تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال نوزدهم، شماره ۴، پاییز ۱۴۰۲
Volume 19, No. 4, Fall 2023 (IR-WRR)
۲۱۴-۲۲۸

مقاله مروری

بررسی و تحلیل پدیده اثر بازگشتی پسا مدرن‌سازی آبیاری و ملاحظات لازم

نادر حیدری[۱*] و سالومه سپهری صادقیان[۲]

چکیده

مدرن‌سازی آبیاری به طور عمده در قالب توسعه سیستم‌ها و فناوری‌های نوین آبیاری، سیاستی است که در تعدادی زیادی از کشورهای توسعه یافته و یا در حال توسعه جهان، به خصوص کشورهای مناطق خشک و نیمه خشک، از جمله کشور ایران، در حال انجام است. اهداف عمده مدرن سازی آبیاری در این کشورها شامل افزایش راندمان آبیاری (Irrigation Efficiency)، ارتقاء بهره وری آب (Water Productivity)، و در نهایت کاهش مصرف آب آبیاری و صرفه جوئی در منابع آب کمیاب، می‌باشد. این در حالی است که مطالعات مختلف نشان داده‌اند که افزایش راندمان آبیاری و ارتقاء بهره‌وری آب از طریق توسعه کاربرد سیستم‌های کارا و مدرن آبیاری بعضاً منجر به صرفه‌جویی واقعی و کاهش مصرف آب کشاورزی به اندازه مورد انتظار نشده و یا بالعکس سبب افزایش آن نیز شده است. این پدیده "اثر بازگشتی" (Rebound Effect) آب نامیده شده است. مفهوم پدیده اثر بازگشتی آن است که با استفاده از فناوری‌های آبیاری کارآتر، راندمان آبیاری و بهره‌وری آب افزایش می‌یابد ولی بخشی یا تمام آب صرفه‌جویی شده مورد انتظار ممکن است با مصرف آب بیشتر جبران (Offset) و بی‌اثر شود. معیارهای جلوگیری از اثر بازگشتی مبتنی بر این فرض است که افزایش ۱٪ در راندمان کل آبیاری (آب ذخیره شده در منطقه توسعه ریشه گیاه به کل آب تحویلی از منبع آب (شامل انتقال، توزیع، و کاربرد))، مستلزم کاهش ۱٪ در مصرف آب کشاورزی است. عوامل مؤثر و دلایل وقوع پدیده اثر بازگشتی به طور عمده عبارتند از: افزایش سطح زیر کشت فاریاب به دنبال کاهش مصرف آب در اثر کاربرد فناوری، افزایش تبخیرتعرّق به دلیل تغییر در الگوی کشت محصولات (گسترش کشت محصولات پرآب‌بر و در عین حال اقتصادی‌تر)، افزایش عملکرد محصول (ناشی از مدیریت بهتر آب و تنش آبی کمتر به محصول، استفاده مطلوب از سایر نهاده‌های تولید)، کاهش در کمیّت و کیفیت جریانات برگشتی (Return flows) (ناشی از افزایش راندمان آبیاری، کم آبیاری محصولات برای تأمین آب کافی برای سطح زیر کشت افزایش‌یافته به دلیل کم ابیاری و تامین آب لازم برای سطح بزرگتر) و در نتیجه کاهش آبشویی و شوری ثانویه خاک. در مجموع نیاز است ادبیات موضوع جاری‌سازی شده و پس از تعیین میزان اثر بازگشتی، و تجزیه و تحلیل‌های لازم، هشدارهای مرتبط به سیاست‌گذاران و مسئولین توسعه فناوری‌های نوین آبیاری برای اتخاذ سیاست مناسب و اقدام به منظور اجرای راهکاری از نوع فنی، اقتصادی- اجتماعی و سیاستی لازم داده شود.

کلمات کلیدی: اثر بازگشتی، الگوی کشت، بهره‌وری آب، تبخیرتعرّق، راندمان آبیاری، مدرن‌سازی آبیاری.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۲/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۶/۸

۱- دانشیار پژوهش مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش، و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۲- استادیار پژوهش مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش، و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۴۰۲ امکانپذیر است.

Review Paper

Investigating and Analyzing the Rebound Effect Phenomenon of Irrigation Post Modernization and Necessary Considerations

N. Heydari [1], and S. Sepehri Sadeghian [2]*

Abstract

Irrigation modernization, mainly in the form of developing new irrigation systems and technologies, is a common policy which is practiced in a large number of developed or developing countries in the world especially countries in arid and semi-arid regions, including Iran. Irrigation modernization is mainly aimed at increasing irrigation efficiency, improving water productivity, and ultimately reducing irrigation water consumption and saving scarce water resources. Meanwhile, various studies have shown that sometimes increasing irrigation efficiency and improving water productivity through efficient and modern irrigation systems do not necessarily lead to real savings and reduction of agricultural water consumption as expected. There are even cases of increased consumption. The phenomenon is called the "rebound effect" of water. The concept of the rebound effect is that with the use of efficient irrigation technologies, the irrigation efficiency and the water productivity increase, but the expected saved water may be partly or wholly offset by more water consumption. Criteria to prevent the rebound effect are based on the assumption that a 1% increase in total irrigation efficiency (the water stored in the root zone to the total water delivered; including conveyance, distribution and application efficiencies) requires a 1% decrease in agricultural water consumption. The effective factors and reasons for the rebound effect phenomenon are mainly: the increase in the irrigated area following the reduction of water consumption due to the use of technology, the increase in evapotranspiration due to the change in the cropping pattern (expansion of the cultivation of high water consuming more economical crops), increased crop yield (due to better water management and less water stress on the crop as well as optimal use of other production inputs), reduction in the quantity and quality of return flows (due to increased irrigation efficiency and deficit irrigation of crops to provide enough water for the increased cultivated area) and hence reducing the soil leaching and soil secondary salinity. In general, there is a need to mainstream the literature on the subject and by determining the extent of rebound effect and the necessary analysis, relevant hints should be given to the policy makers and those responsible for the development of new irrigation technologies to adopt suitable policies and actions to implement technical, economic-social and political solutions.

Keywords: Cropping Pattern, Evapotranspiration, Irrigation Efficiency, Irrigation Modernization, Rebound Effect, Water Productivity.

Received: May 10, 2023

Accepted: August 30, 2023

1- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: nrheydari@yahoo.com

2- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

*- Corresponding Author

Doi: 10.22034/IWRR.2023.178244

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

۱- مقدمه

محدودیت منابع آب و تقاضای بیشتر برای غذا و تولیدات کشاورزی ناشی از افزایش جمعیت و همچنین اثرات نامطلوب تغییر اقلیم در اکثر کشورهای جهان از جمله ایران، استفاده بهینه از آب و صرفه‌جویی در مصرف آب را ضروری ساخته است. در این راستا مدرن‌سازی آبیاری خصوصاً در قالب توسعه سامانه‌های نوین آبیاری (به طور عمده روش‌های ابیاری تحت فشار نظیر آبیاری‌های میکرو) برای افزایش راندمان کل آبیاری (آب ذخیره شده در منطقه توسعه ریشه به آب تحویلی)، افزایش عملکرد و ارتقاء بهره‌وری آب (کیلوگرم محصول تولیدی به ازای واحد آب مصرفی)، و در نهایت صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری، فعالیتی است که در اکثر کشورها، به خصوص کشورهای خشک و نیمه‌خشک در حال برنامه‌ریزی و اقدام است (Berbel et al., 2015; Abaria et al., 2023; Arif et al., 2019). به‌هرحال نتایج مطالعات و شواهد موجود در تعدادی از مناطق جهان بیانگر آنست که به دلیل عدم رعایت ضوابط و تمهیدات لازم برای کنترل آب تحویلی و مصرفی، مدرن‌سازی آبیاری نه تنها باعث کاهش مصرف آب، به خصوص در مقیاس حوضه آبریز نشده است، بلکه به افزایش مصرف نیز دامن زده است (Berbel et al., 2015; Xu et al., 2021). پدیده‌ای که در منابع و ادبیات علمی جهان از آن به عنوان پدیده "اثربازگشتی"[۱] نام‌برده شده است. در مقاله حاضر با مرور و تحلیل منابع علمی مختلف، ضمن پرداختن به مبحث مدرن‌سازی آبیاری و ارائه تعریف و مفهوم پدیده اثر بازگشتی، بحث و بررسی و تحلیلی از اثرات مدرن‌سازی آبیاری بر بروز این پدیده انجام شده و نتیجه‌گیری‌های لازم به عمل آمده است.

۲- مدرن‌سازی آبیاری

مفهوم و تعریف

واژه مدرن‌سازی آبیاری برای اولین بار توسط برخی محققین نظیر Pereira and McCready (1987) به کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی (ICID)[۲] پیشنهاد شد. پس از جمع‌بندی نظرات کارشناسی مختلف، ICID مدرن‌سازی آبیاری را فرآیند بهبود پروژهٔ موجود برای برآوردن معیارهای پروژه‌ای جدید تعریف می‌کند. این تعریف شامل تغییرات در امکانات موجود، رویه‌های عملیاتی، مدیریت، و جنبه‌های نهادی است (Arif et al., 2019; Burt, 2011). در واقع مدرن‌سازی آبیاری "فرآیند به‌روزرسانی و بهبود یک پروژه موجود، به منظور دستیابی به اهداف فنی، اجتماعی یا اقتصادی پیشرفته است"، که شامل تغییرات در زیرساخت‌های فیزیکی، سیستم‌های تولیدی و مزرعه، تمام جنبه‌های عملیاتی، مدیریتی و نهادی از جمله اقدامات سیاستی مؤثر بر پروژه است (Pereira, 1988). این تعریف که با تعریف Rijsberman and Grigg (1985) مطابقت دارد، نشان می‌دهد که فرآیند مدرن‌سازی باید توجه زیادی به مدیریت و اقدامات سازمانی، نهادی و سیاستی داشته باشد تا شرایط کافی را برای بهره‌برداری، نگهداری و مدیریت (O.M&M)[۳] سیستم کلی، تضمین نماید (Pereira, 1988). بنابراین، اصطلاح "مدرن‌سازی"[۴] نه تنها به بازسازی، ارتقا یا تغییر زیرساخت‌های فیزیکی در سیستم‌های آبیاری، بلکه به نوآوری یا تحول در نحوه بهره‌برداری و مدیریت سیستم‌های آبیاری نیز اشاره دارد (Facon, 2002).

ضرورت، اهمیت و هدف

مدرن‌سازی سیستم‌های آبیاری، فناوری را به تولیدات کشاورزی اضافه کرده و اشتغال روستایی را جذاب‌تر و رقابتی‌تر می‌کند (Playan and Mateos, 2006). این بحث نشان‌دهنده نقش کلیدی بهره‌وری فنی (مدرن‌سازی و بهینه‌سازی آبیاری) در غلبه بر کمبود آب است. ظرفیت‌سازی انسانی یک پیش نیاز کلیدی برای بهره‌برداری و نگهداری بهتر است، همان طور که در سال‌های اخیر نیز مفهوم سنتی پروژه آبیاری تغییر کرده است. تغییر از یک ساختار صرفاً فیزیکی برای ذخیره‌سازی، انتقال و توزیع آب، به یک سیستم پیچیده‌تر، از جمله مشارکت کشاورزان. این امر مستلزم یک مدیریت بهبودیافته در تمام مراحل، از بهره‌برداری از مخزن تا مدیریت مزرعه بوده است. بنابراین تغییر از یک "عملیات ساده بهره‌برداری و نگهداری" به "عملیات بهره‌برداری، نگهداری و مدیریت" است. لذا بهبود فیزیکی سیستم از طریق مدرن‌سازی باید همراه با واگذاری مسئولیت‌های مدیریتی به کشاورزان، نظیر ایجاد انجمن‌های آب‌بر (WUA)[۵] باشد (Facon, 2002).

اقدامات رایج و ملاحظات لازم

بیشتر سیاست‌های مدرن‌سازی آبیاری بر تأمین زیرساخت‌ها و فناوری‌های جدید برای بهبود راندمان انتقال و کاربرد آب آبیاری متمرکز شده‌اند. این سیاست‌ها در اکثر کشورهای خشک و نیمه‌خشک غالب بوده است (Khadra and Sagardoy, 2019; Venot et al., 2017; Scheierling et al., 2006; Molle et al., 2019; Topcu et al., 2019; Wheeler et al., 2020). در حالیکه در بسیاری از موارد، هیچ بازتابی در مقیاس منطقه‌ای در مورد تأثیرات آن‌ها وجود نداشته است (Sanchis-Ibor et al., 2021). در سال‌های اخیر، بسیاری از فرآیندهای مدرن‌سازی در طرح‌های آبیاری با هدف اصلی ارتقاء بهره‌وری آب انجام شده است. فعالیت‌ها و اقدامات رایج مدرن‌سازی در طرح‌های آبیاری شامل جایگزینی کانال‌های آبیاری روباز با شبکه‌های انتقال آب با لوله و انجام آبیاری تحت فشار در مزارع

و همچنین ساخت مخازن یا استخرهای آبیاری برای تنظیم آب و خودکارسازی سیستم‌های آبیاری هستند. به طور کلی، هدف اصلی این پروژه‌ها «صرفه‌جویی آب»[۶] برای حل مشکل کمبود آب در کشاورزی است (Lopez-Gunn et al., 2019).

در کشور اسپانیا، به عنوان نمونه و به عنوان یکی از پیشروترین کشورهای جهان در امر مدرن‌سازی آبیاری، برای بیش از یک دهه از استراتژی‌های مختلف برای کاهش اثرات کمبود منابع آب استفاده شده است. یکی از آنها تمرکز بر مدرن‌سازی آبیاری است که توسط برنامه ملی آبیاری و طرح اضطراری برای مدرن‌سازی آبیاری هدایت می‌شود (Alarcón et al., 2016). این برنامه‌های مدرن‌سازی با هدف صرفه‌جویی آب توجیه شده‌اند، اگرچه مزایای دیگری نیز، مانند بهره‌وری بیشتر آب، انتظار می‌رفت (Alarcón et al., 2016; Plusquellec, 2009). با مدرن‌سازی سیستم‌های آبیاری طی یک دوره ۱۰ ساله (۲۰۱۴-۲۰۰۴) در اسپانیا، سطح آبیاری تحت فشار تقریباً ۶۰۰ هزار هکتار افزایش یافت (۹۰٪ با آبیاری قطره‌ای)، و در مقابل آبیاری سطحی حدود ۲۵۰ هزار هکتار کاهش یافت (Alarcón et al., 2016). این بدان معناست که کل مساحت تحت کشت فاریاب حدود ۳۵۰ هزار هکتار افزایش یافت که بیشتر در استان‌هایی که منابع آبی بیشتری در اختیار داشتند، اتفاق افتاد. همچنین، به دنبال کاهش قابل ملاحظه مقدار آبی که برای آبیاری به مزارع هدایت می‌شد، مصارف آب (در مقیاس بزرگتر)، مصارف انرژی (ناشی از پمپاژ بیشتر آب در سیستم‌های تحت فشار)، و افزایش هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری سیستم نیز (عمدتاً به دلیل تغییر در الگوی کشت و تناوب زراعی)، به طور چشمگیری (تا ۴۰۰٪) افزایش یافت که می‌توان آن را به عنوان بخشی از اثرات جانبی و نامطلوب فرآیند مدرن‌سازی درنظر گرفت (Rodriguez-Diaz et al., 2011). بنابراین، صرفه‌جویی به احتمال زیاد تنها در صورتی رخ می‌دهد که راندمان آبیاری روش‌های سنتی کم باشد یا نیاز آبیاری زیاد باشد. علاوه بر این، راندمان آبیاری بالاتر، ممکن است منجر به زیر کشت و آبیاری کردن زمین‌های بیشتری شود و در نتیجه برداشت و مصرف آب (ET)[۷] بیشتر و وقوع پدیده "اثر بازگشتی" را به همراه داشته باشد. البته هزینه تمام شده برای آب صرفه‌جویی شده در مدرن‌سازی آبیاری در موارد خاص ممکن است حتی بیشتر از استفاده از یک منبع جایگزین مانند کاربرد آب شیرین‌کن‌ها برای جبران کمبود منابع آب منطقه باشد. جایگزین‌های ارزان‌تری مانند افزایش استفاده از آبیاری سطحی بهینه‌شده باید درنظر گرفته شود. علاوه بر این، اطمینان از نگهداری مناسب از تأسیسات موجود به طوری که آنها مطابق با مشخصات طراحی به کار خود ادامه‌دهند نیز مهم است (Rodriguez-Diaz et al., 2011). در مطالعه و تحلیل اثرات مدرن‌سازی آبیاری، باید مطالعات میزان "آب برگشتی"[۸] و امکان استفاده مجدد و بازچرخانی آب کاربردی نیز، لحاظ شود. یعنی اگر بسته به شرایط امکان بازچرخانی و استفاده مجدد از آبهای برگشتی وجود دارد، شدت مدرن‌سازی می‌تواند برای استفاده بهینه از این منابع و کاهش هزینه‌ها کمتر و تعدیل شود. همچنین، تخصیص حقآبه‌ها با توجه به بهبود راندمان آبیاری بعد از مدرن‌سازی و کاهش تلفات آب، باید بازنگری شود. یکی دیگر از جنبه‌های قابل-توجه در این زمینه کیفیت آب برگشتی است، زیرا ممکن است با مدرن-سازی آبیاری به دلیل کاهش آب کاربردی و افزایش شوری خاک (در صورت عدم آبشوئی لازم)، و کاهش کمّی جریانات برگشتی، در مجموع تنزل یابد. در نهایت، تخریب احتمالی پوشش گیاهی آبدوست و رویشگاه‌هایی که سیستم‌های آبیاری سنتی معمولاً به آن پناه می‌دهند، باید درنظر گرفته شود (Alarcón et al., 2016).

۳- پدیده اثر بازگشتی پسا مدرن‌سازی ابیاری

تعریف و مفهوم

افزایش راندمان آبیاری و ارتقاء بهره‌وری آب ناشی از کاربرد سیستم‌های مدرن آبیاری به دلیل سیاست‌های پرداخت زیاد یارانه برای کاربرد این فناوری‌های نوین، نتوانسته است مصرف آب کشاورزی را کاهش داده و بنابراین سیاست‌گذاران باید در خصوص سیاست‌های صرفه‌جویی آب فعلی تجدید نظر نمایند. بر اساس Lopez-Gunn et al. (2012)، افزایش راندمان آبیاری و ارتقاء بهره‌وری آب لزوماً معادل صرفه‌جویی در آب نیست و تنها وسیله برای دستیابی به آن نیز نیست. تمرکز بر حفظ آب، هدف نهایی روشن‌تری را برای سیاست‌ها فراهم نموده و درب را به روی طیف وسیع‌تری از اقدامات در مدیریت آب باز می‌کند تا در ترکیب با سیاستی ایده‌آل برای تناسب با شرایط مختلف (نظیر تعرفه‌های آب، سهمیه آب، بازارهای آب، خود تنظیمی، مجوزهای آب مشروط و تغییر محصول به محصولات کم آب بر) اقدام شوند. نتایج مطالعات مختلف بیانگر آن هستند که وقتی فناوری‌های آبیاری مدرن و به اصطلاح صرفه‌جو استفاده شوند، مصرف آب در مقیاس مزرعه کاهش می‌یابد ولی وقتی در مقیاس حوضه آبریز موضوع بررسی می‌شود، مصرف آب آبیاری بعضاً افزایش یافته است. در منابع علمی به این پدیده افزایش مصرف آب ناشی از گسترش و کاربرد زیاد و بی‌ضابطه سیستم‌های مدرن آبیاری برای کاهش مصرف آب (که در اینجا مدرن‌سازی آبیاری نامیده شده است)، اثر بازگشتی اطلاق می‌شود. این پدیده از نظر بزرگی و شدت آن در کشورهای مختلف که مدرن‌سازی آبیاری را درسطح وسیعی اجرا نموده اند؛ نظیر کشورهای اسپانیا و چین، و حتی ایران واقع شده و یا در کشورهای دیگر نیز در حال وقوع است. پدیده اثر بازگشتی برای اولین بار توسط Jevens

(1866) در مورد مصرف انرژی معرفی شد که طبق آن افزایش راندمان مصرف انرژی سبب کاهش مصرف زغال‌سنگ در انگلستان نشده و بلکه به مصرف بیشتر آن در طی انقلاب صنعتی منجر شد. فرضیه اثر بازگشتی به عنوان یک نتیجه از سرمایه‌گذاری‌های صرفه‌جویی در آب به طور مشابه از مدل‌های پارادوکس جوونز [۹] در اقتصاد انرژی گرفته شده است. در مبحث آبیاری Dumont et al. (2013) و Pfeiffer and Lin (2014) محقق‌هائی هستند که در ابتدا به بحث اثر بازگشتی در صرفه‌جویی در مصرف آب اشاره کردند. آنها دریافتند که مصرف آب آبیاری بعد از استفاده از فناوری‌های آبیاری با راندمان بالاتر، افزایش یافته و از آن به عنوان اثر بازگشتی بالاتر از ۱۰۰٪ یاد نمودند. پدیده اثر بازگشتی در حوزه مدیریت آب، مرتبط با افزایش راندمان آبیاری و ارتقاء بهره وری آب ناشی از کاربرد سیستم‌های آبیاری مدرن است و در مورد مصرف آب پدیده اثر بازگشتی بدان معناست که با کاربرد فناوری‌های نوین و صرفه‌جو، راندمان آبیاری و بهره وری آب افزایش می‌یابد، ولی آب صرفه‌جویی شده مورد انتظار ممکن است با مصرف آب بیشتر جبران [۱۰] و بی‌اثر شود.

تفاوت‌های ماهوی راندمان آبیاری در مقیاس مزرعه و راندمان حوضه آبریز، نقش مهمی در تعریف، مفهوم و در برآورد پدیده اثر بازگشتی دارد. یعنی تفاوت در نحوه اثرگذاری سیستم‌های آبیاری تحت فشار در مقیاس‌های مزرعه‌ای و حوضه‌ای را باید با تفاوت تعریف راندمان در مقیاس‌های مزرعه و حوضه تعریف و تبیین نمود. راندمان در مقیاس مزرعه با استفاده از نسبت، حجم (عمق) آب خالص مصرفی توسط گیاه به ازای مقدار کل آب تحویلی و یا کاربردی(حجم یا عمق آب ناخالص) تعریف می‌شود. در این تعریف نفوذ عمقی به خاک و یا رواناب خروجی از مزرعه تلفات محسوب شده و لذا آب‌های برگشتی ناشی از این دو مؤلفه در فرآیند آبیاری که می‌توانند به صورت پتانسیل در پائین دست استفاده مجدد از آنها به عمل آید، لحاظ نمی‌شود. محققین مختلف نظیر Willardson et al. (1994)، Jensen (2007) و Perry (2011) مناسبت این تعریف از راندمان آبیاری مزرعه در مدیریت کلان آب را مورد سئوال قرار داده و معتقدند هنگامی که مقیاس مدیریت آب از مزرعه به به حوضه تغییر و نگاه از بالاتر صورت می‌پذیرد، این مؤلفه‌ها وارد بیلان آب حوضه می‌شوند. این بحث در منابع علمی نظیر Molden (1997) و Murray-Rust et al. (2004) تحت عنوان مدل‌سازی جامع و "سیستم‌های لانه‌ای" [۱۱] مطرح شده است که بر اساس آن مقیاس و سطح تجزیه و تحلیل‌های مرتبط با مدیریت آب بر درک و استنباط ما از تلفات و موجودیت آب اثرگذار است و بحث "تسرّی به بالا" [۱۲] را مطرح می‌سازد. یکی از زمینه‌هایی که در مدیریت آب و با استفاده از بحث تسرّی به بالا باید به آن توجه نمود، تأثیر کاربرد فناوری‌هایی است که برای صرفه‌جوئی آب در مقیاس مزرعه استفاده می‌شوند. لذا برای تعیین صرفه‌جوئی واقعی آب باید بررسی نمود که برای آن مقدار از آب که صرفه جوئی شده، چه اتفاقی افتاده است. یعنی آیا صرفا بهره‌وری آب افزایش یافته و یا آب در مقیاس حوضه آبریز هم صرفه‌جوئی شده است. به عنوان نمونه و بر اساس نتایج مطالعات مؤسسه تحقیقات بین‌المللی مدیریت آب (IWMI) [۱۳] در حوضه آبریز زاینده رود، افزایش راندمان آبیاری در مقیاس مزرعه منجر به صرفه جوئی آب در مقیاس حوضه نخواهد شد؛ زیرا آب ظاهرا تلف شده در مزرعه به سایر مزارع و یا به سفره زیرزمینی کم عمق منطقه جریان و نفوذ یاافته و مجددا به حوضه بر می‌گردد و توسط سایر کشاورزان و یا سایر مصرف‌کنندگان با راندمان و بهره‌وری آب فیزیکی و اقتصادی بالاتر به مصرف خواهد رسید (Murray-Rust, 2004).

کمّی‌سازی پدیده

در مبحث تعریف و کّمی‌نمودن اثربازگشتی، یک نگرش آن است که وقتی این پدیده را می‌توان اثر بازگشتی نامید که بخشی از آب صرفه‌جویی‌شده به‌وسیله مصرف جدید آب، جبران(بی‌اثر) شده باشد. در حالیکه نگرش دیگر آن است که وقتی می‌توان گفت که پدیده اثر بازگشتی اتفاق افتاده که بهبود فناوری آبیاری، موجب افزایش مصرف کل آب (به جای کاهش آن) شود. علیرغم آنکه بین این دو نگرش تفاوت وجود دارد، اما هر دو به این اصل اعتقاد دارند که پدیده اثر بازگشتی آب آبیاری روش و راهکاری برای نمایش میزان کاهش (جبران) آب صرفه‌جویی‌شده، ناشی از کاربرد سیستم مدرن به دلیل افزایش مصرف آب است. ولی رویکرد دوم تنها به این اصل معتقد است که در پدیده اثر بازگشتی مقدار آب صرفه‌جویی‌شده کاملاً (نه جزئی از آن) باید به دلیل افزایش مصرف آب کاهش یافته و در واقع پرت شده باشد، که در واقع حالت خاصی از نگرش اول است (Xu et al., 2021). مطالعات زیادی بر تخمین میزان اثر بازگشتی کشاورزی متمرکز بوده‌اند. معیارهای اثر بازگشتی مبتنی بر این فرض است که افزایش ۱٪ در راندمان آبیاری مستلزم کاهش ۱٪ در مصرف آب کشاورزی است (Xu et al., 2021). اثر بازگشتی آب کشاورزی بین ۰ و ۱۰۰٪ را می‌توان "بازگشت جزئی" [۱۴] نامید، که بیانگر آن است که تنها بخشی از میزان صرفه‌جویی بالقوه در آب کشاورزی ناشی از تأثیر افزایش راندمان آبیاری، پرت شده و کاهش می‌یابد. اگر اثر بازگشتی آب کشاورزی بیش از ۱۰۰٪ باشد یعنی افزایش مصرف در حدی باشد که بزرگی ان به اندازه تمام و حتی بیشتر از آب صرفه جوئی شده حاصل از مدرن‌سازی باشد، در آن صورت سیاست و راهکار مدرن‌سازی با تکیه بر افزایش راندمان آبیاری می‌تواند مصرف آب کشاورزی را افزایش دهد که به آن "اثر معکوس" [۱۵] نیز می‌گویند (Xu et al.,

2021). از بررسی داده‌های ۳۰ استان چین نتیجه‌گیری شده است که اولاً، افزایش راندمان آبیاری تأثیر منفی معناداری بر مصرف آب کشاورزی دارد. به طور خاص، با هر ۱٪ افزایش در راندمان آبیاری، مصرف آب کشاورزی (آب تحویلی) را فقط می‌توان ۰/۱۱۲ درصد کاهش داد (Xu et al., 2021). این نشان می‌دهد که بهبود راندمان آبیاری دارای اثر صرفه‌جویی خاصی در مصرف آب است، اما از منظر اثر بازگشتی، به طور متوسط میزان اثر بازگشتی مصرف آب کشاورزی در این حالت برابر ۸۸/۸ درصد (۱۰۰×۰/۱۱۲−۱۰۰) است. Song et al. (2018) دریافتند که اثر بازگشتی آب کشاورزی در چین از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۴ برابر ٪۶۱/۵ است. Fang et al. (2020) با استفاده از داده‌های کشور چین از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۶ دریافتند که میانگین اثر بازگشتی آب کشاورزی در کشور چین ٪۷۰/۳ است. Fei et al. (2021) دریافتند که راهکار افزایش در راندمان آبیاری در کوتاه مدت منجر به بی‌اثر و خنثی کردن صرفه‌جویی‌های بالقوه درآب به میزان ۴۹/۳۲ درصد شده و این مقدار در بلند مدت برابر ۶۶/۰۱ درصد است. در نتیجه به دلیل تمرکز زیاد بر افزایش راندمان آبیاری در چین، اثر بازگشتی آب کشاورزی ممکن است در این کشور خیلی جدی‌تر و حاد باشد.

نتایج برآورد اثر بازگشتی آب کشاورزی به تفکیک استان‌های مختلف کشور (در بازه زمانی ۹۵-۱۳۸۹) بیانگر آن است که طی دوره مذکور به طور متوسط میزان اثر بازگشتی برای کشور ایران حدود ۱۵ درصد بوده است. به عبارت دیگر حدود ۸۵ درصد (۱۵-۱۰۰) از آب ذخیره شده و ۱۵ درصد از آب صرفه‌جویی شده ناشی از افزایش راندمان آبیاری پس از مدرن‌سازی، در بخش کشاورزی، دوباره در این بخش مصرف شده است (Abarian et al., 2023). لذا پیشنهاد شده است در کنار اقدامات مرتبط با افزایش راندمان آبیاری و ارتقاء بهره‌وری آب، برخی از سیاست‌های کاهش اثر بازگشتی، نظیر اصلاحات تدریجی در قیمت‌گذاری آب (افزایش قیمت آب) و سیاست کنترل حقابه‌ها و سهمیه آب، لحاظ شوند.

نتایج ارزیابی مقدار اثر بازگشتی آب در سطح مزرعه در حوضه آبریز بختگان در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ نشان داد که مقدار اثر بازگشتی بین صفر الی ۱۰۹ درصد تغییر می‌نماید. همچنین مزارع واقع در مناطق با تنش آبی بالاتر مقدار اثر بازگشتی بالاتری نسبت به مناطق تحت تنش آبی کمتر را از خود نشان می‌دهند. دلیل این موضوع می‌تواند کمبود شدید و تقاضای بالا برای آب در این مناطق باشد که پس از مدرن‌سازی این امکان برای مناطق تحت تنش آبی فراهم شده است که از هر قطره از آب استفاده شده و شدت کشاورزی فاریاب در منطقه افزایش یابد. مشابه این حقیقت در در کشور چین نیز اتفاق افتاده که طی آن اثر بازگشتی استفاده از آب کشاورزی به دنبال مدرن‌سازی در مناطق نسبتاً خشک در مقایسه با مناطق مرطوب، بدتر و بیشتر بوده است (XU et al., 2021). همچنین، در این حوضه برای جلوگیری از وقوع پدیده اثر بازگشتی مزرعه، راهکارهایی نظیر ایجاد حسابداری آب، کاهش حقابه‌ها پس از اجرای طرح‌های مدرن‌سازی آبیاری به تناسب صرفه‌جویی و جلوگیری از گسترش سطح زیر کشت پیشنهاد شده است (Zibaei et al., 2019).

کاربرد مدل SWAT-FARS در حوضه آبریز طشک- بختگان در ایران نشان داد که علیرغم کاهش ۲۳ درصدی "آب قابل برنامه‌ریزی" حوضه به دلیل کمبود بارش‌ها، نه تنها شدت آبیاری در منطقه کاهش نیافته، بلکه به میزان زیادی (حدود ٪۵۳) نیز افزایش داشته است (Delavar et al., 2020). بر اساس نتایج همین تحقیق، با تغییر الگوی کشت (به طور عمده با حذف کشت برنج) مصرف آب در حوضه ۸۰ میلیون متر مکعب در سال کاهش خواهد یافت. اما تغییر سیستم‌های آبیاری به آبیاری تحت فشار حتی می‌تواند به افزایش مصرف آب برابر با ۲۵۰ میلیون متر مکعب در سال نیز منجر شود (Delavar et al., 2020). در تحقیقی دیگر در همین حوضه مشخص شده است که فعالیت‌ها و اقداماتی نظیر توسعه سیستم‌های نوین آبیاری، توسعه باغات در اراضی شیبدار، فعالیت‌های آبخیزداری، و حذف گیاهان زراعی با مصرف آب بالا، عملاً توفیقات زیادی در صرفه‌جویی واقعی آب در منطقه نداشته‌اند. به عنوان نمونه اگرچه توسعه سیستم‌های نوین آبیاری در ابتدا منجر به کاهش برداشت[16] از منابع آب به میزان ٪۵۰ (دوره ۱۳۹۳-۱۳۶۴) شده است، ولی به دلیل عدم کنترل‌های لازم در مصرف واقعی آب، سودمند نبوده و باگذشت زمان حتی منجر به افزایش ۹۲ درصدی در "مصرف آب"[17] نیز شده است. این توسعه منجر به کاهش قابل ملاحظه در "آب‌های برگشتی" و کاهش تغذیه سفره‌ها به میزان ٪۸۰ شده است (Bigdeli Nalbandan et al., 2023).

مسئله اصلی در مورد اثر بازگشتی آب کشاورزی این است که اگر بهبود راندمان آبیاری در عمل منجر به افزایش مصرف آب کشاورزی شود، تحت این شرایط اثر معکوس (بازگشتی) مطمئناً در سیستم اتفاق افتاده است. Gomez and Perez-Blanco (2014) شرایط پارادوکس جوونز در استفاده از آب را از طریق اصول اقتصادی اولیه مورد مطالعه قرار دادند، و Pfeiffer and Lin (2014) به وضوح بیان کردند که این پتانسیل و احتمال نیز وجود دارد که اثر بازگشتی بیش از ٪۱۰۰ در بخش آب و ناشی از مدرن‌سازی آبیاری رخ دهد. یک سری محققین

معتقدند که اندازه‌گیری و تعیین اثر بازگشتی، نمی‌تواند منعکس‌کننده اثرات نامطلوب و گاه به گاه افزایش بهره‌وری آب بر میزان مصرف آب باشد؛ زیرا این روابط از سایر فاکتورهای تأثیرگذار (نظیر عوامل اقلیمی و اقتصادی) چشم‌پوشی کرده و ممکن است باعث درک نامناسب از اثر بازگشتی در آب کشاورزی شوند. این جنبه‌های اقلیمی و اقتصادی به عنوان فاکتورهای مؤثر در گسترش سطح اراضی تحت آبیاری ناشی از افزایش راندمان آبیاری (افزایش آب در دسترس) و روش‌های کاهش تلفات و حفاظت از آب در حین آبیاری، توسط سایر محققین نیز ذکر شده‌اند (Xu et al., 2021). در چین اثر صرفه‌جویی در مصرف آب ناشی از افزایش راندمان آبیاری و ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی در مناطق نسبتاً خشک در مقایسه با مناطق مرطوب، بدتر و اثر بازگشتی استفاده از آب کشاورزی بیشتر است. در مقایسه با مناطق عمده تولید غلات، اثر صرفه‌جویی در مصرف آب ناشی از عوامل ذکر شده در مناطق غیر عمده تولید غلات نسبتاً بدتر و اثر بازگشتی استفاده از آب کشاورزی نیز بیشتر است. به‌هرحال یک سری محققین نظیر Delavar et al. (2020) و Xu et al. (2021) برای اندازه‌گیری و کمّی‌نمودن میزان اثر بازگشتی روابطی را هم ارائه داده‌اند که می‌تواند برای تعیین و آشکارسازی این اثر مورد استفاده قرار گیرد.

دلایل وقوع و تحلیل مسائل پدیده

بحث کلیدی در سیاست‌گذاری مدرن‌سازی آبیاری، درک تفاوت بین کاهش فشار بر منابع آب (آب منحرف‌شده) و کاهش اثرات (آب مصرفی) است. یعنی تفاوت بین صرفه‌جویی واقعی در مصرف آب و صرفه‌جویی ظاهری آب که Seckler (1996) از آنها به ترتیب به عنوان صرفه‌جویی"تر" و صرفه‌جویی "خشک" یعنی صرفاً بر روی کاغذ نام برده و به آنها اطلاق نموده است (Berbel et al., 2015). به طور معمول دلیل و توجیه اصلی برای اجرای طرح‌های مدرن‌سازی آبیاری (به طور عمده در قالب توسعه روش‌های آبیاری تحت فشار در مزرعه)، صرفه‌جویی مورد انتظار آب و سایر مزایای مرتبط با آن است. این صرفه‌جویی در آب باید در عمل منجر به کاهش برداشت آب از رودخانه‌ها و برداشت آب از سفره‌های آب زیرزمینی ناشی از افزایش کارایی انتقال و توزیع آب شود.

نکته دیگری که در خصوص اثر بازگشتی سیستم‌های آبیاری تحت فشار در مقیاس حوضه‌ای می‌توان بدان اشاره کرد، نقش آنها در تغییر رژیم سالانه رودخانه است. توسعه ناموزون فناوری‌های صرفه‌جوئی آب در کشاورزی (نظیر توسعه آبیاری تحت فشار)، به عنوان یکی از عوامل کاهش جریان‌های طبیعی رودخانه و بسته شدن حوضه آبریز، معرفی شده است (Berbel et al., 2013). در مطالعات انجام شده در این زمینه توسط مرکز تحقیقات منابع آب کلرادو در آمریکا، گزارش شده است که استفاده ازسیستم‌های آبیاری تحت فشار می‌تواند رژیم رودخانه را تغییر داده و منجر به افزایش دبی رودخانه در فصول آبیاری و کاهش دبی آن در فصول غیر آبیاری گردد، ولی در مجموع و سالانه افزایش جریان رودخانه را به همراه نخواهد داشت. همچنین در این مطالعات اشاره شده است که کاهش میزان برداشت از آبهای سطحی در صورت استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت فشار مطلقاً باعث افزایش جریان رودخانه نمی‌گردد و در این خصوص می‌بایست نقش آب‌های برگشتی درنظر گرفته شود. نتایج مدل‌سازی بر اساس تعادل آب و نمک در حوضه آبریز "ابرو"[18] در کشور اسپانیا نشان داد که مدرن‌سازی آبیاری، باعث تغییر رژیم هیدرولوژیکی منطقه آبیاری "ویولادا"[19] شده و کلیه مؤلفه‌های جریان در بیلان آب منطقه، به غیر از تبخیر و تعرّق واقعی، کاهش نشان دادند (Jiménez-Aguirre and Isidoro, 2018). نتایج مدل‌سازی در حوضه آبریز طشک–بختگان حاکی از آن است که اگرچه توسعه و رشد سیستم‌های آبیاری تحت فشار باعث کاهش ۵۰ درصدی برداشت آب از منابع می‌شود، اما این راهبرد نمی‌تواند در صرفه‌جویی آب مفید باشد؛ زیرا مصرف واقعی آب کنترل نمی‌شود و حتی باعث افزایش در مصرف آب و منجر به کاهش قابل توجه جریانان‌های بازگشتی به آبخوان (به میزان ۸۰ درصد) و رودخانه حوضه می‌شود (Bigdeli Nalbandan et al., 2023).

اثرات مدرن‌سازی آبیاری بر پدیده اثر بازگشتی از نقطه‌نظر تأثیر آن بر کیفیت (آلودگی) آب‌های برگشتی، بسته به شرایط هم مثبت و هم منفی بوده است؛ اما اکثر منابع اثرات مثبتی را گزارش کرده‌اند. در اسپانیا شواهد نشان می‌دهند که مدرن‌سازی اثرات مثبتی بر کاهش مصرف و تلفات کودهای شیمیائی به دلیل افزایش راندمان آبیاری داشته که در نهایت باعث بهبود کیفیت آب‌های برگشتی از نظر آلودگی نیترات شده است. به عنوان نمونه نتایج در مورد حوضه آبریز رودخانه "ابرو" نشان می‌دهند که بهبود راندمان آبیاری ناشی از مدرن‌سازی سبب کاهش جریانان‌های برگشتی و در نتیجه کاهش مقدار بار نیترات و نمک در آبراهه‌های زهکشی منطقه شده است (García-Garizábal and Causapém, 2010; Barros et al., 2012; Jiménez-Aguirre and Isidoro, 2018). نتایج مشابه توسط López-Gunn (2017) در حوضه آبریز "جوکار" [20] در شرق اسپانیا به دست آمده است و کاهش ۱۰ درصدی در انتشار آلودگی‌های نیترات در مقیاس حوضه آبریز گزارش شده است (Berbel et al., 2019). اما کاهش مقدار آب کاربردی و در نتیجه کاهش جریان‌های برگشتی در سال‌های پس از اعمال مدرن‌سازی در شبکه آبیاری "ویولادا" در حوضه آبریز "ابرو" در کشور اسپانیا، منجر به غلظت رو به رشد نیترات

در آبهای برگشتی شده است. این امر بیانگر آن است که دبی و حجم جریان در شرایط جدید نمی‌تواند رقّت کافی برای حفظ غلظت نیترات ($N\text{-}NO3^{-3}$) کمتر از حد قانونی تعیین‌شده توسط اتحادیه اروپا (۵۰ میلی‌گرم در لیتر) را فراهم تأمین نماید (Jiménez-Aguirre and Isidoro, 2018).

رویکرد طرح‌های مدرن‌سازی آبیاری این واقعیت را نادیده می‌گیرد که، اغلب آب اضافی اعمال شده در سیستم‌های با راندمان پایین‌تر، برای استفاده در پایین‌دست به حوضه باز می‌شود و از بین نمی‌رود (Lopez-Gunn et al., 2012). وقتی که سیستم‌های آبیاری سطحی سنتی با سیستم‌های نوین آبیاری مانند آبیاری‌های تحت فشار (بارانی و قطره‌ای) که مشخصه آنها راندمان کاربرد آب بالا است، جایگزین می‌شوند، بالطبع باید مقدار آب تحویلی به سیستم نسبت به حالت قبل تحت هر شرایطی کاهش یابد، مگر آنکه سطح زیر کشت فاریاب گسترش یافته باشد و یا تبخیرتعرّق به دلیل تغییر در الگوی کشت محصولات (کشت محصولات پر آب بر) افزایش یافته باشد. همچنین، مشخص شده است که مقادیر صرفه‌جویی پتانسیل در استفاده از فناوری‌های مدرن آبیاری در مورد منابع آب زیرزمینی، به دلیل افزایش مصرف آب ناشی از افزایش سطح زیرکشت از بین رفته است. وقتی که در مساحت اراضی قابل آبیاری محدودیتی نباشد، مدرن‌سازی آبیاری به احتمال زیاد منجر به برداشت بی‌رویه جدید آب می‌شود که به طور بالقوه حاکی از یک دور باطل است که در آن مساحت اراضی فاریاب افزایش یافته و منابع آب بیش از حد مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. بنابراین، اقدامات صرفه‌جویی در مصرف آب باید همراه با ابزارهایی برای کنترل برداشت آب و جلوگیری از گسترش اراضی فاریاب پس از کاربرد سیستم‌های مدرن آبیاری باشد. به طور کلی، افزایش راندمان آبیاری در مقیاس مزرعه منجر به موارد زیر خواهد شد: الف) "مصرف مفید آب"[۲۱] را به دلایل زیر افزایش می‌دهد: ۱) افزایش موقت دسترسی به آب و خودکارسازی سیستم‌های آبیاری که امکان آبیاری مکرر را برای کاهش تنش آبی محصولات و افزایش بهره‌وری آب فراهم می‌کند، ۲) افزایش سطح زیر کشت (ha) آبی پس از مدرن‌سازی، و ۳) افزایش در سطح زیر کشت محصولات با نیاز آبی بالاتر (m^3/ha) و تغییرات در الگوی کشت و ارائه الگوهای کشت جدید، به عنوان مثال، کشت مضاعف (کشت دو یا چند محصول در یک قطعه در همان سال) (تعداد محصول در هکتار)؛ و ب) کاهش "کسر قابل بازیافت"[۲۲] به دلیل اینکه سیستم‌های آبیاری تحت فشار جدید مقدار آبی را که به سفره‌های زیرزمینی نفوذ می‌کند یا به آب‌های سطحی باز می‌شود، محدود می‌کنند.

برای بررسی اثر بازگشتی بالقوه در آبیاری، مهم است که بین "برداشت آب" و آب "مصرف‌شده"[۲] تمایز قائل شویم زیرا تنها بخشی از آب برداشت شده در آبیاری مصرف می‌شود. آب برداشت شده به صوّر زیر مصرف می‌شود: (۱) تبخیرتعرّق مفید[۲۳]، (۲) تبخیرتعرّق غیر مفید[۲۴]، (۳) رواناب/نفوذ غیر قابل بازیافت[۲۵] و (۴) رواناب/نفوذ قابل بازیافت[۲۶] (Burt et al., 1997). سه جزء اول کسر مصرف‌شده یا تخلیه‌شده[۲۷] را تشکیل می‌دهند، به این معنی که آبی برای استفاده بیشتر در دسترس نیست؛ زیرا به عنوان تبخیرتعرّق مصرف شده و در محصول ذخیره می‌شود، یا به یک مکانی جریان می‌یابد که به راحتی قابل استفاده مجدد نیست، یا به شدت با بار نمک آلوده و شور می‌شود. Grafton et al. (2018) پارادوکس حسابداری آب و راندمان سیستم آبیاری را توصیف نمودند. بر این اساس شواهد علمی فراوانی در مورد این واقعیت وجود دارد که اگرچه مدرن‌سازی آبیاری، راندمان آبیاری در مقیاس مزرعه را افزایش می‌دهد، این مدرن‌سازی اغلب به کاهش مصرف آب در مقیاس حوضه کمک نمی‌کند. این امر به این دلیل است که بر مبنای نظریات جدید منابع علمی بین‌المللی (نظیر FAO[۲۸] و IWMI) "تلفات آب مصرف‌نشده"[۲۹] در مقیاس مزرعه (یعنی تلفات آب از نظر راندمان سیستم آبیاری) نمی‌تواند به عنوان تلفات واقعی در مقیاس حوضه (به خصوص برای حوضه‌های آبریز بسته نظیر حوضه آبریز زاینده رود) درنظر گرفته شود؛ زیرا رواناب یا نفوذ اغلب مجدداً استفاده یا بازیابی می‌شود. تناقض به این دلیل اتفاق می‌افتد که اگرچه سود بهبود راندمان آبیاری در مقیاس محلی «در مزرعه» ممکن است از دیدگاه زراعی زیاد به نظر برسد، مصرف کل آب در صورت محاسبه صحیح در مقیاس حوضه به جای کاهش، روندی افزایشی دارد (Perry and Steduto, 2017). بنابراین نیاز به یک سیستم حسابداری آب دقیق و قوی مبنایی برای تجزیه و تحلیل مناسب از تغییرات ناشی از پروژه‌های مدرن‌سازی آبیاری خواهد بود. مکانیسم اثر بازگشتی در مصرف آب کشاورزی را می‌توان به دو جنبه خلاصه کرد. اولین مورد مکانیسم هیدرولوژیک نامیده می‌شود که به این معنی است که افزایش راندمان و ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی با فناوری‌های آبیاری پیشرفته می‌تواند نیاز محصول به آب را با دقت بیشتری برآورده کند و دستیابی به آبیاری کامل را آسان کند و بنابراین، مصرف آب کشاورزی ممکن است همراه با افزایش عملکرد محصول افزایش یابد. مورد دوم مکانیسم اقتصادی است که در آن افزایش راندمان آبیاری و ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی، استفاده از منابع آب را برای تولید همان مقدار محصول ارزان‌تر می‌کند و کشاورزان مدیریت کاشت خود را در پاسخ به ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی تغییر می‌دهند. اگرچه این دو جنبه در ادبیات موضوع مورد بحث قرار گرفته است، ولی مکانیسم اثر بازگشتی آب کشاورزی هنوز مبهم است و مطالعات تجربی در این مورد مورد

نیاز است. مطالعات اندکی وضعیت قبل و بعد از مدرن‌سازی را تحلیل کرده‌اند. به عنوان مثال، Lecina et al. (2010) با استفاده از شاخص‌های هیدرولوژیکی و اقتصادی، اثر مدرن‌سازی را تحت سناریوهای مختلف مقایسه کردند. نتایج آنها نشان داد که مدرن‌سازی آبیاری تخلیه آب از منابع آبی و استفاده مصرفی از آب (تبخیر-تعرّق-ET) را افزایش می‌دهد.

در حال حاضر، نتایج شواهد تجربی موجود و تحقیقات نظری منتشر شده در خصوص پدیده اثر بازگشتی (به عنوان نمونه در کشور اسپانیا) متنوع هستند و ممکن است منجر به نتایج متناقضی شوند. بنابراین تحقیقات بیشتری برای تعیین علل و راه‌حل‌های اثرات سرمایه‌گذاری بر صرفه‌جویی در مصرف آب و بررسی اثر بازگشتی احتمالی، مورد نیاز است (Berbel et al., 2015). Loch and Adamson (2015) دریافتند که تغییرات فناوری بیشتر در آبیاری باعث افزایش بیشتر استفاده از زمین (گسترش سطح زیر کشت) و به دنبال آن افزایش تقاضای آب در مناطق شمالی حوضه آبریز موری–دارلینگ در استرالیا شده است. نتیجه‌گیری شده است که افزایش راندمان آبیاری می‌تواند مصرف آب کشاورزی را از طریق افزایش سطح زیر کشت افزایش دهد. مطالعات Playan and Mateos (2006) و Berbel et al. (2015) نشان دادند که استفاده از آب کشاورزی به دلیل الگوی کشت تشدید شده با محصولات پرمصرف از نظر آب (برای حصول درآمد و کارایی اقتصادی بالاتر) افزایش یافته است.

اکثر مناطق کم‌آب در جهان یارانه‌هایی را برای حمایت از سرمایه‌گذاری کشاورزان در اقدامات صرفه‌جویی آب اجرا کرده‌اند. شواهد مربوط به اثر بازگشتی مبهم است و به وضعیت و ویژگی‌های قبلی هر دو، سیستم‌های کشاورزی و حوضه یا آبخوان بستگی دارد. تغییرات ناشی از تناوب زراعی، افزایش بهره‌وری به دلیل وضعیت بسیار ناقص قبلی و سایر عوامل ممکن است باعث افزایش یا کاهش کاربرد و مصرف واقعی[۳۰] آب شود. Gleick et al. (2011) استدلال می‌کنند، باید رویه‌های حسابداری مناسب آب را هم در مقیاس مزرعه و هم در مقیاس حوضه طراحی نمود تا فرصت‌های صرفه‌جویی در آب شناسایی و سپس راهکارها و فعالیت‌های صرفه‌جویی، حفاظت، و افزایش مدبرانه کارایی مصرف آب را بر اساس استفاده ترکیبی از ابزارهای اقتصادی، فنی، اجتماعی، و سیاستی عمل نمود، تا فشار بر منابع کمیاب آب کاهش یابد. البته هر حوضه آبریز شرایط خاص خود را دارد. بهرحال تجارب سال‌های اخیر حاکی از ان است که علیرغم شناسائی و عملیاتی نمودن موضوع حسابداری آب به عنوان یکی از مؤلفه‌ها و ابزار اصلی حل بحران آب کشور، هنوز پیشرفت و گشایش مناسبی در کار نشده است و آن در حد تعداد محدودی پروژه مطالعاتی در مقیاس پایلوت و مقاله عملا باقی مانده است.

۴- تحلیل و بحث

اتحادیه اروپا اثر بازگشتی را به عنوان یک مشکل بالقوه شناسایی کرده و در حوزه دانشگاهی مورد توجه قرار داده است (European Commission, 2012). همچنین، این اتحادیه در مورد عواقب اثر بازگشتی در مناطق کم‌آب که سرمایه‌گذاری زیادی در مدرن‌سازی شبکه‌ها و سیستم‌های آبیاری انجام می‌دهند، هشدار داده است (European Commission, 2012). به منظور افزایش آگاهی در خصوص این پدیده، یک مطالعه مروری مبتنی بر منابع مطالعاتی انجام شده و در بررسی ۳۶۰۰۰ هکتار از مناطق آبیاری اخیراً مدرن شده در حوضه گوادالکیویر[۳۱] در جنوب اسپانیا نشان می‌دهد که ممکن است این طرح‌ها با درنظر گرفتن تمهیداتی از اثر بازگشتی اجتناب کنند (Berbel et al., 2015). دستورالعمل چارچوب آب (WFD)[۳۲]، بازیابی کامل هزینه (شامل هزینه‌های زیست‌محیطی و منابع) را به عنوان یک اقدام کارآمد برای کاهش تقاضای آب و رسیدن به نوعی وضعیت پایدار و برد–برد ترویج می‌کند (European Commission, 2000). سند اتحادیه اروپا به طور کامل اثر بازگشتی را بدون زیر سؤال بردن شواهد علمی می‌پذیرد و به طور همزمان «قیمت‌گذاری آب» را به عنوان راه‌حلی برای کاهش و یا جلوگیری از بروز پدیده اثر بازگشتی فرضی توصیه می‌کند (European Commission, 2012).

در بسیاری از مناطق تحت آبیاری در جنوب اسپانیا (نظیر منطقه "بمبزار مارگن درچه"[۳۳] (BMD)) و در راستای مطالعات اثرات مدرن‌سازی آبیاری، این سئوال اصلی مطرح است که آیا بعد از مدرن‌سازی از آب بهینه‌تر استفاده می‌شود؟ بر اساس نتایج مطالعات در منطقه BMD، کل آب تخصیص‌یافته برای آبیاری در این منطقه از ۸۰۰۰ متر مکعب در هکتار به ۴۷۰۰ متر مکعب در هکتار پس از مدرن‌سازی کاهش یافت، بنابراین تقریباً ۴۰ درصد کمتر از مخازن آب تخصیص داده شد. دلیل اصلی آن می‌تواند افزایش راندمان انتقال، با تلفات کمتر آب در توزیع و تغییرات در سیستم آبیاری (سطحی به قطره‌ای) باشد. همچنین، وضعیت جدید به کشاورزان این امکان را می‌دهد که به دلیل انعطاف‌پذیری بهتر سیستم و اجتناب از برنامه‌های آبیاری ثابت، مقدار مناسب آب را فقط در صورت نیاز مصرف کنند (Rodriguez-Diaz et al., 2011). دلیل دیگر برای کاهش آب عرضه شده، قیمت آب است. Rodriguez-Diaz et al. (2008) مشاهده کردند که در نواحی آبیاری در جنوب اسپانیا، وقتی که هزینه‌های آب مصرفی بر مبنای حجمی (با توجه به ایجاد این قابلیت

در سیستم‌های مدرن‌شده) محاسبه می‌شود، آب کمتری در هکتار مصرف شده است. در BMD، هزینه پرداختی کشاورزان، از عدم پرداخت هیچ وجهی قبل از مدرن‌سازی به پرداخت حدود ۰/۰۲۷ یورو به ازای هر متر مکعب آب پس از مدرن‌سازی تغییر افزایشی داشت. از این رو، به نظر می‌رسد که شیوه‌های آبیاری کشاورزان محلی با توجه به افزایش هزینه آب مصرفی، به سمت استراتژی کم‌آبیاری تغییر کرده است. این موضوع را می‌توان با نگاه‌کردن به مقادیر عرضه نسبی آبیاری (RIS) [۳۴] که نسبت حجم کل سالانه آب تخصیص‌یافته برای آبیاری و حجم نیاز آبیاری محصول (تفاوت بین نیاز آبی محصول و بارندگی مؤثر) است، نیز مشاهده کرد. در حالی‌که میانگین RIS قبل از مدرن‌سازی ۱/۳۶ بود، در دو سال پس از فرآیند مدرن‌سازی، RIS به ۰/۶۸ رسید، به این معنی که نیازهای آبیاری به طور کامل برآورده نمی‌شد. مقادیر RIS زیر یک معمولاً در استراتژی کم‌آبیاری حاصل می‌شود (Garcia-Vila et al., 2008; Rodriguez-Diaz et al., 2011). از سوی دیگر، الگوی کشت نیز به دنبال مدرن‌سازی تغییر کرد. مرکبات، ذرت و پنبه هنوز هم محصولات عمده در این منطقه هستند (که بین ۷۰ تا ۸۰ درصد از کل سطح کشت آبی را تشکیل می‌دهند). با این حال، سطح اختصاص داده شده به پنبه به طور چشمگیری کاهش یافت (از ۲۴ به ۵ درصد) در حالی‌که سطح مرکبات به طور قابل توجهی افزایش یافت (از ۱۵ به ۴۶ درصد). به طور کلی، کشاورزان پس از مدرن‌سازی تمایل دارند به سمت محصولات سودآورتر حرکت کنند و سعی می‌کنند هزینه‌های بالاتر سیستم جدید را با کشت محصولات اقتصادی‌تر (ولی بعضاً پر مصرف از نظر آب) و افزایش درآمد مزرعه جبران کنند (Rodriguez-Diaz et al., 2011). ولی این تغییر در الگوی کشت و تناوب زراعی اغلب منجر به افزایش استفاده "آب مصرفی"[۳۵] می‌شود (Playan and Mateos, 2006; Perry et al., 2009)، یعنی آبی که در اتمسفر از بین می‌رود و قابل بازیابی نیست. بنابراین، کاملاً درست نیست که فرآیند مدرن‌سازی می‌تواند منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب شود. همچنین، کاهش در جریان بازگشتی (ناشی از افزایش راندمان آبیاری) نیز وجود دارد. به عنوان مثال، در BMD، هم نیازهای آبیاری (تحت تأثیر بارندگی) و هم نیازهای آبی محصول یا تبخیرتعرّق محصول پس از مدرن‌سازی حدود ۲۰ درصد افزایش یافت (Rodriguez-Diaz et al., 2011).

در حالی که آب آبیاری تأمین شده قبل از مدرن‌سازی حتی ۴۰ درصد نیز از نیاز آبیاری منطقه بیشتر بود و ۱۰۰ درصد آن را به سادگی تأمین می‌نمود، ولی پس از مدرن‌سازی فقط تنها قادر به تأمین ۷۰ درصد نیاز آبیاری بود. این بدان معنی است که قبلاً مقدار زیادی آب توسط محصولات استفاده نمی‌شد و بنابراین به سیستم منطقه (دشت یا زیر حوضه) باز می‌گشت و پس از مدرن‌سازی با کم‌آبیاری، این "جریان‌های برگشتی" به طور قابل توجهی کاهش یافت. در خصوص جایگزینی شبکه‌های توزیع کانال باز با شبکه‌های تحت فشار بر اساس تقاضا، برای افزایش کارآیی سیستم‌های توزیع آب، نتایج ارزیابی منطقه BMD نشان می‌دهد که اگرچه کاهش تقریباً ۴۰ درصدی در واحد آب برداشت شده در واحد سطح برای آبیاری رخ داده است، ولی استفاده مصرفی آب به صورت تبخیر–تعرّق گیاهی (ETc) به دلیل اتخاذ تناوب‌های زراعی جدید، عمدتاً مرکبات، به طور قابل‌توجهی افزایش یافته است. بنابراین، بیشترین سهم دخیل در کاهش در مصرف آب از محل کاهش در مقدار جریان برگشتی بوده و نه عملا و به خودی خود در صرفه‌جویی واقعی در آب مصرفی. در مورد دیگر، نتایج ارزیابی پاسخ هیدرولوژیک زیر حوضه اهرچای در حوضه آبریز ارس در آذربایجان‌شرقی به توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار حاکی از آن است که تبخیر–تعرّق کلی در روش آبیاری تحت فشار در سطحی برابر ۵۵۰۰ هکتار و الگوی کشت با محصولات عمده ذرت، غلات و حبوبات، و باغات، ٪۲۶ بیش از روش‌های آبیاری سطحی سنتی بود، همچنین رواناب در دوره آبیاری در روش آبیاری تحت فشار به دلیل کاهش جریان برگشتی آبیاری و بارش‌ها از دوره مشابه، نسبت به روش آبیاری سطحی به میزان ٪۵۲ کمتر بود (Mohammadpour et al., 2017).

از طرفی، مجموع هزینه‌های مدیریت و بهره برداری و نگهداری (O.M&M) نیز پس از مدرن‌سازی به طور چشمگیری افزایش یافته و معمولاً چهار برابر می‌شود (Rodriguez-Diaz, 2011). با توجه به شرایط سیاست‌های مدیریت آب برای جلوگیری از اثر بازگشتی، گزینه‌های سیاستی که ممکن است از هر گونه اثر بازگشتی اجتناب کنند، باید با توجه به عوامل زیر لحاظ شوند (Berbel et al., 2015): الف) جلوگیری از افزایش سطح زیر کشت و عدم فراهمی یا امکان دادن به کشاورزان برای استفاده مجدد از آب صرفه‌جویی شده ناشی از کاربرد سیستم‌های نوین آبیاری (Scheierling et al., 2006; Berbel and Mateos, 2014; Ward and Pulido-Velazquez, 2008; Graveline et al., 2013; Soto-Garcia et al., 2013)، ب) مسائل افزایش بهره‌وری و در نتیجه افزایش تبخیر–تعرّق گیاه (ET_C) پس از مدرن‌سازی (Lecina et al., 2010; Playan and Mateos, 2006; Pfeiffer and Lin, 2014)، ج) فراهم ننمودن و یا عدم صدور مجوزهای لازم برای ورود محصولات جدیدی در الگوی کشت که مصرف آب بیشتری دارند و در نتیجه افزایش مجدد تبخیر–تعرّق گیاه (ET_C) پس از مدرن‌سازی (Fernandez-Garcia et al., 2014; Rodriguez Diaz et al., 2012; Ward and Pulido-Velazquez, 2008). در مجموع، آبیاری مدرن سبب شده تا نسبت

به قبل آب بیشتری مصرف شود که عمدتاً به دلیل تغییر در الگوی کشت، افزایش مناطق کشت آبی و تأمین نیاز آبی کامل محصولات (پرهیز از کم آبیاری) است. مطالعات موردی مختلف همگی در شرایط جایگزینی سیستم آبیاری سطحی با تحت فشار (با استفاده از سیستم‌های پمپاژ)، مصرف آب و انرژی (الکتریسیته) بالاتر ناشی از مدرن‌سازی آبیاری را گزارش کرده‌اند. به عنوان نمونه در بررسی اثرات راهبردها و اقدامات بهبود بهره‌وری و صرفه‌جویی آب در حوضه آبریز طشک- بختگان در ایران نتیجه‌گیری شده است که علیرغم فرض اینکه مدرن‌سازی آبیاری می‌تواند منجر به صرفه‌جویی زیادی در مصرف آب شود، ولی به دلیل تبعات ناشی از پدیده اثر بازگشتی به دلیل افزایش سطح زیر کشت، یا تغییر به الگوی کشت محصولات با نیاز آبی بالاتر، عملاً صرفه‌جویی واقعی در مصرف آب حوضه اتفاق نیفتاده، که نتیجه آن افت سطح آب‌زیرزمینی و کاهش جریانات به دریاچه طشک بختگان، که از تلفات و جریانات آب برگشتی آبیاری اراضی به رودخانه نیز تغذیه می‌شد، بوده است (Raeisi et al., 2019).

علیرغم شرایط فوق، مجریان طرح‌های مدرن سازی برای توجیه سیاست‌ها و طرح‌های خود در کشور و در جامعه بهره‌برداران (از جمله در کشور اسپانیا)، از آنها به عنوان طرح‌های «حفظ آب» نام می‌برند. بنابراین، این ایده که "مدرن‌سازی و آبیاری مدرن باعث صرفه‌جویی در آب می‌شود" اکنون بسیار گسترده شده است و همراه با این ایده که "ما باید در مصرف آب صرفه‌جویی کنیم"، جامعه اکنون انجام فعالیت‌های مدرن‌سازی سیستم‌های آبیاری و در نتیجه مصرف سهم قابل توجهی از بودجه عمومی کشورها را کاملاً موجه می‌بینند.

علاوه بر این، تأثیر افزایش راندمان آبیاری و ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی بر مصرف آب کشاورزی ناهمگن است. برخی از منابع علمی مبتنی بر مدل‌های شبیه‌سازی (مانند: Contor and Taylor, 2013; Graveline et al., 2013)، و یا با تحقیقات میدانی (Pfeiffer and Lin, 2014)، به این نتیجه رسیده‌اند که پدیده اثر بازگشتی وجود دارد، اما اندازه آن کم و زیر ۳ درصد است که این افزایش اندک با افزایش راندمان آبیاری و ارتقاء بهره‌وری یا تغییرات در محصولات کشت‌شده توجیه شده است. از سوی دیگر سایر منابع (مانند: Dinar and Zilberman, 1991; Qureshi et al., 2010; Huffaker, 2008; Gomez-Gomez and Perez-Blanco, 2014) نیز نتایج مبهمی ارائه می‌نمایند مبنی بر اینکه ارتباط بین نتیجه نهایی سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در زمینه صرفه‌جویی آب و پدیده اثربازگشتی مبهم است و می‌تواند تابعی از هزینه آب، بهره‌وری آب، و اقدامات اجرایی انتخاب شده برای تأمین مالی سیاست صرفه‌جویی آب باشد است (Berbel et al., 2015). به عنوان نمونه در مرور مطالعات انجام شده توسط Berbel et al. (2015) مشخص شد که به دلایلی نظیر محدودیت‌های سخت‌گیرانه در حفظ مساحت اراضی فاریاب و جلوگیری از گسترش آن، کاهش حقابه قبلی، و باز تخصیص آب صرفه‌جویی‌شده برای دستیابی به اهداف زیست‌محیطی، هیچ اثر بازگشتی در مناطق تحت مطالعه به دلیل رعایت شرایط و قوانین مذکور از سوی مسئولین و کشاورزان، واقع نشده است. یا در مورد دیگر قانون آب اسپانیا[۳۶] اجازه نمی‌دهد از آب صرفه‌جویی شده برای افزایش سطح زیر کشت آبی استفاده شود؛ زیرا حقابه‌ها به شکل سختگیرانه‌ای محدودیت حداکثر حجم آب برداشتی و موقعیت زمین‌های کشت آبی را مشخص می‌کنند. Playan and Mateos (2006)، نیز اثرات تغییرات ساختاری و مدیریتی در مدرن‌سازی آبیاری را تحلیل کردند. آنها دریافتند که چنین تغییراتی (در دره "ابرو"، اسپانیا) منجر به ارتقاء بهره‌وری، بهبود حفاظت از آب و بهبود محیط‌زیست شده است. با این حال، اثرات این بهره‌وری ارتقاء یافته با افزایش تبخیرتعرّق همراه بوده است (Berbel et al., 2015).

افزایش راندمان آبیاری و ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی می‌تواند بر مصرف آب کشاورزی از طریق تغییرات الگو و سطح زیر کشت تأثیر بگذارد. علاوه بر این، الگوی کشت و سطح زیر کشت اثرات متضادی بر این مکانیسم دارند، که در آن افزایش راندمان آبیاری و ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی می‌تواند مصرف آب کشاورزی را از طریق سطح زیر کشت افزایش دهد؛ اما از طریق الگوی کاشت مناسب کاهش دهد. اگرچه اثر بازگشتی مصرف آب کشاورزی واقعاً وجود دارد، اما افزایش راندمان آبیاری و ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی به صورت بالقوه می‌تواند باعث کاهش مصرف آب کشاورزی شود، اما واقعیت آن است که افزایش یک درصدی در راندمان آبیاری عملاً نمی‌تواند حدود یک درصد کاهش مصرف آب کشاورزی را به همراه داشته باشد. بنابراین، سیاست‌های صرفه جویی در مصرف آب کشاورزی که توسط دولت‌ها انجام می‌شود (نظیر دولت چین)، همچنان می‌تواند راه مهمی برای مواجهه و کاهش کمبود آب باشد. با این حال، همزمان با ترویج سیاست‌های صرفه‌جویی در مصرف آب کشاورزی از طریق ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی، سیاست‌های حمایتی دیگری نیز در این زمینه مورد نیاز است. به عنوان نمونه در چین، از یک طرف، الگوی کشت غلات به محصولات با ارزش اقتصادی بالاتر تغییر یافته ولی مناطق و سطح کشت آن با توجه به منابع آب موجود محدود شد. از سوی دیگر، مصرف کل آب در مناطق خشک و با کشت غیر عمده غلات کنترل شد، در عین اینکه بهره‌وری آب کشاورزی نیز ارتقاء یافت.

به‌هر حال بخش کشاورزی ایران در پاسخ به اثرات نامطلوب توسعه سیستم‌های نوین آبیاری در صرفه جویی واقعی آب و به خصوص تعادل بخشی آبهای زیرزمینی این دلائل توجیهی را دارد که "بر اساس تأکید منابع و مراکز علمی، نقش اصلی سامانه‌های نوین آبیاری افزایش راندمان کاربرد آب در مزرعه و به دنبال آن ارتقاء بهره‌وری آب در کشاورزی است و بنابراین انتظارات از اجرای سامانه‌های نوین آبیاری در کشور بایستی منطبق بر همین اصول علمی باشد. با توجه به اثربخشی و دستاوردهای حاصل از توسعه سامانه‌های نوین آبیاری، شروط لازم برای کاهش مصرف آب و به خصوص کمک به تعادل‌بخشی و احیای سفره‌های آب زیرزمینی از طریق مدیریت بهینه مصرف کشاورزی میّسر بوده و بر اساس اسناد بالادستی کشور نظیر برنامه‌های پنجساله توسعه، سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی، قانون افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی، آئین‌نامه اجرایی ماده ۱۱ قانون تشکیل وزارت جهاد کشاورزی و سایر قوانین مرتبط از قبیل کنترل برداشت‌های غیر مجاز و حسابداری آب به موازات تخصیص و مدیریت تقاضا در حوزه مدیریت منابع آب بسیار مهم و اثرگذار هستند که عمدتاً از برنامه دوم توسعه تا کنون مغفول مانده و نادیده انگاشته شده است و فقط کاهش پروانه بهره‌برداری در خصوص آب‌های زیرزمینی) بـدون کارکرد مؤثر، بـه عنوان تنها راه برون رفت از بحران منابع آب زیرزمینی در سال‌های اخیر از سوی بخش آب مطرح بوده است" (Niazi-Shahraki, 2023).

۵- نتیجه‌گیری

مدرن‌سازی آبیاری با هدف افزایش راندمان آبیاری و ارتقاء بهره‌وری آب در شرایط کمبود منابع آب برای تولیدات کشاورزی از ضروریات است. در راستای تعریف جدید از مدرن‌سازی علاوه بر اقدامات سازه‌ای و فیزیکی برای توسعه سیستم‌های مدرن آبیاری، باید اقدامات و برنامه‌ریزی‌های سازمانی، نهادی و سیاستی لازم نیز انجام شده تا این فعالیت به صورت جامع طراحی و اجرا شود و اثرات نامطلوب جانبی نداشته باشد. بررسی‌های انجام شده و مطالعات جهانی به خصوص در کشورهای پیشرو در زمینه مدرن‌سازی آبیاری (نظیر اسپانیا) که این سیاست را در سطح وسیعی از اراضی فاریاب خود انجام داده‌اند، بیانگر آن است که کاربرد سیستم‌ها و فناوری‌های نوین آبیاری برای افزایش راندمان آبیاری و ارتقاء بهره‌وری آب و در مجموع در واکنش به بحران کم آبی به منظور کاهش مصارف آب کشاورزی، بعضاً به صرفه‌جویی و کاهش مؤثر و در حد انتظار مصرف آب در مقیاس‌های بالاتر و منطقه‌ای منجر نشده و حتی به افزایش آن نیز دامن زده است و به اصطلاح پدیده "اثر بازگشتی" در آن مناطق اتفاق افتاده است. دلیل اصلی وقوع پدیده اثر بازگشتی این است که علیرغم صرفه‌جویی در آب با کاربرد سیستم‌های نوین آبیاری، به دلیل مصرف بیشتر آب بخشی و یا تمام این مقدار صرفه‌جویی آب با مصرف آب بیشتر توسط بهره‌بردارن (به طور عمده با افزایش سطح زیر کشت)، جبران و یا بی اثر شده است. معیارهای اثر بازگشتی مبتنی بر این واقعیت است که با افزایش ۱٪ در راندمان آبیاری، باید کاهش ۱٪ در مصرف آب کشاورزی نیز اتفاق بیفتد در غیر این صورت پدیده اثر بازگشتی اتفاق افتاده است. اگر مقدار اثر بازگشتی بین ۰ الی ۱۰۰ درصد باشد، یا به عبارت دیگر فقط بخشی از صرفه‌جویی بالقوه آب کشاورزی ناشی از افزایش راندمان آبیاری و ارتقاء بهره‌وری آب از بین رفته و با افزایش مصرف جبران شده باشد، بازگشت جزئی اتفاق افتاده است. اما اگر مقدار اثر بازگشتی آب بیش از ۱۰۰٪ باشد، عملاً افزایش راندمان آبیاری و ارتقاء بهره‌وری آب، به جای کاهش مصرف، افزایش مصرف آب را به همراه داشته است که به آن اثر بازگشتی معکوس نیز اطلاق می‌شود. عوامل ایجاد اثر بازگشتی در کاربرد سامانه‌های نوین آبیاری به طور عمده عبارتند از افزایش سطح زیر کشت، افزایش تبخیرتعرّق گیاهی ناشی از افزایش عملکرد و همچنین تغییر در الگوی کشت محصولات به کشت محصولات اقتصادی‌تر که پر آب بر نیز هستند و کاهش جریانات برگشتی (ناشی از افزایش راندمان آبیاری یا کم آبیاری مزارع به دلیل گسترش سطح زیرکشت)، است. بنابراین مدرن‌سازی آبیاری در صورت عدم مدیریت مناسب آب، محتملاً باعث ایجاد یک دور باطل خواهد شد. به عبارت دیگر مدرن‌سازی با هدف اصلی ارتقاء بهره‌وری آب و کاهش آب مصرفی و صرفه‌جویی آب انجام می‌شود، حال آنکه خود منجر به برداشت بیشتر از منابع و افزایش مصرف آب می‌شود. لذا برای جلوگیری از وقوع پدیده اثر بازگشتی بایستی ابزارها و راهکارهایی برای کنترل برداشت آب و استفاده درست از مازاد آب حاصل از صرفه‌جویی و جلوگیری از گسترش اراضی فاریاب با آب صرفه‌جویی شده و همچنین تغییر الگوی کشت به محصولات پر آب بر، ارائه و انجام شود. مکانیسم اثر بازگشتی آب کشاورزی هنوز مبهم است و مطالعات تجربی و میدانی بیشتری در این مورد، به خصوص برای کشور ایران به عنوان یک کشور خشک و نیمه خشک، نیاز است. باید رویه‌های حسابداری مناسب آب را هم در مقیاس مزرعه و هم حوضه آبریز طراحی و اجرا نمود تا فرصت‌های صرفه‌جویی واقعی آب شناسایی شده و سپس راهکارها و فعالیت‌های صرفه‌جویی، حفاظت و افزایش مدبّرانه بهره‌وری آب یعنی (توجه به نیازهای زیست محیطی، فراهمی شرایط و تمهیدات لازم، توجه به ضرورت وجود و حفظ جریان‌های برگشتی، و تعیین سقف و آستانه معقول و واقع بینانه برای افزایش بهره‌وری آب) را بر اساس ترکیبی از ابزارهای اقتصادی، فنی، اجتماعی، و سیاستی اعمال نمود، تا با کاهش یا حذف اثر بازگشتی فشار بر منابع کمیاب آب کاهش یابد. پیشنهاد می‌شود ادبیات پدیده

اثر بازگشتی پسا مدرن‌سازی آبیاری در کشور جاری و تجزیه و تحلیل‌های آن انجام شده، و هشدارهای لازم به مسئولین و سیاست‌گذاران مرتبط در این زمینه ارائه شود، تا از سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در توسعه سیستم‌ها استفاده مطلوبی به عمل آمده و در صرفه‌جویی واقعی آب مؤثر باشند. لذا به تحقیقات و مطالعات بیشتر در مورد اثرات پویای سرمایه‌گذاری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب و از جمله اثر بازگشتی و ارائه ابزارها و راهکارهای فنی، اقتصادی–اجتماعی لازم نیاز است و باید در فهرست اولویت‌ها و دستور کار تحقیقاتی مؤسسات تحقیقاتی و دانشگاهی قرار گیرد. همچنین توصیه می‌شود با برگزاری نشست‌های هم‌اندیشی مشترک چند بخشی (آب، کشاورزی و محیط زیست) با حضور محققین و کارشناسان و مسئولین دستگاه‌های اجرایی مرتبط به بررسی و ارائه راهکارهای فنی و سیاستی لازم برای جلوگیری از وقوع و یا کاهش پدیده اثر بازگشتی، و حل مسائل آن پرداخته شود. در مجموع تحقیقات بیشتری در سال‌های آینده برای ارزیابی اثرات کمّی طرح‌های مدرن‌سازی و بهینه‌سازی آبیاری بر مصرف آب و انرژی در سطح حوضه مورد نیاز خواهد بود. اثرات این طرح‌ها بر پایداری اجتماعی–اقتصادی جوامع کشاورزی و کیفیت آب و سایر مسائل زیست‌محیطی در حوضه رودخانه‌ها نیز باید مورد ارزیابی قرار گیرد، تا بتوان تحلیل‌های مناسبی از مزایا و هزینه‌های ارتقاء بهره‌وری آب از طریق اجرای طرح‌های مدرن‌سازی آبیاری انجام داد.

پی‌نوشت‌ها

1- Rebound Effect
2- International Commission on Irrigation and Drainage
3- Operation, Maintenance, and Management
4- Modernization
5- Water Users Associations
6- Water Saving
7-Evapotranspiration
8- Returned Flow
9- Jevons Paradox
10- Offset
11- Nested Systems
12- Scaling Up
13- International Water Management Institute
14- Partial Rebound
15- Backfire Effect
16- Withdrawal
17- Consumption
18- Ebro
19- Violada
20- Jucar
21- Beneficial Water Consumption
22- Recoverable Fraction
23- Beneficial Evapotranspiration
24- Non-Beneficial Evapotranspiration
25- Non-Recoverable Runoff/Percolation
26- Recoverable Runoff/Percolation
27- Consumed or Depleted Fraction
28- Food and Agriculture Organization
29- Non-Consumed Water Losses
30- Water Consumptive
31- Guadalquivir
32- Water Framework Directive
33- Bembezar Margen Derecha
34- Relative Irrigation Supply
35- Consumptive Use
36- Spanish Government 2001

۶- مراجع

Abarian A, Ranjpour R, Hashemi Dizj AR and Behbodhi D (2023) Investigating of agricultural water rebound effect in environmental conditions according to the provinces of Iran. Journal of Environmental Sciences Studies 8(2):6435-6446 (In Persain)

Alarcón J, Garrido A, and Juana L (2016) Modernization of irrigation systems in Spain: Review and analysis for decision making. International Journal of Water Resources Development 32(3):442-458

Arif SS, Pradipta AG, Subekti E, Prabowo A, Sidharti TS, Soekarno I, and Fatah Z (2019) Toward modernization of irrigation from concept to implementations: Indonesia case. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 17–18 November, Kerbala, Iraq, 1-11

Barros R, Isidoro D, and Aragüés R (2012) Irrigation management, nitrogen fertilization and nitrogen losses in the return flows of La Violada irrigation district (Spain). Agriculture, Ecosystems & Environment 155:161–171

Berbel J, Gutierrez-Martin C, Rodriguez-Diaz, JA, Camacho E, and Montesinos P (2015) Literature review on rebound effect of water saving measures and analysis of a Spanish case study. Water Resources Management 29:663–678

Berbel J, Pedraza V, and Giannoccaro G (2013) The trajectory towards basin closure of a European river: Guadalquivir. International Journal of River Basin Management 11(1):111-119

Berbel J, Expósito A, Gutiérrez-Martín C, and Mateos L (2019) Effects of the irrigation modernization in Spain 2002–2015. Water Resources Management 33(5):1835-1849

Berbel J, Mateos L (2014) Does investment in irrigation technology necessarily generate rebound effects? A simulation analysis based on an agro-economic model. Agricultural Systems 128:25–34

Bigdeli Nalbandan R, Delavar M, Abbasi H, and Zaghiyan MR (2023) Model-based water footprint accounting framework to evaluate new water management policies. Journal of Cleaner Production 382:135220

Burt CM (2011) The irrigation sector shift from construction to modernization: What is required for success? ICID's 21st International Congress on Irrigation and Drainage 19 October 2011, Tehran, Iran

Burt CM, Clemmens AJ, Strelkoff TS, Solomon KH, Bliesner RD, Hardy LA, Howell TA, and Eisenhauer DE (1997) Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 123(6):423–442

Contor BA, Taylor RG (2013) Why improving irrigation efficiency increases total volume of consumptive use. Irrigation and Drainage 62(3):273–280

Delavar M, Morid S, Morid R, Farokhnia A, Babaeiana F, Srinivasanc R, and Karimid P (2020) Basin-wide water accounting based on modified SWAT model and WA+ framework for better policy making. Journal of Hydrology 585:124762

Dinar A, Zilberman D (1991) The economics of resource-conservation, pollution-reduction technology selection: the case of irrigation water. Resource Energy 13(4):323–348

Dumont A, Mayor B, Lopez-Gunn E (2013) Is the rebound effect or Jevons Paradox a useful concept for better management of water resources? Insights from the irrigation modernisation process in Spain. Aquatic Procedia 1:64–76

European Commission (2000) Water framework directive of the European Parliament and of the Council (2000/60/EC). Brussels, http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do? uri=CELEX:32000L0060 :en: HTML.

European Commission (2012) A blueprint to safeguard Europe's Water Resources, Brussels. http://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/pdf /COM-2012-673final_EN_ACT-cov.pdf.

Facon T (2002) Investing in irrigation and drainage in the context of water policy and institutional reform. Proceedings of the Regional Consultation. Food and Agriculture Organization of the United Nations.Bangkok, Thailand, ISBN: 974-7946-17-3

Fang L, Wu F, Yu Y, and Zhang L (2020) Irrigation technology and water rebound in China's agricultural sector. Journal of Industrial Ecology 24:1088–1100

Fei R, Xie M, Wei X, and Ma D (2021) Has the water rights system reform restrained the water rebound effect? Empirical analysis from China's agricultural sector. Agricultural Water Management 246:106690

Fernandez-Garcia I, Rodriguez-Diaz JA, Camacho-Poyato E, Montesinos P, and Berbel J (2014) Effects of modernization and medium term perspectives on water and energy use in irrigation districts. Agricultural Systems 131:56-63

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):36–43

Garcia-Vila M, Lorite IJ, Soriano MA, and Fereres E (2008) Management trends and responses to water scarcity in an irrigation scheme of Southern Spain. Agricultural Water Management 95(4):458-468

Gleick PH, Christian-Smith J, and Cooley H (2011) Water-use efficiency and productivity: rethinking the basin approach. Water International 36(7):784–798

Gomez- Gomez CM, Perez-Blanco CD (2014) Simple myths and basic maths about greening irrigation. Water Resources Management 28:4035-4044

Grafton RQ, Williams J, Perry CJ, Molle F, Ringler C, Steduto P, Udall B, Wheeler SA, Wang Y, and Garrick D (2018) The paradox of irrigation efficiency. Science 361:748–750

Graveline N, Majone B, Van Duinen R, and Ansink E (2013) Hydro-economic modeling of water scarcity under global change: an application to the Gallego River basin (Spain). Regional Environmental Change 14:119–132

Huffaker R (2008) Conservation potential of agricultural water conservation subsidies. Water Resources Research 44(7):1-8

Jensen ME (2007) Beyond irrigation efficiency. Irrigation Science 25:233–245

Jevons W S (1866). The coal question (2nd ed.). London: Macmillan

Jiménez-Aguirre MT and Isidoro D (2018) Hydrosaline balance in and nitrogen loads from an irrigation district before and after modernization. Agricultural Water Management 208:163–175

Khadra R, Sagardoy JA (2019) Irrigation governance challenges in the mediterranean region: Learning from experiences and promoting sustainable performance. Springer: New York, NY, USA

Lecina S, Isidoro D, Playan E, and Aragues R (2010) Irrigation modernization and water conservation in Spain: The case of Riegos del Alto Aragon. Agricultural Water Management 97(10):1663–1675

Loch A, Adamson D (2015) Drought and the rebound effect: A Murray–Darling Basin example. Natural Hazards 79(3):1429–1449

López-Gunn E (2017) Impact of irrigation modernization in water mass status in Duero River Basin. Paper presented at the efficiency-oriented water management. From panaceas to actual solutions, CMCC-Center Mediterranean for climatic change. Venice, Italy

Lopez-Gunn E, Bea M, Huertas R, Barrio VD, and Fernandez J (2019) Irrigation modernization in Spain: What influences the effects on water? Annual World Bank Conference on Land and Poverty. The World Bank, March 25-29, Washington DC

Lopez-Gunn E, Zorrilla P, Prieto F, and Llamas MR (2012) Lost in translation? Water efficiency in Spanish agriculture. Agricultural Water Management 108:83–95

Mohammadpour M, Zeinalzadeh K, Verdinajad VR, and Hessari B (2017) Assessment of the basin hydrological responses to development of pressurized irrigation systems: Case study The Ahar-chai basin. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 4(11):626-635 (In Persian)

Molden D (1997) Accounting for water use and productivity. SWIM Paper1. IWMI, Colombo, Sri Lanka

Molle F, Tanouti O, and Faysse N (2019) In irrigation in the mediterranean: Technologies institutions and policies. Molle, F., Sanchis-Ibor, C., Avella, L., Eds.; Springer: Cham, Switzerland.

Murray-Rust H, Droogers P, Heydari N (2004) Water for the future: Linking irrigation and water allocation in the Zayandeh Rud Basin, Iran. IWMI, Colombo, Sri Lanka, ISBN:92-9090-586-7

Niazi-Shahraki S (2023) The letter of the deputy minister of water and soil to the head of the research center of the Islamic Council regarding the review of the report "Investigation of the role of modern irrigation systems in compensating the deficit of the country's aquifers during the last decade: Expectations, credits, effectiveness". No. 98673/600/1401 dated 25 Feb 2023

Pereira LS (1988) Modernization of irrigation systems: A case of research, oriented to improve management. Irrigation and Drainage Systems 2:63-77

Pereira LS and McCready W (1987) Rehabilitation and modernisation of irrigation projects. Identification of Concepts, Main Questions and Priorities. ICID Bulletin 36(2)

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

Perry C, Steduto P (2017) Does improved irrigation technology save water? A review of the evidence. Cairo, FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations

Perry C, Steduto P, Allen RG, and Burt CM (2009) Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities. Agricultural Water Management 96(11):1517-1524

Pfeiffer L, Lin CYC (2014) Does efficient irrigation technology lead to reduced groundwater extraction?: Empirical evidence. Journal of Environmental Economics and Management 67(2):189–208

Playan E, Mateos L (2006) Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. Agricultural Water Management 80(1-3):100–116

Plusquellec H (2009) Modernization of large-scale irrigation systems: Is it an achievable objective or a lost cause? Irrigation and Drainage 58:104–120

Qureshi ME, Schwabe K, Connor J, and Kirby M (2010) Environmental water incentive policy and return flows. Water Resources Research 46(4):W04517

Raeisi LG, Morid S, Delavar M, and Srinivasan R (2019) Effect and side-effect assessment of different agricultural water saving measures in an integrated framework. Agricultural Water Management 223:105685

Rijsberman RF, Grigg NS (1985) Identifying priorities in irrigation systems: Problems and solutions. In: Tenth Technical Conference on Irrigation, Drainage and Flood Control (Reno, Nevada 1985) U.S. Committee of ICID

Rodriguez-Diaz JA, Camacho-Poyato E, Lopez-Luque R, and Perez-Urrestarazu L (2008) Benchmarking and multivariate data analysis techniques for improving the efficiency of irrigation districts: An application in Spain. Agricultural Systems 96(1-3):250-259

Rodriguez-Diaz JA, Perez-Urrestarazu L, Camacho-Poyato E, and Montesinos P (2011) The paradox of irrigation scheme modernization: More efficient water use linked to higher energy demand. Spanish Journal of Agricultural Research 9(4):1000-1008

Rodriguez-Diaz JA, Perez Urrestarazu L, Camacho-Poyato E, and Montesinos P (2012) Modernizing water distribution networks- lessons from the Bembézar MD irrigation district, Spain. Outlook on Agriculture 41(4):229–236

Sanchis-Ibor C, Ortega-Reig M, Guillem-Garcia A, Carricondo JM, Manzano-Juarez J, Garcia-Molla M, and Royuela A (2021) Irrigation post-modernization. Farmers envisioning irrigation policy in the region of Valencia (Spain). Agriculture 11(4):317

Scheierling SM, Young RA, and Cardon GE (2006) Public subsidies for water-conserving irrigation investments: Hydrologic, agronomic, and economic assessment. Water Resources Research 42:W03428

Seckler D (1996) The new era of water resources management: from “dry” to “wet” water savings. IWMI Research Report 1, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka

Song J, Guo Y, Wu P, and Sun S (2018) The agricultural water rebound effect in China. Ecological Economics 146:497–506

Soto-Garcia M, Martinez-Alvarez V, Garcia-Bastida PA, Alarcon F, and Martin-Gorriz B (2013) Effect of water scarcity and modernization on the performance of irrigation districts in south-eastern Spain. Agricultural Water Management 124:11–19

Topcu S, Kibaroglu A, and Kadirbeyoglu Z (2019) In irrigation in the mediterranean: Technologies institutions and policies. Molle, F., Sanchis-Ibor, C., Avella, L., Eds.; Springer: Cham, Switzerland

Venot JP, Kuper M, and Zwarteveen M (2017) Drip irrigation for agriculture: Untold stories of efficiency, innovation and development. Routledge: Abingdon, UK. pp. 96–98

Ward FA and Pulido-Velazquez M (2008) Water conservation in irrigation can increase water use. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 105:18215–18220

Wheeler SA, Carmody E, Grafton RQ, Kingsford RT, and Zuo A (2020) The rebound effect on water extraction from subsidising irrigation infrastructure in Australia. Resources, Conservation and Recycling 159:104755

Willardson LS, Allen RG, and Frederiksen H. (1994) Eliminating irrigation efficiencies. In USCID 13th Technical Conference, Denver, Colo., 19–22 October; 15 pp.

Xu H, Yang R, and Song J (2021) Agricultural water use efficiency and rebound effect: A study for China. International Journal of Environmental Research and Public Health 18(13):7151-7160

Zibaei MH, Akhond Ali AM, Radmanesh F, and Zareei H (2019) Modernization of irrigation systems and water conservation with emphasis on rebound effect on field in the Bakhtegan basin. Journal of Agricultural Economics Research 11(3):127-154 (In Persian)