده از فن‌آوری‌های پیشرفته در منطقه خاور نزدیک و شمال آفریقا از اهمیت حیاتی برخوردار هستند، زیرا انجام آبیاری پیشرفته، محور برنامه‌هایی را تشکیل می‌دهد که بیشتر کشورها و مؤسسات مالی برای مقابله با کمبود آب پیشنهاد کرده‌اند. در واقع، آبیاری پیشرفته به عنوان هر نوع مداخله فنی با هدف بهبود آبرسانی به مزارع، مزایای فراوانی به همراه دارد؛ میزان مصرف آب کاهش می‌یابد، هزینه‌های مربوط به تلمبه کردن آب پایین می‌آید، در مصرف کود و سایر انواع مواد شیمیایی صرفه‌جویی می‌شود و میزان آلودگی کاهش می‌یابد، هزینه نیروی کار در اغلب موارد کاهش می‌یابد و گزینه‌های بیشتری به لحاظ انتخاب نوع محصول در اختیار کشاورز قرار می‌گیرند. اما آیا این مزایای حاصل از بهبود فن‌آوری‌های آبیاری به صرفه‌جویی در مصرف آب در سطح حوضه‌های آبریز یا در سطح کشوری نیز منجر می‌شوند؟ پاسخ این پرسش در مناطقی که در آنها کمبود آب وجود دارد و به ویژه مناطقی که سفره‌های زیرزمینی بیش از حد مورد استفاده قرار می‌گیرند و در آن‌ها رودخانه‌ها نیز درحال خشک شدن هستند، حائز اهمیت است.

در جریان نگارش گزارش حاضر، از بیش از ۱۵۰ کارشناس خواسته شد تا شواهد مربوط به تأثیرات آبیاری پیشرفته بر میزان مصرف و میزان بهره‌وری آب را ارائه کنند. این کارشناسان شامل پژوهشگران و نیز مؤسساتی مانند مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI)[۱] بانک جهانی، بانک توسعه آسیا، سازمان خواربار و کشاورزی و ... بودند. این دعوت در وب‌سایت شبکه جهانی آب و غذا[۲]–که خود نیز دارای حدود ۱۵۰ عضو است (که برخی از آنها در گروه نخست نیز عضویت دارد)– و نیز در پایگاه موسوم به فهرست آبیاری[۳] منتشر شد.

اما نتایج این بررسی تا حدی غافلگیر کننده بوده و نشان می‌دهد که شمار موارد کاملاً مستند مربوط به تأثیرات مثبت حاصل از آبیاری پیشرفته، نسبتاً معدود است، در حالی که نمونه‌های فراوانی از طرح‌ها و برنامه‌هایی را می‌توان سراغ گرفت که در آنها فرض بر صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش بهره‌وری بوده است. مطالعاتی نیز که در این زمینه صورت گرفته‌اند یا به نتیجه قطعی نرسیده‌اند و یا نتایج آنها در بیشتر موارد حاکی از آن هستند که

[۱] International Water Management Institute
[۲] Global Water and Food Network
[۳] Irrigation List

چنان‌که یافته‌های علمی نیز پیش‌بینی کرده‌اند، با ارتقای سامانه‌های آبیاری میزان مصرف آب افزایش یافته و میزان بهره‌وری به ازای هر واحد آب مصرفی کمابیش ثابت مانده است. یکی از موارد استثنایی در این نتایج، به محصولات درختی مربوط می‌شود که یکی از اصلی‌ترین شانس‌ها برای صرفه‌جویی واقعی در مصرف آب و افزایش میزان بهره‌وری آب به شمار می‌روند. طبق مطالعات انجام شده، میانگین میزان کاهش مصرف آب در مورد این محصولات در عین افزایش میزان تولید در قیاس با محصولات آبیاری شده به شکل غرقابی، در حدود ٦ درصد بوده است.

گزارش حاضر حاوی این نتیجه‌گیری است که بازگرداندن نوعی توازن میان تأمین و مصرف پایدار آب در وهله نخست مستلزم کنترل فیزیکی منابع آبی توسط دولت یا سایر متولیان مصرف پایدار این منابع و در وهله بعد انجام مداخلاتی با هدف کاهش میزان منابع مصرفی است. در صورت رعایت سهمیه‌های مشخص شده، آبیاری پیشرفته نیز به همان اندازه که برای کشاورزان علاقه‌مند به استفاده از مزایای مختلف این شیوه مقرون به صرفه باشد، تکامل و گسترش خواهد یافت. اما استفاده از شیوه آبیاری پیشرفته بدون اعمال کنترل‌های لازم بر نحوه تخصیص منابع آب معمولاً به بدتر شدن شرایط منجر می‌شود؛ میزان مصرف به ازای واحد سطح افزایش خواهد یافت، سطح زیر آبیاری افزایش خواهد یافت و کشاورزان به سمت استخراج آب بیشتر از منابع عمیق‌تر پیش می‌روند. این بدان معنا است که دسترسی کنترل شده به منابع آبی باید مقدم بر ایجاد امکان آبیاری پیشرفته باشد.

این نتایج حاوی پیامدهای مهمی برای بازیگران در حوزه آب هستند. دولت‌ها باید مسئولیت مهم و دشوار هدایت را ایفا نمایند و تأمین‌کنندگان مالی نیز باید ضمن رعایت توالی اقدامات فوق، از تأمین منابع مالی لازم جهت مدرنیزه کردن فرایند آبیاری بدون اعمال کنترل‌های لازم بر روند تخصیص منابع آب خودداری کنند.

هدف ما از انتشار گزارش حاضر، تلاش برای گشودن باب گفتگو با تمامی طرف‌های عمده ذی‌نفع در حوزه مدیریت منابع آب در زمینه چارچوب مناسب و علمی مورد نیاز جهت مقابله با کمبود آب و مسائل مربوط به پایداری است؛ گفتگویی که برای مدت زمانی طولانی از آن غفلت شده است.

همچنین سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو) کارگاه‌هایی حضوری و مجازی را به منظور بحث آزاد و سازنده در زمینه مسیر دستیابی به پایداری منابع آب برگزار می‌کند.

۱- مقدمه

رقابت بر سر منابع آب و مقادیر ناپایدار مصرف این ماده در سرتاسر جهان، از کالیفرنیا گرفته تا منطقه خاور نزدیک و شمال آفریقا و دشت‌های شمال چین مشهود است (کندی[۱] و دیگران، ۲۰۰۳؛ زامورا، کیرچنر و لوستگارتن،[۲] ۲۰۱۵). حتی مناطق معتدل اروپا که از بارش‌های نسبتاً مناسبی نیز برخوردار هستند، در حال حاضر با کم‌آبی موضعی مواجه هستند (سازمان همکاری و توسعه اقتصادی، ۲۰۱۵) که مستلزم انجام مداخلاتی به منظور حفاظت از محیط زیست و پایداری مصرف آب در درازمدت است.

در جدول ۱ با تمرکز بر خاورمیانه و نیز خاور نزدیک و شمال آفریقا، داده‌های مربوط به AQUASTAT2 در زمینه میزان دسترسی به آب به تفکیک کشورها در سال ۲۰۱٤ آورده شده است. بسیاری از کشورهایی که با بیشترین میزان کم‌آبی در جهان روبرو هستند، در منطقه خاور نزدیک و شمال آفریقا قرار گرفته‌اند و تنها ایران، عراق و ترکیه که کمبود شدید موضعی آب را گزارش کرده‌اند، جزء ۵۰ کشور نخست در میان ۲۰۰ کشوری که میزان منابع آبی تجدیدپذیر سالانه آنها کم‌تر از ۱۰۰۰ مترمکعب به ازای هر نفر است و لذا در زمره کشورهای کم‌آب طبقه‌بندی می‌شوند قرار ندارند (فالکنمارک، لاندکویست و ویدستراند،[۳] ۱۹۸۹).

پیش‌بینی می‌شود که میزان سرانه دسترسی به آب شیرین در این منطقه که هم اکنون ۱۰ درصد میانگین جهانی است و طی چهل سال اخیر نیز تا دوسوم کاهش یافته است تا سال ۲۰۵۰، ۵۰ درصد دیگر نیز کاهش یابد. علاوه بر این، طی چند دهه اخیر، روند نگران‌کننده‌ای مشاهده شده که نشان می‌دهد تعداد دفعات، شدت و نیز طول مدت خشک‌سالی‌ها در منطقه خاور نزدیک و شمال آفریقا در نتیجه تغییرات اقلیمی افزایش یافته است (IPCC ۲۰۱٤). به طور کلی و با توجه به رویکرد کنونی در حوزه مدیریت، منابع آبی در منطقه خاور نزدیک و شمال آفریقا شکننده و ناپایدار تلقی می‌شوند.

بخش عمده آب مصرفی در کشاورزی آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد و این بخش حدود ۸۵ درصد کل منابع آبی تجدیدپذیر را به خود اختصاص داده و فشار سنگینی را به رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی وارد می‌کند.

روندهای معطوف به آینده نشان می‌دهند که منطقه خاور نزدیک و شمال آفریقا به واسطه عواملی چند مانند رشد جمعیت، تمایل به افزایش خودکفایی غذایی به منظور کاهش میزان آسیب‌پذیری در برابر نوسانات در بخش واردات و نیز قیمت‌ها، تغییرات در رژیم‌های غذایی با گرایش به غذاهایی با مقدار آب بیشتر و پروتئین‌های حیوانی، گسترش شهرنشینی، تقاضا برای انرژی و توسعه اقتصادی-اجتماعی، با کمبود شدید آب مواجه خواهد شد (سازمان خواربار و کشاورزی، ۲۰۵).

به منظور مقابله با کم‌آبی، تمهیدات چندی اتخاذ می‌شوند. در بخش تأمین آب، بر بازیافت و استفاده مجدد از فاضلاب‌های تصفیه شده، شیرین‌سازی آب شور و آب دریا و آب باران یا ذخیره‌سازی و تصفیه آب باران، مدیریت ترکیبی آب‌های سطحی و زیرزمینی و ذخیره‌سازی آب تمرکز می‌شود. در این بخش حفظ کیفیت و نیز

[۱] Kendy
[۲] Zamora, Kirchner and Lustgarten
[۳] Falkenmark, Lundquist and Widstrand

نگهداری آب مورد توجه ویژه قرار می‌گیرد. در بخش تقاضا نیز تمرکز اصلی بر افزایش میزان کارآیی و بهره‌وری در مصرف آب و نیز کاهش میزان اتلاف یا از میان رفتن محصولات کشاورزی در زنجیره عرضه است.

با توجه به نقش آب مجازی و اهمیت رژیم‌های غذایی پایدار، مسئله تجارت به شکل فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. با این همه، مدرنیزه کردن فیزیکی سیستم‌های آبیاری عمدتاً از طریق اقداماتی مانند سیستم‌های آبرسانی مبتنی بر لوله‌کشی، مسطح‌سازی اراضی با استفاده از لیزر و سیستم‌های آبیاری تحت فشار بارانی یا زمینی شامل سیستم‌های زیرسطحی همچنان بخش غالب برنامه‌های سرمایه‌گذاری در این بخش را تشکیل می‌دهد. مفروضات بنیادین این رویکرد بدین قرار هستند:

- از آنجا که میزان کارآیی روش‌های سنتی آبیاری، ۵۰ درصد یا کم‌تر از آن است، امکان صرفه‌جویی مقدار فراوانی آب وجود دارد؛
- به موازات افزایش میزان بهره‌وری در مصرف آب، میزان بازدهی محصول به ازای هر هکتار نیز افزایش می‌یابد.

کوتاه سخن آنکه آبیاری مدرن (که در اینجا از آن با عنوان آبیاری پیشرفته نام برده شده است) به مثابه یک راهکار بنیادین برای مقابله با کم‌آبی تلقی می‌شود.

ما در گزارش حاضر این استدلال را مطرح کرده‌ایم که انجام این اقدامات به واسطه عدم وجود سهمیه‌های کنترل شده، در عمل به وخیم‌تر شدن مشکل کم‌آبی در منطقه خاور نزدیک و شمال آفریقا منجر شده است. اطلاعات حاصل از محاسبه صحیح مقدار آب (بچلور[1] و دیگران، ۲۰۱۶)، مرور ادبیات موضوع و تحلیل نتایج پروژه حاضر، منابع استخراج شواهد مربوط به تأیید این استدلال هستند. در پایان نیز به شرح پیامدهای این شرایط در حوزه مدیریت پایدار منابع آب خواهیم پرداخت.

[1] Batchelor

جدول ۱ – منابع آبی تجدیدپذیر در خاور نزدیک و شکال آفریقا (AQUASTAT)

	میزان بارش (میلی‌متر در سال)	داخلی (میلیون متر مکعب در سال)	خارجی (میلیون متر مکعب در سال)	کل (میلیون متر مکعب در سال)	رتبه جهانی (از کم به زیاد)
الجزیره	۸۹	۱۱۲۵۰	۴۲۰	۱۱۶۷۰	۱۵
بحرین	۸۳	۴	۱۱۲	۱۱۶	۷
مصر	۵۱	۱۸۰۰	۵۶۵۰۰	۵۸۳۰۰	۲۲
ایران	۲۲۸	۱۲۸۵۰۰	۸۵۰۰	۱۳۷۰۰۰	۵۴
عراق	۲۱۶	۳۵۲۰۰	۵۴۶۶۰	۸۹۸۶۰	۶۹
اسرائیل	۴۳۵	۷۵۰	۱۰۳۰	۱۷۸۰	۱۳
اردن	۱۱۱	۶۸۲	۲۲۵	۹۳۷	۱۱
کویت	۱۲۱	۰	۲۰	۲۰	۱
لبنان	۶۶۱	۴۸۰۰	-۳۰۰	۴۵۰۰	۲۶
لیبی	۵۶	۷۰۰	۰	۷۰۰	۹
موریتانی	۹۲	۴۰۰	۱۱۰۰۰	۱۱۴۰۰	۷۶
مراکش	۳۴۶	۲۹۰۰۰	۰	۲۹۰۰۰	۲۷
فلسطین اشغالی	۴۰۲	۸۱۲	۲۵	۸۳۷	۱۲
عمان	۱۲۵	۱۴۰۰	۰	۱۴۰۰	۱۶
قطر	۷۴	۵۶	۲	۵۸	۳
عربستان سعودی	۵۹	۲۴۰۰	۰	۲۴۰۰	۴
سودان	۲۵۰	۴۰۰۰	۳۳۸۰۰	۳۷۸۰۰	۳۰
سوریه	۲۵۲	۷۱۳۲	۹۶۷۰	۱۶۸۰۰	۲۸
تونس	۲۰۷	۴۱۹۵	۴۲۰	۴۶۱۵	۱۸
ترکیه	۵۹۳	۲۲۷۰۰۰	-۱۵۴۰۰	۲۱۱۶۰۰	۷۴
امارات متحده عربی	۷۸	۱۵۰	۰	۱۵۰	۲
یمن	۱۶۷	۲۱۰۰	۰	۲۱۰۰	۵

۲- از مصرف پایدار تا مصرف ناپایدار آب

مفهوم پایداری با طیف متنوعی از دیدگاه‌ها و ابعاد (اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی، بوم‌شناسی و ...) پیوند یافته است. محور اصلی گزارش حاضر آب است و هرچند آب نقش مهمی در برخی جنبه‌های مهم پایداری دارد، اما دایره تحلیل ما صرفاً به شاخص‌های فیزیکی پایداری به عنوان مبنای تمامی دیدگاه‌های دیگر در حوزه توسعه پایدار متمرکز خواهد بود. از این منظر، پایین رفتن مستمر سفره‌های آب زیرزمینی و وجود رودخانه‌های فصلی یا دائماً خشکی که به دریا نمی‌پیوندند از جمله شاخصه‌های مصرف ناپایدار به شمار می‌روند. این شاخص‌ها عموماً با کاهش کیفیت آب، ورود نمک به سفره‌های آب ساحلی، و کیفیت پایین آب رودخانه‌ها همراه هستند.

در مناطق بیابانی که بخش عمده‌ای از خاور نزدیک و شمال آفریقا را تشکیل می‌دهند، امنیت غذایی همواره به کنترل منابع کمیاب آب بستگی داشته است. رویکردهای مختلفی در این زمینه بسته به نقشه ناهمواری‌ها، ویژگی‌های زمین‌شناسی و آب‌شناختی هر منطقه اتخاذ شده‌اند، اما طراحی و ایجاد این رویکردها عمدتاً بر مبنای ملاحظات محلی صورت گرفته است. راه‌اندازی و مرمت این سیستم‌ها نیز حول نهادهای محلی (اعم از رسمی و غیررسمی) به شکلی سامان یافته است که اولویت‌های تخصیص منابع آب بازتاب‌دهنده اولویت‌های اجتماعی و اقتصادی یک گروه نسبتاً کوچک و برخوردار از انسجام اجتماعی باشند. روندهای توسعه نیز عمدتاً پراکنده و به لحاظ مسائل آب‌شناختی نیز از یکدیگر مجزا بودند.

در اینجا به معرفی سه نمونه مدیریت پایدار آب جهت آبیاری در منطقه پیش از ورود سیستم‌های آبیاری مدرن به عرصه، یعنی تا اواسط قرن بیستم خواهیم پرداخت.

نمونه ۱- *سیستم‌های آبیاری بارانی* در برخی کشورهای عربی نقش مهمی را ایفا کرده و حدود ۲۰ درصد اراضی تحت آبیاری در یمن و الجزایر را تحت پوشش خود داشتند. این سیستم‌ها از سدهای خاکی غالباً موقتی تشکیل می‌شوند که آب را از سیلاب‌های سریع و موقتی که پس از بارش‌های قابل توجه ایجاد می‌شوند، منحرف می‌کنند. کشاورزان به طور مشترک مالکیت این سدها را در اختیار داشتند و اراضی قابل آبیاری توسط این سدها به طور کامل از زمین‌هایی که آب باران از آنها گرفته شده بود، متمایز بودند. در یمن زمین‌هایی وجود دارد که آب باران در آنها جمع می‌شود و مثلاً چرای حیوانات در آنها آزاد است اما کشت محصول یا هر اقدام دیگری که بر روند حرکت طبیعی بارش‌ها تأثیر بگذارد ممنوع است.

از آنجا که آبیاری بارانی به شکل ناگهانی و غیرقابل پیش‌بینی رخ می‌دهد، اعمال و انتقال رویه‌های تقسیم آب در این شیوه نیز باید به همین نسبت ساده و آسان باشد. معمولاً وسعت منطقه مجاز برای آبیاری معمولاً به طور شفاف تعریف می‌شود، عمق مجاز برای آبیاری بر مبنای یه معیار ساده (تا سر زانوها) مشخص می‌گردد و یکی از روش‌های اطلاع‌رسانی در مورد پایان نوبت آبیاری یک کشاورز شلیک تیر هوایی است که به وسیله آن کشاورز بعدی مطلع می‌شود که می‌تواند مسیر آب را بر روی زمین خود باز کند. هرچند این تمهیدات بسیار ابتدایی به نظر می‌رسند، اما در یک سیستم آبیاری بارانی جهت تقسیم مقدار کاملاً نامشخصی از آب بر مبنای قواعد ساده و

ارتباطات سریع، این شیوه بسیار مناسب است. برایند استفاده از این شیوه (ن.ک. به شکل ۱) توزیع نسبتاً یکنواخت آب در میان مصرف‌کنندگان است.

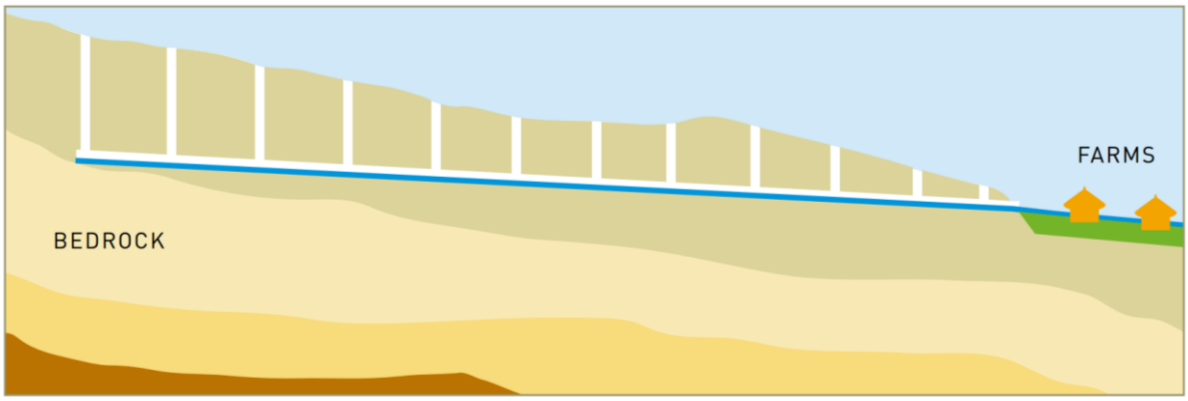
شکل ۱- سیستم آبیاری بارانی در یمن

نمونه ۲- *قنات‌ها* در بسیاری از کشورهای عربی و نیز در افغانستان و چین و در امتداد همین مسیر به سمت شرق یافت می‌شوند. اجتماعات ساکن شمال آفریقا شیوه استفاده از قنات را به اسپانیا بردند و هنوز هم قنات‌هایی در این کشور به قوت خود باقی هستند. ساکنان اسپانیا نیز این شیوه را به آمریکای جنوبی منتقل کردند. هنوز هم در مکزیک، پرو و شیلی قنات یافت می‌شود. یک قنات (ن.ک. به شکل ۲) عبارت است از تونلی که در پای تپه و هم‌سطح با زمین آغاز می‌شود و در امتداد مسیر خود به سمت تپه با زاویه کم‌تری نسبت به سطح زمین به سمت بالا شیب پیدا می‌کند، به طوری که هرچه به طرف تپه حرکت می‌کنیم، عمق تونل نیز بیشتر می‌شود و سرانجام مسیر سفره آب زیرزمینی موجود در پای تپه را قطع می‌کند. قنات‌ها اصولاً چشمه‌های ساخته دست انسان هستند که مسیری برای نفوذ آب از قسمت‌های بالادست را به سمت یک نقطه مشخص فراهم می‌کنند. روزنه‌های عمومی قنات امکان دسترسی به بخش‌های مختلف آن در جریان ساخت را فراهم می‌کنند. طول برخی قنات‌ها چندین کیلومتر است.

مالکان یک قنات آب را میان خود تقسیم می‌کنند. مالکان قنات در عمان روش‌های پیچیده‌ای برای اولویت‌بندی در تخصیص منابع آب دارند که بر مبنای آن آب ابتدا به خانه‌ها و بعد به باغ‌ها و درختان و در مرحله آخر به محصولات مزرعه‌ای اختصاص می‌یابد. از ابزارهای شبیه ساعت آفتابی برای تعیین زمان آبیاری کاربران مختلف استفاده می‌شده است.

یک قنات علاوه بر کانال یا سازه‌های دیگری جهت تغییر مسیر آب، ممکن است شامل امکاناتی جهت تسهیل فرایند تقسیم آب از قبیل سازه‌های سنگی تقسیم آب باشد که در آن، عرض کانال‌ها بسته به سهم افراد از رودخانه متغیر است.

شکل ۲- برش مقطع یک قنات



نمونه ۳- *ساقیه‌ها*[۱] تا پیش از احداث سد اسوان[۲] در مصر، کانال‌های سیل‌بند مسیر سیلاب‌های سالانه نیل را منحرف می‌کردند. دولت به طور اسمی مسئولیت انحراف مسیر آب به داخل این کانال‌ها را بر عهده داشت، اما در واقع بالا و پایین رفتن سطح آب نیل باعث می‌شد تا این فرایند به شکل خودکار صورت گیرد. جالب آنکه عمق این کانال‌های توزیع آب که به دوران ترشیاری زمین‌شناسی مربوط می‌شوند به حدی بود که کشاورزان مجبور بودند آب را با استفاده از ساقیه‌هایی که حیوانات آنها را به حرکت درمی‌آوردند از داخل آنها استخراج کنند. همین مسئله مشوقی طبیعی را برای کاهش میزان آب مصرفی در اراضی کشاورزی فراهم می‌کرد. مالکیت ساقیه‌ها عموماً گروهی بود و کشاورزان در مورد نحوه تقسیم آب آنها با یکدیگر به توافق می‌رسیدند.

گذشته از این روش‌های بهره‌برداری از منابع آب در منطقه، چاه‌های روباز جهت بهره‌برداری از سفره‌های آبی کم‌عمق نیز رواج بسیار داشتند. تمامی شیوه‌های آبیاری فوق دارای دو مؤلفه مشترک هستند:

- بهره‌برداری از منابع آب به شکلی طبیعی به میزان منابع تجدیدپذیر سالانه محدود بود. بدین ترتیب پایداری در تمامی این سیستم‌های آبیاری امری تضمین‌شده بود، زیرا میزان آب موجود جهت بهره‌برداری به میزان بارش، ویژگی‌های آبشناسی و ویژگی‌های آب‌زمین‌شناسی بستگی داشت.
- ارتباط میان این سیستم‌ها به سطح محلی محدود بود و شیوه مدیریت سفره‌های آب زیرزمینی، حوزه‌های آبی، سطوح محلی و منطقه‌ای برای تضمین پایداری ضرورت نداشت.

اما این شرایط در نیمه دوم قرن بیستم به واسطه تلفیقی از عوامل کاملاً مشخص به کلی دگرگون شد: افزایش جمعیت افزایش تقاضا برای غذا و سبزیجات را در پی داشت؛ بالا رفتن استانداردهای زندگی و تغییر رژیم‌های غذایی نیز به افزایش هرچه بیشتر میزان تقاضای سرانه کمک کرد؛ و بالاخره صنعتی شدن و شهرنشینی تقاضاهای تازه‌ای برای آب ایجاد نمودند. عامل آخری که شاید تعیین‌کننده‌ترین نقش را در ایجاد عدم توازن فزاینده میان میزان تقاضا و منابع تجدیدپذیر داشت، تحول در حوزه فن‌آوری بود. در سیستم‌های آبیاری سطحی، ورود سیستم‌های عظیم ذخیره‌سازی و تغییر مسیر آب سیلاب‌ها فرصتی برای ذخیره آب ایجاد کرد. کنترل میزان منابع

[۱] Sakias
[۲] Aswan Dam

آبی تخصیص یافته به بخش آبیاری در اغلب موارد به افزایش میزان کل مصرف و در نهایت ایجاد رقابت میان کاربران جدا از یکدیگر به لحاظ جغرافیایی در حوزه یک رودخانه منجر گردید. در حوزه سیستم‌های مربوط به آب‌های زیرزمینی نیز ورود موتورهای ارزان قیمت و قابل حمل و تلمبه‌های زیرسطحی میزان بالقوه آب قابل استخراج از رودخانه‌ها، رودها و مهم‌تر از همه سفره‌های آب زیرزمینی را به حدی افزایش داد که به کاهش مستمر سطح آب‌های زیرزمینی منجر شد.

در بخش‌های دیگری از منطقه و البته کل جهان، تلمبه‌های زیرسطحی امکان افزایش عمق چاه‌ها و بهره‌برداری از سفره‌های آب زیرزمینی عمیق‌تر را به حدی فراهم کردند که به ایجاد مزاحمت برای سایر مصرف‌کنندگان منجر شد (فاستر و گاردونو،[1] ۲۰۱۶) و این مسئله به تراژدی آشنای مردمان عادی تبدیل گردید (هاردین،[2] ۱۹۶۸). به همین ترتیب در سیستم‌های سطحی، افزایش میزان مصرف در تمامی مناطق بالادستی به کاهش جریان رودخانه‌ها منجر شد، به طوری که هم اکنون بسیاری از رودخانه‌ها در منطقه تنها در مواقع بارش‌های استثنایی به دریا می‌رسند.

[1] Foster and Garduno
[2] Hardin

۳– یک چارچوب پایه برای تحلیل تأثیر واکنش‌ها در برابر کم‌آبی و میزان بالای تقاضا برای آب

افزایش مداوم تقاضا برای آب، امکان دسترسی به آبی بیش از میزان موجود در منابع تجدیدپذیر و ابزارهای جدید دسترسی به آب که مرزبندی‌های سنتی محلی جهت ایجاد توازن میان مصرف‌کنندگان را از میان برده‌اند، مجموعاً چالش‌های کاملاً تازه‌ای را در حوزه مدیریت منابع آب ایجاد کرده‌اند:

- اعمال حکمرانی در این حوزه هم اکنون مستلزم وجود نهادهایی به منظور تعیین اولویت‌ها، وضع قوانین و مشارکت در فعالیت‌هایی است که بازتاب دهنده وابستگی‌های متقابل در سطح حوضه‌های آبریز و سفره‌های آب هستند.
- این امر به لحاظ فنی به معنای ایجاد شرایطی است که در آن کاربران به رعایت حقوق دیگران ترغیب شوند و در عین حال اتلاف فیزیکی نیز به حداقل ممکن کاهش یابد.
- این امر به لحاظ اقتصادی به معنای به حداکثر رساندن مزایای اقتصادی–اجتماعی ناشی از کاهش میزان آب قابل دسترسی از قبیل تخصیص آب به بالاترین اولویت‌های استفاده است.

شناخت تأثیر مداخلات فنی و اقتصادی بر تقاضا برای آب و مصرف این ماده مستلزم در اختیار داشتن یک چارچوب منسجم حسابداری آب است که ذیلاً به معرفی آن به عنوان مبنایی برای مباحث بعدی پیرامون مسائل فنی و اقتصادی خواهیم پرداخت.

۱–۳– حسابداری فیزیکی آب

لفظ «حسابداری» در رایج‌ترین معنای خود به ثبت سوابق فعالیت‌های مالی اطلاق می‌شود. اصولی که شالوده حسابداری مالی را تشکیل می‌دهند را می‌توان در هر نوع حسابداری دیگری نیز مورد استفاده قرار داد. حسابداری مالی متضمن به‌کارگیری مجموعه‌ای از تعاریف و قواعد در مورد درآمدها، هزینه‌ها و سایر انواع معاملات با هدف توصیف گردش‌های مالی شامل افزایش و کاهش میزان پس‌انداز، سود و زیان برای یک واحد مالی در یک دوره زمانی مشخص است.

ما با بسیاری از واژگان مورد استفاده در حسابداری مالی از قبیل هزینه، درآمد، پس‌انداز، تراز و ... آشنا هستیم و به سادگی می‌توانیم بسیاری از مفاهیم مرتبط مانند سود و زیان را درک کنیم. همچنین ما به خوبی می‌دانیم که شیوه‌های مورد استفاده در حسابداری مالی مستقل از مقیاس هستند. به دیگر سخن، هر یک از واژگان یادشده، خواه در مورد پولی که به عنوان خرجی به کودک داده می‌شود، در یک مغازه سر نبش خیابان یا یک کشور به کار گرفته شوند، معنای واحدی دارند. همچنین دوره زمانی نیز در این زمینه حائز اهمیت است. میزان فروش در یک فصل ممکن است در مقایسه با میزان فروش در یک فصل دیگر بسیار بیشتر یا بسیار کمتر باشد و لذا عامل چارچوب زمانی نیز باید در محاسبات مالی لحاظ شود. مهمتر از همه، در چارچوب دوره زمانی و مقیاس مورد نظر، منشأ تمامی گردش‌های مالی باید مشخص شود و هر گونه اختلاف میان هزینه و درآمد باید در افزایش یا کاهش میزان پس‌انداز بازتاب داشته باشد.

علم آب‌شناسی و حوزه عملی مهندسی آب از گذشته‌های دور در مقیاس‌های متفاوت و با اهداف متفاوتی شکل گرفته‌اند. در نتیجه، مجموعه‌ای از تعاریف مشترک میان این دو حوزه شکل نگرفته است که بتوان بر مبنای آنها یک سیستم حسابداری مناسب را طراحی کرد. زمانی که آبیاری به بخش مهمی از آب‌شناسی حوضه‌های آبریز تبدیل می‌شود، تداخل مفاهیم موجب ایجاد دشواری‌هایی در زمینه درک مفهوم آبیاری و سایر مقولات استفاده از آب در چارچوب علم آب‌شناسی می‌شود.

در مقیاس جهانی و در درازمدت، تبخیر رودها، دریاها و ... در کنار تبخیر و تعریق در سطح زمین باید با میزان بارش برابر باشد. اما زمانی که چارچوب بررسی ما کوچک‌تر از مقیاس جهانی و دوره زمانی مورد نظر ما نیز کوتاه‌تر از یک بازه زمانی درازمدت است، جریان‌های آبی آن سوی مرزهای حوزه مورد مطالعه و نیز تغییرات در ذخیره‌سازی آب در آن حوزه مشخص باید به دقت مورد توجه قرار گیرد.

در فرایند تجزیه و تحلیل با هدف یافتن بهترین واکنش در برابر استفاده ناپایدار از آب، استفاده از واژگان مناسب و عاری از ابهام بسیار ضروری است. نخستین تمایز مهم در این بخش، تمایز میان استفاده از آب (مثلاً برای تولید برق آبی یا لباس شستن) و مصرف آب (مثلاً در سیستم‌های آبیاری به واسطه تبخیر و تعریق در محصولات کشاورزی) است. در مورد استفاده از آب، بخش اعظم آب استفاده شده مستقیماً و البته شاید در محلی دیگر و حتی شاید با افزوده شدن برخی آلاینده‌ها به حوزه آبی که از آن استخراج شده بود بازمی‌گردد، اما این آب به لحاظ فیزیکی همچنان برای استفاده مجدد در دسترس است. اما وقتی آب به واسطه تبخیر یا تعریق مصرف می‌شود، دیگر قابل دسترس نیست.

نکته دوم به نگاه به مسئله از دیدگاه مهندسی آب مربوط می‌شود که در برنامه‌ریزی، طراحی و راه‌اندازی سیستم‌های آبیاری کاملاً معتبر و متناسب است. در این دیدگاه، آبی که از مرزهای حوزه تعریف شده خارج شود به عنوان آب تلف شده در نظر گرفته می‌شود. اما یک تحلیل‌گر با گرایش‌های زیست‌محیطی ممکن است با کمال خرسندی این آب‌های تلف‌شده را به عنوان منبعی برای تجدید سفره‌های آب زیرزمینی یا باتلاق‌ها تلقی کند. به عبارت دیگر، آنچه در مهندسی آب از آن با عنوان «اتلاف» یاد می‌شود، از نگاه حامیان محیط زیست یک «منبع» تأمین آب است.

در چارچوبی که ذیلاً معرفی می‌شود (پری،[1] ۲۰۰۷؛ بچلور و دیگران، ۲۰۱۶) انواع مختلف جریان‌های آب مربوط به هر یک از انواع استفاده از آب از یکدیگر تفکیک شده‌اند و می‌توان آنها را در مورد هر بخش و در هر مقیاسی بدون ایجاد هیچ گونه تغییری به کار گرفت:

استفاده از آب: هر گونه کاربرد آب برای یک هدف مشخص (آبیاری، تغییر کاربری از طریق یک ایستگاه تولید برق، شستشوی خانگی، فرایندهای صنعتی و ...). تمامی موارد استفاده از آب مشمول یک یا چند مورد از مقولات ذیل می‌باشد:

۱. کاربری مصرفی (تبدیل آب به بخار آب)، شامل:

[1] Perry

الف) مصرف مفید (تعریق در محصولات کشاورزی، تبخیر برج‌های خنک‌کننده)

ب) مصرف غیرمفید (تبخیر آب‌های آزاد سطحی و خاک‌های مرطوب، تعریق مربوط به علف‌های هرز)

۲. استفاده غیرمصرفی شامل:

الف) جریان‌های قابل بازیابی (جهت استفاده مجدد احتمالی به رودخانه یا سفره‌های زیرزمینی بازمی‌گردند)

ب) جریان‌های آب غیرقابل بازیابی (که به دریا یا سایر حوضه‌های آبریز فاقد صرفه اقتصادی وارد می‌شوند)

۳. تغییر در ذخیره‌سازی

طبق قانون بقای جرم:

استفاده از آب= ۱ الف + ۱ ب + ۲ الف +۲ ب + ۳

در ارزیابی تأثیر یک مداخله، وضعیت هر یک از انواع جریان‌های آبی باید پیش و پس از انجام مداخله مشخص شود تا امکان ارائه توصیف کاملی از تأثیر مداخله مورد نظر فراهم گردد. توصیفات ناقص، چنان که بعداً به نمونه‌های آن خواهیم پرداخت، می‌توانند بسیار گمراه‌کننده باشند.

بیشتر انواع مداخلاتی که با هدف مقابله با کم‌آبی طراحی شده‌اند، بر اجرای تمهیدات فنی به منظور افزایش کارآیی توزیع فیزیکی آب از طریق کاهش میزان اتلاف آب یا افزایش میزان بهره‌وری آبی که در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌گیرد (مثلاً افزایش میزان نسبت محصول به ازای هر قطره آب) متمرکز بوده‌اند.

کارآیی آبیاری معمولاً به عنوان نسبت میان میزان آب قابل دسترس در بخش‌های مجزای یک سیستم آبیاری (مثلاً نسبت میان آبی که در اختیار کشاورزان قرار می‌گیرد به میزان آبی که وارد چرخه آبیاری می‌شود و یا نسبت میان میزان آبی که در یک مسیر آبیاری قرار می‌گیرد به میزان آبی که به زمین کشاورزی می‌رسد) تعریف می‌شود. کارآیی آبیاری یک نسبت فاقد بعد (مثلاً مترمکعب بر مترمکعب) یا به صورت درصد است. در سیستم‌های آبیاری غرقابی که آب در آنها از طریق کانال‌های خاکی منتقل می‌شود، نسبت میزان آب مصرفی توسط محصول و آبی که وارد سیستم آبیاری می‌شود، غالباً تنها در حدود ٤٠ درصد است. معمولاً از این آمار چنین نتیجه‌گیری می‌شود که ٦٠ درصد آبی که به سیستم آبیاری وارد می‌شود به هدر می‌رود و لوله‌کشی و بهبود شیوه مدیریت آب در مزرعه (آبیاری قطره‌ای، سطحی، تسطیح لیزری و ...) می‌تواند میزان بالای صرفه‌جویی در مصرف آب را به همراه داشته باشد.

اما اگر این سناریو را در چارچوب حسابداری آب که در بالا به آن اشاره شد قرار دهیم، مشخص می‌شود که تا زمانی که ندانیم آبی که هدر رفته چه سرنوشتی یافته است، نمی‌توانیم در مورد میزان صرفه‌جویی در مصرف آب از طریق بهبود مدیریت مصرف آن آمار دقیقی ارائه کنیم. به عنوان نمونه، نشت آب ناشی از آبیاری ناکارآمد (نخستین مورد مربوط به آیتم ۲ در بالا) غالباً یکی از منابع اصلی ورود مجدد آب به سفره‌های زیرزمینی است. اگر یک کشاورز بتواند سطح تحت آبیاری و نیز میزان مصرف مفید آب (مورد اول از آیتم ۱ در بالا) را افزایش و میزان نشت آب به یک سفره زیرزمینی قابل استفاده یا میزان آبی را که به کاربران پایین‌دست می‌رسد کاهش دهد، تأثیر

کلی این شرایط، افزایش میزان مصرف آب در سطح محلی و کاهش آب قابل دسترس بری سایر کاربران در سایر اوقات سال خواهد بود.

طرح این مسائل به معنای حمایت از آبیاری ناکارآمد نیست، بلکه هدف ما تنها تأکید بر شفافیت در زمینه گزارش و ارزیابی تأثیرات فیزیکی ناشی از بهبود فن‌آوری‌های آبیاری است. بدین ترتیب زمانی که طرفداران آبیاری قطره‌ای استدلال می‌کنند که استفاده از این شیوه، سطح آبیاری شده را به دو برابر افزایش می‌دهد، باید این افزایش را به معنای دو برابر شدن مصرف آب وارد شده به مزرعه و لذا کاهش شدید میزان آبی که به محیط بازگشته یا در اختیار سایر کاربران قرار می‌گیرد، تلقی کنیم.

۲-۳- محاسبه میزان بهره‌وری آب

بهره‌وری آب را به دو شیوه می‌توان تعریف کرد؛ بهره‌وری بیوفیزیک آب بر حسب نسبت تولید محصول به کیلوگرم به ازای هر واحد آب مصرفی به مترمکعب، و بهره‌وری اقتصادی آب به عنوان ارزش محصولات تولیدشده به دلار آمریکا به ازای هر واحد آب مصرفی به متر مکعب تعریف می‌شود.

معمولاً از بهره‌وری بیوفیزیکی آب با عنوان کارآیی استفاده از آب نیز یاد می‌شود و میزان آن به نوع محصول و محل کشت بستگی دارد. در مورد محصولات مزرعه‌ای معمولی (غلات، علوفه دام، سبزیجات و شکر[۱] ارتباط میان میزان بازدهی به لحاظ زیست‌توده و میزان مصرف آب (تعریق) در طیف گسترده‌ای از اراضی دارای میزان بازدهی متوسط اساساً از نوع خطی است (هاول،[۲] ۱۹۹۰؛ فررز و سوریانو،[۳] ۲۰۰۷؛ استدوتو و دیگران، ۲۰۱۲). اگر میزان آب قابل دسترس پایین و دارای نوسان باشد، افزایش تدریجی و کنترل‌شده میزان آبیاری می‌تواند به افزایش بالای میزان بازدهی منجر شود؛ در سطوح بسیار بالای مدیریت، تنش کنترل شده در مراحل غیر حساس رشد می‌تواند تا حدی به افزایش میزان بهره‌وری بیوفیزیکی آب کمک کند، اما در مواردی که میزان بازدهی متوسط است، افزایش میزان بازدهی معمولاً با افزایش میزان آب مصرفی محصول همراه است. شیب رابطه میان تولید زیست‌توده و تعریق نیز از شرایط اقلیمی محلی تأثیر می‌پذیرد. هرچه هوا گرم و خشک‌تر باشد، میزان تعریق مورد نیاز به ازای هر واحد تولید زیست‌توده نیز بیشتر خواهد بود، اما این رابطه نیز در مقیاس محلی رابطه‌ای «ثابت» خواهد بود.

یک شیوه مبتنی بر کشاورزی علمی که تا حدی بر میزان بهره‌وری بیوفیزیک آب تأثیر داشته، آبیاری کاستی[۴] است. در این شیوه، میزان آب کمتری در قیاس با آب مورد نیاز محصول به لحاظ تبخیر و تعریق به محصول داده می‌شود. در این حالت دو وضعیت ممکن است به وجود بیاید. در وضعیت نخست، آب ذخیره شده در خاک و یا آب حاصل از نزولات جوی این کمبود آب را جبران می‌کند و محصول به لحاظ تبخیر و تعریق با کمبودی مواجه نمی‌شوند و بدین ترتیب هیچ گونه صرفه‌جویی نیز در مصرف آب صورت نمی‌گیرد. این سناریو غالباً برای استفاده بهینه از آب ذخیره‌شده در خاک بسیار مناسب است، اما تحقق آن مستلزم مدیریت و محاسبه دقیق منابع آب به

---

۱ sugar
۲ Howell
۳ Fereres and Soriano
۴ Deficit Irrigation

منظور جلوگیری از بروز کاستی در تبخیر و تعریق خواهد بود. وضعیت دوم زمانی رخ می‌دهد که میزان آب موجود جهت آبیاری به عمد و به منظور ایجاد کسری آب پایین نگه داشته می‌شود تا میزان واقعی تبخیر و تعریق محصول از میزان تعیین شده کمتر باشد. در این وضعیت، با توجه به ارتباط نزدیک میان میزان تولید و میزان تعریق، بازدهی محصول عموماً کم‌تر از میزان بازدهی در شرایط آبیاری کامل است.

برخی محصولات (محصولات درختی و بوته‌ای آشناترین نمونه‌ها هستند) به کاستی تبخیر و تعریق واکنش مثبتی نشان می‌دهند و فرصت استفاده از شیوه آبیاری ناقص به منظور افزایش بهره‌وری بیوفیزیکی آب را ایجاد می‌کنند. اما امکان استفاده از این شیوه در مورد اکثر انواع غلات بسیار محدود است. مثلاً در مورد ذرت، بسیاری از آزمایش‌ها نشان داده‌اند که آبیاری کامل بهترین گزینه به لحاظ اقتصادی است و اگر قرار است میزان آب مورد استفاده جهت آبیاری این محصول محدود شود، این محدودیت باید در قسمت‌های دارای تراکم محصول کم‌تر متمرکز باشد. در مورد گندم، شواهد مربوط به آبیاری تکمیلی در خاورمیانه و سایر مناطق جهان نشان می‌دهند که هرچند با استفاده از این شیوه می‌توان میزان بهره‌وری آب در بخش آبیاری را افزایش داد، در صورت استفاده از این روش، همواره میزانی از بازده محصول کاسته خواهد شد. اگر بهای آب بسیار گران یا میزان آن اندک باشد، ممکن است بتوان حد بهینه‌ای از کاستی میزان آبیاری را محاسبه کرد، اما این میزان، ۹۰-۸۰ درصد کل میزان تبخیر و تعریق محصول خواهد بود. در میان سایر محصولات مزرعه‌ای، پنبه و ذرت خوشه‌ای برای آبیاری ناقص گزینه‌های مناسبی هستند.

برای اکثر محصولات مزرعه‌ای و سبزیجات، میزان اثربخشی آبیاری ناقص اندک است و این میزان نیز باید از طریق یک فرایند بهینه‌سازی مبتنی بر داده‌های محلی مورد ارزیابی قرار گیرد. حتی در این صورت نیز از منظر عملی، مدیریت کاهش ناچیز میزان تبخیر و تعریق فرایندی بسیار دشوار و پرمخاطره است که غالباً به شور شدن خاک منجر می‌شود. در مورد گیاهان ساقه‌دار چندساله (درختان و بوته‌های میوه) نیز آبیاری ناقص یک گزینه قابل اجرا جهت صرفه‌جویی در مصرف آب و بهینه‌سازی مصرف منابع آبی محدود به شمار می‌رود (استدوتو و دیگران، ۲۰۱۲).

روش دیگر مبتنی بر کشاورزی علمی که تأثیرگذاری آن در افزایش میزان بهره‌وری بیوفیزیکی آب به اثبات رسیده، روش آبیاری مکمل است. هرچند آبیاری مکمل در محیط‌های مختلف معانی متفاوتی دارد، اما عموماً نوعی از آبیاری ناقص است که در آن مقادیر اندکی آب به عنوان مکمل آب حاصل از نزولات جوی به محصول داده می‌شود. هرچند از این اصطلاح در گذشته در مورد مناطق مرطوب استفاده شده است، اما این مفهوم عمدتاً در مناطق بیابانی خاورمیانه جهت افزایش تولید غلات زمستانه ابداع شده است. این شیوه معمولاً در کنار ذخیره‌سازی آب حاصل از نزولات جوی توصیه می‌شود (اویس و هوچوم،[1] ۲۰۰۶). آزمایش‌های بسیاری نشان داده‌اند که دادن مقادیر نسبتاً اندکی آب به غلات زمستانه در حوالی زمان شکوفه‌دهی، تأثیر بسیار واضحی بر میزان بازدهی محصول و میزان بهره‌وری آب به واحد کیلوگرم بر مترمکعب دارد. دلیل این امر نیز آن است که دادن آب کافی در

[1] Oweis and Hochum

این مقطع زمانی تأثیر مثبتی بر شاخص برداشت محصول در شرایط خشک‌سالی در این قبیل محیط‌های دارای منابع آبی محدود دارد. اما علی‌رغم حصول نتایج مثبت در آزمایش‌ها، کشاورزان تاکنون از شیوه آبیاری مکمل در مقیاس گسترده استفاده نکرده‌اند.

دلایل این عدم استقبال گسترده از شیوه آبیاری مکمل به دشواری‌های موجود در زمینه اجرای این شیوه مربوط می‌شوند. محدودیت‌های عمده در این زمینه عبارتند از: تردید در مورد بازگشت سرمایه‌گذاری‌های مورد نیاز جهت جمع‌آوری و استفاده از آب موجود جهت آبیاری، نوسانات در زمان‌بندی کاستی آب با توجه به محدود بودن منابع آب موجود جهت آبیاری، و بالاخره تمایل به تخصیص بخش عمده آب موجود جهت آبیاری برای افزایش حداکثری میزان تولید به واحد سطح (غالباً در مورد محصولات دارای ارزش اقتصادی بالا مانند سبزیجات) به جای توزیع این آب در یک محدوده گسترده‌تر مانند آبیاری مکمل برای غلات. با توجه به دلایل فوق، قابلیت اجرای روش آبیاری مکمل در عمل کم‌تر از آن است که نتایج آزمایشی بیانگر آن هستند. البته استفاده از این روش در مورد معدودی از میوه‌های درختی مانند زیتون با موفقیت همراه بوده است.

بنابراین، برای یک محصول مشخص در یک شرایط اقلیمی معین، افزایش میزان تولید با افزایش میزان آب مصرفی محصول همراه است و در مورد اکثر محصولات مزرعه‌ای میزان بهره‌وری بیوفیزیکی آب (کیلوگرم بر مترمکعب) زمانی که میزان مصرف آب و میزان بازدهی محصول در واحد هکتار به حداکثر ممکن افزایش می‌یابد، به بالاترین میزان خود می‌رسد، زیرا میزانی از تبخیر غیرمفید از خاک یا شاخ و برگ‌های مرطوب غیرقابل اجتناب است که البته با افزایش میزان بالقوه تعریق به حداکثر میزان ممکن، بخش کوچک‌تری از کل میزان آب مصرفی را تشکیل می‌دهد.

محاسبه میزان بهره‌وری اقتصادی آب (به واحد دلار بر مترمکعب) پیچیده‌تر از محاسبه بهره‌وری بیوفیزیکی است. دسترسی آسان به بازارها و در دسترس بودن بذر مناسب، مواد شیمیایی مورد استفاده در بخش کشاورزی و نیز منابع مالی لازم از جمله عواملی هستند که به کشاورزان امکان می‌دهند محصولات دارای ارزش اقتصادی بالاتر مانند میوه‌ها، سبزیجات، محصولات جالیزی و ... را برای کشت انتخاب کنند. چنین انتخاب‌هایی موجب افزایش هزینه‌های تولید خواهند شد. محصولاتی که به این شیوه تولید می‌شوند نیز فاسدشدنی‌تر هستند و بازار آنها نیز از ثبات کم‌تری برخوردار است. دسترسی کنترل شده و قابل اتکا به آب، غالباً یک عنصر حیاتی در تصمیم کشاورزان به تلاش برای کسب عواید بالاتر اما با ریسک بیشتر حاصل از این قبیل محصولات از تمامی منابع موجود اعم از زمین، نیروی کار و سرمایه به شمار می‌رود. آبیاری پیشرفته نقش بسزایی در تأمین قابل اتکا، مناسب و به‌موقع آب دارد و از همین رو به عنوان یکی از پیش‌شرط‌های ضروری سرمایه‌گذاری امن در سایر پروژه‌های مربوط به افزایش بهره‌وری اقتصادی آب تلقی می‌شود. توزیع یک افزایش کلی در ارزش افزوده در میان تمامی عوامل مکمل تولید و لحاظ کردن ریسک و نوسان در قیمت‌ها کار سادهای نیست، اما زمانی که میانگین درآمد مزرعه صرفاً بر مبنای میزان مصرف آب محاسبه می‌شود، افزایش ظاهری میزان بهره‌وری اقتصادی آب به واسطه آبیاری پیشرفته غالباً رقم قابل توجهی را تشکیل می‌دهد.

به طور خلاصه، مؤلفه‌های تحلیل مورد نیاز جهت ارزیابی تأثیرات ناشی از تغییرات در فن‌آوری آبیاری بدین قرار هستند:

- در محاسبات مربوط به آب، این مسئله باید مطرح شود که چه تغییری در مصرف آب ایجاد شده و این تغییرات چه تأثیری بر جریان‌های آبی بازگشتی به محیط یا سفره‌های آب زیرزمینی دارند
- موارد افزایش میزان بهره‌وری بیوفیزیکی باید به تغییرات در مصرف آب به وسیله محصولات کشاورزی مرتبط گردد؛ و بالاخره این که
- موارد افزایش میزان بهره‌وری اقتصادی باید به طور مجزا گزارش شوند.

۴. تأثیرات گزارش شده مداخلات فنی؛ مروری بر شواهد موجود

شواهدی که ذیلاً به آنها اشاره می‌شود، از طیف گسترده‌ای از منابع گوناگون شامل نظرات کارشناسان و متخصصان فنی در سازمان‌های بین‌المللیِ اعطاکننده کمک‌های مالی، مراکز تحقیقاتی بین‌المللی و سایر نهادهای دارای تأثیرگذاری بالا در حوزه آب، محققانی که به طور ویژه در حوزه آب و آبیاری مشغول فعالیت هستند، ویراستاران نشریات مرتبط با موضوع و نیز تماس‌های شخصی با نویسندگان علاقه‌مند به حوزه آبیاری، از جمله تولیدکنندگان تجهیزات آبیاری پیشرفته استخراج شده‌اند. علاوه بر این، نویسندگانِ این مقالات، مطالب منتشر شده در حوزه ادبیات موضوع را نیز مورد بررسی قرار داده‌اند.

ضمن تماس مستقیم با حدود ۱۲۰ نفر از آنها خواسته شد تا به ارائه داده، گزارش یا آثار منتشره در زمینه تعیین کمّی میزان تأثیرگذاری بهبود فن‌آوری آبیاری بر مصرف و بهره‌وری آب بپردازند.[۱] برخی از این افراد اطلاعات مفیدی را ارائه کردند و برخی دیگر نیز این درخواست را برای دیگران ارسال کردند و بدین ترتیب در مجموع حدود ۲۰۰–۱۵۰ نفر از این طرح مطلع شدند.

معیارهای مورد نظر جهت انتخاب مطالعات، عبارت از این بودند که مطالعه مورد نظر می‌بایست حاوی اطلاعاتی در زمینه مصرف آب یا میزان تولید به ازای هر واحد آب مصرفی یا داده‌هایی در ارتباط با محصولات مزرعه‌ای (برنج، گندم، ذرت، پنبه، نیشکر، علوفه و ...) باشد. تمامی منابع اطلاعاتی که واجد معیارهای فوق بوده‌اند در مجموعه نمونه‌هایی که ذیلاً به معرفی آنها پرداخت‌ایم گنجانده شده‌اند. هیچ گونه گزینشی با هدف برجسته‌تر کردن نمونه‌های مؤید استدلال‌های مندرج در گزارش حاضر و یا حذف نمونه‌هایی که با این نتیجه‌گیری‌ها مغایرت دارند صورت نگرفته است. نمی‌توان ادعا کرد که شواهد ارائه شده در این گزارش جامع هستند، اما علی‌رغم جستجوی گسترده‌ای که برای یافتن نمونه‌های مورد نظر در میان گروه‌های ذی‌نفع صورت گرفت، تمامی شواهد و قراین موجود حاکی از آن هستند که استفاده از آبیاری پیشرفته در اغلب موارد مصرف آب در سطح محلی را افزایش می‌دهد و هر گونه افزایشی در میزان بازدهی محصول، معمولاً با افزایش میزان مصرف آب توسط محصول همراه است.

هرچند ممکن است این نتیجه مایه تعجب باشد، اما این فرض رایج که آبیاری پیشرفته به «صرفه‌جویی» در مصرف آب منجر می‌شود و میزان بهره‌وری آب را افزایش می‌دهد، معلول تداوم خلط میان تأثیرات در سطح محلی (صرفه‌جویی در آب در مزارع لزوماً به معنای صرفه‌جویی در منابع آبی حوضه‌های آبریز نیست) و نیز تمرکز بر آب داده شده به زمین به جای آب مصرف‌شده به عنوان شاخص سنجش بهبود بهره‌وری بوده است. در مقاله‌ای که در این زمینه نوشته شده است (پری،[۲] ۲۰۱۱) دو پروژه ارائه شده به کنفرانس مدیریت آب کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته‌اند که در هر دوی آنها ادعای صرفه‌جویی قابل توجه در مصرف آب و نیز افزایش قابل توجه میزان

---

[۱] در میان این افراد چندین عضو پرسنل بانک جهانی، سازمان خواربار و کشاورزی، بانک توسعه آسیایی، انستیتوی بین‌المللی مدیریت آب، IRRI IFPRI انستیتوی آب برای غذا، WaterAccounting.org و دانشمندان بسیاری در دانشگاه‌های و مراکز تحقیقاتی مختلف به چشم می‌خوردند.

[۲] Perry

بهره‌وری آب مطرح شده بود. اطلاعات ارائه شده به حدی حاوی جزئیات بودند که امکان بررسی مجدد این ادعاها وجود داشت. در تحلیل مجدد مشخص شد که میزان صرفه‌جویی در مصرف آب ناشی از کاهش میزان تبخیر بسیار کم‌تر از میزان ادعا شده بوده و میزان بهره‌وری آب نیز تقریباً هیچ گونه تغییری نکرده است.

در این بخش، موارد میدانی از سراسر جهان به منظور آزمون فرضیه صفر آورده شده‌اند: فرضیه که قانون پایستگی جرم و روابط شناخته شده میان میزان بازدهی محصول و میزان مصرف آب نیز مؤید آن هستند و طبق آن، آبیاری پیشرفته به واسطه افزایش سطح زیر آبیاری و یا افزایش میزان محصول به واحد سطح به افزایش میزان مصرف آب منجر می‌شود، درحالی که میزان بهره‌وری بیوفیزیکی آب (بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب) کمابیش ثابت باقی می‌ماند و میزان بهره‌وری اقتصادی آب (به واحد دلار بر مترمکعب) در اکثر موارد افزایش می‌یابد (پری و همکاران، ۲۰۰۹).

البته طرح مطالب فوق به معنای انکار مزایای پرشمار آبیاری پیشرفته (به معنای هر گونه مداخله فنی با هدف بهبود آبرسانی به مزارع) مانند کاهش میزان آب مورد استفاده، کاهش هزینه‌های استخراج آب از زیر زمین به کمک تلمبه، صرفه‌جویی در مصرف کود و سایر مواد شیمیایی و به تبع آن کاهش آلودگی، کاهش هزینه‌های نیروی کار در اغلب موارد و گسترش دایره انتخاب از میان محصولات کشاورزی نیست. اما در مواردی که منابع آب کمیاب هستند و به ویژه آبخوان‌ها به شکل بی‌رویه مورد استفاده قرار گرفته و رودخانه‌ها درحال خشک شدن هستند، کاهش میزان مصرف آب در بخش کشاورزی باید اولویت اصلی سیاست‌ها و سرمایه‌گذاری‌ها باشد. در صفحات پیشِ رو به ارائه خلاصه‌ای از گزارش‌هایی حاوی اطلاعات کمّی پیرامون تأثیر به‌کارگیری شیوه‌های پیشرفته بر میزان مصرف و بهره‌وری آب خواهیم پرداخت. موارد به تفکیک کشور مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۱-۴- استرالیا

عناوین گزارش‌ها

System of Environmental-Economic Accounting for Water (SEEA-Water) (United Nations Statistics Division, 2012); Water Account Australia 2004–05, (Australian Bureau of Statistics, 2006); *Drought and the rebound effect: A Murray–Darling basin example (Loch and Adamson, 2015); Understanding irrigation water use efficiency at different scales for better policy reform: A case study of the Murray- Darling Basin, Australia* (Qureshi *et al.* , 2011); *Water Reform and Planning in the Murray–Darling Basin, Australia (Grafton, 2017)*

کلیات

استرالیا در تدوین حقوق آب در عین برخورداری از نوسان بسیار شدید منابع آب، در جهان پیشگام بوده است. این امر به نوبه خود مبنای مبادلات مدیریت شده میان بخش‌های مختلف مصرف و مناطق مختلف و نیز آموزه‌های ارزشمندی پیرامون مسائل و مشکلات بالقوه تبدیل شده است، چنان‌که امروزه امتیازاتی که به میزان کافی از آنها استفاده نمی‌شود فروخته شده و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند و در صورت خارج شدن حجم قابل توجهی آب از یک منطقه به واسطه مبادله، دارایی‌های سرگردان نیز همین وضعیت را خواهند داشت. شواهد جدیدتر حاکی از آن هستند که برنامه‌های اعطای یارانه برای صرفه‌جویی در مصرف آب نیز ظاهراً فاقد اثربخشی، فاقد طراحی مناسب و نیز عاری از اولویت‌بندی بوده‌اند.

نکات برجسته

حوضه آبریز موری دارلینگ (MDB)[۱] به واسطه برخورداری از استانداردهای پیشرفته جهت مدیریت منابع آب و به ویژه سیستم مبتنی بر حقوق قابل مبادله آب که امکان انتقال آب به صورت اجاره‌ای در کوتاه‌مدت یا به شکل دائم را که توسط مراجع قانونی نیز به لحاظ تأثیرات آن بر طرف‌های ثالث مورد ارزیابی قرار می‌گیرد فراهم کرده است، شهرت فراوان دارد. استرالیا در تدوین نظام حسابداری زیست‌محیطی-اقتصادی برای آب که توسط سازمان ملل‌متحد ایجاد شده نقش داشته است. در این سامانه، آب استخراج شده از محیط (رودخانه‌ها، آبخوان‌ها و ...)، استفاده از این آب در بخش‌های مختلف شامل انتقال میان بخش‌های مختلف (مثلاً تأمین آب مورد نیاز یک کارخانه یا شهرک توسط یک شرکت آبرسانی)، مصرف آب به واسطه تبخیر/تعریق و جریان آبی که به طور مستقیم یا غیرمستقیم به محیط و حوضه‌های آبریز وارد می‌شوند لحاظ می‌گردند. اجرای آزمایشی این طرح در استرالیا برنامه‌ریزی شد و مرکز آمار استرالیا پیش‌تر و در سال ۲۰۰۶ دستورالعمل‌هایی را با ارجاع به این سامانه منتشر کرده بود[۲] و قرار شد این سیستم در گزارش آمارهای ملی مربوط به آب در بازه زمانی ۲۰۰۵-۲۰۰۴ اعمال شود.

با این حال، این فراز از فصل چهارم گزارش مذکور[۳] آشکارا با یکی از مؤلفه‌های اصلی رویکرد مبتنی بر SEEAW یعنی تفکیک میان کاربردهای مصرفی و غیرمصرفی در تعارض است:

---

[۱] Murray Darling Basin
[۲] UN-System of Environmental-Economic Accounting for Water (SEEAW)
[۳] http://www.water.gov.au/Publications/ABS_Water_Account_2004-05_Chpt4.pdf.

«در این فصل به بررسی استفاده از آب در صنعت کشاورزی در استرالیا خواهیم پرداخت. آب مورد استفاده در این صنعت شامل آب آشامیدنی دام و طیور و آب مورد استفاده در آبیاری محصولات و مراتع می‌شود. از آنجا که صنعت کشاورزی آب را در محدود کانال‌های ایجاد شده[1] مصرف نمی‌کند و آب سایر کاربران را نیز تأمین نمی‌کند، میزان کل آب مورد استفاده معادل همان میزان آب مصرفی خواهد بود».

در بخش دیگری از این سند چنین آمده است:

«تصور می‌شود نشت آب از منابع آب سطحی مانند رودخانه‌ها و محل‌های ذخیره آب به درون زمین در حوزه حوضه آبریز موری دارلینگ رخ می‌دهد، با این حال اطلاعات موثقی در مورد حجم این نشتی در دست نیست و درحال حاضر نیز هیچ رویکرد مناسبی جهت تخمین این حجم وجود ندارد».

آیا این فرض صفر بودن جریان‌های بازگشتی حائز اهمیت است؟ البته که چنین است! استرالیا هم اینک برنامه گسترده‌ای را با هزینه ۱۰ میلیارد دلار (استرالیا) جهت حفظ آب برای محیط زیست آغاز کرده که شامل اعطای یارانه به کشاورزان جهت سرمایه‌گذاری در زمینه استفاده از فن‌آوری‌های پیشرفته در مزارع است. میزان صرفه‌جویی بر مبنای کارآیی‌های عمومی مصرف (مثلاً ۵۰ درصد در آبیاری غرقابی، ۹۰ درصد در آبیاری قطره‌ای و ...) تخمین زده می‌شود. بدین ترتیب اگر کشاورزی با سهمیه‌ای معادل ۱۰۰ واحد آب آبیاری قطره‌ای را جایگزین آبیاری غرقابی کند، فرض بر آن است که در مقطع کنونی میزان مصرف وی ۵۰ واحد خواهد بود و بنابراین پس از تغییر شیوه آبیاری، تنها ۵۰/۰,۹ (۵۵,۵) واحد آب پاسخ‌گوی نیاز وی خواهد بود. سپس ٤٤,۵ واحد آب صرفه‌جویی‌شده بین کشاورز و محیط تقسیم می‌شود. از ۲۲,۵ واحد آبی که به کشاورز اختصاص پیدا می‌کند، او با استفاده از فن‌آوری جدید بیش از ۲۰ واحد اضافه مصرف خواهد کرد. بنابراین، انتظار می‌رود میزان مصرف آب در مزرعه از ۵۰ واحد به ۷۰ واحد و حجم جریان آب بازگشتی به محیط نیز تقریباً به همین میزان کاهش یابد و این کاملاً با اهداف طرح مغایرت دارد. در برخی موارد این آب‌های بازگشتی به آب‌های زیرزمینی شور وارد می‌شوند و لذا دیگر قابل بازیابی نیستند؛ در موارد دیگر که آبیاری در نزدیکی رودخانه‌ها صورت می‌گیرد یا آب زیرزمینی قابل استفاده است، جریان‌های آب بازگشتی قابل بازیابی هستند و نمی‌توان آنها را در تخمین میزان صرفه‌جویی لحاظ کرد. با این حال در شیوه کنونی ارزیابی سرمایه‌گذاری‌ها هیچ مبنای مشخصی برای ارزیابی این مسئله که آیا اعطای یارانه به منظور بهره‌گیری از سیستم‌های پیشرفته آبیاری در عمل به آزاد شدن آب جهت استفاده در سایر مصارف کمک کرده یا صرفاً به واسطه افزایش میزان آب تخصیص‌یافته به کشاورزان افزایش مصرف را به دنبال داشته است، وجود ندارد. در صورت اجرای فراگیرتر سیستم موسوم به UN-SEEAW به طوری که جریان آب‌های بازگشتی به محیط نیز به طور مشخص لحاظ می‌شدند، این مشکل نیز حل می‌شد.

[1] in-stream

محققان دیگر نیز به وجود این مسئله اشاره کرده‌اند. کیورشی[1] و همکاران (۲۰۱۱) به مشکل نادیده گرفتن جریان‌های آب بازگشتی و خطر ناشی از تمرکز صرف بر کارآیی در سطح محلی اشاره کرده‌اند. اما لاک و آدامسون[2] (۲۰۱۵) به معرفی «اثر ارتجاعی»[3] نیز پرداخته‌اند که به واسطه آن، زمانی که آب ورودی به مزارع از ارزش بیشتری برخوردار باشد، تقاضا برای آب نیز افزایش می‌یابد.

گرافتون (۲۰۱۷) اخیرا و ضمن انتشار مطلبی در ویژه‌نامه اقتصاد و سیاست آب[4] که در آن به بسیاری از پیچیدگی‌های مدیریت کم‌آبی در حوضه آبریز موری دارلینگ پرداخته شده است، نکات کلیدی ذیل را در زمینه تجربه استرالیا در اعطای یارانه به منظور ارتقای سطح فن‌آوری‌های آبیاری در مزارع مطرح کرده است:

- حدود ۲/۵ میلیارد دلار از پول‌های مالیات‌دهندگان که در بهبود آبیاری مزارع هزینه شده عمدتاً برای اشخاص [و نه جامعه] نفع داشته است؛
- این سرمایه‌گذاری‌ها هیچ تأثیر مشخصی به لحاظ کاهش میزان استفاده از آب به واحد سطح یا قرار گرفتن آب در اختیار سایر کاربران [در بخش‌های دیگر] نداشته‌اند؛
- بیع متقابل حقوق آب از کسانی که مایل به فروش این حقوق هستند، مؤثرترین ابزار و شیوه استفاده از پول مالیات‌دهندگان به منظور آزاد کردن منابع آب جهت استفاده سایر کاربران بوده است؛
- سرمایه‌گذاری‌های صورت‌گرفته در بخش آبیاری با هدف افزایش میزان بهره‌وری محصول به واحد آب نتوانسته است به صرفه‌جویی در مصرف آب در سطح حوضه‌های آبریز منجر شود.

[1] Qureshi
[2] Loch and Adamson
[3] rebound effect
[4] Water Economics and Policy

۲-۴ چین

عنوان گزارش:

Policies Drain the North China Plain: Agricultural Policy and Groundwater Depletion in Luancheng County, 1949 – 2000 (Kendy *et al.*, 2006)

کلیات

این گزارش تحلیلی با استناد به شواهد متقن نشان می‌دهد آبیاری پیشرفته چه نقشی در بهره‌برداری بی‌رویه از آبخوان‌ها داشته است. در این گزارش تفکیک دقیقی میان آب داده شده به زمین و آب مصرف شده لحاظ گردیده است.

نکات برجسته

حوضه آبریز علیا[۱] واقع در جلگه چین شمالی اهمیت بسزایی در تأمین امنیت غذایی این کشور دارد، اما به واسطه تداوم بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی بسیاری آن را در معرض تهدید می‌دانند. در این گزارش به بررسی داده‌های مربوط به حدود ۵۰ سال در زمینه سطوح آب زیرزمینی و میزان استخراج آب با استفاده از تلمبه در استان لوانچنگ[۲] پرداخته شده است. طبق یافته‌های این مطالعه، با وجود کاهش مستمر حجم کل آب استخراج شده با تلمبه از اواسط دهه ۱۹۷۰، سطح این آبخوان با آهنگی کمابیش ثابت همچنان رو به کاهش بوده است. یکی از دلایل ایجاد چنین وضعیتی آن است که دولت و کشاورزان مبالغ هنگفتی را در زمینه بهبود فن‌آوری‌های مورد استفاده در آبیاری سرمایه‌گذاری کرده‌اند و لذا بخش بسیار بیشتری از آب استخراج شده به مصرف می‌رسد و به عبارت دیگر، به موازات کاهش میزان آب داده‌شده به زمین در واحد سطح، میزان مصرف ثابت مانده و حتی افزایش یافته است.

عنوان گزارش

Basin-wide evapotranspiration management: Concept and practical application in Hai Basin, China (Wu *et al.*, 2014)

کلیات

در این تحلیل از حسگرهای کنترل شونده از راه دور برای میزان مازاد مصرف در آبریز علیا در قیاس با منابع تجدیدشونده استفاده و پیشنهاد تمرکز بر مدیریت تبخیر–تعریق به منظور بازگرداندن مجدد توازن به چرخه مصرف آب مطرح گردیده است.

نکات برجسته

با توجه به تجربه ناموفق چین در کاهش میزان مصرف آب از طریق استفاده از آبیاری پیشرفته، مفهوم مدیریت تبخیر–تعریق در قالب چندین طرح که توسط بانک جهانی اجرا شده‌اند، ارائه گردیده است. در این رویکرد با

[۱] Hai Basin
[۲] Luancheng

تمرکز بر مصرف آب، محدودیت‌هایی برای استفاده پایدار از آب بر مبنای مؤلفه‌های اصلی توازن چرخه آب یعنی بارش، تبخیر–تعریق و جریان‌ها بیرون‌رو تعیین می‌شود. در این مطالعه ضمن ارزیابی مؤلفه‌های کنونی توازن چرخه آب چنین نتیجه‌گیری شده که میزان مصرف آب در بخش آبیاری باید حدود ۲۰ درصد (٦ میلیارد مترمکعب در سال) کاهش یابد تا امکان بازگشت توازن در این چرخه فراهم گردد. در این مطالعه به مقیاس امکانات محیطی جهانی[1] (GEF) طرح جامع آب حوضه آبریز علیا[2] و طرح مدیریت محیط[3] استناد شده است که اصل مدیریت تبخیر–تعریق مبنای آن را تشکیل می‌دهد. در مواردی که این اصل در حوضه آبریز علیا و سایر مناطق چین در قالب پروژه‌های بانک جهانی اجرا شده است، مداخله اصلی جهت کاهش میزان تبخیر–تعریق، ایجاد تغییرات در الگوی کشت و از جمله کاهش سطح زیر آبیاری بوده است.

عنوان گزارش

Assessing potential water savings in agriculture on the Hai Basin plain, China (Yan *et al.*, ۲۰۱۵)

کلیات

این گزارش یک پیش‌بینی محاسباتی ساده مبتنی بر نتایج تحقیقات پیرامون موارد بالقوه صرفه‌جویی در مصرف آب از طریق مالچ‌پاشی، ایجاد تغییرات در الگوهای کشت محصول، آبیاری ناقص و تغییرات در پروژه‌های زراعی بر مبنای میزان تعیین شده کم‌آبی در منطقه مورد نظر است. در این گزارش نشان داده شده است که حتی اگر کشاورزان به طور کامل این روش‌ها را به کار می‌بستند نیز روند بی‌رویه برداشت از آبخوان‌ها همچنان ادامه می‌یافت و لذا لازم بود که میزان تولید غلات به منظور بازگرداندن مجدد توازن به چرخه آب کاهش یابد.

نکات برجسته

در این گزارش به ارزیابی امکان بالقوه نظری به منظور از میان بردن فاصله میان میزان مصرف و حجم منابع تجدیدپذیر در حوضه آبریز علیا پرداخته شده است که در حدود ٦ میلیارد متر مکعب در سال و یا حدود ۲۰ درصد کل حجم مصرفی تخمین زده می‌شود. در این تحلیل فرض بر آن است که امکان تکرار صرفه‌جویی آب و افزایش میزان بازدهی محصول که در ایستگاه‌های تحقیقاتی گزارش شده در مزارع نیز وجود دارد. نتایج تحقیقات نشان می‌دهند که مالچ‌پاشی می‌تواند میزان مصرف را به مقدار قابل توجهی (۵ الی ۱۰ درصد) کاهش و میزان بازدهی گندم زمستانه (تا سقف ۱۸ درصد) و ذرت (۵ درصد) را افزایش دهد. نتیجه بسیار مثبت استفاده از این شیوه در مورد گندم عمدتاً ناشی از طولانی بودن زمان پیش از ثمر دادن گندم زمستانه است که طی آن میزان تبخیر به واسطه مالچ‌پاشی کاهش یافته و رطوبت برای تعریق توسط گیاه حفظ شده است. مقادیر بالقوه صرفه‌جویی در مصرف آب به واسطه آبیاری ناقص نیز در این گزارش محاسبه و نشان داده شده است که موارد جزئی افزایش بهره‌وری آب (به واحد کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی) تحقق یافته است، اما این مسئله همواره با کاهش میزان

[1] Global Environment Facility
[2] Hai Basin Integrated water
[3] Environment Management Project

بازدهی به دلیل کاهش بیشتر آب مصرفی است، به طوری‌که از منظر کشاورزان، میزان کل تولید و به تبع آن میزان درآمد کاهش می‌یابد. در این گزارش چنین نتیجه‌گیری شده است که روش‌هایی مانند مالچ‌پاشی از آن رو برای کشاورزان جذابیت دارند که با استفاده از آنها میزان تولید افزایش می‌یابد. علت جذابیت کم‌تر آبیاری ناقص برای کشاورزان نیز آن است که این شیوه در عین کاهش میزان تولید، مستلزم تلاش بیشتر در زمینه مدیریت آب است.

عنوان گزارش

Towards groundwater neutral cropping systems in the Alluvial Fans of the North China Plain (van Oortet al., 2016)

کلیات

در این گزارش با استفاده از شبیه‌سازی‌های مدل سیستم‌های کاشت و برداشت به وسیله شبیه‌سازی سیستم‌های تولید کشاورزی (APSIM[1]) به بررسی فرصت‌های تولید در بخشی از جلگه چین شمالی با حجم بالای کاشت و فاقد دسترسی به آبیاری سطحی پرداخته شده است. بر همین اساس، میزان تولید گندم و ذرت درصورت کاهش میزان میانگین برداشت از آبخوان‌ها و رسیدن این میزان به مقدار آب ورودی به این سفره‌ها از طریق ایجاد تغییراتی در ترتیب کشت محصول، روش‌های آبیاری و فن‌آوری‌های حفظ آب (مانند مالچ‌پاشی یا استفاده از روکش‌های پلاستیکی) تخمین زده شد.

نکات کلیدی

ایجاد مجدد توازن میان حجم آب ورودی به آبخوان‌ها و حجم برداشت از آنها به کاهش ٤٤ درصدی میزان تولید غلات در مقایسه با روش کنونی منجر خواهد شد. جلوگیری از اتلاف آب با استفاده از روکش‌های پلاستیکی می‌تواند این میزان کاهش را به ۳۳-۲۱ درصد محدود کند.

۳-۴- مصر

عنوان گزارش

The new era of water resources management (Seckler, 1996)

کلیات

مصر به لحاظ حسابداری آب در موقعیت منحصر به فردی قرار دارد. میزان بارش در این کشور عملاً صفر است، آبیاری از طریق توزیع کنترل شده آب از یک باتلاق صورت می‌گیرد و جریان‌های بازگشتی آب در داخل مرزهای کشور تماماً به چرخه رود نیل بازمی‌گردند. با توجه به این شرایط، بسیار بعید است افزایش میزان کارآیی آبیاری به استثنای کاهش میزانی از آب مصرفی بدون فایده (مانند روان‌آب‌های سطحی و تبخیر آب از خاک‌های مرطوب) به صرفه‌جویی واقعی در مصرف آب منجر شود. شرایط در مناطق ساحلی پیچیده‌تر است: در این مناطق از دادن آب شیرین بیش از حد به زمین‌های آبیاری شده برای کنترل پیشرفت نمک به درون زمین‌ها استفاده می‌شود.

[1] *Agricultural Production Systems Simulator*

نکات برجسته

مصر به لحاظ آبیاری شرایط منحصر به فردی دارد. بیش از ۹۵ درصد منابع آب این کشور در قالب جریان‌های ورودی از حوضه‌های آبریز بالادستی از رود نیل تأمین می‌شود و میزان بارش در این کشور بسیار ناچیز است. این شرایط به لحاظ آب‌شناسی تحلیل نحوه استفاده از آب را نسبتاً ساده می‌کند؛ تمامی جریان‌های بازگشتی از محل مازاد آب داده شده به زمین وارد آبخوان‌های زیرزمینی می‌شوند (که در مناطق برخوردار از آبیاری سطحی در شرایط متوازن قرار دارند و در مناطق جدیداً توسعه‌یافته در دلتای غربی نیل مورد بهره‌برداری بی‌رویه قرار دارند) یا از طریق کانال‌های آبی (به استثنای محل تلاقی نیل با دریای مدیترانه در بخش شمالی) به چرخه آب‌های سطحی بازمی‌گردند. در نقطه تلاقی رود نیل با دریای مدیترانه در شمال این رودخانه، پیشرفتگی آب‌های شور یک معضل است و لذا حفظ توازن و دور کردن مواد آلاینده مستلزم تزریق آب شرین به دریا است. بنابراین مصر یک نمونه آشکار از وجود جریان‌های آب قابل بازیابی است که در آن کارآیی در مزرعه نقش چندانی در صرفه‌جویی در مصرف آب ندارد.

با این حال، میلیون‌ها دلار (طبق اطلاعات غیررسمی وزارت کشاورزی این کشور) با هدف افزایش میزان کارآیی آبیاری در مزارع صرف بهبود شرایط آبیاری شده است و تا سال ۲۰۱۵ نیز سازمان موسوم به «پروژه توسعه آبیاری در مزرعه»[1] در گزارش خود اعلام کرده که امکان صرفه‌جویی حجم عظیمی از آب از طریق افزایش میزان کارآیی از ۵ به ۸۰ درصد در زمین‌های قدیمی وجود دارد و این امر می‌تواند به گسترش نواحی تحت آبیاری در سایر مناطق کمک کند.

به همین ترتیب، سامانه پایدار تولید غذا و انرژی‌های زیستی از طریق آبیاری مبتنی بر صرفه‌جویی در حوضه آبریز نیل در مصر (در قالب طرح همکاری پژوهشی علمی–فنی برای توسعه پایدار[2] (SATREPS)) که اعتبارات مالی آن توسط ژاپنی‌ها تأمین شده بود، نشان داد که «شیوه‌های در مزرعه می‌تواند بدون توجه به مقصد نهایی آب‌های مازاد به میزان ۲۰ درصد یا حتی بیشتر صرفه‌جویی در مقدار آب داده شده به زمین را به دنبال داشته باشند».

حدود ۲۵ سال پیش، همین ایده‌ها در میزگردی در قاهره مورد ارزیابی قرار گرفته بودند و افراد حاضر در آن میزگرد به این نتیجه رسیده بودند که میزان آبی که امکان صرفه‌جویی در مصرف آن وجود دارد، بسیار ناچیز است (کلر،[3] ۱۹۹۲).

[1] On farm Irrigation Development Project
[2] Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development
[3] Keller

۴-۴- هند

عنوان گزارش‌ها

Halting the groundwater decline in north-west India. Which crop technologies will be winners? (Humphreys *et al.*, 2010)

کلیات

در این گزارش‌ها به بررسی مداخلاتی پرداخته شده که با هدف بهبود بهره‌وری آب و یا صرفه‌جویی در مصرف آب انجام شده است. بدین منظور از یک چارچوب حسابداری آب استفاده شده که در آن میان استفاده و مصرف به تفکیک لحاظ گردیده است. طبق نتایج این گزارش‌ها، شواهد بسیار اندکی در اثبات کاهش واقعی میزان تبخیر-تعریق وجود دارد. بهترین راه برای صرفه‌جویی در مصرف آب اعمال تغییرات در تاریخ کاشت و گونه‌های زودبازده است.

نکات برجسته

فن‌آوری‌های اصلاح‌شدهٔ بسیاری جهت استفاده در سیستم‌های آبیاری برنج-گندم در دست طراحی هستند که اهداف چندی را نیز دنبال می‌کنند که از آن جمله می‌توان به افزایش میزان تولید، بهبود حاصلخیزی خاک، افزایش کارآیی در استفاده از عوامل ورودی، کاهش آلودگی محیط و افزایش سود کشاورزان اشاره کرد. این فن‌آوری‌ها شامل تسطیح لیزری اراضی، مدیریت آب با آب دادن و قطع آب‌بر روی اراضی در مورد برنج، تأخیر پیوند برنج، کشت گونه‌های برنج با بازدهی زودتر، گندم بدون شخم، بالا بردن سطح بسترها و جایگزینی برنج با سایر محصولات هستند. با این حال، ماهیت صرفه‌جویی‌های صورت‌گرفته در بخش آبیاری به ندرت مشخص شده است. این صرفه‌جویی به احتمال قوی‌تر ناشی از کاهش میزان نشت آب در اعماق زمین است که تأثیر چندانی بر تبخیر-تعریق ندارد.

بیش از ۹۰ درصد مناطق اصلی کشت برنج در شمال غربی هند حداقل بخشی از آب مورد نیاز خود را از منابع آب‌های زیرزمینی دریافت می‌کنند. در این مناطق کاهش میزان نشت آب به اعماق زمین، نه به صرفه‌جویی در مصرف آب منجر می‌شود و نه میزان پایین رفتن سطح آبخوان‌ها را کاهش می‌دهد. در این مناطق، استفاده از فن‌آوری‌های کاهش‌دهنده تبخیر/تعریق و افزایش‌دهنده میزان محصول تولید شده به ازای هر واحد آب مصرف شده به صورت تبخیر/تعریق اهمیت حیاتی دارد. بهترین فن‌آوری‌ها برای تحقق این هدف تأخیر در پیوند برنج و کشت گونه‌های برنج زودبازده است. احتمال جایگزین کردن برنج با سایر محصولات با میزان تبخیر/تعریق کم‌تر ضعیف‌تر است.

عنوان گزارش

The effect of rice straw mulch on evapotranspiration, transpiration and soil evaporation of irrigated wheat in Punjab, India (Balwinder-Singh *et al.*, 2011)

کلیات

به موازات بهبود شیوه‌های آبیاری و آبیاری محصولات به شیوه‌های دقیق‌تر، انتظار می‌رود شاهد کاهش تبخیر غیرمولد باشیم. این نتایج غالباً در مورد محصولات باغی و نرم‌ساقه‌ها گزارش می‌شوند که در آنها فاصله بین محصولات زیاد است. اما در این مطالعه به بررسی گندم که یک محصول مزرعه‌ای رایج‌تر است و تاج‌پوشه آن نیز نسبتاً زود بسته می‌شود، پرداخته و این نتیجه‌گیری مطرح شده است که کاهش میزان تبخیر تقریباً به طور کامل به واسطه افزایش میزان تعریق خنثی شده است.

نکات برجسته

تبخیر از خاک مرطوب به عنوان یکی از مؤلفه‌های غیر مولد تبخیر/تعریق تلقی می‌شود. انتظار می‌رود کاهش میزان تبخیر خاک بر میزان آب موجود جهت تعریق به عنوان مؤلفه مولد فرایند تبخیر/تعریق تأثیر بگذارد. آزمایش‌های میدانی به منظور بررسی تأثیرات مالچ‌پاشی با استفاده از کاه برنج بر مؤلفه‌های توازن آب در آبیاری گندم در بازه‌های زمانی ۷–۲۰۰۶ و ۸–۲۰۰۷ در پنجاب هند و در یک خاک کشاورزی بررسی انجام شدند. میزان تبخیر روزانه خاک مرطوب نیز با استفاده از دستگاه‌های میلی‌لیسیمتر[1] اندازه‌گیری شد. مالچ‌پاشی میزان کل تبخیر خاک در طول فصل رشد محصول را در سال‌های نسبتاً پربارش و کم‌بارش به ترتیب به میزان ۳۵ و ٤٠ میلیمتر کاهش داد. با این حال بخش عمده‌ای از این حجم آب صرفه‌جویی‌شده وارد فرایند تعریق شد که میزان آن نیز در سال‌های پربارش و کم‌بارش به ترتیب ۳۰ و ۳۷ میلیمتر افزایش یافت. در نتیجه، مالچ‌پاشی در هیچ یک از سال‌ها تأثیری بر میزان کل تبخیر/تعریق نداشت. اما در هر دو سال، میزان تولید زیست‌توده و نیز میزان بازدهی غلات به واسطه مالچ‌پاشی افزایش یافت. کارآیی تعریق در قیاس با میزان بازدهی محصول غله در بازه زمانی ۷–۲۰۰٦، ۸۸/۹۱–۱/۱ کیلوگرم بر متر مکعب و در بازه زمانی ۸–۲۰۰۷، ۱/٦٤–۱/٤٦ کیلوگرم بر مترمکعب بود. هرچند پرورش گندم با استفاده از مالچ‌پاشی در اغلب موارد میزان کارایی تعریق را کاهش می‌داد، مقدار این کاهش تنها در بازه زمانی ۸–۲۰۰۷ معنادار بود. نتایج این بررسی نشان می‌دهند که هرچند مالچ‌پاشی مزارع گندمی که از آبیاری مناسبی برخوردار هستند، میزان تبخیر از خاک را کاهش می‌دهد، اما به صرفه‌جویی در مصرف آب منجر نمی‌شود، زیرا افزایش میزان تعریق و کاهش میزان کارآیی تعریق تأثیر آن را خنثی می‌کند.

[1] دستگاهی جهت سنجش میزان انحلال‌پذیری مواد در آب و ...

۵-۴- رژیم صهیونیستی

عنوان گزارش:

Decoupling dependence on natural water: Reflexivity in the regulation and allocation of water in Israel (Gilmont, 2014)

کلیات

اسرائیل در زمینه افزایش میزان تولید محصولات کشاورزی با تکیه بر آبیاری پیشرفته در شرایط کم‌آبی موفق بوده است. شرایط محیطی نقش تعیین‌کننده‌ای در حصول این موفقیت داشته‌اند: نهادهای دولتی در اسرائیل از همان نخستین روزها به مدیریت و کنترل آب پرداختند. شرکت ملی انتقال آب که آب را از مناطق نسبتاً پرآب شمال به اراضی بایر اما حاصلخیز در جنوب منتقل می‌کرد، دارای ظرفیتی محدود بود و لذا دسترسی نامحدود به آب جهت آبیاری کاملاً منتفی بود. به همین ترتیب، آب‌های زیرزمینی نیز به عنوان سرمایه ملی تلقی شدند و دسترسی به آنها نیز با استفاده از سازوکارهای سخت‌گیرانه کنترل کمّی محدود شد. کل حجم آبرسانی از گذشته تا به امروز به لحاظ حجمی محدود و مشخص بوده است.

کاربری اراضی نیز توسط دولت تعیین می‌شد و لذا افزایش سطح زیر آبیاری که امکان آن از طریق استفاده از سیستم‌های آبیاری پیشرفته وجود دارد، تنها با اجازه دولت میسر بود. به طور کلی در اسرائیل دولت مالک منابع آب است و استفاده از این منابع تنها پس از اخذ مجوز امکان‌پذیر خواهد بود. مالکیت زمین نیز در اختیار دولت است و کاربری آن شامل سطح مجاز برای آبیاری و میزان آب تخصیص‌یافته به آن نیز توسط دولت کنترل می‌شود. بدین ترتیب اراضی کشاورزی بر مبنای سطح قابل آبیاری و میزان آبی که جهت آبیاری به آنها اختصاص یافته، تعریف می‌شوند.

نکات برجسته

در اسرائیل آب بر مبنای یک حجم سالانه بر حسب هکتار توزیع می‌شود که بر مبنای توزیع عادی در هر سال تعیین می‌گردد. بنابراین در یک سال خشک، حجم آب مجاز ممکن است ۸۰ درصد حجم عادی و در یک سال پرباران این حجم بیش از حجم عادی باشد. قیمت‌گذاری در این سازوکار نقش دارد، اما اصل بر تخصیص یک سهم سالانه و فزایش تصاعدی قیمت‌ها به منظور تشویق به رعایت آن سهمیه است.

میزان آب تخصیص‌یافته به بخش کشاورزی برای سال‌های متمادی افزایش داشت که دلیل آن نیز ایجاد زیرساخت‌های جدید جهت پوشش مناطق جدید، بهره‌برداری از روان‌آب‌های طبیعی کشور، تجدید این منابع از جمله توسط شرکت ملی انتقال آب، بهره‌برداری از آب رودخانه‌ها و توسعه آبخوان‌های کوهستانی و ساحلی بود. در بازه زمانی منتهی به دهه ۱۹۷۰ میلادی، میزان آب تخصیص‌یافته به بخش کشاورزی به تدریج ثابت شد و در سال‌های بعد از میزان آب شیرین تخصیص‌یافته به این بخش به دلیل وقوع برخی خشکسالی‌های شدید و نیز اتخاذ سیاست‌هایی در جهت توجه به نیازهای سایر بخش‌ها به آب و نیز مهار و خنثی کردن تأثیرات زیست‌محیطی توسعه منابع آب کاسته شد. با این وجود، روند افزایش میزان تولید محصولات کشاورزی همچنان ادامه یافت.

دو عامل مجزا در حصول این موفقیت نقش داشته‌اند. نخست، بهبود مستمر فن‌آوری‌های آبیاری و به‌کارگیری آنها در مقیاس گسترده به افزایش میزان کارآیی آبیاری در مزرعه (افزایش نسبت آبی که در اختیار کشاورز قرار می‌گیرد و به محصول تبدیل می‌شود) منجر شد. میزان کارآیی آبیاری غرقابی با مدیریت مناسب عموماً ۵۰-۵۵ درصد است، یعنی نیمی از آب در این شیوه به مصرف محصول می‌رسد، در حالی که میزان کارآیی آبیاری با استفاده از فن‌آوری‌های پیشرفته آبیاری قطره‌ای و چکه‌ای به آسانی از ۸۰ درصد نیز فراتر می‌رود و با استفاده از این روش‌ها حتی امکان شستشوی نمک‌های موجود نیز وجود دارد. بدین ترتیب، تأمین آب مورد نیاز محصولات کشاورزی طی این مدت به موازات تغییر روش از شیوه آبیاری غرقابی به آبیاری قطره‌ای و سایر انواع شیوه‌های آبیاری مکانیزه افزایش یافت و در عین حال میزان استخراج آب شیرین نیز ثابت ماند. ثانیاً منابع آب شیرین طی یک دهه اخیر به شدت کاهش یافته‌اند و جای خود را به فاضلاب‌های تصفیه‌شده داده‌اند. اما با وجود کاهش میزان آب شیرین تخصیص‌یافته به بخش کشاورزی، سیستم‌های مکانیزه امکان افزایش مصرف آب توسط محصولات در این بخش را افزایش داده‌اند و همین مسئله مبنای افزایش تولید بوده است: پدیده‌ای که در جلگه چین شمالی نیز مشاهده شده است (کندی و همکاران، ۲۰۰۶). فرازهای ذیل از مکاتبات صورت‌گرفته با تولیدکنندگان تجهیزات مربوط به آبیاری قطره‌ای در اسرائیل استخراج شده‌اند:

- درحالی‌که در محصولات توده‌ای، آنچه دریافت می‌کنید معادل همان چیزی است که هزینه می‌کنید، من اطلاع دارم که در مورد درخت‌های میوه، انگور، سبزیجات و ... سود شما بیش از هزینه‌ای است که صرف می‌کنید.[۱]
- با فرض بازده یکسان برای آبیاری قطره‌ای و سطحی، میزان آب مصرفی محصول برابر خواهد بود.[۲]

علاوه بر این، شهرها و شهرک‌های اسرائیل پس‌آب‌های خود را به رودخانه‌هایی منتهی به دریا می‌ریزند یا آنها را به تصفیه‌خانه‌های محلی می‌فرستند که آب را با اندکی تصفیه وارد طبیعت می‌کنند. اخیراً و به ویژه با تبدیل شدن مصارف غیرکشاورزی به بخش عمده‌ای از تقاضای داخلی برای آب، ظرفیت بالقوه تصفیه و بازیابی فاضلاب‌های شهری نیز مورد بهره‌برداری قرار گرفته و منبع عمده تازه‌ای برای تأمین نیاز بخش کشاورزی ایجاد کرده است. احداث تأسیسات عظیم آب‌شیرین‌کن در ده سال اخیر نیز میزان آب در دسترس جهت استفاده در این کشور را به شدت افزایش داده است (۶۰۰ میلیمتر مکعب در سال از کل میزان ۲۰۰۰ میلیمتر مکعب در سال).

موفقیت‌های اسرائیل در بخش کشت آبی موارد قابل توجهی هستند که ظاهراً همان چرخه معمول توسعه منابع آب، گسترش کشاورزی، بهره‌برداری بی‌رویه از آبخوان‌ها و رودخانه‌ها و به تبع آن کاهش سطح آب‌ها، آلودگی و تخریب محیط زیست و اکنون نیز ورود به یک سناریوی غیرمعمول را طی می‌کند که در آن افزایش تدریجی میزان منابع آب قابل دسترس به واسطه نمک‌زدایی برای تأمین نیازهای شهری به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است و استفاده مجدد از فاضلاب حاصل از این فرایند نیز منبعی مقرون به صرفه جهت آبیاری مکانیزه به شمار می‌رود.

[۱] Personal Communication, Naty Barak, Chief Sustainability Officer, Netafm
[۲] Personal Communication, Dr Itamar Nadav, Project Manager, R&D Department, Netafm

با این حال چندین مؤلفه شکل دهنده این موفقیت مختص اسرائیل هستند و مهم‌تر از آن، وجود آنها لازمه الگوبرداری از این موفقیت در سایر مناطق جهان است:

- کنترل مرکزی منابع آب سطحی و زیرزمینی؛
- اعمال کنترل مؤثر بر میزان تقاضا (تعیین سهمیه‌های حجمی بر مبنای یک ساختار تعرفه مشخص)؛
- کنترل سطح زیر آبیاری؛
- وجود آب بازیافتی جهت افزایش قابل توجه میزان آب تخصیص‌یافته به بخش کشاورزی؛
- وجود منابع کافی آب‌های سطحی و زیرزمینی به منظور تأمین مازاد پیش‌بینی‌نشده به شکل فصلی.

در سایر کشورهایی که به لحاظ کم‌آبی و نیز شرایط اقلیمی مشابه اسرائیل هستند، فقدان کنترل بر میزان تقاضا، عدم‌توانایی تعیین، اندازه‌گیری و تأمین ضمانت اجرایی سهمیه برای تخصیص آب و عدم‌توانایی محدود کردن سطح زیر آبیاری، تأثیرات آبیاری مکانیزه در صرفه‌جویی در مصرف آب را با اما و اگرهای فراوانی مواجه کرده‌اند. افزایش میزان بهره‌وری اقتصادی آب که آبیاری مکانیزه امکان آن را فراهم می‌کند، در اکثر موارد به افزایش مصرف کوتاه‌مدت و نیز افزایش تقاضا برای منابع آبی کمیاب منجر می‌شود که درست در نقطه مقابل تأثیر مورد نظر قرار دارد.

۶-۴- ایران

عنوان گزارش

Irrigation Improvement Project, Islamic Republic of Iran, World Bank Staff Appraisal Report (World Bank, 1993); *Lake Uromiyeh. A concise Baseline Report* (Lotf, 2012)

کلیات

هدف از اجرای این پروژه، احیا یا حداقل تثبیت وضعیت دریاچه‌ای بود که به دلیل گسترش آبیاری در مناطق بالادست به شکل فزاینده‌ای در حال خشک شدن بود. هدف از انجام مداخله اصلی در این پروژه افزایش میزان کارآیی آبیاری بود. تا زمان انجام این پروژه هیچ گزارش مدونی در زمینه ارزیابی این مسئله تهیه نشده بود که آیا جریان‌های آب بازگشتی تا پیش از اجرای این طرح تلف می‌شده‌اند یا خیر. همچنین هیچ گزارشی در راستای پیش‌بینی تأثیرات اقدامات پیشنهادی بر میزان مصرف آب تهیه نشده بود.

نکات برجسته

در سال ۱۹۹۳، بانک جهانی، اعتبارات مالی لازم جهت اجرای یک پروژه بهبود آبیاری در ایران را تأمین کرد که بخشی از مناطق اطراف دریاچه ارومیه را شامل می‌شد. در این طرح به مسائل چندی از جمله میزان بسیار پایین کارآیی آبیاری (۳۰-۲۰ درصد) پرداخته و بر وجود امکان بالقوه صرفه‌جویی فراوان در مصرف آب از طریق بهبود این پارامتر تأکید شد. اما هیچ جزئیاتی در مورد مقصد این آب‌هایِ احتمالاً تلف شده (حوضه‌های آبریز نمکی، تبخیر بیش از حد، نشت، ورود به فاضلاب‌ها و ...) ارائه نشده است.

بعدها و در قالب یک تحلیل بسیار مفصل درباره ناپدید شدن تدریجی دریاچه ارومیه، تمامی جنبه‌های آب‌شناسی و زمین‌شناسی مناطق اطراف دریاچه مورد ارزیابی قرار گرفتند و با ارائه دلایل مستند نشان داده شد که سطح زیر آبیاری و میزان آب مورد استفاده در بخش کشاورزی در بازه زمانی ۲۰۰۶-۱۹۷۰ در این منطقه تقریبا سه برابر شده است. در این گزارش همچنین به یافته‌های حاصل از ارزیابی بانک جهانی و ناکارآمدی آبیاری در منطقه نیز اشاره شده است. در این گزارش (لطف، ۲۰۱۲) چنین نتیجه‌گیری شده است که «ظرفیت بالقوه عظیمی جهت افزایش میزان کارآیی در استفاده از آب در سطح مزارع و صرفه‌جویی در حجم قابل توجهی آب جهت احیا و حفظ دریاچه ارومیه بدون ایجاد اخلال در تولید محصولات کشاورزی و کاهش درآمد کشاورزان وجود دارد. این منبع بالقوه آب حتی می‌تواند تا حدی نیاز به احداث سدهای ذخیره آب را نیز مرتفع سازد».

این سناریو از چند جنبه نگران‌کننده است. اولاً در این سناریو به توازن کلی آب و تأثیرات احتمالی ناشی از بهبود کارآیی آبیاری توجهی نشده است. ثانیاً، نتایج حاصل از مطالعات منطقه‌ای بیان‌گر آن هستند که آبخوان‌های آبرفتی عمدتاً توسط آب رودخانه‌ها و به میزان کم‌تری نیز به واسطه نزولات جوی تغذیه می‌شوند و این امر به روشنی نشان می‌دهد که در صورت دادن آب اضافه به نواحی تحت آبیاری، این نواحی نیز می‌توانند به تجدید این سفره‌ها کمک کنند. ثالثاً در این سناریو به این نکته نیز توجه نشده است که دلیل اصلی تداوم کاهش سطح آب دریاچه و آبخوان‌های تغذیه‌کننده آن، سه برابر شدن مساحت مناطق تحت آبیاری و به تبع آن افزایش سه برابری میزان مصرف آب در بخش کشت آبی است.

۷-۴- مراکش

عنوان گزارش

Programme National d'economie d'eau en Irrigation (Morocco, Ministry of Agriculture and Fisheries, no date)

کلیات

منابع آب مراکش به شدت محدود هستند. سطح آبهای زیرزمینی در بسیاری از مناطق این کشور به سرعت درحال پایین رفتن است و اکثر رودخانه‌ها در این کشور به طور منظم به دریا نمی‌رسند. در اغلب موارد کنترلی نیز بر حفر چاه و نصب تلمبه‌های آب وجود ندارد. هرچند مسئله بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب و نیز این نکته که نشت آب از سیستم‌های آبیاری یکی از عوامل اصلی تجدید منابع آبی به شمار می‌رود نیز مورد پذیرش قرار گرفته است، اما اعطای یارانه جهت تغییر شیوه آبیاری به آبیاری قطره‌ای بدون تجزیه و تحلیل تأثیرات بالقوه این رویکرد بر سطح آب‌های زیرزمینی همچنان به عنوان یکی از راه‌های اصلی مقابله با معضل کم‌آبی مطرح است.

نکات برجسته

این برنامه ملی دربردارنده مؤلفه‌ها و پیشنهادهای متعددی در حوزه سیاست‌گذاری است، اما به شدت متکی بر این فرض است که شیوه‌های آبیاری در مزرعه را می‌توان به شدت بهبود بخشیده و از این طریق و با صرفه‌جویی در

مصرف آب، امکان گسترش آبیاری در سایر مناطق را فراهم کرد. در تشریح یکی از مفروضات بنیادین این طرح چنین آمده است:

«در میان شیوه‌های مختلف آبیاری، آبیاری ثقلی[1]کم‌ترین میزان کارآیی (۶۰-۵۰ درصد) را در مراکش دارد. در مقابل، آبیاری قطره‌ای کارآمدترین شیوه آبیاری (۹۰ درصد یا بالاتر) است».

در چندین سیستم آبیاری، هدف نه افزایش میزان آب توزیع شده، بلکه افزایش میزان بهره‌وری اقتصادی آب است. تأثیرات اندازه‌گیری شده استفاده از آبیاری قطره‌ای به جای آبیاری غرقابی در گزارش ذیل تشریح گردیده‌اند.

عنوان گزارش

Satellite Based Evapotranspiration Mapping and Water Use by Rural Communes of Morocco, Riverside study for World Bank, (Riverside, 2009)

کلیات

هدف از انجام این مطالعه ارزیابی میزان تبخیر/تعریق در حدود ۲۵۰ هکتار از مزارع مرکبات در مراکش بود که بخشی از آنها با استفاده از آبیاری شیبی و مابقی به صورت قطره‌ای آبیاری می‌شدند. میزان تبخیر/تعریق در هر دو مورد تقریبا یکسان بود.

نکات برجسته

منابع آب در مراکش کمیاب هستند و توزیع آنها نیز ناهمگون است. به دلیل رشد جمعیت و نیز افزایش میزان شهرنشینی، میزان تقاضا برای آب نیز درحال افزایش است. تولید محصولات کشاورزی بخش عمده‌ای از آب مصرفی را به خود اختصاص داده است و حدود ۸۵ درصد منابع آب موجود در مراکش به این بخش اختصاص یافته است. در برنامه دولت، مصرف محدود آب توسط کشاورزان از طریق مدرنیزه کردن زیرساخت‌ها جبران می‌شود، به طوری که آب بر حسب تقاضا و نه بر حسب نوبت چرخشی میان کشاورزان توزیع می‌شود. همچنین در این طرح به کشاورزان کمک می‌شود تا به بازارهای محصولات خود دسترسی داشته باشند و به کشت محصولات دارای ارزش بالاتر بپردازند. بدین ترتیب، دو شاخص موفقیت این برنامه، ارزش افزوده به ازای هر واحد آب مصرفی توسط کشاورزان ذی‌نفع و میزان مصرف آب‌های زیرزمینی توسط این کشاورزان است.

محدوده مورد مطالعه شامل سه ناحیه تعیین‌شده از سوی اداره منطقه‌ای قیمت‌گذاری محصولات کشاورزی[2] (ORMVA) یعنی تدلا، هاوز و دوکاله[3] در حوضه آبریز عون‌الرعبیا[4] بود. در این بررسی فرایند تحلیل بر محدوده‌های آزمایشی در داخل مناطق تحت مدیریت اداره منطقه‌ای قیمت‌گذاری محصولات کشاورزی متمرکز بود که در آنها برخی اصلاحات یا اقدامات مربوط به مدرنیزه کردن در زمینه آبیاری صورت گرفته بود. بانک جهانی ضمن امضای قراردادی شرکت ریورساید[5] را مأمور انجام دورسنجی و تحلیل‌های مربوط به توازن آب کرد. به

[1] gravity
[2] Office Régional de Mise en Valeur Agricole
[3] Tadla, Haouz and Doukkala
[4] Own er R'bia
[5] Riverside

منظور تخمین میزان تبخیر/تعریق بر مبنای داده‌های ماهواره‌ای، از روش نقشه‌برداری از تبخیر/تعریق با وضوح تصویر بالا و با استفاده از الگوریتم کالیبرسنجی داخلی (METRIC) (الن[1] و همکاران، ۲۰۰۷) استفاده شد. الگوریتم METRIC مشابه الگوریتم موازنه انرژی سطح برای زمین[2] (SEBAL) است (باستیانسن[3] و همکاران، ۱۹۹۸)، اما در آن از روش‌های دیگری برای کالیبرسنجی استفاده می‌شود.

از حدود ۹ میلیون هکتار زمین‌های زیر کشت در مراکش، حدود ۱/۵میلیون هکتار برای آبیاری مجهز شده‌اند (AQUASTAT, Data 2004). تخمین زده می‌شود که حدود ۷۰ درصد آب مورد نیاز جهت آبیاری از منابع آب سطحی تأمین می‌شود و ۳۰ درصد مابقی نیز از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود (AQUASTAT, Data 2000). شیوه‌های رایج آبیاری شامل آبیاری سطحی (آبیاری غرقابی شیارهای زمین) که ۸۳ درصد کل میزان آبیاری را تشکیل می‌دادند و نیز سیستم‌های بارانی که ۱۰ درصد کل میزان آبیاری را به خود اختصاص داده بودند، و نیز سایر روش‌های محلی (آبیاری قطره‌ای و ...) بودند.

در این مطالعه میزان تبخیر/تعریق در ۱۲ مزرعه به عنوان نمونه با مساحتی مجموعاً حدود ۲۵۰ هکتار مورد ارزیابی قرار گرفت. تمامی این مزارع زیر کشت مرکبات قرار داشتند. پنج مزرعه با آبیاری ثقلی و بقیه به صورت قطره‌ای آبیاری می‌شدند. میانگین میزان مصرف آب در مزارعی که با روش قطره‌ای آبیاری می‌شدند ۰/۱ درصد کم‌تر از میانگین مصرف زمین‌هایی بود که برای آبیاری از شیوه آبیاری ثقلی استفاده می‌کردند (۹٤۷/۹ میلیمتر در مقابل ۹٥٦/۳ میلیمتر). میزان بازدهی محصولات در این مطالعه گزارش نشده است و لذا ارزیابی تأثیر انتخاب شیوه آبیاری بر میزان بهره‌وری امکان‌پذیر نیست. با این حال میزان مصرف آب در هر دو مورد تقریباً برابر بود.

در مطالعه‌ای که به تازگی صورت گرفته (مول،[4] ۲۰۱۷) به ارزیابی سرمایه‌گذاری‌های صورت‌گرفته در مراکش در زمینه تغییر شیوه آبیاری از شیوه سنتی به شیوه قطره‌ای با هدف صرفه‌جویی در مصرف آب پرداخته شده است. هرچند تا سقف ٤ میلیارد دلار برای اجرای این سیاست درنظر گرفته شده است، شواهدی دال بر کاهش میزان مصرف آب تاکنون وجود ندارد و سطح آب سفره‌های زیرزمینی نیز با آهنگی نگران‌کننده در حال کاهش است و میزان کسری آب در این سفره‌ها در حدود یک میلیارد مترمکعب در سال تخمین زده می‌شود. مسئله نگران‌کننده‌تر، فقدان نظارت و ارزیابی مؤثر این سرمایه‌گذاری‌ها است.

[1] Allen
[2] Surface Energy Balance Algorithm for Land
[3] Bastiaanssen
[4] Molle

۸-۴- پاکستان

عنوان گزارش

Constraints and opportunities for water savings and increasing productivity through Resource Conservation Technologies in Pakistan [Mobin-ud-Din Ahmada, Ilyas Masih, Mark Giordano (2014). Agriculture, Ecosystems and Environment, 187: 106–115].

کلیات

پاکستان عموماً با مشکل کم‌آبی مواجه است. بخش‌های وسیعی از ایالت پنجاب بر روی ذخایر آب‌های شیرین زیرزمینی قرار گرفته‌اند که این ذخایر نیز به شکل بی‌رویه‌ای مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. سایر مناطق ایالت پنجاب و بخش عمده‌ای از مناطق ایالت سند بر روی آب‌های زیرزمینی شور قرار گرفته‌اند و در معرض بالا آمدن سطح آب سفره‌های زیرزمینی و به تبع آن شوری خاک قرار دارند. در این گزارش ضمن بررسی راهکارهای طراحی شده به منظور صرفه‌جویی در مصرف آب این نتیجه به دست آمده است که این راهکارها با هدف کاهش میزان آب داده شده به زمین بدون سنجش دقیق میزان کاهش مصرف آب طراحی شده‌اند. در مناطق نزدیک به منابع آب شیرین، امکان بازیابی مازاد آب وجود دارد، درحالی که کاهش میزان آب مورد استفاده در سایر مناطق خطر بالا آمدن سفره‌های آب شور و شوری خاک را کاهش می‌دهد.

نکات برجسته

جمعیت پاکستان در ده سال اخیر بیش از ۲۵ درصد افزایش یافته است و پیش‌بینی می‌شود جمعیت این کشور تا سال ۲۰۳۰ به بیش از ۲۳۰ میلیون نفر برسد.[۱] این مسئله چالش عمده‌ای را به لحاظ امنیت غذایی ایجاد می‌کند، زیرا بیش از نیمی از مناطق این کشور در حال حاضر نیز در گروه مناطق فاقد امنیت غذایی طبقه‌بندی شده‌اند. یکی از مسائل کلیدی در پیوند با تلاش‌ها به منظور تداوم افزایش میزان تولید مواد غذایی (حداقل با سرعتی برابر با سرعت رشد جمعیت) محدود بودن آب شیرین موجود جهت استفاده در بخش کشاورزی است. فن‌آوری‌های مختلفی به منظور حفظ منابع آب[۲] (RCT) در حال حاضر به ویژه برای تولید برنج و گندم مورد استفاده قرار می‌گیرند: دو محصولی که در کنار هم ۹۰ درصد میزان تولید غلات خوراکی کشور را تشکیل می‌دهند. این فن‌آوری‌ها شامل گندم بدون نیاز به شخم، برنج با بذر مستقیم، کاشت گلخانه‌ای گندم و برنج، تسطیح لیزری زمین و نگهداری بقایای محصول هستند.

مطالعات آزمایشی بر روی مزارع کشاورزی نتایج مختلفی را در زمینه تأثیر کاربرد این فن‌آوری‌ها بر طیف متنوعی از این عوامل به دست داده‌اند، اما میزان آب مورد استفاده جهت آبیاری و میزان بازدهی محصول دو شاخص عملکردی اصلی در همه این مطالعات بوده‌اند. بنابر نتایج این مطالعات، کاشت بدون شخم، تسطیح لیزری و کشت شیاری، میزان آب مورد استفاده در بخش آبیاری را ۴۵-۲۳ درصد کاهش و میزان بازدهی محصول را

[۱] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015). *World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables*. Working Paper No. ESA/P/WP.241
[۲] Resource Conservation Technologies

افزایش داده‌اند. کشت محصولات بی‌نیاز از شخم در ایالت پنجاب در پاکستان در مقایسه با شیوه‌های کشاورزی سنتی کاهش ۱۵-۵ درصدی میزان استفاده از آب در بخش آبیاری و نیز میزان مشابه بازدهی محصول را به همراه داشته است. طبق نتایج برخی مطالعات دیگر، تسطیح اراضی کاهش حدود ۲۵ درصدی میزان آب مورد استفاد جهت آبیاری و افزایش حدود ۳۰ درصدی میزان بازدهی محصول گندم در قیاس با روش‌های سنتی را به همراه داشته است.

همچنین در این گزارش ضمن بررسی سایر مطالعات صورت گرفته در پاکستان در زمینه تأثیرات این فن‌آوری‌ها، چنین نتیجه‌گیری شده است که هرچند امکان کاهش آب مورد استفاده به میزان قابل توجهی وجود دارد، تأثیرات ناشی از به کار گیری این فن‌آوری‌ها بر آب مصرفی به واسطه تبخیر/تعریق بسیار ناچیز و میزان تولید به ازای هر واحد تبخیر/تعریق برای برنج در روش سنتی پیوندزنی در مقایسه با رویکردهای مبتنی بر صرفه‌جویی آب بالاتر است و در مورد گندم نیز کشت گندم بدون نیاز به شخم برتری بسیار ناچیزی در قیاس با روش‌های سنتی به لحاظ میزان بازدهی محصول و میزان تولید به ازای هر واجد تبخیر/تعریق دارد.

همچنین در این گزارش به این نکته اشاره شده است که کاهش میزان آب مورد استفاده در ایالت پنجاب که در آن آب‌های زیرزمینی از نوع شیرین هستند و به طور گسترده نیز مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، به صرفه‌جویی ناچیزی در مصرف آب منجر می‌شود. آب مازادی که در فصل بارش‌های موسمی و در هنگام وفور آب به زمین‌ها داده می‌شود، در باقی سال به افزایش میزان آب‌های زیرزمینی قابل دسترس کمک می‌کند.

در استان سند که آب‌های زیرزمینی در آن شور است، کاهش میزان نشت آب به درون سفره‌های زیرزمینی یک دستاورد مثبت واقعی است و لذا استفاده از فن‌آوری‌های حفظ منابع آب نیز از جذابیت بسیار بیشتری برخوردار است. همچنین در این مطالعه مشخص شد که در مواردی که کاهش میزان آب داده شده به زمین محقق شده است، میزان آب صرفه‌جویی شده به احتمال قوی برای گسترش حوزه تحت پوشش آبیاری مورد استفاده قرار گرفته و لذا میزان مصرف آب عملاً افزایش یافته است.

۹-۴- آفریقای جنوبی

عنوان گزارش

Standards and Guidelines for Improved Efficiency of Irrigation Water Use from Dam Wall Release to Root Zone Application, (Reinders et al., 2010)

کلیات

آفریقای جنوبی درحال تلاش برای دستورالعمل‌های مربوط به حسابداری آب است که در آنها جریان‌های بازگشتی قابل بازیابی و غیرقابل بازیابی بر مبنای یک قانون آب از یکدیگر تفکیک شده‌اند که در آن صراحتاً موارد استفاده‌ای که جریان رودخانه‌ها را کاهش می‌دهند (یعنی استفاده‌های مصرفی) مورد اشاره قرار گرفته‌اند. همچنین مدیران سیستم‌های آبیاری به دنبال کاهش میزان اتلاف آب در مناطق دور از نقاطی هستند که بازیابی آب در آنها امکان‌پذیر است.

نکات برجسته

کمیسیون تحقیقات آب[۱] دستورالعمل‌هایی را جهت ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری منتشر کرده است که زبان مورد استفاده در آن تا حد زیادی مشابه زبانی است که کمیسیون بین‌المللی آبیاری و فاضلاب[۲] (ICID) مورد استفاده قرار گرفته و واژگان مربوط به آن در بند ۳ این گزارش آورده شده‌اند. مبنای چارچوب موردنظر کمیسیون بین‌المللی آبیاری و فاضلاب این است که تمامی آب برداشت شده از حوضه‌های آبریز جهت استفاده در بخش آبیاری در نهایت به تغییر میزان آب ذخیره شده، افزایش کسر مصرف یا نسبت آب غیرمصرفی در نقطه‌ای پایین دست نسبت به محل استخراج آب منجر می‌شوند. آب مصرفی یا در جهت اهداف تعیین شده (مصرف مفید) یا در جهتی غیر از این (مصرف غیرمفید) مصرف خواهد شد. آبی که مصرف نمی‌شود اما در چرخه باقی می‌ماند نیز یا جهت استفاده مجدد قابل بازیابی است و یا غیرقابل بازیابی خواهد بود. به منظور افزایش میزان آب موجود در حوضه‌های آبریز، مراجع مربوطه باید توجه خود را بر کاهش میزان مصرف غیرمفید و نیز کاهش نسبت آب‌های غیرقابل بازیابی متمرکز کنند. فعالیت‌های صورت گرفته در جهت تحقق این هدف را می‌توان بهترین شیوه‌های مدیریت نامید.

اما اجرای چنین سیاستی در عمل دشوار بوده است؛[۳] مدل‌سازی و اندازه‌گیری‌ها تاکنون فرایند تعیین میزان آب‌های قابل بازیابی و غیرقابل بازیابی را بسیار دشوار کرده‌اند. دلیل این امر نیز آن است که این مسئله آشکارا به وضعیت مرمت و نگهداری کانال‌های موجود در چرخه آبیاری (یعنی ساخت دیواره‌های خاکی یا بتونی) و انجام تعمیراتی به منظور کاهش میزان نشت آب بستگی دارد. این استدلال مطرح شده است که نسبت آب‌های غیرمصرفی و غیرقابل بازیابی رقمی میان ۵۰ تا ۹۰ درصد است.

---

[۱] Water Research Commission
[۲] International Commission on Irrigation and Drainage
[۳] Personal Communication; Gerhard Backeberg.

متولیان حوزه آب به مرور زمان در جهت کاهش اختلاف حجمی میان آب آزاد شده برای استفاده و آب استخراج شده تلاش کرده و در نهایت سقف متغیری را برای مقادیر اتلاف حجمی در نظر می‌گیرند که می‌توان آن را در چرخه آبیاری مورد نظر اعمال کرد. این امر امکان مدیریت مؤثرتر آب و کاهش میزان اتلاف حجمی آب به یک سطح قابل قبول را فراهم خواهد کرد. تفاضل قابل قبول میان میزان آب آزاد شده و میزان آب استخراج شده نباید بیش از ۲۰ درصد باشد. علاوه بر این، از آن پس نیز باید نسبت‌های تقریبی اتلاف‌های قابل بازیابی و غیرقابل بازیابی تخمین زده شوند زیرا این نسبت‌ها نشان دهنده میزان واقعی صرفه‌جویی صورت گرفته یعنی میزان آب قابل بازیابی هستند که جهت استفاده در محیط یا سایر کاربردها (آبیاری یا مصارف صنعتی یا خانگی) در خارج از چرخه آبیاری در دسترس قرار دارد.

۱۰-۴- اسپانیا

عنوان گزارش

Literature Review on Rebound Effect of Water Saving Measures and Analysis of a Spanish Case Study (Berbel *et al.*, 2014)

کلیات

چندین حوضه آبریز دارای مشکل شدید کم‌آبی در جنوب اسپانیا قرار دارند که در آنها آبیاری به شدت توسعه یافته است. یارانه‌هایی جهت کمک به تبدیل شیوه آبیاری سنتی به آبیاری قطره‌ای یا بارانی پرداخته شده است و گزارش مورد اشاره نیز به بررسی تأثیرات ناشی از این سرمایه‌گذاری‌ها پرداخته است. تهیه‌کنندگان این گزارش به طور خاص به دنبال یافتن پاسخی برای این پرسش بوده‌اند که آیا افزایش میزان مصرف و تقاضای آب ناشی از این تغییرات بوده است یا خیر. البته ارائه تفسیر شفاف و عاری از ابهام از نتایج این مطالعه دشوار است. نوسان قابل توجهی در میزان بارش وجود داشته و شاید عامل بارش در کاهش تقاضا برای آب در دوره پس از انجام سرمایه‌گذاری‌های مورد بررسی نقش داشته است؛ میزان آب داده شده به زمین در برخی مناطق آشکارا کاهش یافته است، اما مشخص نیست که آیا این امر بازتاب دهنده کاهش میزان مصرف آب نیز هست یا خیر. تهیه‌کنندگان این گزارش چنین نتیجه گرفته‌اند که اعمال اجبار شدید جهت کاهش میزان توزیع آب مانع از افزایش میزان مصرف شده است.

نکات برجسته

در این گزارش به ارائه یک مطالعه موردی به همراه بررسی اجمالی مطالعات مربوط به مدل‌سازی و شواهد تجربی پرداخته شده است. ذیلاً تنها به ارائه خلاصه‌ای از شواهد تجربی بسنده می‌کنیم.

تأثیر ارتجاعی که در عنوان گزارش به آن اشاره شده با عنوان تناقض جیوونز[۱] نیز شناخته می‌شود (یورک و مک‌جی،[۲] ۲۰۱۵). در سال ۱۸۶۵، ویلیام استنلی جیوونز، اقتصاددان انگلیسی دریافت که پیشرفت‌ها در حوزه

[۱] Jevons Paradox
[۲] York and McGee

فن‌آوری که به افزایش کارآیی در استفاده از زغال‌سنگ منجر می‌شوند، در طیف گسترده‌ای از صنایع افزایش میزان مصرف این ماده را نیز در پی داشته‌اند. درحالی که تصور عمومی بر آن بود که اگر میزان کم‌تری از یک ماده ورودی برای دستیابی به یک برایند معین مورد نیاز باشد، میزان تقاضا برای آن ماده اولیه کاهش خواهد یافت، اما واقعیت آن بود که با کاهش قیمت واقعی ماده اولیه، میزان تقاضا افزایش می‌یابد.

اسپانیا عموماً کشوری کم‌آب است که البته بخش آبیاری در آن از اهمیت برخوردار است. در مقیاسی گسترده‌تر در منطقه مدیترانه، اخیراً تلاش شده تا از طریق اتخاذ سیاست‌های معطوف به بخش تقاضا و به ویژه سرمایه‌گذاری در زمینه فن‌آوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب و نیز کاهش میزان اتلاف آب در شبکه‌های توزیع مربوط به تعیین قیمت آب، مشکل بیشتر بودن میزان تقاضا نسبت به میزان قابل دوام عرضه حل شود.

دولت اسپانیا برنامه ملی آبیاری را با هدف تبدیل زیرساخت‌های توزیع قدیمی مبتنی بر کانال‌های روباز به شبکه‌های انتقال آب تحت فشار با استفاده از لوله‌کشی به موعد اجرا گذاشته است و پیش‌بینی می‌شود این اقدام به صرفه‌جویی به میزان سالانه ۳۰۰۰ میلیون متر مکعب آب منجر شود. این سیستم‌های لوله‌کشی تحت فشار بر مبنای میزان تقاضا عمل می‌کنند و همین مسئله امکان آبیاری به دفعات مکرر، زمان‌بندی بهینه آبیاری محصول و متنوع‌سازی الگوهای پرورش محصول و سوق دادن این الگوها به سمت تولید محصولات دارای ارزش بالاتر را فراهم می‌کند. نوسازی سیستم‌های آبیاری و مقادیر پیش‌بینی شده صرفه‌جویی در مصرف آب یکی از معیارهای کلیدی در برنامه‌های مربوط به مدیریت حوزه‌های آبریز رودخانه‌ها در اسپانیا است. با اجرای این تمهیدات، میزان آب توزیع شده میان کاربران سیستم‌های جدید آبیاری به میزان ۲۵ درصد کاهش خواهد یافت.

تحقیقات اصلی ارائه شده در این گزارش بر مبنای داده‌های انجمن‌های کاربران آب در مورد ۳۶ هزار هکتار در مناطق مختلف حوضه آبریز گوادالکویویر[۲] صورت گرفته است. داده‌های مربوط به بازه زمانی ۲۰۰۱-۱۹۹۹ با داده‌های مربوط به بازه زمانی ۱۱-۲۰۰۹ مقایسه شد که تا آغاز بازه زمانی دوم، دو یا سه فصل آبیاری از راه‌اندازی سیستم‌های مدرنیزه گذشته بود. یارانه‌های دولتی ۶۰ درصد هزینه‌های مربوط به ایجاد سیستم‌های آبرسانی اصلاح شده و سرمایه‌گذاری‌های مربوط به آبیاری قطره‌ای و بارانی را تأمین کرد. کشاورزان سایر هزینه‌های سرمایه‌ای، هزینه راه‌اندازی و مرمت سیستم‌های جدید، کاهش ۲۵ درصدی حق آب (و رسیدن میزان آب توزیعی به ۶۰۰۰ متر مکعب در هر سال به ازای هر هکتار)، محاسبه قبض بر اساس حجم مصرف و عدم افزایش سطح زیر آبیاری را پذیرفتند.

البته ارزیابی برایند چنین برنامه‌ای کار آسانی نیست و مهم‌ترین دلیل آن نیز آن است که میانگین میزان بارش در دوره پس از مدرنیزه کردن سیستم‌های آبیاری در مقایسه با دوره پیش از آن بیش از ۵۰ درصد افزایش یافته و همین مسئله عامل ۱۹ درصد از افزایش تقاضا برای محصولات در بازه زمانی نخست و ۲۸ درصد از حجم تقاضای محصول در دوره بازه زمانی پس از راه‌اندازی سیستم‌های مدرنیزه بوده است. در نتیجه اجرای این برنامه، میزان

[۱] William Stanley Jevons
[۲] Guadalquivir

تقاضای سالانه برای آب جهت آبیاری از ٦٥٢٦ متر مکعب در هکتار به ٥١٥٩ مترمکعب در هر هکتار کاهش یافت، اما میزان تقاضا برای آب به ازای هر واحد محصول به دلیل تغییرات در الگوی پرورش محصول اندکی افزایش یافت و لذا مدرنیزه کردن سیستم‌های آبیاری به کاهش میزان مصرف بالقوه منجر نشد. چه پیش و چه پس از مدرنیزه کردن سیستم‌های آبیاری، میزان توزیع آب از میزان تقاضای کشاورزان بیشتر بود. داده‌ها نیز به روشنی نشان می‌دهند که کل میزان عرضه آب در دوره زمانی پیش از مدرنیزه کردن سیستم‌های آبیاری ۹۸ درصد کل تقاضای بالقوه محصول بوده است و این مقدار در دوره زمانی پس از مدرنیزه کردن به ۹۰ درصد کاهش یافته است. اما مشخص نیست که آیا این اختلاف ناشی از صرفه‌جویی واقعی در مصرف آب است یا خیر.

نویسندگان این گزارش چنین نتیجه گرفته‌اند که اثر ارتجاعی افزایش میزان مصرف در نتیجه مدرنیزه کردن سیستم‌های آبیاری درصورتی قابل اجتناب است که حوزه تحت آبیاری کنترل شود. نویسندگان سپس به بررسی مطالعات مدل‌سازی متعدد (ن.ک. به گزارش‌های ذیل) و چهار مطالعه تجربی در اسپانیا می‌پردازند که در آنها تغییرات در میزان مصرف آب به واسطه استفاده از آبیاری مکانیزه تخمین زده شده است. در چهار مطالعه (پلایان و ماتئوس،[1] ۲۰۰٦؛ لسینا[2] و همکاران، a۲۰۱۰، b۲۰۱۰؛ رودریگز دیاز[3] و همکاران، ۲۰۱۲) افزایش میزان مصرف گزارش شده است. دو مطالعه دیگر نشان دهنده کاهش میزان مصرف هستند، اما در آنها دلایل این کاهش به طور دقیق عنوان نشده است. در یک مطالعه (گارسیا-گاریزابال و کاساپه،[4] ۲۰۱۰) کاهش میزان نیاز به آب مطرح شده است که دلیل احتمالی آن نیز تغییر در الگوی پرورش محصول بوده است. در یک مطالعه دیگر (گارسیا-مولا[5] و همکاران، ۲۰۱۳) گرایش به کشت محصولات دارای ارزش بالاتر و بهبود سطح آب سفره‌های آبی گزارش شده است.

عنوان گزارش

Effects of modernization and medium term perspectives on water and energy use in irrigation districts (Fernandez Garcia *et al.*, 2014)

کلیات

در این مطالعه چنین نتیجه‌گیری شده است که برنامه مدرنیزه کردن آبیاری در اسپانیا میزان آب مورد استفاده را به میزان قابل توجهی کاهش داده است، اما در درازمدت به واسطه تغییرات ایجاد شده در الگوهای کشت و پرورش محصول، به افزایش میزان مصرف آب منجر گردیده است.

نکات برجسته

همچنین در این گزارش به ارزیابی تأثیر برنامه مکانیزه کردن آبیاری و کاهش میزان توزیع آب در جنوب اسپانیا با استفاده از داده‌های انجمن‌های کاربران آب پرداخته شده است. طبق یافته‌های نگارندگان این گزارش، میزان آب مورد استفاده پس از استفاده از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای به میزان ۲۳ درصد کاهش یافته است. در زمان انجام این

[1] Playán and Mateos
[2] Lecina
[3] Rodriguez Díaz
[4] García-Garizábal and Causapé
[5] Garcìa-Mollá

تحلیل، میزان مصرف آب اندکی بالاتر (۲ درصد) بوده است، اما پس از رشد کامل درختان مرکباتی که تازه کاشته شده‌اند، پیش‌بینی می‌شود این میزان تا حدود ۹ درصد نیز افزایش یابد.

عنوان گزارش:

Modernizing water distribution networks: Lessons from the Bembézar MD irrigation district, Spain (Rodriguez Díaz *et al.*, 2012)

کلیات

هرچند میزان آب تأمین‌شده برای مناطق تحت آبیاری به مقدار قابل توجهی کاهش یافته، میزان مصرف آب به واسطه کشت محصولاتی که نیاز به آب بیشتری دارند، افزایش داشته است. هزینه‌های تأمین انرژی مورد نیاز سیستم‌های آبیاری تحت فشار نیز بالا است.

نکات برجسته

در این مطالعه روند مدرنیزه کردن شبکه‌های توزیع آب با استفاده از شاخص‌های عملکردی مربوط به پیش و پس از روند مدرنیزه کردن یک حوزه آبیاری (بمبزار)[1] در منطقه اندلس در جنوب اسپانیا مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این تحلیل نشان دهنده کاهش حدود ٤٠ درصدی آب مورد استفاده جهت آبیاری به واسطه به‌کارگیری یک سیستم توزیع کارآمدتر است. اما این مسئله به بروز تغییراتی در تناوب محصولات منجر شده که طی آن، محصولات دارای ارزش بالاتر که نیاز بیشتری به آب دارند، وارد این چرخه شده‌اند. در نتیجه این امر، میزان تعریق/تبخیر محصولات به میزان قابل توجهی (۲۱ درصد) افزایش یافته است. همچنین روند مدرنیزه کردن افزایش شدید (چهاربرابری) هزینه‌های مدیریتی، عملیاتی و نیز هزینه‌های مربوط به مرمت و نگهداری را به دنبال داشته است. بخش عمده‌ای از این هزینه‌ها ناشی از وابستگی شدید سیستم‌های جدید آبیاری تحت فشار به منابع انرژی (۰/۱۵ کیلووات ساعت برق به ازای هر مترمکعب آب) است. تا پیش از روند مدرنیزه کردن سیستم‌های آبیاری و به واسطه وابسته بودن این سیستم‌ها به شیب زمین، این هزینه‌ها بسیار ناچیز بودند.

عنوان گزارش

Water and energy consumption after modernization of irrigation in Spain (González-Cebollada, ۲۰۱۵)

کلیات

اسپانیا در دهه‌های اخیر برنامه قابل توجهی را در زمینه مدرنیزه کردن سیستم‌های آبیاری به موعد اجرا گذاشته است که البته چنان که انتظار می‌رفت این برنامه به نتایج قابل توجهی در زمینه حفظ و صرفه‌جویی در مصرف آب نیز منجر شده است. با توجه به اهمیت این اهداف اصلی، این انتظار وجود داشت که ارزیابی دقیقی از میزان مصرف آب پیش و پس از طرح‌های مختلف مربوط به مدرنیزه کردن صورت گیرد. همچنین این انتظار وجود داشت که آب صرفه‌جویی از این طریق در اختیار متولیان حوزه آب قرار گیرد و آنها نیز مثلاً بر مبنای

[1] Bembézar

دستورالعمل‌های اتحادیه اروپا در حوزه آب، مورد مصرف تازه آن را مشخص کنند. اما پاسخ دولت به پرسش‌های پارلمان (مه ۲۰۱۳) این بود که «هیچ ارزیابی مشخصی که بتواند مقدار کمّی صرفه‌جویی در مصرف آب را نشان دهد وجود ندارد». از همین رو نویسنده به منظور ارائه شواهدی در اثبات تغییرات در میزان مصرف آب و انرژی در پی اجرای طرح مدرنیزه کردن آبیاری در اسپانیا به گردآوری مطالعات علمی صورت گرفته توسط دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی پرداخت.

نکات برجسته

در این گزارش چندین مطالعه موردی در حوزه رودخانه‌های ابرو، تاگوس و گوادالکویر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند و داده‌های مربوط به مصرف آب و انرژی، پیش و پس از روند مدرنیزه کردن ارائه گردیده‌اند. نتایج این تحلیل نشان می‌دهد که کارآیی آبیاری (نسبت آب مصرف شده به آب داده شده به زمین)، در نمونه‌های مورد مطالعه در نتیجه بکارگیری شیوه‌های آبیاری مدرن با افزایشی قابل توجه از ٦٧ درصد در سال ۱۹۵۰ به ۸۲/۵ درصد در سال ۲۰۰۷ رسیده است. با این حال آب مورد استفاده در بخش کشاورزی و میزان مصرف آب در همین بازه زمانی به ترتیب ۲/٤ و ٤ برابر شده‌اند.

همچنین نتایج این بررسی حاکی از افزایش نوزده برابری میزان مصرف انرژی جهت تأمین برق مورد نیاز تلمبه‌های آب در بازه زمانی ۲۰۰۷-۱۹۵۰ است. در حال حاضر کشت آبی بزرگ‌ترین مصرف کننده برق در اسپانیا است و ۲/۳۷ درصد کل برق تولیدی در کشور در این بخش به مصرف می‌رسد. طبق نظر نویسنده این گزارش، پیش‌بینی می‌شود تولید محصولات کشاورزی بیش از هزینه‌های مربوط به تأمین انرژی افزایش یابد و لذا در ابتدا سرمایه‌گذاری در بخش مدرنیزه کردن سیستم‌های آبیاری به ویژه با وجود کمک‌های مالی قابل توجه دولت، بسیار سودآور بوده است. با این حال، پیش‌بینی قیمت برق (و سایر متغیرها) در بازه‌های زمانی بسیار طولانی مانند بازه‌های زمانی مورد مطالعه در پروژه‌های مدرنیزه‌سازی بسیار دشوار است (به ویژه نرخ ویژه برق جهت آبیاری در بازه زمانی منتهی به ژوئیه ۲۰۰۸ یعنی زمانی که قیمت برق آزاد شد).

نویسنده در پایان گزارش خود چنین نتیجه‌گیری می‌کند: «می‌توان گفت سیاست مدرنیزه کردن چرخه آبیاری در اسپانیا با تکیه بر میلیاردها یورو کمک‌های بخش عمومی از سوی نهادهای وابسته به اتحادیه اروپا و بودجه‌های ملی و منطقه‌ای که با مطرح کردن ارقام فرضی در مورد میزان صرفه‌جویی در مصرف آب نیز توجیه می‌شود، درعمل هیچ گونه صرفه‌جویی در مصرف آب را به همراه نداشته و حتی به عکس این روند کمک کرده است. منابع آب به هیچ روی برای استفاده در محیط یا سایر انواع کاربری‌ها آزاد نشده‌اند ... میزان بهره‌وری در مزارع مدرنیزه شده به واسطه روند مدرن سازی افزایش یافته است، اما هزینه‌های مربوط به تأمین انرژی و نیز هزینه‌های بازیابی سرمایه‌گذاری‌های اولیه نیز در اکثر موارد افزایش یافته است».

۱۱-۴- تونس

عنوان گزارش

Water Balance and Evaluation of Water Saving Investments in Tunisian Agriculture (Zwart and Bastiaanssen, 2008)

کلیات

این گزارش یکی از جامع‌ترین مطالعات در زمینه تأثیرات میدانی آبیاری مکانیزه در مقیاس گسترده است. نتایج این مطالعه به طور کامل با تحلیل ارائه شده در متن اصلی همخوانی دارند؛ میزان مصرف آب تا حدی افزایش یافته است، میزان بازدهی محصول به واحد هکتار افزایش یافته است، رابطه میان بازدهی محصول گندم و مصرف آب نیز یک رابطه مستقیم است.

نکات برجسته

تونس نیز به مانند سایر کشورهای واقع در شمال آفریقا با محدودیت منابع آب و کم‌آبی جدی ناشی از پایین بودن میزان بارش سالانه روبرو است. بنا به دلایل اقتصادی و به منظور ارتقای سطح امنیت غذایی، دولت تونس کشت آبی را تبلیغ کرده و بدین ترتیب فشار بیشتری را بر منابع آب شیرین موجود وارد می‌کند. دولت تونس در سال ۱۹۹۵ برنامه ملی صرفه‌جویی در مصرف آب[۱] (PNEE) را به موعد اجرا گذاشت. این برنامه با هدف افزایش ارزش اقتصادی آب و حفظ توازن میان منابع آب موجود و میزان تقاضا برای آب در بخش آبیاری به موعد اجرا گذاشته شد.

این سرمایه‌گذاری‌ها باید به کاهش میزان مصرف آب در بخش کشت آبی در سطح کشوری به نفع سایر بخش‌ها مانند صنعت و مصارف خانگی منجر شود. سرمایه‌گذاری‌ها در بخش آبیاری را می‌توان به سه گروه تقسیم کرد:

۱) بهبود کیفیت آبیاری سطحی (احداث آب‌انبار، دیوارکشی کانال‌ها، تأمین تجهیزات آبیاری و مانند آن)
۲) نصب تجهیزات آبیاری بارانی
۳) نصب تجهیزات آبیاری قطره‌ای

مساحت کل سطح زیر آبیاری در سطح کشور در پایان سال ۲۰۰۷، ٤١٤ هزار هکتار گزارش شد. در بازه زمانی ۱۹۹۵-۲۰۰۷ حدود ۳۳۰ هزار هکتار از این اراضی تحت آبیاری در چارچوب برنامه ملی صرفه‌جویی در مصرف آب اصلاح شدند.

در زمان انجام این مطالعه، ارزیابی منظمی در سطح ملی پیرامون تغییرات در میزان بهره‌وری، مصرف آب، تأثیرات بر سفره‌های آب زیرزمینی و تأثیرات بر کاربران پایین‌دستی صورت نگرفته بوده است. به منظور کسب اطلاعات اولیه، از داده‌های حاصل از دورسنجی به منظور تحلیل سراسری کشت آبی و دیم در تونس استفاده شد. با استفاده از الگوریتم SEBAL دو بازه زمانی ۰۱-۲۰۰۰ و ۰۷-۲۰۰٦ (باستیانسن و همکاران، ۱۹۹۸) با هدف استخراج

[۱] *National Water Savings Program*

میزان تبخیر/تعریق از داده‌های ماهواره‌ای با یکدیگر مقایسه شدند. افزایش قابل توجه میزان بارش در بازه زمانی ۰۷-۲۰۰۶ در قیاس با بازه زمانی ۰۱-۲۰۰۰ و به تبع آن کاهش میزان تقاضا برای آب به شکلی کاملاً مستقل از عامل ارتقای فن‌آوری، فرایند تحلیل را پیچیده کرده بود. در مناطق زیر کشت آبی، میزان کل مصرف آب در بازه زمانی ۰۷-۲۰۰۶، ۱۱ درصد بیشتر بوده که این امر نشان‌دهنده عدم صرفه‌جویی واقعی در مصرف آب در نتیجه ارتقای سطح فن‌آوری است.

طبق نتایج این بررسی، میزان بازدهی محصول گندم تابعی خطی از میزان تبخیر/تعریق بود، چنان‌که با وجود کاهش ۱۰ درصدی میزان کل آب مصرفی محصول گندم تقریباً به همین میزان نیز از حجم تولید این محصول کاسته شده است. در مناطق زیر کشت محصولات ترکیبی، چندین هدف برنامه محقق شدند: میزان بازدهی به ازای هر هکتار و میزان تولید به ازای هر واحد آب به شدت افزایش یافت، اما مصرف آب نیز به موازات آن افزایش پیدا کرد و لذا امکان اثبات صرفه‌جویی واقعی در مصرف آب در نتیجه سرمایه‌گذاری‌های صورت گرفته میسر نگردید. در واحه‌ها نیز نتایج یکنواخت نبود و در باغ‌ها نیز میزان مصرف آب افزایش و میزان بهره‌وری آب کاهش یافت.

۱۲-۴- ایالات متحده آمریکا

ایالت آریزونا

عنوان گزارش‌ها

The Sustainable Use of Water in the Lower Colorado River Basin (Morrison, Postel and Gleick, ۱۹۹۶)

Colorado River, Mexico: Implications for obtaining water for the environment (Carrillo-Guerrero, Glenn and Hinojosa-Huerta, 2013)

کلیات

در این دو گزارش دیدگاه‌های کاملاً متضادی در زمینه تأثیرات آبیاری مکانیزه ارائه شده است. ظاهراً نخستین گزارش بر مبنای این فرض ساده استوار است که افزایش میزان کارآیی آبیاری در مزرعه به طور خودکار به صرفه‌جویی در مصرف آب منجر می‌شود. اما در گزارش دوم، مسیرهای اتلاف آب در سایر بخش‌های چرخه آبیاری دنبال شده و ضمن ارائه یک موازنه کامل آب این نتیجه‌گیری مطرح گردیده که آبیاری مکانیزه بر باتلاق‌های پایین‌دستی تأثیر منفی خواهد داشت.

نکات برجسته

بخش کشاورزی تقریباً دوسوم منابع آبی در پایین دست رودخانه کولورادو را مصرف کرده و لذا بزرگ‌ترین فرصت برای صرفه‌جویی در مصرف آب نیز مربوط به همین بخش است. بنا بر تخمین انستیتو پاسیفیک،[۱] افزایش میزان کارآیی آبیاری می‌تواند به آزاد شدن مقادیر قابل توجهی آب جهت کاربردهای زیست‌محیطی یا سایر انواع کاربری منجر شود. به عنوان نمونه، تخمین زده می‌شود که در ایالت آریزونا استفاده از آبیاری قطره‌ای یا سایر انواع

[۱] Pacific Institute

روش‌های ریزآبیاری برای نیمی از کل محصول پنبه، سبزیجات و مرکبات میزان اتلاف مصرفی را از ۳۰ درصد به ۵ درصد کاهش خواهد داد (جدول ۱۹، ص. ۳۹، موریسون و همکاران، ۱۹۹۶). اما این مفروضات با ارزیابی‌های دقیق از روند جایگزینی آبیاری قطره‌ای به جای آبیاری غرقابی در ایالت کالیفرنیا مغایرت دارند، ارزیابی‌هایی که نشان‌دهنده میزان میانگین صرفه‌جویی کم‌تر از ٦ درصد هستند. در مطالعه دیگری که بر روی این منطقه صورت گرفته است، کاریلو-گوررو[1] و همکارانش (۲۰۱۳) این استدلال را مطرح کرده‌اند که افزایش میزان کارآیی در بخش کشاورزی به خودی خود آب موجود جهت ورود به باتلاق‌های دلتای رودخانه کلورادو را کاهش خواهد داد. به باور آنها کاهش میزان آب آزاد شده و جریان‌های آب مازاد به جلگه سیلابی کرانه‌های رودخانه کلورادو و نیز کاهش میزان آب مورد استفاده جهت آبیاری اراضی کشاورزی در مجموع به افزایش میزان مصرف آب در مناطق زیر کشت آبی منجر می‌شوند.

ایالت کالیفرنیا

عنوان گزارش

Drip irrigation impacts on evapotranspiration rates in California's San Joaquin valley (Thorenson, Lal and Clark, 2013)

کلیات

هدف از انجام این مطالعه اندازه‌گیری اختلاف میان میزان آب مصرفی محصولات درختی مختلف در مراحل مختلف رشد در مناطق تحت پوشش آبیاری قطره‌ای در مقایسه با مناطق تحت پوشش آبیاری غرقابی بوده است. میزان آب مصرفی به واسطه تبخیر/تعریق به طور متوسط کم‌تر از ٦ درصد کاهش یافت.

نکات برجسته

در این مطالعه از روش‌های سنجش از راه دور به منظور تخمین مستقیم میزان تبخیر/تعریق مربوط به باغ‌های درختان میوه تحت پوشش آبیاری قطره‌ای و غرقابی استفاده شد. مناطق مورد مطالعه به شکلی انتخاب شدند که نمونه‌ها تلفیقی از بیش از یک محصول یا حاشیه یک زمین نباشند؛ روش محاسبه تخمینی میزان تبخیر/تعریق برای تمامی نمونه‌ها یکسان بود و داده‌های اقلیمی نیز برای تمامی مناطق نمونه یکسان بود. درختان میوه و گیاهان نرم ساقه بیشترین ظرفیت بالقوه صرفه‌جویی در مصرف آب از طریق آبیاری مکانیزه را دارند، زیرا نسبت مساحت سطحی که زیر سایه شاخ و برگ‌ها قرار ندارد و لذا امکان اتلاف غیرمولد آب در آن وجود دارد، در این محصولات در قیاس با محصولاتی مانند برنج، گندم و پنبه بسیار بالاتر است. به طور کلی (البته نه در همه موارد)، میزان کاهش تبخیر/تعریق در مورد درختانی که هنوز به رشد کامل نرسیده بودند، بیشتر بود و این امر مؤید این فرضیه است که بخش عمده صرفه‌جویی ناشی از کاهش تبخیر از خاک‌هایی است که در زیر سایه شاخ و برگ‌ها

[1] Carrillo-Guerrero

قرار ندارند. این نتایج آشکارا با مفروضات مطرح در مطالعه انستیتو پاسیفیک در ایالت آریزونا که طبق آن میزان کاهش تبخیر/تعریق ۲۵ درصد (٤ تا ٥ برابر این مطالعه) محاسبه شده بود، مغایرت دارند.

ایالت نیومکزیکو

عنوان گزارش

Remote-Sensing-Based Comparison of Water Consumption by Drip-Irrigated Versus Flood-Irrigated Fields (Intera, 2013)

کلیات

این مطالعه برای کمیسیون بین‌ایالتی نیومکزیکو[1] صورت گرفت و هدف از آن نیز مشخص کردن تأثیر آبیاری قطره‌ای بر میزان مصرف آب بود. نتایج این مطالعه نشان داد که تغییر شیوه آبیاری به آبیاری قطره‌ای میزان مصرف آب را ۸ تا ١٦ درصد افزایش می‌دهد و جریان رودخانه‌ها نیز به تبع آن کاهش می‌یابد. در این مطالعه میزان تولید و میزان بهره‌وری اندازه‌گیری نشدند.

نکات برجسته

کمیسیون بین‌ایالتی نیومکزیکو میزان اثربخشی تغییر شیوه آبیاری از آبیاری غرقابی به آبیاری قطره‌ای در مزارع کشاورزی در منطقه دمینگ[2] در ایالت نیومکزیکو را در صرفه‌جویی در مصرف آب را مورد ارزیابی قرار داد. این ارزیابی از طریق مقایسه میزان نسبی مصرف آب محصولات کشاورزی در شیوه‌های آبیاری غرقابی و قطره‌ای با استفاده از یک شیوه دورسنجی و نیز داده‌های گردآوری‌شده از اراضی کشاورزی صورت گرفت. طبق یافته‌های این مطالعه، اراضی تحت آبیاری قطره‌ای به طور میانگین دمای پایین‌تری نسبت به زمین‌های تحت آبیاری غرقابی داشتند و همین مسئله نشان‌دهنده مصرف بیشتر آب در این زمین‌ها است. تحلیلی که با استفاده از الگوریتم موازنه انرژی سطحی حجمی صورت گرفت نیز مؤید این یافته بود. بر مبنای نتایج این تحلیل، میزان مصرف آب در زمین‌های تحت آبیاری قطره‌ای بسته به نوع محصول، ۸ تا ١٦ درصد بالاتر بود. معمولاً افزایش میزان مصرف آب افزایش میزان تولید زیست‌توده و به تبع آن افزایش میزان بازدهی محصول را در پی دارد و ارزیابی تفاوت‌های نسبی در شاخص رویش که شاخصی نیابتی برای سنجش میزان زیست‌توده است، نیز درستی این فرضیه را اثبات کرد.

یکی از یافته‌های مهم این مطالعه آن بود که میزان مصرف آب در ابتدای فصل آبیاری در آبیاری قطره‌ای بیشتر است. زمانی که تاج‌پوشه تنک باشد و تبخیر از خاک مرطوب کاملاً غیرمولد باشد، آبیاری قطره‌ای، درصورت دقت در مدیریت، امکان تمرکز آبیاری بر یک سطح بسیار کوچک‌تر را فراهم می‌کند. اما ظاهراً چنین اتفاقی رخ نداده است و تعداد دفعات بیشتر آبیاری در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای ظاهراً افزایش میزان اتلاف آب را در پی دارد.

[1] New Mexico Interstate Stream Commission
[2] Deming

ایالت کانزاس

عنوان گزارش

Does efficient irrigation technology lead to reduced groundwater extraction? Empirical evidence (Pfeiffer and Lin, 2014)

کلیات

نتایج این مطالعه که بر مبنای یک مجموعه داده بسیار گسترده تنظیم شده، نشان می‌دهد که میزان مصرف آب، هم به لحاظ آب مصرفی به ازای هر واحد سطح و هم به لحاظ افزایش سطح تحت پوشش آبیاری افزایش یافته است.

نکات کلیدی

نویسندگان این گزارش این مسئله را مورد بررسی قرار داده‌اند که آیا گرایش گسترده به فن‌آوری‌های کارآمدتر آبیاری (تغییر از سیستم‌های سنتی آبیاری تحت فشار به سیستم‌های گردان قطره‌ای) توانسته است میزان استخراج آب‌های زیرزمینی جهت آبیاری در غرب ایالت کانزاس را کاهش دهد یا خیر. در آغاز بازه زمانی مورد مطالعه (اواسط دهه ۱۹۹۰) اکثر کشاورزان استفاده از سیستم‌های آبیاری گردان را آغاز کرده بودند و کارآیی میدانی این شیوه نیز بین ۸۰ تا ۹۰ درصد بود. از آن پس کشاورزان از سرشیلنگ‌های قطره‌ای استفاده کردند که میزان اتلاف آب در نتیجه تبخیر و وزش باد را کاهش می‌دهند و بدین ترتیب کارآیی استفاده به ۹۵ تا ۹۸ درصد افزایش یافت. در مقایسه با اکثر مطالعات، این مورد نمونه‌ای از تغییر شیوه آبیاری از آبیاری پیشرفته به آبیاری پیشرفته‌تر است، اما این نمونه از آن جهت از اهمیت خاصی برخوردار است که کشاورزانی که این مطالعه بر روی آنها صورت گرفته، در زمینه آبیاری صاحب تخصص هستند و قصد دارند در منابع و هزینه‌های تأمین انرژی صرفه‌جویی کنند (مثلاً در این مورد خاص، از سیستم آبیاری دقیق کم‌مصرف[1] (LEPA) جهت آبیاری استفاده شده است).

ایالت نبراسکا

عنوان گزارش

Furrow Irrigation Management with Limited Water (Schneekloth *et al.*, 2006)

کلیات

این مطالعه مؤید وجود رابطه مستقیم میان میزان بازدهی محصول و میزان مصرف آب در مورد محصول ذرت بوده و نشان‌دهنده امکان کاهش میزان آب مورد استفاده به منظور آبیاری درصورت استفاده محصول از رطوبت موجود در خاک است. زمانی که بارش تأمین‌کننده رطوبت خاک باشد، این گزینه یک گزینه عملی خواهد بود.

[1] Low Energy Precision Application

نکات برجسته

در این گزارش به بررسی زمانبندی‌ها و شیوه‌های جایگزین برای آبیاری محصول ذرت و ارائه نتایج بر حسب کارآیی استفاده از آب در آبیاری[1] (IWUE) یعنی نسبت محصول به کیلوگرم به میزان آب مورد استفاده و کارآیی استفاده از آب(WUE) یا میزان بهره‌وری آب (به صورت نسبت آب مصرفی به متر مکعب به ازای هر کیلوگرم محصول) پرداخته شده است. همچنین در این گزارش تأثیر روش‌های مبتنی بر آبیاری ناقص بر درآمدهای حاصل از مزارع کشاورزی بر حسب قیمت‌های مختلف آب تخمین زده شده است.

نتایج این تحلیل نشان می‌دهد که میزان کارآیی آب در بخش آبیاری را می‌توان به میزان قابل توجهی از طریق آبیاری ناقص (معمولاً ۵۰ تا۱۰۰ درصد) افزایش داد و این افزایش حتی در سال‌های خشک نیز بیشتر است، اما کارآیی استفاده از آب اساساً ثابت (۱۰ درصد) است. دو دلیل برای این مسئله وجود دارد: اولاً زمانی که محصول تحت آبیاری ناقص قرار می‌گیرد، تا حدی می‌تواند کمبود آب را با استفاده از رطوبت باقی‌مانده جبران کند و لذا میزان نوسان در بازدهی محصول در قیاس با آبی که به زمین داده می‌شود کم‌تر است، زیرا میزان آبی که به محصول می‌رسد به واسطه رطوبت موجود در خاک تثبیت می‌شود. ثانیاً با گذشتن میزان تبخیر/تعریق از یک آستانه مشخص، میزان کارآیی استفاده از آب نیز ثابت می‌شود. این نتیجه شاهد دیگری بر ناهمخوانی هدف کشاورزان در به حداکثر رساندن میزان کارآیی آب مورد استفاده جهت آبیاری و هدف جامعه در سطح گسترده‌تر برای به حداکثر رساندن کارآیی استفاده از آب است.

ایالت ارگان

عنوان گزارش:

Drainage reuse by Grassland area farmers: the road to zero discharge (Linneman *et al.*, 2014)

کلیات

هدف از اجرای این طرح، بیشینه‌سازی میزان مصرف فاضلاب مناطق تحت آبیاری توسط کشاورزان واقع در علفزارها به منظور کمینه‌سازی جریان‌های خروجی و به تبع آن کاهش میزان ورود آلاینده‌های همراه با این جریان‌های خروجی به مناطق پایین‌دستی بود. بدین ترتیب، بیشینه‌سازی میزان مصرف آب، هدف مستقیم این طرح بود.

نکات برجسته

از حدود سال ۲۰۰٤ به این سو، کشاورزان در منطقه زهکشی علفزار به سرعت از روش‌های سنتی آبیاری سطحی مانند شخم زدن زمین و آبیاری غرقابی به استفاده از سیستم‌های آبیاری با کارآیی بالا مانند آبیاری زیرسطحی، آبیاری قطره‌ای و آبیاری به کمک ریزفواره‌ها روی آوردند. هزینه این سیستم‌ها مبلغ قابل توجهی را در بر می‌گیرد که از ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ دلار آمریکا در هر جریب متغیر است. به همین جهت، بسیاری از کشاورزان از طرح‌های

[1] Irrigation Water Use Efficiency

اعطای کمک مالی در قالب وام‌های کم بهره در سطح ایالت کالیفرنیا، کمک‌های دولت فدرال از طریق بخش حفظ منابع طبیعی[1] (NRCS) و طرح‌های محلی که شامل اعطای وام و نیز کمک‌های بلاعوض بودند، استفاده کردند. این سیستم‌ها از طریق بهبود توزیع همگون آب و کنترل دقیق حجم آب مورد استفاده جهت آبیاری مقدار آبی که از مسیر آبیاری به سیستم‌های زهکشی نشت می‌کند را کاهش می‌دهند.

تأثیر استفاده از این سیستم‌ها بسیار چشمگیر بود: جریان‌های خروجی هرچند متغیر و وابسته به الگوهای فصلی آب و هوا بودند، لیکن طی یک دهه بعد از آغاز اجرای این طرح تقریباً به نصف کاهش یافتند، درحالی که منطقه تحت آبیاری آب زهکشی تقریباً دو برابر شد که از جمله شامل کشت محصولات با ارزش بالاتر در یک محدوده قابل توجه بود. استفاده از آبیاری پیشرفته افزایش میزان مصرف، افزایش سطح زیر کشت آبی و تنوع محصولات را به دنبال داشته است.

۱۳-۴- یمن

عنوان گزارش

Water Savings Report (Ministry of Agriculture and Irrigation - Yemen, 2011)

کلیات

در این گزارش به دو موضوع پرداخته شده است: نخست آنکه میزان مصرف آب به ندرت مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، حال آن‌که در مورد میزان صرفه‌جویی در مصرف آب گزارش تهیه می‌شود. دوم آنکه در برخی شرایط (مثلاً زمانی که آبخوان‌ها در قسمت‌های بسیار عمیق قرار گرفته یا شور هستند)، نشت آب به آب‌های زیرزمینی می‌تواند اتلاف منابع آب تلقی شود. حسابداری کامل آب این نکات را روشن خواهد کرد و مبنایی برای تعیین محل‌های دارای اولویت جهت آبیاری پیشرفته در اختیار ما قرار خواهد داد.

نکات برجسته

این طرح با هدف اصلاح کانال‌های آبرسانی (دیوارکشی و لوله‌کشی) و ارتقای سطح فن‌آوری‌های مورد استفاده جهت آبیاری مزارع از قبیل تجهیزات مربوط به آبیاری قطره‌ای، بارانی و حبابی به موعد اجرا گذاشته شد. مقادیر آب ورودی به نقاط مختلف سیستم پیش و پس از ارتقای تجهیزات فنی مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. میزان صرفه‌جویی در نتیجه بهبود عملکرد سیستم آبرسانی در حدود ۱۵ درصد و میزان صرفه‌جویی مربوط به اقدامات صورت‌گرفته در مزارع نیز بیش از ۳۰ درصد گزارش شد. میزان بازدهی محصول افزایش یافت اما گسترش سطح زیر کشت آبی عموماً محدود بود.

اما در این طرح میزان مصرف آب به شکل واقعی اندازه‌گیری نشد. بنابراین بعید است که مقادیر صرفه‌جویی‌شده به معنای کاهش میزان مصرف آب باشند. با توجه به افزایش میزان بازدهی محصولات این احتمال نیز وجود دارد (هرچند به واسطه تغییر در الگوهای انتخاب محصول نمی‌توان با قطعیت در این زمینه اظهار نظر

[1] Natural Resources Conservation Service

کرد) که میزان مصرف آب محصولات نیز افزایش یافته باشد. با این وجود در این تحلیل به اهمیت شرایط آب‌های موضعی که از آب‌های بسیار عمیق در سفره‌های زیرزمینی مورد بهره‌برداری که نشت آب ممکن است هرگز به آنها نرسد، تا سفره‌های آبی کم‌عمقی که نشت آب مستقیماً در تجدید آب آنها در یک بازه زمانی کوتاه نقش دارد را دربر می‌گیرند، توجهی نشده است. در جاهایی که عمق سفره‌های آب زیرزمینی زیاد است، در صورتی که میزان استخراج آب به موازات کاهش میزان نشتی آب کاهش یافته باشد، مقادیر صرفه‌جویی شده مورد اشاره قطعاً مفید خواهند بود، زیرا در چنین شرایطی امکان بازیابی آب‌های تلف شده بسیار ضعیف است. از سوی دیگر، در جاهایی که سفره‌های آب زیرزمینی در اعماق کم قرار گرفته‌اند، بعید است صرفه‌جویی واقعی اتفاق افتاده باشد.

۱۴-۴- زیمبابوه

عنوان گزارش

Simple micro-irrigation techniques for improving irrigation efficiency on vegetable gardens (Batchelor, Lovell and Murata, 1996)

کلیات

این مطالعه نمونه‌ای از صرفه‌جویی اثبات شده در مصرف آب است. به‌کارگیری فن‌آوری‌های مورد استفاده مستلزم استفاده از نیروی کار فراوان است و لذا نمی‌توان از آنها در مقیاس گسترده استفاده کرد؛ اما نتایج این بررسی نشان می‌دهند که برای محصولاتی که در مقیاس باغچه پرورش داده می‌شوند، امکان صرفه‌جویی در مصرف آب با استفاده از این فن‌آوری‌ها در قیاس با تکنیک‌های آبیاری غرقابی وجود دارد.

نکات برجسته

تهیه‌کنندگان این گزارش با استفاده از آبیاری زیرسطحی با لوله و آبیاری کوزه‌ای شیوه‌های آبیاری مختلفی را در مورد ذرت، گوجه فرنگی، شلغم بیابانی و بامیه آزمودند. به باور آنها، این تکنیک‌ها که اجرایشان مستلزم استفاده از نیروی کار زیاد است، برای استفاده در سیستم‌های آبیاری در مقیاس گسترده مناسب نیستند.

در مقایسه با روش سنتی آبیاری غرقابی، افزایش میزان بهره‌وری آب بر مبنای آب داده شده به محصولات ذرت و شلغم بیابانی بسیار چشمگیر (به ترتیب ٦٤ و ٢١ درصد) بود. این میزان افزایش بهره‌وری در مورد گوجه فرنگی حدود ٦ درصد و در مورد بامیه ١ درصد بود. تهیه‌کنندگان این گزارش، هم میزان بازدهی محصول (به واحد کیلوگرم بر هکتار) و هم میزان بهره‌وری آب (کیلوگرم بر متر مکعب) را ذکر کرده‌اند تا امکان تعیین میزان صرفه‌جویی در مصرف آب فراهم باشد.

در مورد محصول ذرت، هیچ گونه صرفه‌جویی به لحاظ میزان مصرف آب مشاهده نشد (میزان افزایش بازدهی محصول و کارآیی استفاده از آب در مورد این محصول برابر است)، اما در مورد شلغم بیابانی صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف آب مشاهده می‌شود (میزان کارآیی استفاده از آب در مورد این محصول حدود ١٢ درصد افزایش یافته است). اما در مورد بامیه و گوجه فرنگی، نتایج یک‌دست نیست.

۵- سخن پایانی

معمولاً چنین تصور می‌شود که استفاده از آبیاری مکانیزه، به صرفه‌جویی در مصرف مقادیر عظیمی آب در بخش کشاورزی منجر می‌شود که می‌توان این آب صرفه‌جویی شده را در سایر بخش‌ها مورد استفاده قرار داد. اما اعتبار این فرضیه که غالباً تولیدکنندگان عمده تجهیزات آبیاری قطره‌ای و بارانی نیز به آن دامن می‌زنند[۱] باید مورد بررسی قرار گیرد.

بنابر اطلاعات گردآوری شده در این بررسی، هیچ سندی دال بر صرفه‌جویی قابل توجه در مصرف آب در مورد محصولات مزرعه‌ای به لحاظ استفاده مصرفی مشاهده نشده است و شمار نمونه‌هایی که در آنها میزان بهره‌وری بیوفیزیکی آب (به واحد میزان محصول بر مترمکعب تعریق) افزایش یافته باشد نیز بسیار اندک است. چند نمونه افزایش میزان بهره‌وری آب (میزان بازده محصول به ازای هر مترمکعب تبخیر/تعریق) در چین مشاهده شد (در هند این موارد مشاهده نگردید)، اما علت افزایش بهره‌وری آب در این موارد مالچ‌پاشی تشخیص داده شد و نه آبیاری مکانیزه.

دلیل اصلی خلط میان صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش میزان بهره‌وری آب به وجود دو دیدگاه درست اما متفاوت در زمینه کم‌آبی بازمی‌گردد. کشاورز می‌کوشد حداکثر بازدهی را از منابعی که در اختیار دارد صاحب شود و این امر به نوبه خود مستلزم مصرف حداکثری منابع آب محدودی خواهد بود که در اختیار وی قرار دارد. از سوی دیگر جامعه غالباً به دنبال آن است که منابع کمیاب آب از بخش کشاورزی در اختیار سایر بخش‌های اقتصاد و از جمله محیط زیست قرار گیرد. این دو هدف با یکدیگر در تعارض قرار دارند و استفاده از واژگان مناسب در توصیف صرفه‌جویی واقعی در مصرف آب در شکل‌گیری بحث عالمانه پیرامون این موضوع نقشی محوری دارد.

در مواردی که روند حسابداری آب به خوبی مستندسازی شده بود، موارد مهمی از افزایش میزان مصرف آب به موازات گسترش سطح زیر کشت آبی توسط کشاورزان به ازای هر واحد آب داده شده به مزرعه (و به تبع آن افزایش میزان مصرف و کاهش جریان‌های آب بازگشتی) یا افزایش میزان تبخیر/تعریق به موازات افزایش میزان تولید زیست‌توده‌ها مشاهده شد. در سایر موارد، حسابداری آب ناقص بود یا به شکل مناسب از آن در جهت ارزیابی تأثیرات ناشی از مداخلات صورت‌گرفته بر میزان مصرف و میزان بهره‌وری آب استفاده نشده بود.

مطالعه موردی مربوط به محصولات درختی در ایالت کالیفرنیا نیز حاوی نکات جالبی است؛ از آنجا که درختان و نرم‌ساقه‌ها بخش‌های بزرگی از خاک را در معرض تابش مستقیم خورشید قرار می‌دهند، امکان بالقوه کاهش میزان تبخیر غیرمولد درمورد آنها بالا است. با این حال میزان کاهش آب مصرفی در این محصولات به طور میانگین کم‌تر از ٦ درصد بوده است. اما در مورد محصولات مزرعه‌ای که در آنها تاج‌پوش عمدتاً بسته است، حتی دستیابی به همین مقادیر اندک صرفه‌جویی نیز بعید است و مطالعات صورت‌گرفته در هند نیز این نظر را تأیید می‌کنند.

[۱] http://www.jains.com/irrigation/drip%20irrigation%20system.htm, viewed February 6, 2017

موارد بررسی شده در این گزارش به میزان قابل توجهی مؤید درستی فرضیه بازی «جمع- صفر» هستند که طبق آن، آبیاری مکانیزه در مزارع کشاورزی میزان مصرف آب و میزان تولید محصول را افزایش و در مقابل، میزان دسترسی به آب و میزان تولید در سایر بخش‌ها را کاهش می‌دهد.

اما ورای این تأثیر مأیوس کننده اولیه، آبیاری مکانیزه پیامد نگران‌کننده‌تر دیگری نیز دارد. از منظر شخص کشاورز، آبیاری مکانیزه میزان سودآوری آبی را که به مزرعه داده می‌شود افزایش می‌دهد؛ او می‌تواند سطح وسیع‌تری را آبیاری کند، محصول بیشتری به دست آورد و شاید هم به سراغ کشت محصولات با ارزش بالاتر برود. مجموعه این تأثیرات بر ارزش آب به عنوان یک نهاده می‌افزاید، هزینه استخراج آب با استفاده از تلمبه را کاهش می‌دهد و انگیزه‌های کشاورزان جهت دستیابی به آب بیشتر را تقویت می‌کند. به طور کلی، تأثیر پیش‌بینی شده افزایش میزان کارآیی آبیاری، افزایش میزان مصرف کنونی و افزایش تقاضا برای آب است که این امر به نوبه خود کم‌آبی را تشدید و مدیریت آن را نیز دشوارتر خواهد کرد.

در میان مطالعات موردی گزارش شده، پروژه مربوط به ایالت ارگان از جذابیت ویژه‌ای برخوردار است. در این طرح، از آبیاری مکانیزه مستقیماً به منظور بیشینه‌سازی میزان مصرف آب و کمینه‌سازی جریان‌های آب بازگشتی به محیط استفاده شد. از آنجا که این‌ها اهداف کاملاً مشخص این سرمایه‌گذاری بودند، تأثیرات ناشی از اجرای این طرح نیز به دقت رصد و تبیین گردیدند. تأثیرات آبیاری مکانیزه همان بود که یافته‌های علمی نیز آن را پیش‌بینی کرده بودند: میزان مصرف آب به میزان قابل توجهی افزایش یافت، میزان تولید زیست‌توده‌های موضعی بالا رفت و به شدت از حجم جریان‌های آب بازگشتی به محیط کاسته شد.

البته آبیاری مکانیزه مزایای مهمی نیز به همراه دارد؛ غالباً به صرفه‌جویی در نیروی کار کمک می‌کند، امکان استفاده دقیق و مقرون به صرفه از کودها و سایر مواد شیمیایی را فراهم می‌کند، با استفاده از این روش میزان نشت نیترات‌ها و سایر انواع آلاینده‌ها به حداقل ممکن کاهش می‌یابد، ممکن است هزینه‌های استخراج آب با کمک تلمبه نیز کاهش یابند، امکان صرفه‌جویی در مصرف انرژی وجود دارد،[1] و ممکن است کشاورزان بتوانند با افزایش تنوع تولیدات خود به سراغ کشت محصولاتی با ارزش بالاتر بروند. اما رایج‌ترین تصور یعنی تصور صرفه‌جویی مقادیر عظیم آب با استفاده از آبیاری مکانیزه بر پایه دو فرض استوار است که البته تجربیات عملی درستی آنها را تأیید نمی‌کنند.

۱) **فرض نخست** آن است که شیوه‌های سنتی آبیاری ناکارآمد هستند و به اتلاف منابع آب منجر می‌شوند، در حالی که شیوه‌های مدرن مستقیماً به کاهش میزان اتلاف منابع آب کمک می‌کنند. اما یافته‌های علم آب‌شناسی حاکی از آن هستند که مازاد آب از بین نمی‌رود. حتی در مواردی که میزانی از آب بر روی خاک فاقد پوشش گیاهی تبخیر می‌شود، بخش عمده‌ای از آب مازاد جهت استفاده مجدد به آب‌های زیرزمینی یا چرخه‌های آب‌های سطحی بازمی‌گردد. تحلیل‌های دقیق آبشناسی جریان‌های آب پیش و پس از مدرنیزه

[1] البته همیشه چنین نیست: زمانی که آبیاری قطره‌ای یا بارانی جایگزین آبیاری غرقابی می‌شود، آب باید با فشار منتقل شود و همین مسئله هزینه‌های آبیاری در بخش انرژی را افزایش می‌دهد.

کردن شیوه‌های آبیاری باید مبنای ارزیابی صرفه‌جویی فیزیکی در مصرف آب باشند و این تحلیل‌ها نیز در اکثر موارد مؤید این نکته هستند که مقادیر صرفه‌جویی شده حداکثر بخش کوچکی از افزایش میزان کارآیی هستند. زمانی که اشباع خاک از رطوبت به واسطه بالا آمده سفره‌های زیرزمینی مانند آنچه در مورد خاک‌های رسی حوضه مدیترانه رخ داده است به یک معضل تبدیل شود، و یا زمانی که کاهش حجم جریان‌های غیرقابل بازیابی مدنظر باشد، ممکن است افزایش میزان کارآیی آبیاری به عنوان یک ضرورت مطرح باشد.

۲) **فرض دوم** آن است که میزان بهره‌وری فیزیکی آب (میزان آب مصرفی به واحد کیلوگرم) با استفاده از شیوه‌های آبیاری مدرن به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. علم محصول‌شناسی و داده‌های آزمایشی مربوط به محصولات مزرعه‌ای رایج نشان می‌دهند که میزان تولید زیست‌توده اساساً تابع مستقیمی از آب مصرفی توسط محصول است و لذا افزایش میزان تولید محصول با افزایش همزمان میزان مصرف آب همراه خواهد بود.

از نگاه کشاورزان، آبیاری مکانیزه امکان افزایش سطح زیر کشت آبی، افزایش میزان تولید و افزایش ارزش تولید را به طور همزمان فراهم می‌کند. اما به موازات این مزایا، میزان مصرف جاری آب نیز به احتمال قوی افزایش می‌یابد و در پی آن از حجم جریان‌های آب بازگشتی کاسته و بر میزان تقاضا برای آب در آینده افزوده خواهد شد، زیرا آب نهاده باارزش‌تری برای کشاورزان است. تناقض جیوونز که بر مبنای آن افزایش میزان کارآیی منابع به افزایش میزان مصرف و در نتیجه افزایش میزان تقاضا منجر می‌شود، در مورد آب نیز صادق است.

البته نمی‌توان ادعا کرد که استثنایی برای این نتیجه‌گیری‌های کلی وجود ندارد و لذا ما از پرداختن به این موارد استثنایی در چارچوب اصلاح گزارش حاضر استقبال می‌کنیم. در عین حال، این جستجوی گسترده برای یافتن نمونه‌ها بیان‌گر آن است که نتایجی که در بالا مطرح شده‌اند، باید به عنوان پیش‌فرض (فرضیه صفر) درنظر گرفته شوند و طرح‌ها و برنامه‌های دیگر بر مبنای آنها مورد ارزیابی قرار گیرند.

۶- پیامدها در حوزه سیاست‌گذاری

این نتایج بیان‌گر ضرورت اتخاذ مجموعه‌ای از تمهیدات متوالی به منظور حرکت در جهت مدیریت پایدار منابع آب هستند. از گذشته تا به امروز شیوه کار بر مبنای تبلیغ آبیاری مکانیزه و اعطای یارانه جهت ترویج آن به امید کاهش میزان تقاضا برای آب و اندازه‌گیری گاه و بی‌گاه تأثیرات فیزیکی به‌کارگیری فن‌آوری‌های جدید استوار بوده است. اما این ترتیب و توالی باید به شکلی که ذیلاً شرح آن خواهد آمد، معکوس گردد:

- نخست، ایجاد یک نظام حسابداری آب که بتواند تخمین‌های کمّی از موازنه فیزیکی آب (منابع، موارد انحراف کاربری و استخراج، میزان مصرف، حجم جریان‌های بازگشتی، تغییرات در ذخیره‌سازی و ...) به دست دهد؛
- دوم، تعیین محدودیت‌هایی برای تخصیص آب (بر مبنای موازنه کنونی آب و با هدف کاهش میزان مصرف به سطح پایدار)؛
- سوم، تشویق و کمک به تمامی کاربران در جهت بیشینه‌سازی مزایای سرانه آب توزیع شده. در چنین بستری، اتخاذ تمامی تمهیدات ممکن و از جمله آبیاری مکانیزه جایگاه مناسب خود را خواهد یافت.

این فرایند یک فرایند تکرارپذیر خواهد بود. ارزیابی‌های تخمینی تراز آب به مرور زمان بهبود خواهند یافت و فرایندهای توزیع آب نیز بر مبنای همین ارزیابی‌ها اصلاح خواهند شد، اما گردآوری اطلاعات و کنترل فرایندهای توزیع آب نخستین گام‌های ضروری در این زمینه هستند. این اولویت در تمامی بخش‌ها مصداق دارد، اما در بخش کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هر گونه تغییر در کاربری زمین، اعم از تبدیل جنگل‌ها به زمین‌های کشاورزی، ذخیره‌سازی آب حاصل از نزولات جوی و مدرنیزه کردن آبیاری بارانی (وان استینبرگن[1] و همکاران، ۲۰۱۰)، یا ذخیره‌سازی و کنترل آب در بخش آبیاری در زمینه دسترسی به آب در سایر بخش‌های چرخه آب پیامدهایی خواهد داشت و اعمال اصلاحات در ترازهای پیش‌بینی شده آب را ضروری خواهد ساخت.

اگر قرار است تغییر بنیادین مورد نیاز در جهت مدیریت پایدار منابع آب رخ دهد، عملی شدن این توالی از اهمیت حیاتی برخوردار خواهد بود. کشورها باید ظرفیت‌های خود در بخش حسابداری آب را تقویت کنند تا بتوانند مسیرهای پیشنهادی توسعه خود جهت رسیدن به سطوح پایدار مصرف آب در آینده را ترویج کرده و به تعیین مرزهای عملیاتی مستمر و قابل رصد در زمینه مصرف آب بپردازند. نکته آخر آنکه طرف‌های ذی‌نفع نیز باید در چارچوب همین مرزها به بیشینه‌سازی مزایای همگانی استفاده از آب بپردازند و البته خود نیز به دنبال یافتن راه‌هایی جهت تحقق این مهم خواهند بود.

در پایان، امید آن داریم که گزارش حاضر بتواند توجهات را به مسیر منتهی به مدیریت پایدار منابع آب معطوف ساخته و مشوق بحث و شناسایی سایر رویکردهای عملی، جایگزین یا مکمل جهت دستیابی به نتایج هرچه مثبت‌تر باشد.

در عین حال، شواهدی که تاکنون به دست آمده نیز حاوی برایندهای مهمی برای دو بازیگر کلیدی در بخش آب هستند. از یک سو دولت‌ها باید مسئولیت مهم و دشوار خود در جهت مدیریت منابع آب به عنوان یکی از

[1] van Steenbergen

سرمایه‌های حیاتی ملی را ایفا نمایند و از سوی دیگر، اهداکنندگان کمک‌های مالی (مؤسسات مالی بین‌المللی) نیز باید در عین خودداری از تأمین منابع مالی پروژه‌های مکانیزه کردن آبیاری در نبود یک نظام مناسب حسابداری آب و کنترل‌های قبلی بر فرایندهای توزیع آب، مروج مجموعه تمهیدات متوالی فوق‌الذکر در جهت حمایت از دولت‌هایی باشند که مشغول پرداختن به مسائل مربوط به توزیع آب هستند.

پرداختن به پیامدهای مربوط به صرفه‌جویی در مصرف آب در دو مقیاس مزارع و حوضه‌های آبریز، مستلزم وجود میزان بالایی از هماهنگی میان وزارت کشاورزی و وزارت منابع آب در مراحل مختلف، از برنامه‌ریزی تا اجرای طرح‌های آبیاری خواهد بود.

ما از تمامی بازیگران علاقه‌مند در حوزه مدیریت پایدار آب و کم‌آبی دعوت می‌کنیم تا نظرات، اسناد و شواهد دیگر مرتبط با موضوع آبیاری مکانیزه و صرفه‌جویی در مصرف آب را با مراجعه به نشانی WSI@fao.org با ما در میان بگذارند.

فهرست منابع

Allen, R. G., Tasumi, M., Morse, A., Trezza, R., Wright, J. L., Bastiaanssen, W., Kramber, W., Lorite, I.and Robison, C. W. 2007. Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC)—Applications, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ۱۳۳(4), pp. 395–٤٠٦, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:4(395).

Australian Bureau of Statistics. 2006. Water Account Australia 2004–05. Available at: http://www.ausstats.abs.gov.au/ausstats/subscriber.nsf/0/3494F63DFEE158BFCA257233001CE732/US$File/46100_2004-05.pdf.

Balwinder-Singh, Eberbach, P. L., Humphreys, E. and Kukal, S. S. 2011. The effect of rice strawmulch on evapotranspiration, transpiration and soil evaporation of irrigated wheat in Punjab, India. *Agricultural Water Management*. Elsevier B.V., 98(12), pp. 1847–1٨٥٥. doi: ١٠,١٠١٦/j. agwat.2011.07.002.

Bastiaanssen, W. G. M., Menenti, M., Feddes, R. A. and Holtslag, A. A. M. 1998. A remote sensingsurface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, ٢١٢–٢١٣(١–٤), pp, ١٩٨–٢١٢, doi: 10.1016/S0022-1694(98)00253-4.

Batchelor, C., Hoogeveen, J., Faurès, J. and Peiser, L. 2016. *Water Accounting and Auditing Guidelines: A Sourcebook*. Rome. Available at: http://www.fao.org/publications/card/en/c/d43dad58-d587-48dd-ad0e-7c4a7397a175/ (Accessed: 13 February 2017).

Batchelor, C., Lovell, C. and Murata, M. 1996. Simple microirrigation techniques for improvingirrigation efficiency on vegetable gardens. *Agricultural Water Management*

Berbel, J., Gutiérrez-Martin, C., Rodriguez-Diaz, J. A., Camacho, E. and Montesinos, P. 2014. Literature Review on Rebound Effect of Water Saving Measures and Analysis of a Spanish Case Study. *Water Resources Management*, 29(3), pp. 663–678. doi: 10.1007/s11269-014-0839-0.

Carrillo-Guerrero, Y., Glenn, E. P. and Hinojosa-Huerta, O. 2013. Water budget for agricultural and aquatic ecosystems in the delta of the Colorado River, Mexico: Implications for obtaining water for the environment. *Ecological Engineering*, 59(February), pp. 41–51. doi: 10.1016/j.ecoleng.2013.04.047.

Falkenmark, M., Lundqvist, J. and Widstrand, C. 1989. Macro-scale water scarcity requires microscale approaches: Aspects of vulnerability in semi-arid development. *Natural Resources Forum*, ١٣(٤), pp. ٢٥٨–٢٦٧, doi: 10.1111/j.1477-8947.1989.tb00348.x.

FAO 2015. *Towards a Regional Collaborative Strategy on Sustainable Agricultural Water Management and Food Security in the Near East and North Africa Region*. Rome. Available at: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rne/docs/LWD-Main-Report-2nd-Edition.pdf.

Fereres, E. and Soriano, M. A. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), pp. 147–159. doi: 10.1093/jxb/erl165.

Fernandez Garcia, I., Rodriguez Diaz, J. A., Camacho Poyato, E., Montesinos, P. and Berbel, J. 2014. Effects of modernization and medium term perspectives on water and energy use in irrigationdistricts', *Agricultural Systems*, 131, pp. 56–63. doi: 10.1016/j.agsy.2014.08.002.

Foster, S. and Garduno, H. 2006. Sustainable Groundwater Groundwater Management: Management and Tools from Practice Actual and Potential Regulatory Issues Relating to Groundwater Use in.*Mendoza State- Direccion General de Irrigacion (DGI), The World Bank*, (Figure 1), pp. 1–6.

García-Garizábal, I. and Causapé, J. 2010. Influence of irrigation water management on the quantity and quality of irrigation return flows. *Journal of Hydrology*, 385(1–4), pp. 36–43. doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.02.002.

Garcìa-Mollá, M., Sanchis-Ibor, C., Ortega-Reig, M. V. and Avellá-Reus, L. 2013. Irrigation associations coping with drought: The case of four irrigation districts in eastern spain. In K. Schwabe, J. Albiac, J. D. Connor, R. Hassan and L. M. González., eds. *Drought in Arid and Semi-Arid Regions: A Multi- Disciplinary and Cross-Country Perspective*, pp. 101–122. doi: 10.1007/978-94-007-6636-5_6.

Gilmont, M. 2014. Decoupling dependence on natural water: Reflexivity in the regulation and allocation of water in Israel. *Water Policy*. IWA Publishing, 16(1), p. 79. doi: 10.2166/wp.2013.171.

González-Cebollada, C. 2015. Water and energy consumption after the modernization of irrigation in Spain. In C. González-Cebollada. *Sustainable Development*, pp 457-465. Brebbia C.A., WIT Press.

Grafton, R. Q. 2017. Editorial: Water Reform and Planning in the Murray–Darling Basin, Australia. *Water Economics and Policy*, 3(3), p. 1702001. doi: 10.1142/S2382624X17020015.

Hardin, G. 1968. The tragedy of the commons. *Science (New York, N.Y.)*, 162(3859), pp. 1243–8. doi: 10.1126/science.162.3859.1243.

Howell, T. A. 1990. Relationships between crop production and transpiration, evapotranspiration, and irrigation. In B. A. Stewart and D. R. Nielsen, eds. *Irrigation of Agricultural Crops*. USDA.

Humphreys, E., Kukal, S. S., Christen, E. W., Hira, G. S., Balwinder-Singh, Sudhir-Yadav and Sharma, R. K. 2010. Halting the groundwater decline in north-west india-which crop technologies will be winners? *Advances in Agronomy*. Elsevier Ltd. doi: 10.1016/B978-0-12-385040-9.00005-0.

Intera. 2013. *Remote-Sensing-based comparison of water consumption by drip-irrigated versus floodirrigated fields*. Deming, New Mexico.

IPCC 2014. IPCC Fifth Assessment Synthesis Report-Climate Change 2014 Synthesis Report. *IPCC Fifth Assessment Synthesis Report-Climate Change 2014 Synthesis Report*, p. pages: 167.

Keller, J. 1992. Implications of Improving Agricultural Water Use Efficiency on Egypt's Water and Salinity Balances. In: M. Abu-Zeid and D. Seckler, eds. *Roundtable on Egyptian Water Policy*. Cairo: Water Research Centre, Ministry of Public Works and Water Resources.

Kendy, E., Gérard-Marchant, P., Todd Walter, M., Zhang, Y., Liu, C. and Steenhuis, T. S. 2003. A soil-water-balance approach to quantify groundwater recharge from irrigated cropland in the North China Plain. *Hydrological Processes*. John Wiley & Sons, Ltd., 17(10), pp. 2011–2031. doi: ۱۰,۱۰۰۲/hyp.۱۲٤۰.

Kendy, E., Molden, D. J., Steenhuis, T. S., Liu, C. and Wang, J. 2006. *Heavy use of groundwater leading to steady declines in water, Luancheng CountyIWMI Research Report*. Available at: www.iwmicgiar.org/pubs/rrindex.htm.

Lecina, S., Isidoro, D., Playán, E. and Aragüés, R. 2010a. Irrigation modernization and water conservation in Spain: The case of Riegos del Alto Aragon. *Agricultural Water Management*, 97(10), pp. 1663–1675. doi: 10.1016/j.agwat.2010.05.023.

Lecina, S., Isidoro, D., Playán, E. and Aragüés, R. 2010b. Irrigation Modernization in Spain: Effects on Water Quantity and Quality—A Conceptual Approach. *International Journal of Water Resources Development*, 26(2), pp. 265–282. doi: 10.1080/07900621003655734.

Linneman, C., Falaschi, A., Oster, J. D., Kafka, S. and Benes, S. 2014. Drainage reuse by Grassland area farmers: the road to zero discharge. In: S. Macauley, S., ed. *Groundwater Issues and Water Management – Strategies Addressing the Challenges of Sustainability*. Sacramento: USCID, pp. 65–78.

Loch, A. and Adamson, D. 2015. Drought and the rebound effect: A Murray–Darling basin example. *Natural Hazards*. Springer Science + Business Media, 79(3), pp. 1429–1٤٤٩. doi: ۱۰,۱۰۰۷/s۱۱۰٦۹- ۰۱٥-۱۷۰٥-y,

Lotfi, A. (2012) *Lake Uromiyeh A Concise Baseline Report*. Available at: http://www.ir.undp.org/content/dam/iran/docs/News/2014/March 2014/Towards a solution for Iran's dying wetlands/Lake Uromiyeh/LU Baseline Studies.pdf.

Ministry of Agriculture and Irrigation. 2011. *Water savings Report*. Morocco, M. of A. and F. No date. *Programme National d'economie d'eau en Irrigation*. Available at: http://www.agriculture.gov.ma/en/pages/water-saving.

Morrison, J. I., Postel, S. and Gleick, P. H. 1996. *The sustainable use of water in the Lower Colorado River basin, Urban Water*. Available at: http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:The+Sustainable+Use+of+Water+in+the+Lower+Colorado+River+Basin#0.

OECD 2015. *Drying wells, rising stakes towards sustainable agricultural groundwater use*. Paris: OECD Publishing. van Oort, P. A. J., Wang, G., Vos, J., Meinke, H., Li, B. G., Huang, J. K. and van der Werf, W. 2016. Towards groundwater neutral cropping systems in the Alluvial Fans of the North China Plain', *Agricultural Water Management*, 165, pp. 131–140. doi: 10.1016/j.agwat.2015.11.005.

Oweis, T., & Hachum, A. 2006. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in West Asia and North Africa. *Agricultural Water Management*, ۸۰: ٥۷-۷۳.

Perry, C. 2007. Efficient irrigation; Inefficient communication; flawed recommendations. *Irrigation and Drainage*, 56(4), pp. 367–378.

Perry, C. 2011. Accounting for water use: Terminology and implications for saving water and increasing production. *Agricultural Water Management*, 98(12), pp. 1840–1846.

Perry, C., Steduto, P., Allen, R. G. and Burt, C. M. 2009. Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities. *Agricultural Water Management*. Elsevier BV,96(11), pp. 1517–1524. doi: 10.1016/j.agwat.2009.05.005.

Pfeiffer, L. and Lin, C. Y. C. 2014. Does efficient irrigation technology lead to reduced groundwater extraction? Empirical evidence. *Journal of Environmental Economics and Management*, 67(2), pp. 189–208. doi: 10.1016/j.jeem.2013.12.002.

Playán, E. and Mateos, L. 2006. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agricultural Water Management*, pp. 100–116. doi: 10.1016/j.agwat.2005.07.007.

Qureshi, M. E., Grafton, R. Q., Kirby, M. and Hanjra, M. A. 2011. Understanding irrigation water use efficiency at different scales for better policy reform: A case study of the Murray-Darling Basin, Australia', *Water Policy*, 13(1), pp. 1–17. doi: 10.2166/wp.2010.063.

Reinders, F., van der Stoep, I., Lecler, N., Greaves, K., Vahrmeijer, J., Benadé, N., du Plessis, F., van Heerden, P., Steyn, J., Grové, B., Jumman, A. and Ascough, G. 2010. Standards and Guidelines for Improved Efficiency of Irrigation Water Use from Dam Wall Release to Root Zone Application. *Report Number TT 465/10. WRC Publications. Pretoria, RSA.*

Riverside 2009. Satellite based evapotranspiration mapping and water use by rural communes of Morocco. *Fort Collins.*

Rodriguez Díaz, J. A., Perez Urrestarazu, L., Camacho Poyato, E. and Montesinos, P. 2012. Modernizing water distribution networks: Lessons from the bembzar MD irrigation district, Spain. *Outlook on Agriculture*, 41(4), pp. 229–236. doi: 10.5367/oa.2012.0105.

Schneekloth, J. P., Klocke, N. L., Davison, D. R. and Payero, J. O. 2006. Furrow irrigation management with limited water. *Applied Engineering in Agriculture*, 22(3), pp. 391–398.

Seckler, D. 1996. *The new era of water resources management: From dry to wet water savings*, *Management*. doi: 10.3910/2009.003.

Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E. and Raes, D. 2012. *Crop yield response to water*, *Fao Irrigation and Drainage Paper Issn*. Available at: www.fao.org. van Steenbergen, F., Lawrence, P., Mehari, A., Salman, M. and Faurès, J.-M. ۲۰۱۰. Guidelines on spate irrigation. *Vasa*, p. 249.

Thorenson, B., Lal, D. and Clark, B. (2013) Drip irrigation impacts on evapotranspiration rates in California's San Joaquin valley. In B. T. Wahlin, and S. S. Anderson, eds. *Using 21st Century Technology to Better Manage Irrigation Water Supplies*. Phoenix, Arizona: USCID, pp. 155–169.

United Nations Statistics Division. 2012. *System of Environmental-Economic Accounting for Water (SEEA-Water), United Nations Statistics Division*. doi: ST/ESA/STAT/SER.F/100.

World Bank 1993. *Irrigation Improvement Project, Islamic Republic of Iran*. Washington DC.

Wu, B., Jiang, L., Yan, N., Perry, C. and Zeng, H. 2014. Basin-wide evapotranspiration management: Concept and practical application in Hai Basin, China. *Agricultural Water Management*, 145, pp. 145–153. doi: 10.1016/j.agwat.2013.09.021.

Yan, N., Wu, B., Perry, C. and Zeng, H. 2015. Assessing potential water savings in agriculture on the Hai Basin plain, China. *Agricultural Water Management*. Elsevier B.V., 154, pp. 11–19. doi: 10.1016/j.agwat.2015.02.003.

York, R. and McGee, J. A. 2015. Understanding the Jevons paradox. *Environmental Sociology*, pp. 1–11. doi: 10.1080/23251042.2015.1106060.

Zamora, A., Kirchner, L. and Lustgarten, A. 2015. *No Title*, *ProPublica*. Available at: https://www.propublica.org/article/california-drought-colorado-river-water-crisis-explained (Accessed: ۲٤ November 2016).

Zwart, S. J. and Bastiaanssen, W. G. M. 2008. *Water Balance and Evaluation of Water Saving Investments in Tunisian Agriculture*. Wageningen. Available at: http://www.waterwatch.nl/fileadmin/bestanden/Project/Africa/0164_TU_2008_Drip.pdf.

Islamic Republic of Iran

Center For Strategic Studies

TECHNOLOGY DOES IMPROVED IRRIGATION SAVE WATER

Food and Agriculture Organization of the United Nations

Chris Perry
Pasquale Steduto
Fawzi Karajeh

Translated By
Presidential Center for Strategic Studies
۲۰۱۷