اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۳۰، شمارهٔ ۱۱۹، پاییز ۱۴۰۱

DOI: 10.30490/AEAD.2023.354981.1353

مقاله پژوهشی

بررسی اقتصادی نقش تغییر نظام آبیاری در بهره‌وری آب در شبکهٔ آبیاری و زهکشی درودزن

آذر شیخ زین‌الدین[۱]، حامد دهقانپور[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰ /۸/۸

چکیده

شبکه آبیاری و زهکشی درودزن نقش مهمی در تولید محصولات کشاورزی استان فارس دارد، ولی به‌دلیل نازل بودن ریزش‌های جوی و برداشت‌های بی‌رویه و غیراصولی آب، با مشکلات جدّی مواجه شده است. نظر به اهمیّت آگاهی از مقدار بهره‌وری آب مصرفی در راستای مدیریت منابع آب، در مطالعه حاضر، با استفاده از شاخص عملکرد به ازای واحد حجم آب (CPD)، به محاسبه بهره‌وری آب کشاورزی در این شبکه آبیاری و زهکشی پرداخته شد؛ و به‌منظور بررسی اثرات تغییر در

۱- نویسندهٔ مسئول و استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
(azeinoddin@shirazu.ac.ir)

۲- دکترای اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

نظام آبیاری «از سطحی به تحت فشار» بر متغیرهای موجود در شاخص بهره‌وری، از مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT) در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ استفاده شد. یافته‌های مطالعه نشان داد که در نظام کشاورزی شبکه آبیاری و زهکشی درودزن، شاخص عملکرد به ازای واحد حجم آب بر حسب حاصل‌جمع آب آبیاری و بارش مؤثر (CPD_{IP}) برابر با ۰/۶۰۶ کیلوگرم در متر مکعب است؛ همچنین بر اساس نتایج مطالعه، تغییر نظام آبیاری از سطحی به بارانی می‌تواند به‌ترتیب، به افزایش شاخص بهره‌وری بر حسب تبخیر و تعرق واقعی (CPD_{ET}) و شاخص CPD_{IP} به مقدار ۲۳ و ۴۶ درصد منجر شود. بنابراین، می‌توان گفت که یکی از اقدامات مهم در راستای بهبود بهره‌وری مصرف آب کشاورزی در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن توسعه نظام آبیاری بارانی است.

کلیدواژه‌ها: *بهره وری آب، نظام آبیاری تحت فشار، شبکه آبیاری و زهکشی درودزن، شاخص CPD.*

طبقه‌بندی JEL : C_{88}, D_{24}, Q_{10}, Q_{15}

مقدمه

میزان بهره‌وری مصرف آب کشاورزی یکی از شاخص‌های مصرف بهینه آب آبیاری است. از آنجا که حدود نود درصد آب کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌شود، ضرورت دارد که از طریق افزایش بهره‌وری، سهم کشاورزی در مصرف آب کاهش یابد. یکی از اقداماتی که در سال‌های اخیر، در راستای بهبود بهره‌وری مصرف آب و سازگاری با اقلیم خشک ایران صورت گرفته، توجه خاص به توسعه روش‌های آبیاری تحت فشار است. مهم‌ترین نتیجه مطلوب قابل انتظار از اجرای طرح آبیاری تحت فشار (قطره‌ای، بارانی، نواری و ...) افزایش بازدهی کاربرد آب در مزارع و باغ‌ها و در نهایت، صرفه‌جویی در میزان مصرف آب است. افزون بر این، به‌کارگیری روش‌های نوین آبیاری موجب سهولت در کوددهی، افزایش عملکرد در واحد سطح، بهبود کیفیت محصول و جلوگیری از رشد آفات و علف‌های هرز می‌شود، که کاهش قابل توجه هزینه تولید را در پی خواهد داشت (Neitsch et al., 2011).

تاکنون حدود ۱/۴۵ میلیون هکتار از اراضی کشور به انواع سامانه‌های آبیاری تحت فشار مجهز شده است؛ با این حال، بیش از ۸۵ درصد اراضی آبی با روش‌های سطحی آبیاری می‌شود که از راندمان آبیاری کمتری برخوردار است. بنابراین، با افزایش راندمان آبیاری،

می‌توان حجم قابل توجهی از منابع آب را به چرخه تولید بازگرداند و بخش بزرگی از نیازهای آب کشاورزی و سایر بخش‌ها را از این طریق برآورده کرد (Abbasi et al., 2015).

از کل آب مصرفی استان فارس (بیش از ۱۰/۸۸۱ میلیارد مترمکعب)، بیش از نود درصد در بخش کشاورزی و بقیه در بخش صنعت و شرب مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ و از این میزان، ۸۳ درصد از منابع زیرزمینی و هفده درصد از منابع سطحی تأمین می‌شود. این آمار بیانگر این واقعیت است که کشاورزی استان به‌طور عمده به منابع آب زیرزمینی متکی است. برای توسعه سطح زیر کشت و افزایش عملکرد در واحد سطح، حداکثر بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی استان صورت گرفته است. در حال حاضر، برداشت بی‌رویه از این منابع باعث شده است که اکثر دشت‌های استان با بیلان منفی و افت شدید سطح ایستابی مواجه شوند، در حالی که از همین آب استحصالی هم استفاده مطلوب و بهینه صورت نمی‌گیرد و بازده آبیاری در استان تنها چهل درصد برآورد شده است. به دیگر سخن، از ۹/۷۹ میلیارد متر مکعب آب که در اختیار بخش کشاورزی قرار می‌گیرد، فقط ۳/۹۱ میلیارد متر مکعب آب مورد استفاده گیاه قرار گرفته و بقیه یعنی، ۵/۸۷ میلیارد متر مکعب آن به‌صورت تلفات از دسترس گیاه خارج می‌شود. تلفات آب نه‌تنها باعث از دست رفتن آب می‌شود، بلکه باعث صدمات جدی از قبیل شور و ماندابی شدن (تجمیع آب) اراضی، فرسایش خاک، کاهش حاصل‌خیزی خاک، کاهش کمی و کیفی تولیدات کشاورزی می‌شود و در نهایت، به آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌انجامد. از این‌رو، افزایش بهره‌وری آب کشاورزی را می‌توان بحثی راهبردی، فنی و مدیریتی در راستای مدیریت منابع آب دانست که باید مورد توجه قرار گیرد (IRNCID, 2015).

از سوی دیگر، هر گونه تلاش (برای نمونه، تغییر نظام آبیاری) که منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب یا افزایش کارآیی و بهره‌وری مصرف آب شود، نیازمند ارزیابی تراز آب در سطح حوضه (به‌جای سطح مزرعه) است. به‌طور خاص، افزایش سطح آب زیرزمینی و یا افزایش جریانات زیست‌محیطی در خروجی یک حوضه می‌تواند شاخص خوبی از بهبود در مدیریت کشاورزی با صرفه‌جویی در آب باشد. یک ابزار ارزیابی که تمام این موارد را مد نظر قرار

می‌دهد، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی یکپارچه است که قادر است به‌طور هم‌زمان، جریانات (سطحی و زیرزمینی) و تبخیر و تعرق را شبیه‌سازی کند. کای و همکاران (Cai et al., 2003) از یک روش مدل‌سازی یکپارچه (مدل هیدرولوژیکی و زراعی) استفاده کردند. این روش برای ارزیابی سناریوهای مدیریت حوضه در حوضه رودخانه مایپوی شیلی استفاده شد. نتایج مطالعه نشان داد که افزایش کارآیی آبیاری در نواحی کشاورزی می‌تواند از طریق افزایش مصرف آب، بر جریان رودخانه تأثیر منفی بگذارد، اگرچه برداشت واقعی آب ممکن است کاهش یابد.

اکبری (Akbari, 2004) به ارزیابی مدیریت آبیاری و کارآیی مصرف آب در شبکه آبیاری سمت راست آبشار شهرستان اصفهان با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای، اندازه‌گیری مزرعه‌ای و مدل شبیه‌سازی «خاک، آب، جَو و گیاه[1]» پرداخت. بر اساس نتایج وی، شاخص کارآیی مصرف آب برآوردشده از اطلاعات ماهواره‌ای برابر با ۰/۸ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه شد. کارآیی مصرف آب محاسبه‌شده از روش عرضه و تقاضای آب در دهه ۱۳۷۰ بین ۱/۴–۰/۸ کیلوگرم بر متر مکعب و به‌طور متوسط، ۱/۲ کیلوگرم بر متر مکعب بود.

حیدری (Heidari, 2011) به تعیین مقدار کارآیی مصرف آب محصولات کشاورزی عمده پرداخت. بدین منظور، میزان عملکرد محصول اولیه و میزان حجم ناخالص آب آبیاری کاربردی (متر مکعب) برای تولید محصول تعیین و سپس، شاخص کارآیی مصرف آب محاسبه شد. بر اساس نتایج این مطالعه، متوسط مقدار شاخص کارآیی مصرف آب محصولات زراعی، چغندرقند، سیب‌زمینی، ذرت علوفه‌ای، پنبه، یونجه، جو، نخود آبی و نیشکر، به‌ترتیب، ۰/۷۳، ۴/۵۶، ۲/۱۸، ۵/۵۸، ۰/۷۱، ۱/۴۶، ۰/۵۶، ۰/۱۸ و ۲/۹۴ کیلوگرم محصول بر متر مکعب آب مصرفی و همچنین، متوسط وزنی شاخص کارآیی مصرف آب کشور ۱/۳۸ کیلوگرم بر متر مکعب آب محاسبه شد.

1. Soil, Water, Atmosphere and Plant (SWAT)

دروگرز و کایت (Droogers and Kite, 2001) مدل حوضه آب و شوری[1]، مدل خاک، آب، جَو و گیاه (SWAP) و مدل نیمه‌توزیعی فرآیندهای رواناب مبتنی بر کاربری اراضی[2] را برای تعیین کارآیی مصرف آب در حوضه زاینده‌رود ایران و منطقه گدیز[3] کشور ترکیه به‌کار بردند. کارآیی مصرف آب در مقیاس حوضه آبریز برای حوضه‌های یادشده در ایران و ترکیه، به‌ترتیب، ۰/۴۵ و ۰/۱۷ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه شد. در این مطالعه، دلیل این تفاوت در مقادیر کارآیی مصرف آب بین دو حوضه این‌گونه بیان شد که در ایران، از آب عمدتاً برای کشاورزی استفاده می‌شود، در حالی که در ترکیه، از مقادیر زیادی آب برای درختان و پوشش سبز که غیرمثمرند، استفاده می‌شود.

تورنکوئیست و جارسجو (Törnqvist and Jarsjö, 2012) یک مدل توزیع آب‌وهوایی به‌منظور ارزیابی صرفه‌جویی آب از طریق روش‌های بهبود آبیاری در سطح حوضه را توسعه دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که تغییر آبیاری سنتی به روش‌های نوین آبیاری مانند آبیاری تحت فشار می‌تواند به حفاظت آب در مقیاس حوضه منجر شود.

احمدزاده و همکاران (Ahmadzadeh et al., 2015) به بررسی تأثیر تغییر در نظام آبیاری بر بهره‌وری آب کشاورزی پرداختند. بدین منظور، از مدل SWAT استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که تغییر در نظام آبیاری، با افزایش عملکرد محصول، توزیع بهتر آب و تبخیر و تعرق واقعی بیشتر، بهره‌وری آب را به میزان پانزده درصد افزایش می‌دهد.

هوانگ و لی (Huang and Li, 2010)، با استفاده از مدل SWAT، به بررسی آب آبی و آب سبز در مقیاس حوضه و با استفاده از مؤلفه‌های شبیه‌سازی‌شده، به محاسبه بهره‌وری آب- محصول[4] برای چهار محصول برنج، گندم، ذرت و سویا پرداختند. با مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه با تحقیقات مشابه، این نتیجه حاصل شد که مقادیر شبیه‌سازی‌شده با استفاده از

1. Water and Salinity Basin Model (WSBM)
2. Semi-Distributed Land Use-based Runoff Processes (SLURP)
3. Gediz
4. Crop Water Productivity (CWP)

مدل SWAT معتبر است و از این مدل می‌توان برای ارزیابی بهره‌وری آب کشاورزی در سطح حوضه استفاده کرد.

اشرف واقفی و همکاران (Ashraf Vaghefi et al., 2017) بهره‌وری آب گندم و ذرت آبی در حوضه رودخانه کُر را با استفاده از رویکرد مدل‌سازی تلفیقی شامل مدل SWAT و مدل توزیع آب حوضه رودخانه (MODSIM [1]) بررسی کردند. در این مطالعه، عملکرد گندم و ذرت آبی و آب مصرف‌شده شبیه‌سازی شد و برای محاسبه بهره‌وری آب مورد استفاده قرار گرفت؛ نتایج مطالعه نشان داد که در این منطقه، برای گندم و ذرت، بیشترین میزان بهره‌وری آب- محصول (CWP)، به‌ترتیب، ۱/۳۱ و ۱/۱۳ و کمترین آن، ۰/۶۲ و ۰/۵۸ کیلوگرم بر متر مکعب است.

نتایج بررسی مطالعات نشان می‌دهد که تغییر روش‌های آبیاری، با توجه به بهبود مدیریت آبیاری در سطح حوضه، بهره‌وری آب را به میزان قابل توجهی افزایش داده است. از این‌رو، با توجه به مطالعات اندک انجام‌شده در مقیاس حوضه، در مطالعهٔ حاضر، اثرات استفاده از نظام آبیاری تحت فشار بر بهره‌وری آب آبیاری ارزیابی شد. از آنجا که حجم آب مصرفی برای محصول بر حسب متر مکعب در هکتار می‌تواند به‌صورت حاصل‌جمع آب آبیاری و بارش مؤثر (CPD_{IP}) یا بر حسب تبخیر و تعرق واقعی (CPD_{ET}) بیان شود، برای پرداختن بدین موضوع، از مدل ارزیابی آب و خاک استفاده شد (Ashraf Vaghefi et al., 2017). این مدل به‌منظور ارزیابی بهره‌وری آب در برخی از مطالعات تحقیقاتی استفاده شده است (Ahmadzadeh et al., 2015; Huang and Li, 2010; Liu et al., 2021).

1. Modeling and Simulation

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شبکه آبیاری و زهکشی درودزن در پنجاه کیلومتری شمال غربی شهرستان شیراز، قسمت شمالی دشت رودخانه کُر و در غرب شهرستان مرودشت واقع شده است. این شبکه با شیب ملایم شمال غربی- جنوب شرقی بین سد درودزن تا جاده اصلی شیراز- مرودشت ادامه می‌یابد و رودخانه کُر تقریباً از مرکز آن عبور می‌کند. ارتفاع اراضی آن در شمال ۱۶۲۰ متر و در پایین‌ترین نقطه به ۱۵۸۰ متر می‌رسد. نواحی مرتفع منطقه دارای ارتفاع ۲۲۰۰ تا ۲۸۰۰ متر بوده و سد مخزنی درودزن در ارتفاع ۱۶۲۰ متر احداث شده است (IRNCID, 2015).

محدوده مورد مطالعه اراضی زیر سدّ درودزن تا قبل از پل خان و شبکه آبیاری و زهکشی درودزن است. مساحت کل این محدوده برابر با ۶۶۸۱۰ هکتار بوده که از این مقدار، ۵۴۵۰۰ هکتار زراعی است. در یک سال زراعی غادی، حجم آب تحویلی از سد درودزن در این منطقه حدود ۲۱۳ میلیون متر مکعب در سال است، که به کشت گندم و جو اختصاص داده می‌شود. همچنین، متوسط مقدار برداشت آب از چاه‌ها حدود ۲۲۸/۵۵ میلیون متر مکعب در سال است (IRNCID, 2015).

بهره‌وری آب کشاورزی

برای تعیین بهره‌وری آب، شاخص‌های مختلف وجود دارد. ساده‌ترین روشی که در مزارع کشاورزی برای برآورد بهره‌وری آب یک گیاه می‌توان به‌کار برد، بهره‌وری فیزیکی آب است، که بنا به تعریف تونگ و بومن (Tuong and Bouman, 2003)، عبارت است از نسبت مقدار محصول تولیدشده به حجم آب مصرف‌شده. حجم آب مصرف‌شده بر حسب مقدار تبخیر و تعرق و یا بر حسب کل آب آبیاری شامل بارش مؤثر و مقدار آبیاری است (در مطالعهٔ حاضر، به‌منظور امکان مقایسه بین نتایج، بهره‌وری آب با استفاده از دو روش محاسبه شده است).

مدل SWAT مقدار تبخیر و تعرق را با استفاده از مدل پنمن- مونتیث[1] محاسبه می‌کند. همچنین، مقدار کل آب آبیاری، با توجه به تعداد دفعات آبیاری، دبی آب ورودی و تعداد ساعات آبیاری تعیین شده است (جدول ۱). هرچه نسبت مقدار محصول تولیدشده به حجم آب مصرف‌شده بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده مصرف صحیح‌تر آب است، که به‌صورت شاخص محصول به ازای هر قطره[2] در قالب رابطهٔ زیر تعریف شده است (Ehsani and Khaldi, 2003):

$$CPD_i = \frac{Y_i}{V_i} \quad (۱)$$

که در این رابطه Y_i عملکرد محصول iام (کیلوگرم در هکتار) و V_i حجم آب مصرفی برای محصول iام (مترمکعب در هکتار) است. در منطقه مورد مطالعه، گندم، جو و ذرت دانه‌ای از محصولات عمده زراعی به‌شمار می‌روند؛ از این‌رو، در مطالعهٔ حاضر، این محصولات مورد بررسی قرار گرفته‌اند. همچنین، بهره‌وری آب کشاورزی در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد:

$$CPD = \frac{\sum_{i=1}^{3} Y_i \times A_i}{\sum_{i=1}^{3} V_i \times A_i} \quad (۲)$$

که در آن، i محصول، n=3 شمار محصولات مهم کشت‌شده در منطقه (گندم، جو و ذرت) و A_i سطح زیر کشت محصول iام (هکتار) است؛ همچنین، V_i به‌صورت حاصل‌جمع بهره‌وری آب کشاورزی بر حسب آب آبیاری و بارش مؤثر (CPD_{IP}) و تبخیر و تعرق واقعی (CPD_{ET}) بیان شده است (در مدل SWAT، این محاسبه با استفاده از روش پنمن- مونتیث صورت گرفت). بر اساس استاندارد فائو، تبخیر و تعرق گیاه مرجع عبارت است از میزان آبی

1. Penman-Monteith model
2. Crop per Drop (CPD)

که یک مزرعه پوشیده از گیاه مرجع در یک دوره زمانی مشخص مصرف کند، به‌گونه‌ای که گیاهان این مزرعه در طول دوره رشد با کمبود آب مواجه نشوند (Sharifan et al., 2005).

به‌منظور محاسبه بارندگی (بارش) مؤثر، از روش وزارت کشاورزی ایالات متحده[1] استفاده شد. طبق این روش، مقداری از آب باران که طی دوره رشد یک گیاه دریافت شود و برای مصرف آن گیاه در دسترس قرار گیرد، بارش مؤثر نامیده می‌شود. در این روش، میزان بارندگی مؤثر در طول دوره رشد گیاه، طبق رابطه (۳) محاسبه شد (Sharifan et al., 2005):

$$If: P < 250\ mm.\quad P_{eff} = ({}^{P}/_{125}) \times (125 - 0 \cdot 2P) \qquad (۳)$$

$$If: P>250\ mm.\quad P\text{eff} = 125+0{\cdot}1P$$

که در آن، P_{eff} بارندگی (بارش) مؤثر در طول دوره رشد (mm) و P بارندگی در طول دوره رشد (mm) است.

بعد از محاسبه CDP_{ET} و CPD_{IP} در نظام آبیاری غرقابی و بارانی شبکه آبیاری و زهکشی درودزن، نرخ رشد بهره‌وری در نتیجه تغییر نظام آبیاری محاسبه شد.

مدل SWAT

در مطالعهٔ حاضر، به‌منظور شبیه‌سازی تبخیر و تعرق و نیز عملکرد در اثر تغییر نظام آبیاری، از مدل SWAT واسنجی‌شده (کالیبره) در مطالعات شیخ زین‌الدین و همکاران (Sheikh Zeinoddin et al., 2015) و شیخ زین‌الدین و اسماعیلی (Sheikh Zeinoddin and Esmaeili, 2017) استفاده شد. بدین ترتیب، واسنجی مدل SWAT در سه مرحله شامل انتخاب پارامترها، واسنجی هیدرولوژی و فرآیند موازنه آب و واسنجی عملکرد محصول صورت گرفت. مدل SWAT با استفاده از داده‌های مشاهده‌شدهٔ رواناب ماهانه و عملکرد سالانهٔ

1. United States Department of Agriculture (USDA)

محصولات زراعی واسنجی و اعتبارسنجی شد (Sheikh Zeinoddin and Esmaeili, 2017; Sheikhzeinoddin et al., 2015).

از آنجا که مدل SWAT، به‌طور مستقیم، قادر به شبیه‌سازی تغییر در نظام آبیاری از شیوهٔ سطحی به تحت فشار نیست، بدین منظور، با تغییر در متغیرهای مدیریتی آبیاری شامل عمق آبیاری و تاریخ آبیاری که در مدل SWAT موجود است، به بررسی اثرات تغییر در نظام آبیاری پرداخته شد. به دیگر سخن، به‌منظور محاسبه بهره‌وری آب ناشی از تغییر نظام آبیاری از شیوهٔ سطحی به تحت فشار با تغییر عمق و تاریخ آبیاری (برای محصولات گندم، جو و ذرت دانه‌ای)، شبیه‌سازی عملکرد این محصولات صورت گرفت (Sheikh Zeinoddin and Esmaeili, 2017; Sheikh Zeinoddin et al., 2015). لازم به ذکر است که انتخاب این محصولات به‌دلیل کالیبره شدن مدل SWAT برای این محصولات در مطالعات شیخ زین‌الدین و اسماعیلی (Sheikh Zeinoddin and Esmaeili, 2017) و شیخ زین‌الدین و همکاران (Sheikh Zeinoddin et al., 2015) است. در این مطالعات، اطلاعات مورد نیاز شامل تاریخ کاشت و برداشت، تاریخ و مقدار آبیاری و نیز تاریخ و مقدار مصرف کودهای شیمیایی از طریق تکمیل پرسشنامه از کشاورزان منطقه (در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱) به‌دست آمد. این اطلاعات به‌عنوان متغیرهای مدیریتی وارد مدل SWAT شده و با توجه به آنها، عملکرد محصولات شبیه‌سازی می‌شود. همچنین، شبکه آبیاری و زهکشی درودزن با استفاده از مدل SWAT به زیرحوضه همگن (با استفاده از نوع خاک، نقشه توپوگرافی و شرایط آب‌وهوایی) تقسیم شد.

به‌منظور ارزیابی بهره‌وری آب کشاورزی، دو شاخص CDP_{ET} (بر اساس حجم تبخیر و تعرق واقعی) و CPD_{IP} (بر اساس مجموع آب آبیاری و بارش مؤثر) مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور، بعد از شبیه‌سازی عملکرد و محاسبه تبخیر و تعرق واقعی توسط مدل SWAT و کل آب مصرفی گیاه که از مجموع آب آبیاری و بارش مؤثر به‌دست می‌آید (با استفاده از مدل کالیبره‌شدهٔ SWAT در مطالعات پیش‌گفته)، شاخص بهره‌وری آب برای هر محصول در زیرحوضه‌ها بر اساس نظام آبیاری غرقابی (راندمان چهل درصد) و نظام آبیاری بارانی محاسبه

شد. شایان یادآوری است که سایر شرایط ثابت در نظر گرفته شده و تفاوت عملکرد تنها ناشی از تغییر روش آبیاری از غرقابی به بارانی است.

همچنین، به‌منظور محاسبه تغییرات بهره‌وری آب در نتیجه تغییر در نظام آبیاری، نرخ رشد شاخص بهره‌وری با استفاده از رابطه (۴) به‌دست آمد:

$$GP = (\frac{CDP_{ET}^{B} - CDP_{ET}^{G}}{CDP_{ET}^{G}}) \times 100$$

$$GP = (\frac{CPD_{IP}^{B} - CPD_{IP}^{G}}{CPD_{IP}^{G}}) \times 100 \quad (۴)$$

که در آن، GP نرخ رشد شاخص بهره‌وری و اندیس‌های B و G، به‌ترتیب، بیانگر نظام‌های آبیاری بارانی و غرقابی است.

نتایج و بحث

در جدول ۱، تاریخ کشت و برداشت، حجم آب آبیاری در سناریوهای آبیاری غرقابی و بارانی، تعداد دفعات آبیاری و نیتروژن مصرفی محصولات منتخب (گندم، جو و ذرت دانه‌ای) گزارش شده است. بر اساس اطلاعات این جدول، میزان آب مصرفی در روش‌های آبیاری غرقابی و بارانی و همچنین، تغییر در میزان عملکرد هر کدام از این محصولات قابل مشاهده است.

جدول ۱- حجم آب آبیاری محصولات منتخب بر اساس نظام‌های آبیاری غرقابی و بارانی

	محصول	تاریخ کاشت	تاریخ برداشت	آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)	تعداد دفعات آبیاری	عملکرد (تن در هکتار)	سطح زیرکشت (هکتار)
غرقابی	گندم	۱۵ آبان	۱ تیر	۵۵۰۰	۵	۶/۰۱۱	۳۵۰۶۷
	جو	۲۵ مهر	۱۵ خرداد	۳۸۰۰	۳	۴/۱۷۷	۴۲۸۳
	ذرت	۱۰ تیر	۲۵ مهر	۲۰۰۰۰	۱۰	۵/۷۴	۴۷۴۲
بارانی	گندم	۱۵ آبان	۱ تیر	۲۵۰۰	۵	۵/۳۳۶	۳۵۰۶۷
	جو	۲۵ مهر	۱۵ خرداد	۲۵۰۰	۳	۳/۵۶۳	۴۲۸۳
	ذرت	۱۰ تیر	۲۵ مهر	۱۲۰۰۰	۱۰	۸/۴۳۹	۴۷۴۲

** برای محصولات گندم و جو ۲۵۰۰ مترمکعب در هکتار از آب مورد نیاز گیاه از طریق بارندگی تأمین می‌شود.

مأخذ: یافته‌های پژوهش

شاخص بهره‌وری آب برای هر محصول در اراضی پایین‌دست سد درودزن (محدودهٔ سد دروزن تا پل خان که به ده زیرحوضه همگن تقسیم‌بندی شده است) در نظام‌های آبیاری غرقابی (راندمان چهل درصد) و بارانی در جداول ۲ و ۳ آمده است.

جدول ۲- شاخص بهره‌وری آب زیرحوضه در نظام آبیاری غرقابی

شاخص بهره‌وری آب	زیرحوضه ۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	متوسط
گندم											
CDP_{ET}	۰/۷۰۹	۰/۷۱۷	۰/۷۲۰	۰/۷۰۸	۰/۷۰۸	۰/۷۲۰	۱/۰۲۱	۱/۰۲۲	۱/۰۲۱	۰/۹۸۷	۰/۸۳۳
CPD_{IP}	۰/۵۶۹	۰/۵۷۰	۰/۵۷۱	۰/۵۶۷	۰/۵۶۷	۰/۶۴۹	۰/۹۵۷	۰/۹۵۷	۰/۹۵۷	۰/۷۸۱	۰/۷۱۵
جو											
CDP_{ET}	۰/۵۹۵	۰/۵۹۸	۰/۵۹۹	۰/۵۹۵	۰/۵۹۵	۰/۶۰۸	۰/۷۱۶	۰/۷۱۵	۰/۷۱۶	۰/۷۶۳	۰/۶۵۰
CPD_{IP}	۰/۵۴۶	۰/۵۴۴	۰/۵۴۲	/۵۴۶	۰/۵۴۶	۰/۵۹۲	۰/۷۱۲	۰/۷۱۱	۰/۷۱۲	۰/۶۸۱	۰/۶۱۳
ذرت دانه‌ای											
CDP_{ET}	۰/۶۰۱	۰/۶۱۳	۰/۶۲۴	۰/۶۰۱	۰/۶۰۱	۰/۶۵۳	۰/۴۳۶	۰/۴۳۸	۰/۴۳۶	۰/۴۴۱	۰/۵۴۴
CPD_{IP}	۰/۳۵۹	۰/۳۶۴	۰/۳۷۰	۰/۳۵۹	۰/۳۵۹	۰/۳۶۴	۰/۲۴۷	۰/۲۴۸	۰/۲۴۷	۰/۲۷۱	۰/۳۱۹

مأخذ: یافته‌های پژوهش

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، متوسط شاخص CPD_{IP} برای محصولات گندم، جو و ذرت دانه‌ای در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن، به‌ترتیب، برابر با ۰/۷۱۵، ۰/۶۱۳ و ۰/۳۱۹ کیلوگرم بر متر مکعب است، به‌گونه‌ای که به ازای هر متر مکعب آب آبیاری، حدود ۷۱۵ گرم گندم، ۶۱۳ گرم جو و ۳۱۹ گرم ذرت تولید می‌شود. در مطالعه صادق‌زاده و کشاورز (Sadeghzadeh and Keshavarz, 2000)، متوسط بهره‌وری آب در کشت آبی ۰/۷ کیلوگرم به ازای یک متر مکعب آب آبیاری به‌دست آمد. همچنین، بر پایهٔ نتایج برآورد دروگرز و کیت (Droogers and Kite, 2001)، بهره‌وری مصرف آب در حوضه زاینده‌رود ۰/۴۵ کیلوگرم بر متر مکعب بوده است. در مطالعه متقی و سیدان (Mottaghi and Seyedan, 2019) نیز در سامانه‌های آبیاری سنتی و نوین استان همدان، میانگین بهره‌وری فیزیکی آب برای ذرت دانه‌ای، به‌ترتیب، ۰/۸۲ و ۱/۰۸ و برای ذرت علوفه‌ای، به‌ترتیب، ۵/۱۱ و ۶/۶۷ کیلوگرم بر متر مکعب آب به‌دست آمد. بنابراین، پایین بودن سطح عملکرد محصولات زراعی نسبت به میزان آب مصرف‌شده یا بالا بودن میزان آب مصرفی نسبت به عملکرد محصول منجر به پایین بودن بهره‌وری آب شده است که با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه، بالا بودن میزان آب مصرفی را می‌توان از علل پایین بودن بهره‌وری آب در منطقهٔ مورد مطالعه دانست.

همچنین، با استفاده از نظام آبیاری بارانی، متوسط شاخص CPD_{IP} برای محصولات گندم، جو و ذرت دانه‌ای در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن، به‌ترتیب، برابر با ۰/۹۷۷، ۰/۶۲۷ و ۰/۷۰۳ کیلوگرم بر متر مکعب خواهد شد، به‌گونه‌ای که به ازای هر متر مکعب آب آبیاری، حدود ۹۷۷ گرم گندم، ۶۲۷ گرم جو و ۷۰۳ گرم ذرت تولید می‌شود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، با تغییر نظام آبیاری از غرقابی به بارانی، شاخص بهره‌وری آب برای گندم، جو و ذرت دانه‌ای به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. بنابراین، با استفاده از نظام آبیاری بارانی، بهره‌وری هر متر مکعب آب برای محصول گندم و ذرت، به‌ترتیب، ۳۷ و ۱۲۰ درصد افزایش خواهد یافت، که قابل توجه است. اما، برای محصول جو، به‌دلیل سطح آبیاری پایین در نظام

آبیاری غرقابی در مقایسه با سایر محصولات، با تغییر در نظام آبیاری شاهد افزایش ۲/۲۵۶ درصدی در شاخص بهره‌وری آب خواهیم بود.

جدول ۳- شاخص بهره‌وری آب زیرحوضه در نظام آبیاری بارانی

شاخص بهره‌وری آب	زیرحوضه										متوسط
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	
گندم											
CDP_{ET}	۰/۹۳۶	۰/۹۳۹	۰/۹۴۱	۰/۹۳۶	۰/۹۳۶	۰/۹۱۰	۱/۱۸۹	۱/۱۸۹	۱/۱۸۹	۱/۲۱۱	۱/۰۳۸
CPD_{IP}	۰/۸۵۴	۰/۸۵۰	۰/۸۴۹	۰/۸۵۴	۰/۸۵۴	۰/۸۹۸	۱/۱۹۰	۱/۱۸۸	۱/۱۸۹	۱/۰۴۵	۰/۹۷۷
جو											
CDP_{ET}	۰/۶۰۷	۰/۶۰۶	۰/۶۰۴	۰/۶۰۷	۰/۶۰۷	۰/۵۹۵	۰/۷۲۵	۰/۷۲۴	۰/۷۲۵	۰/۷۹۲	۰/۶۶۵
CPD_{IP}	۰/۵۶۶	۰/۵۶۰	۰/۵۵۶	۰/۵۶۶	۰/۵۶۶	۰/۵۸۴	۰/۷۲۲	۰/۷۲۰	۰/۷۲۲	۰/۷۰۸	۰/۶۲۷
ذرت دانه ای											
CDP_{ET}	۰/۸۲۹	۰/۸۵۳	۰/۸۵۷	۰/۸۲۹	۰/۸۲۹	۰/۹۱۷	۰/۷۰۶	۰/۷۱۵	۰/۷۰۶	۰/۶۵۲	۰/۷۸۹
CPD_{IP}	۰/۷۵۴	۰/۷۷۲	۰/۷۷۴	۰/۷۵۴	۰/۷۵۴	۰/۷۷۷	۰/۶۱۰	۰/۶۱۷	۰/۶۱۰	۰/۶۱۲	۰/۷۰۳

مأخذ: یافته‌های پژوهش

شاخص بهره‌وری آب برای محصولات کشت‌شده در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن و لحاظ‌شده در مدل در جدول ۴ ارائه شده است. مقدار شاخص بهره‌وری در مقیاس منطقه بیانگر نقش الگوی کشت است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در منطقه مورد مطالعه، متوسط شاخص CDP_{ET} در صورت استفاده از نظام آبیاری غرقابی ۰/۷۷۶ کیلوگرم بر متر مکعب خواهد بود؛ به دیگر سخن، به ازای هر متر مکعب آب آبیاری، حدود ۷۷۶ گرم محصول تولید خواهد شد. در مقابل، در صورت استفاده از نظام آبیاری بارانی، می‌توان به ازای هر متر مکعب آب مصرفی، حدود ۹۵۲ گرم محصول تولید کرد. بنابراین، تغییر نظام آبیاری در منطقه مورد مطالعه منجر به افزایش ۱/۲۲۶ برابری شاخص بهره‌وری می‌شود (که حاصل تقسیم بهره‌وری در نظام آبیاری بارانی بر بهره‌وری در نظام آبیاری غرقابی است).

جدول ۴- برآورد شاخص بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن

شاخص بهره‌وری آب	نظام آبیاری غرقابی	نظام آبیاری بارانی	نرخ رشد شاخص بهره‌وری (درصد)
CDP_{ET}	۰/۷۷۶	۰/۹۵۲	۲۲/۶۸
CPD_{IP}	۰/۶۰۶	۰/۸۸۷	۴۶/۳۷

مأخذ: یافته‌های پژوهش

استفاده از نظام آبیاری تحت فشار منجر به افزایش مقدار شاخص بهره‌وری آب در منطقه خواهد شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، این نظام آبیاری توان افزایش شاخص‌های CDP_{ET} و CPD_{IP} را به‌ترتیب، به میزان ۲۳ و ۴۶ درصد داراست. در این شرایط، به ازای هر متر مکعب آب مصرفی، به‌طور متوسط، ۹۰۰ گرم ماده خشک کشاورزی تولید می‌شود، که همچنان نسبت به متوسط جهانی (سه کیلوگرم) پایین است. بنابراین، با توجه به خشکسالی‌های اخیر و بحران آبی موجود، ارتقای بهره‌وری آب آبیاری از طریق تغییر نظام آبیاری از روش‌های سنتی به نوین ضرورت دارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

یافته‌های مطالعهٔ حاضر نشان داد که متوسط شاخص CPD_{IP} برای محصولات بررسی شده با نظام آبیاری غرقابی (شرایط موجود) برابر با ۰/۶۰۶ کیلوگرم در متر مکعب است (به‌ازای هر متر مکعب آب مصرفی، حدود ۶۰۶ گرم محصول). بر اساس گزارش وزارت نیرو، متوسط بهره‌وری آب در ایران و کشورهای پیشرفته، به‌ترتیب، یک و ۲/۵ تا سه کیلوگرم به‌ازای هر متر مکعب آب است (MAJ., 2009). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که بهره‌وری آب کشاورزی نسبت به متوسط جهانی بسیار پایین است و با توجه به بحران آبی موجود، ضرورت توجه به تغییر نظام آبیاری به‌منظور بهبود بهره‌وری بیش از پیش آشکار می‌شود. همچنین، در سایر مطالعات، بهره‌وری آب کشاورزی در کشور حدود ۰/۸۸ کیلوگرم به ازای یک متر مکعب مصرف آب (Keshavarz and Dehghani Sanij, 2012)، متوسط بهره‌وری آب در کشت آبی ۰/۷ کیلوگرم به ازای یک متر مکعب مصرف آب (Sadeghzadeh and

Keshavarz, 2000) و بهره‌وری مصرف آب در حوضه آبریز زاینده‌رود ۰/۴۵ کیلوگرم به ازای یک متر مکعب مصرف آب (Droogers and Kite, 2001) محاسبه شده است. متوسط بهره‌وری آب محصولات گندم، برنج و ذرت در ایران، به‌ترتیب، ۰/۵، ۰/۳۲ و ۰/۴۹ کیلوگرم به ازای یک متر مکعب مصرف آب گزارش شده است (FAO, 2015). همچنین، بر پایهٔ نتایج برآورد کمیته ملّی آبیاری و زهکشی ایران (IRNCID, 2015)، بهره‌وری کل تولید کشاورزی برای سال‌های زراعی ۷۹-۱۳۷۸ و ۸۰-۱۳۷۹، به‌ترتیب، حدود ۰/۶۳ و ۰/۶۶ کیلوگرم به ازای مصرف هر متر مکعب آب بوده است. بنابراین، نتایج مطالعهٔ حاضر با سایر مطالعات انجام‌شده در این زمینه مطابقت داشته و حاکی از پایین بودن بهره‌وری آب کشاورزی کشور است.

افزون بر این، نتایج مطالعهٔ حاضر نشان داد که تغییر نظام آبیاری به بارانی می‌تواند منجر به افزایش شاخص‌های بهره‌وری CDP_{ET} و CPD_{IP}، به‌ترتیب، به مقدار ۲۳ و ۴۶ درصد شود. بنابراین، با اصلاح و تغییر روش‌های آبیاری غرقابی به نظام آبیاری بارانی، می‌توان بهره‌وری آب کشاورزی را بهبود بخشید. در مطالعه احمدزاده و همکاران (Ahmadzadeh et al., 2015) نیز مشخص شد که با تغییر نظام آبیاری از غرقابی به تحت فشار، بهره‌وری آب کشاورزی به میزان پانزده درصد افزایش می‌یابد. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود که سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، برای تغییر الگوی آبیاری از سنّتی به نوین و کاربرد سامانه‌های نوین آبیاری و بهره‌برداری اثربخش از آب، اقدامات و برنامه‌های آموزشی و ترویجی را به‌صورت جدّی در دستور کار خود قرار دهد. بر اساس نتایج مطالعهٔ حاضر، در اثر تغییر در نظام آبیاری از غرقابی به بارانی، بیشترین افزایش بهره‌وری آب کشاورزی، به‌ترتیب، در مورد ذرت دانه‌ای، گندم و جو رخ می‌دهد. از این‌رو، با توجه به حجم بالای آب مصرفی در تولید ذرت دانه‌ای و البته افزایش چشمگیر بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای با تغییر نظام آبیاری، توصیه می‌شود که این محصول در اولویت نخست و پس از آن، به‌ترتیب، گندم و جو در اولویت‌های بعدی قرار گیرند. همچنین، در اجرای طرح‌های آبیاری نوین، نیاز است بخشی از هزینه‌ها از سوی دولت پرداخت شود تا انگیزه‌ای برای اجرای آن باشد.

همچنین، شایسته است که ادارات و سازمان‌های درگیر در اجرای طرح‌های آبیاری نوین الگوی استفاده از افراد و نهادهای اجتماعی از قبیل رهبران محلی، مروجان و شورای اسلامی روستا را در سیاست‌های خود وارد کنند و بیش از پیش، به حمایت‌های محلی و مردمی بها بدهند و از این رهگذر، دانش، آگاهی و نگرش بهره‌برداران را در مورد سامانه‌های آبیاری بارانی ارتقا بخشند. با بررسی پیشینهٔ پژوهش سامانه‌های آبیاری در ایران، مشخص می‌شود که پذیرش این سامانه‌ها به‌کندی صورت گرفته است، به‌گونه‌ای که فقط دو درصد نواحی زیر کشت در کشور بدین سامانه‌ها مجهز شده‌اند (Hassan et al., 2007) و در بسیاری از موارد، حتی پس از نصب این سامانه‌ها، اقدام به جمع‌آوری و بازگشت به روش‌های سنتی آبیاری شده است. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آتی، به بررسی رفتار کشاورزان در مورد دلایل عدم استفاده از سامانه‌های آبیاری بارانی پرداخته شود تا از این طریق، بتوان بدین پرسش پاسخ داد که «چرا بخش قابل توجهی از کشاورزان مورد مطالعه تاکنون اقدام به تغییر نظام آبیاری نکرده‌اند؟».

منابع

1. Abbasi, F., Naseri, A., Sohrab, F., Baghani, J., Abbasi, N. and Akbari, M. (2015). Improvement of water consumption utilization. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Agricultural Engineering Research Institute. (Persian)
2. Ahmadzadeh, H., Morid, S., Delavar, M. and Srinivasan, R. (2015). Using the SWAT model to assess the impacts of changing irrigation from surface to pressurized systems on water productivity and water saving in the Zarrineh Rud catchment. *Journal of Agricultural Water Management*, 175: 15-28. Available at https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.026.
3. Akbari, M. (2004). Improved irrigation management of farms using information integration, farm and SWAP simulation model. Tehran: Tarbiat Modares University. (Persian)

4. Ashraf Vaghefi, S., Abbaspour, K.C., Faramarzi, M., Srinivasan, R. and Arnold, J.G. (2017). Modeling crop water productivity using a coupled SWAT-MODSIM model. *Journal of Water*, 9(3): 157. Available at https://doi.org/10.3390/w9030157.
5. Cai, X., McKinney, D.C. and Rosegrant, M.W. (2003). Sustainability analysis for irrigation water management in the Aral Sea region. *Journal of Agricultural Systems* 76(3): 1043-1066.
6. Droogers, P. and Kite, G.W. (2001). Estimating productivity of water at different spatial scales using simulation modeling. Research Reports 44568, International Water Management Institute (IWMI).
7. Ehsani, M. and Khaledi, H. (2003). Agricultural water productivity. Tehran: Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID). (Persian)
8. FAO (2015). Towards a regional collaborative strategy on sustainable agricultural water management and food security in the Near East and North Africa Region. Cairo, FAO Regional Office for Near East and North Africa. 107 pp. Available at https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rne/docs/LWD-Main-Report-2nd-Edition.pdf.
9. Heidari, N. (2012). Determination and evaluation of water use efficiency of some major crops under farmers management in Iran. *Water and Irrigation Management*, 1(2): 43-57. (Persian)
10. Huang, F. and Li, B. (2010). Assessing grain crop water productivity of China using a hydro-model-coupled-statistics approach: Part I: Method development and validation. *Journal of Agricultural Water Management*, Elsevier, 97(7): 1077-1092.
11. IRNCID (2015). Agricultural water productivity. Tehran: Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID). (Persian)
12. Keshavarz, A. and Dehghani Sanij, H. (2012). Water productivity index and solutions for future agricultural activities in Iran. *Quarterly Journal of Economic Strategy*, 1(1): 199-233. (Persian)
13. Liu, Q., Niu, J., Sivakumar, B., Ding, R. and Li, S. (2021). Accessing future crop yield and crop water productivity over the Heihe River basin in

northwest China under a changing climate. *Geoscience Letters*, 8(1): 1-16. Available at https://doi.org/10.1186/s40562-020-00172-6.

14. MAJ (2009). Productivity of crops in exchange for water consumption in Iran and comparison with other countries of the world. Ministry of Agriculture-Jahad (MAJ),Agricultural Planning, Economics and Rural Development Research Institute (APERDRI). (Persian)
15. Mottaghi, M. and Seyedan, S. (2019). Determination of the physical and economic water productivity for grain and forage corn under modern and traditional irrigation systems in Hamadan province. *Journal of Water Sustainable Development*, 6(1): 1-8. (Persian)
16. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. and Williams, J.R. (2011). Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009. Texas Water Resources Institute Technical Report No. 406. Texas A&M University System.
17. Sadeghzadeh, K. and Keshavarz, A. (2000). Recommendations on optimization of water use efficiency in Iran. Tehran: Agricultural Research,Education and Extension Organization (AREEO), Office for the Production of Extension Programs and Technical Publications. Center for Information and Scientific Documents of Agriculture. (Persian)
18. Sharifan, H., Ghahreman, B., Alizadeh, A. and Mirlotfi, M. (2005). Evaluation of radiation and moisture methods for estimating reference evapotranspiration and effects of air dryness on it in Golestan province. *Journal of Soil and Water Science*, 19(2): 290-290. (Persian)
19. Sheikh Zeinoddin, A. and Esmaeili, A.K. (2017). Ecological and economic impacts of different irrigation and fertilization practices: case study of a watershed in the southern Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 19(6): 2499-2515. DOI: 10.1007/s10668-016-9868-6.
20. Sheikh Zeinoddin, A., Esmaili, A.K. and Noshadi, M. (2016). Impact of irrigation and fertilization management strategies on nitrate leaching: using SWAT model. *Journal of Water and Soil Science (Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 19(74): 141-155. (Persian)

21. Törnqvist, R. and Jarsjö, J. (2012). Water savings through improved irrigation techniques: basin-scale quantification in semi-arid environments. *Water Resources Management*, 26(4): 949-962.
22. Tuong, T.P. and Bouman, B.A.M. (2003) Rice production in water-scarce environments. In: J.W. Kijne, R. Barker and D. Molden (Eds) Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement, CABI Publishing, Wallingford, 53-67.
23. UI Hassan, M., Qureshi, A.S. and Heydari, N. (2007). A proposed framework for irrigation management transfer in Iran: lessons from Asia and Iran. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). 31p. (IWMI Working Paper 118). DOI: 10.3910/2009.299.