

بررسی اقتصادی نقش تغییر سیستم آبیاری بر بهره‌وری آب در شبکه

آبیاری و زهکشی درودزن

حامد دهقانپور^۱، آذر شیخ زین الدین^{۲*}

چکیده

شبکه آبیاری و زهکشی درودزن نقش مهمی در تولید محصولات کشاورزی استان فارس دارد. ولی به دلیل نازل بودن ریزش‌های جوی و برداشت‌های بی‌رویه و غیر اصولی آب با مشکلات جدی مواجه شده است. همچنین نظر به اهمیت آگاهی از مقدار بهره‌وری آب مصرفی در جهت مدیریت منابع آب، مطالعه حاضر، با استفاده از شاخص عملکرد به ازای واحد حجم آب (CPD) به محاسبه بهره‌وری آب کشاورزی در این شبکه آبیاری و زهکشی می‌پردازد؛ و به منظور بررسی اثرات تغییر در سیستم آبیاری از سطحی به تحت فشار بر متغیرهای موجود در شاخص بهره‌وری از مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT) در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ استفاده شد. یافته‌های مطالعه نشان داد، در سیستم کشاورزی شبکه آبیاری و زهکشی درودزن شاخص عملکرد به ازای واحد حجم آب بر حسب حاصل جمع آب آبیاری و بارش مؤثر برابر ۰/۶۰۶ کیلوگرم در مترمکعب می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج تغییر سیستم آبیاری از سطحی به بارانی می‌تواند به ترتیب به افزایش شاخص‌های بهره‌وری بر حسب تبخیر و تعرق واقعی (CDP_{ET}) و شاخص عملکرد به ازای واحد حجم آب بر حسب حاصل جمع آب آبیاری و بارش مؤثر (CPD_{IP}) به مقدار ۲۳ و ۴۶ درصد منجر شود. بنابراین می‌توان بیان کرد، یکی از اقدامات مهم در راستای بهبود بهره‌وری مصرف آب کشاورزی در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن، توسعه سیستم آبیاری بارانی است.

کلید واژه‌ها: سیستم آبیاری بارانی، سیستم آبیاری سطحی، شاخص CPD، SWAT، استان فارس

^۱ دانش آموخته دکتری گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه شیراز

^۲ استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه شیراز (hdehghanpur@gmail.com)

مقدمه

میزان بهره‌وری مصرف آب کشاورزی یکی از شاخص‌های مصرف بهینه آب آبیاری است. از آن جایی که حدود ۹۰ درصد آب کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌شود، ضرورت دارد از طریق افزایش بهره‌وری، سهم کشاورزی را در مصرف آب کاهش داد. 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 اجراء طرح آبیاری تحت فشار (قطره‌ای، بارانی، نواری و...) افزایش بازدهی کاربرد آب در مزارع و باغات و در نهایت صرفه‌جویی در میزان مصرف آب می‌باشد. علاوه 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 این امر کاهش قابل توجه هزینه تولید را در پی خواهد داشت (۱۹).

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 می‌شوند که از راندمان آبیاری کمتری برخوردار هستند. 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 (۱).

از کل آب مصرفی استان فارس، که بالغ بر ۱۰/۸۸۱ میلیارد مترمکعب می‌باشد، بیش از ۹۰ درصد در بخش کشاورزی و بقیه در بخش صنعت و شرب مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این میزان ۸۳ درصد آن از منابع زیرزمینی و ۱۷ 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. برداشت بی‌رویه از این منابع در حال حاضر باعث شده است که اکثر دشت‌های استان با بیلان منفی و افت شدید سطح ایستابی مواجه گردند. این در صورتی است که از همین آب استحصال، استفاده مطلوب و بهینه صورت نمی‌گیرد و بازده آبیاری در استان ۴۰ درصد برآورد گردیده است. به

عبارت دیگر از ۹/۷۹ میلیارد مترمکعب آب که در اختیار بخش کشاورزی قرار می‌گیرد، فقط ۳/۹۱ میلیارد متر مکعب آن مورد استفاده گیاه قرار گرفته و بقیه یعنی ۵/۸۷ میلیارد متر مکعب آن به صورت تلفات از دسترس گیاه خارج می‌شود. تلفات آب نه تنها باعث از دست رفتن آب می‌گردد، بلکه باعث صدمات جدی از قبیل شور و ماندابی شدن^۱ اراضی، فرسایش خاک، کاهش حاصلخیزی خاک، کاهش کمی و کیفی تولیدات کشاورزی و در نهایت منجر به آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود. از این رو، افزایش بهره‌وری آب کشاورزی بحثی راهبردی، فنی و مدیریتی در جهت مدیریت منابع آب است که بایستی مورد توجه قرار گیرد (۱۲).

از سوی دیگر، هر گونه تلاش (به عنوان مثال تغییر سیستم آبیاری) که منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب یا افزایش کارایی و بهره‌وری مصرف آب شود، نیازمند ارزیابی تراز آب در سطح حوضه (به جای سطح مزرعه) می‌باشد. به طور خاص، افزایش سطح آب زیرزمینی و یا افزایش جریانات زیست محیطی در خروجی یک حوضه می‌تواند شاخص خوبی از بهبود در مدیریت کشاورزی صرفه‌جویی آب باشد. یک ابزار ارزیابی که تمام این موارد را مدنظر قرار می‌دهد، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی یکپارچه، است که قادر است به طور همزمان جریانات (سطحی و زیرزمینی) و تبخیر و تعرق را شبیه‌سازی نماید. کای و همکاران^۲ (۶) از یک روش مدلسازی یکپارچه (مدل هیدرولوژیکی و زراعی) استفاده کردند. این روش برای ارزیابی سناریوهای مدیریت حوضه در رودخانه مایپوی شیلی استفاده شد. نتایج مطالعه نشان داد، افزایش کارایی آبیاری در نواحی کشاورزی می‌تواند به صورت منفی جریان رودخانه را از طریق افزایش مصرف آب متأثر کند، اگرچه برداشت واقعی آب ممکن است کاهش یابد.

اکبری (۳) مدیریت آبیاری و کارایی مصرف آب در شبکه آبیاری سمت راست آبشار شهرستان اصفهان را با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای، اندازه‌گیری مزرعه‌ای و مدل شبیه‌سازی^۳ SWAP ارزیابی کرد. بر اساس نتایج وی شاخص کارایی مصرف آب برآورد شده از اطلاعات ماهواره‌ای برابر ۰/۸ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه شد. کارایی مصرف آب محاسبه شده از روش عرضه و تقاضای آب در دهه ۱۳۷۰ بین ۰/۴-۰/۸ کیلوگرم بر متر مکعب و به طور متوسط ۱/۲ کیلوگرم بر متر مکعب بود.

^۱ -تجمع آب

-Cai et al.^۳
- Soil Water Atmosphere Plant^۳

حیدری (۹) در مطالعه خود به تعیین مقدار کارایی مصرف آب محصولات کشاورزی عمده پرداخت. برای این منظور میزان عملکرد محصول اولیه و میزان حجم ناخالص آب آبیاری کاربردی (مترمکعب) برای تولید محصول، تعیین شده و سپس شاخص کارایی مصرف آب محاسبه گردید. بر اساس نتایج حاصله متوسط مقدار شاخص کارایی مصرف آب محصولات زراعی، چغندر قند، سیب زمینی، ذرت علوفه‌ای، پنبه، یونجه، جو، نخود آبی و نیشکر به ترتیب ۰/۷۳، ۴/۵۶، ۲/۱۸، ۵/۵۸، ۰/۷۱، ۱/۴۶، ۰/۵۶، ۰/۱۸ و ۲/۹۴ کیلوگرم محصول بر مترمکعب آب مصرفی اندازه‌گیری گردید. همچنین متوسط وزنی شاخص کارایی مصرف آب کشور ۱/۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب آب محاسبه گردید.

دروگرز^۱ (۷) مدل حوضه آب و شوری (WSBM^۲)، مدل گیاه، هوا، آب و خاک (SWAP)، مدل گیاه، هوا، آب و خاک و مدل نیمه توزیعی فرآیند رواناب مبتنی بر کاربری اراضی (SLURP^۳) را به ترتیب برای تعیین کارایی مصرف آب در حوضه زاینده‌رود ایران و منطقه گدیز^۴ کشور ترکیه به کار برد. کارایی مصرف آب در مقیاس حوضه آبریز برای حوضه‌های مذکور در ایران و ترکیه به ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۱۷ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شد. در این مطالعه دلیل این تفاوت در مقادیر کارایی مصرف آب بین دو حوضه را این گونه بیان نمودند که در ایران از آب عمدتاً برای کشاورزی استفاده می‌شود. در حالی که در ترکیه مقادیر زیادی از آب برای درختان و پوشش سبز که غیر مثمر هستند؛ استفاده می‌شود.

تورنکوئیست و جارجو^۵ (۲۳) یک مدل توزیع آب و هوایی به منظور ارزیابی صرفه جویی آب از طریق روش‌های بهبود آبیاری در سطح حوضه، را توسعه دادند. نتایج این مطالعه نشان داد، تغییر آبیاری سنتی به روش‌های نوین آبیاری مانند آبیاری تحت فشار می‌تواند به حفاظت آب در مقیاس حوضه منجر شود.

احمدزاده و همکاران (۲) در مطالعه خود به بررسی تاثیر تغییر در سیستم آبیاری بر روی بهره‌وری آب کشاورزی پرداختند. برای این منظور از مدل SWAT استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد، تغییر در سیستم آبیاری، بهره-

- Droogers^۱
Water and Salinity Basin Model (WSBM)-^۲
- Semi-Distributed Land Use-based Runoff Processes^۳
- Gediz^۴
- Törnqvist and Jarsjö^۵

وری آب را به میزان ۱۵ درصد در اثر افزایش عملکرد محصول، توزیع بهتر آب و تبخیر و تعرق واقعی بیشتر، افزایش می‌دهد.

هانگ و لی (۱۰) در مطالعه خود با استفاده از مدل SWAT به بررسی آب آبی و آب سبز در مقیاس حوضه پرداخته و با استفاده از مولفه‌های شبیه‌سازی شده به محاسبه بهره‌وری آب (CWP^۱) برای چهار محصول برنج، گندم، ذرت و سویا پرداختند. با مقایسه نتایج به دست آمده از این مطالعه با تحقیقات مشابه این نتیجه حاصل شد که مقادیر شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل SWAT معتبر بوده و از این مدل می‌توان برای ارزیابی بهره‌وری آب کشاورزی در سطح حوضه استفاده نمود.

اشرف واقفی و همکاران (۵) بهره‌وری آب گندم و ذرت آبی در حوضه رودخانه گر را با استفاده از رویکرد مدل‌سازی تلفیقی شامل مدل SWAT و مدل توزیع آب حوضه رودخانه (MODSIM^۲) بررسی کردند. عملکرد گندم و ذرت آبی و آب مصرف شده شبیه‌سازی شده و برای محاسبه بهره‌وری آب مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که بیشترین میزان بهره‌وری آب-محصول (CWP) در این منطقه ۱/۳۱ و ۱/۱۳ کیلوگرم بر مترمکعب برای گندم و ذرت به ترتیب می‌باشد. همچنین کمترین مقدار بهره‌وری آب برای گندم و ذرت به ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب است.

نتایج بررسی مطالعات نشان می‌دهد، تغییر روش‌های آبیاری، با توجه به بهبود مدیریت آبیاری در سطح حوضه، بهره‌وری آب را به میزان قابل توجهی افزایش داده است. از این رو، با توجه به مطالعات اندک انجام شده در مقیاس حوضه، در این مطالعه اثرات استفاده از سیستم آبیاری تحت فشار بر بهره‌وری آب آبیاری ارزیابی شد. از آن جا که حجم آب مصرفی برای محصول بر حسب مترمکعب در هکتار می‌تواند به صورت حاصلجمع آب آبیاری و بارش مؤثر (CPD_{IP}) یا بر حسب تبخیر و تعرق واقعی (CPD_{ET}) بیان شود، برای پرداختن به این موضوع از مدل ارزیابی آب و خاک استفاده گردید (۴). این مدل به منظور ارزیابی بهره‌وری آب در برخی از مطالعات تحقیقاتی استفاده شده است (۲، ۱۰، ۱۴، ۱۵).

^۱ - Crop Water Productivity

^۲ - Decision Support System for Integrated River Basin Management

روش تحقیق

• منطقه مورد مطالعه

شبکه آبیاری و زهکشی درودزن در ۵۰ کیلومتری شمال غربی شهرستان شیراز و در قسمت شمالی دشت رودخانه گر 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 یافته و رودخانه گر تقریباً از مرکز آن عبور می‌نماید. ارتفاع اراضی آن در شمال ۱۶۲۰ متر و در پائین‌ترین نقطه به ۱۵۸۰ متر می‌رسد. نواحی مرتفع منطقه دارای ارتفاع ۲۲۰۰ تا ۲۸۰۰ متر می‌باشند که سد مخزنی درودزن در ارتفاع ۱۶۲۰ متر احداث گردیده است (۱۲).

محدوده مورد مطالعه اراضی زیر سد درودزن تا قبل از پل خان، شبکه آبیاری و زهکشی درودزن می‌باشد. مساحت کل این محدوده برابر ۶۶۸۱۰ هکتار می‌باشد که از این مقدار ۵۴۵۰۰ هکتار زراعی است. حجم آب تحویلی از سد درودزن در این منطقه در یک سال زراعی نرمال حدود ۲۱۳ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد که به کشت گندم و جو اختصاص داده می‌شود. همچنین متوسط مقدار برداشت آب از چاه‌ها حدود ۲۲۸/۵۵ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد (۱۲).

• بهره‌وری آب کشاورزی

شاخص‌های مختلفی برای تعیین بهره‌وری آب وجود دارد. ساده‌ترین روشی که در مزارع کشاورزی برای برآورد بهره‌وری آب یک گیاه می‌توان به کار برد، بهره‌وری فیزیکی آب است. تنگ و بومن^۱ (۲۴) آن را به صورت نسبت مقدار محصول تولید شده به حجم آب مصرف شده تعریف کردند. حجم آب مصرف شده بر حسب مقدار تبخیر و تعرق و یا بر حسب کل آب آبیاری که شامل بارش موثر و مقدار آبیاری می‌باشد (در این مطالعه به منظور امکان مقایسه بین نتایج، بهره‌وری آب با استفاده از دو روش محاسبه شد). مدل SWAT مقدار تبخیر و تعرق را با استفاده از روش پنمن-مونتیت محاسبه می‌نماید. همچنین مقدار کل آب آبیاری، با توجه به تعداد دفعات آبیاری، دبی آب

ورودی و تعداد ساعات آبیاری تعیین شد (جدول (۱)). هر چه نسبت مقدار محصول تولید شده به حجم آب مصرف شده، بزرگتر باشد نشان‌دهنده مصرف صحیح‌تر آب است، که به صورت شاخص محصول به ازای هر قطره (CPD^1) تعریف شده است (۸):

$$CPD_i = \frac{Y_i}{V_i} \quad i=1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

که در این رابطه Y_i عملکرد محصول i ام (کیلوگرم در هکتار) و V_i حجم آب مصرفی برای محصول i ام (مترمکعب در هکتار) است. در منطقه مورد مطالعه، گندم، جو و ذرت دانه‌ای از محصولات عمده زراعی می‌باشند از این رو این محصولات مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

همچنین بهره‌وری آب کشاورزی در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد:

$$CPD = \frac{\sum_{i=1}^4 Y_i \times A_i}{\sum_{i=1}^4 V_i \times A_i} \quad (2)$$

که i محصول، $n=3$ که بیانگر محصولات مهم کشت شده در منطقه (گندم، جو و ذرت) و A_i سطح زیرکشت محصول i ام (هکتار) است. V_i به صورت حاصل جمع آب آبیاری و بارش مؤثر (CPD_{IP}) و نیز بر حسب تبخیر و تعرق واقعی (CPD_{ET}) (در مدل SWAT با استفاده از روش پنمن-مونتیث محاسبه شد) بیان شد. بر اساس استاندارد فائو، تبخیر و تعرق گیاه مرجع عبارت است از میزان آبی که یک مزرعه پوشیده از گیاه مرجع، در یک دوره زمانی مشخص مصرف نماید؛ به طوری که گیاهان این مزرعه در طول دوره رشد با کمبود آب مواجه نشوند (۲۰).

به منظور محاسبه بارندگی مؤثر از روش وزارت کشاورزی ایالات متحده ($USDA^2$) استفاده شد، طبق این روش مقداری از آب باران که در طی دوره رشد یک گیاه دریافت شده و برای مصارف آن در دسترس قرار گیرد، بارش مؤثر نامیده می‌شود. در این روش میزان بارندگی مؤثر در طول دوره رشد گیاه، طبق رابطه (۳) محاسبه شد (۱۸).

$$If: P < 250 \text{ mm. } P_{eff} = (P/125) \times (125 - 0.2P) \quad (3)$$

¹ - Crop Per Drop

² - United States Department of Agriculture

$$If:P>250 \text{ mm. } P_{eff}=125+0.1P$$

در رابطه بالا P_{eff} بارش موثر در طول دوره رشد (mm) و P بارندگی در طول دوره رشد (mm) می‌باشد. بعد از محاسبه CDP_{ET} و CPD_{IP} در سیستم آبیاری غرقابی و بارانی شبکه آبیاری و زهکشی درودزن، نرخ رشد بهره‌وری در نتیجه تغییر سیستم آبیاری محاسبه شد.

• مدل SWAT

در این مطالعه به منظور شبیه‌سازی تبخیر و تعرق و عملکرد در اثر تغییر سیستم آبیاری از مدل SWAT کالیبره و واسنجی شده در مطالعه شیخ‌زین‌الدین و همکاران (۲۱، ۲۲) استفاده شد. 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 مشاهده شده رواناب ماهانه و عملکرد سالانه محصولات زراعی واسنجی و اعتبارسنجی شد (۲۱، ۲۲).

از آنجایی که مدل SWAT به طور مستقیم قادر به شبیه‌سازی تغییر در سیستم آبیاری از سطحی به تحت فشار نیست، برای این منظور با تغییر در متغیرهای مدیریتی آبیاری شامل عمق آبیاری و تاریخ آبیاری که در مدل SWAT موجود می‌باشد، به بررسی اثرات تغییر در سیستم آبیاری پرداخته شد. به عبارت دیگر به منظور محاسبه بهره‌وری آب ناشی از تغییر سیستم آبیاری از سطحی به تحت فشار با تغییر عمق و تاریخ آبیاری (برای محصولات گندم، جو و ذرت دانه‌ای) به شبیه‌سازی عملکرد این محصولات پرداخته شد (۲۱، ۲۲). لازم به ذکر است که انتخاب این محصولات به دلیل کالیبره شدن مدل SWAT برای این محصولات در مطالعه شیخ‌زین‌الدین و همکاران (۲۱، ۲۲) می‌باشد. در مطالعه شیخ‌زین‌الدین و همکاران (۲۱، ۲۲) اطلاعات مورد نیاز شامل تاریخ کاشت و برداشت، تاریخ و مقدار آبیاری، تاریخ و مقدار مصرف کودهای شیمیایی از طریق تکمیل پرسشنامه از کشاورزان منطقه (در سال زراعی ۹۱-۹۲) بدست آمد. این اطلاعات به عنوان متغیرهای مدیریتی وارد مدل SWAT شده و با توجه به آنها عملکرد محصولات شبیه‌سازی می‌گردد. همچنین شبکه آبیاری و زهکشی درودزن با استفاده از مدل SWAT به زیرحوضه همگن (با استفاده از نوع خاک، نقشه توپوگرافی و شرایط آب و هوایی) تقسیم شد.

به منظور ارزیابی بهره‌وری آب کشاورزی، دو شاخص CDPE_T (بر اساس حجم تبخیر و تعرق واقعی) و CPDIP (بر اساس مجموع آب آبیاری و بارش مؤثر) مورد استفاده قرار گرفت. برای این 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 بدست می‌آید (با استفاده از مدل کالیبره شده SWAT در مطالعه شیخ‌زین‌الدین و همکاران (۲۱، ۲۲))، شاخص بهره‌وری آب برای هر محصول در زیرحوضه‌ها تحت سیستم آبیاری غرقابی (راندمان ۴۰ درصد) و سیستم آبیاری بارانی محاسبه شد. لازم به ذکر است که سایر شرایط ثابت در نظر گرفته شده است و تفاوت عملکرد تنها ناشی از تغییر روش آبیاری از غرقابی به آبیاری بارانی می‌باشد.

همچنین به منظور محاسبه تغییرات بهره‌وری آب در نتیجه تغییر در سیستم آبیاری نرخ رشد شاخص بهره‌وری با استفاده از رابطه (۴) بدست آمد:

$$GP = \left(\frac{CDP_{ET}^B - CDP_{ET}^G}{CDP_{ET}^G} \right) \times 100 \quad (4)$$

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

که در این رابطه GP نرخ رشد شاخص بهره‌وری و اندیس‌های B و G به ترتیب بیانگر سیستم آبیاری بارانی و غرقابی می‌باشد.

نتایج و بحث

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

جدول ۱- حجم آب آبیاری محصولات منتخب تحت سیستم آبیاری غرقابی و بارانی

محصول	تاریخ کاشت	تاریخ برداشت	آب آبیاری (متر مکعب 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

منبع: یافته‌های پژوهش * برای محصولات گندم و جو ۲۵۰۰ مترمکعب در هکتار از آب مورد نیاز گیاه توسط بارندگی تامین می‌شود.

در جداول (۲) و (۳) شاخص بهره‌وری آب برای هر محصول در اراضی پائین‌دست سد درودزن (محدوده‌ی سد درودزن تا پل خان که به ده زیرحوضه همگن تقسیم‌بندی شده است) تحت سیستم آبیاری غرقابی (راندمان ۴۰ درصد) و سیستم آبیاری بارانی ارائه شده است.

جدول ۲- شاخص بهره‌وری آب زیرحوضه در سیستم آبیاری غرقابی

شاخص بهره‌وری آب	زیرحوضه									
	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
گندم										
CDP _{ET}	۰/۷۰۹	۰/۷۱۷	۰/۷۲۰	۰/۷۰۸	۰/۷۰۸	۰/۷۲۰	۰/۷۰۸	۰/۷۲۰	۰/۷۱۷	۰/۷۰۹
CPD _{IP}	۰/۵۶۹	۰/۵۷۰	۰/۵۷۱	۰/۵۶۷	۰/۵۶۷	۰/۶۴۹	۰/۵۶۷	۰/۵۶۷	۰/۵۷۰	۰/۵۶۹
جو										
CDP _{ET}	۰/۵۹۵	۰/۵۹۸	۰/۵۹۹	۰/۵۹۵	۰/۵۹۵	۰/۶۰۸	۰/۵۹۵	۰/۵۹۹	۰/۵۹۸	۰/۵۹۵
CPD _{IP}	۰/۵۴۶	۰/۵۴۴	۰/۵۴۲	۰/۵۴۶	۰/۵۴۶	۰/۵۹۲	۰/۵۴۶	۰/۵۴۲	۰/۵۴۴	۰/۵۴۶
ذرت دانه ای										
CDP _{ET}	۰/۶۰۱	۰/۶۱۳	۰/۶۲۴	۰/۶۰۱	۰/۶۰۱	۰/۶۰۱	۰/۶۰۱	۰/۶۲۴	۰/۶۱۳	۰/۶۰۱
CPD _{IP}	۰/۳۵۹	۰/۳۶۴	۰/۳۷۰	۰/۳۵۹	۰/۳۵۹	۰/۳۶۴	۰/۳۵۹	۰/۳۷۰	۰/۳۶۴	۰/۳۵۹

ماخذ: یافته‌های تحقیق

بر اساس نتایج به دست آمده متوسط شاخص CPD_{IP} برای محصولات گندم، جو و ذرت دانه‌ای در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن به ترتیب برابر ۰/۷۱۵، ۰/۶۱۳ و ۰/۳۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد، به طوری که به ازای هر یک متر مکعب آب آبیاری حدود ۷۱۵ گرم گندم، ۶۱۳ گرم جو و ۳۱۹ گرم ذرت تولید می‌شود. در مطالعه صادق-زاده و کشاورز (۱۹) متوسط بهره‌وری آب در کشت آبی ۰/۷ کیلوگرم به ازای یک مترمکعب آب آبیاری به دست آمد. همچنین دروگرز (۷) بهره‌وری مصرف آب در حوضه زاینده رود را ۰/۴۵ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد نمود. بنابراین، پایین بودن سطح عملکرد محصولات زراعی نسبت به میزان آب مصرف شده یا بالا بودن میزان آب مصرفی نسبت به

عملکرد محصول، منجر به پایین بودن بهره‌وری آب شده است که با توجه به نتایج بدست آمده در این مطالعه بالا بودن میزان آب مصرفی را می‌توان از علل پایین بودن بهره‌وری آب در این منطقه ذکر نمود.

جدول ۳- شاخص بهره‌وری آب زیرحوضه در سیستم آبیاری بارانی

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

ماخذ: یافته‌های تحقیق

همچنین با استفاده از سیستم آبیاری بارانی، متوسط شاخص CPD_{IP} برای محصولات گندم، جو و ذرت دانه‌ای در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن به ترتیب برابر ۰/۹۷۷، ۰/۶۲۷ و ۰/۷۰۳ کیلوگرم بر متر مکعب خواهد شد، به طوری 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 بدست آمده با تغییر سیستم آبیاری از غرقابی به بارانی شاخص بهره‌وری آب برای گندم، جو و ذرت دانه‌ای به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. بنابراین با استفاده از سیستم آبیاری بارانی بهره‌وری هر مترمکعب آب برای محصول گندم و ذرت به ترتیب ۳۷ و ۱۲۰ درصد افزایش خواهد یافت، که قابل توجه می‌باشد. اما، برای محصول جو به دلیل سطح آبیاری پائین در سیستم آبیاری غرقابی در مقایسه با سایر محصولات، با تغییر در سیستم آبیاری شاهد افزایش ۲/۲۵۶ درصدی در شاخص بهره‌وری آب می‌باشیم.

در جدول (۴) شاخص بهره‌وری آب برای محصولات کشت شده در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن و لحاظ شده در مدل ارائه شده است. مقدار شاخص بهره‌وری در مقیاس منطقه بیانگر نقش الگوی کشت می‌باشد. بر اساس نتایج بدست آمده در منطقه مورد مطالعه متوسط شاخص CDP_{ET} در صورت استفاده از سیستم آبیاری غرقابی ۰/۷۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب خواهد بود یعنی به ازای هر مترمکعب آب آبیاری حدود ۷۷۶ گرم محصول تولید خواهد شد. در مقابل در صورت استفاده از سیستم آبیاری بارانی می‌توان به ازای هر مترمکعب آب مصرفی حدود ۹۵۲ گرم

محصول تولید نمود. بنابراین تغییر سیستم آبیاری در منطقه مورد مطالعه منجر به افزایش ۱/۲۲۶ (حاصل تقسیم بهره‌وری در سیستم آبیاری بارانی بر بهره‌وری در سیستم آبیاری غرقابی) برابری شاخص بهره‌وری می‌گردد.

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

شاخص بهره‌وری آب	سیستم آبیاری غرقابی	سیستم آبیاری بارانی	نرخ رشد شاخص بهره‌وری (درصد)
CDP _{ET}	۰/۷۷۶	۰/۹۵۲	۲۲/۶۸
CPD _{IP}	۰/۶۰۶	۰/۸۸۷	۴۶/۳۷

ماخذ: یافته‌های تحقیق

استفاده از سیستم آبیاری تحت فشار منجر به افزایش مقدار شاخص بهره‌وری آب در منطقه خواهد شد. بر اساس نتایج به دست آمده این سیستم آبیاری پتانسیل بالقوه برای افزایش شاخص‌های CDP_{ET} و CPD_{IP} را به میزان ۲۳ و ۴۶ درصد را دارد. در این شرایط به ازای هر مترمکعب آب مصرفی به طور متوسط ۹۰۰ گرم ماده خشک کشاورزی تولید می‌شود که همچنان نسبت به متوسط جهانی (سه کیلوگرم) پائین است. بنابراین با توجه به خشکسالی‌های اخیر و بحران آبی موجود ضروری است تا بهره‌وری آب آبیاری را از طریق تغییر سیستم آبیاری از روش‌های سنتی به مدرن ارتقاء دهیم.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

یافته‌های این مطالعه نشان داد که متوسط شاخص CPDI_P برای محصولات بررسی شده با سیستم آبیاری غرقابی (شرایط موجود) برابر با ۰/۶۰۶ کیلوگرم در مترمکعب می‌باشد (به ازای هر متر مکعب آب مصرفی حدود ۶۰۶ گرم محصول). بر اساس گزارش وزارت نیرو متوسط بهره‌وری آب در ایران و کشورهای پیشرفته به ترتیب ۱ و ۲/۵ تا ۳ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب است (۱۷). بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که بهره‌وری آب کشاورزی نسبت به متوسط جهانی بسیار پایین می‌باشد و با توجه به بحران آبی موجود، ضرورت توجه به تغییر سیستم آبیاری به منظور بهبود بهره‌وری بیش از پیش آشکار می‌گردد. همچنین در سایر مطالعات، بهره‌وری آب کشاورزی در کشور حدود ۰/۸۸ کیلوگرم به ازای یک مترمکعب مصرف آب (۱۶)، متوسط بهره‌وری آب در کشت آبی ۰/۷ کیلوگرم به ازای یک مترمکعب مصرف آب (۱۹)، بهره‌وری مصرف آب در حوضه آبریز زاینده رود ۰/۴۵ کیلوگرم به ازای یک مترمکعب مصرف آب (۷)، محاسبه شده است. متوسط بهره‌وری آب گندم، برنج و ذرت در ایران، ۰/۵، ۰/۳۲ و ۰/۴۹ به ترتیب گزارش شده است (۱۳). کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران (۱۱) بهره‌وری کل تولید کشاورزی را برای سال زراعی ۱۳۷۸-۷۹ و ۱۳۷۹-۸۰ حدود ۰/۶۳ و ۰/۶۶ کیلوگرم به ازای مصرف هر مترمکعب آب بدست آورده است. بنابراین نتایج بدست آمده در این مطالعه با سایر مطالعات انجام شده در این زمینه مطابقت داشته و حاکی از پایین بودن بهره‌وری آب کشاورزی می‌باشد.

نتایج این مطالعه نشان داد که تغییر سیستم آبیاری به بارانی می‌تواند منجر به افزایش شاخص‌های بهره‌وری CDP_{ET} و CPDI_P به مقدار ۲۳ و ۴۶ درصد به ترتیب شود. بنابراین با اصلاح و تغییر روش‌های آبیاری غرقابی به سیستم آبیاری بارانی می‌تواند بهره‌وری آب کشاورزی را افزایش دهد. در مطالعه احمدزاده و همکاران (۲) نیز مشخص شد که با تغییر سیستم آبیاری از غرقابی به تحت فشار بهره‌وری آب کشاورزی به میزان ۱۵٪ افزایش می‌یابد. از این رو پیشنهاد می‌شود سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، برای تغییر الگوی آبیاری از سنتی به مدرن و کاربرد سیستم‌های نوین آبیاری و بهره‌برداری اثربخش از آب، اقدامات و برنامه‌های آموزشی و ترویجی را به

صورت جدی در دستور کار خود قرار دهد. بر اساس نتایج این مطالعه در اثر تغییر در سیستم آبیاری از غرقابی به بارانی بیشترین افزایش بهره‌وری به ترتیب در مورد ذرت دانه‌ای، گندم و جو رخ می‌دهد. از این‌رو توصیه می‌شود با توجه به حجم بالای آب مصرفی در تولید ذرت دانه‌ای و افزایش قابل توجه بهره‌وری این محصول با تغییر سیستم آبیاری، این محصول در اولویت نخست قرار گیرد. بعد از این محصول، به ترتیب گندم و جو در اولویت‌های بعدی قرار گیرند. همچنین نیاز است در اجرای طرح‌های آبیاری نوین بخشی از هزینه‌ها از سوی دولت پرداخت شود تا انگیزه‌ای برای اجرای آن باشد.

همچنین ادارات و سازمان‌های دخیل در این امر، باید 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 بهتر است که با استفاده از این حربه، دانش، آگاهی و نگرش بهره‌برداران را در مورد سیستم‌های آبیاری بارانی، ارتقا بخشند. با بررسی مطالعات نشر سیستم‌های آبیاری در ایران مشخص می‌شود که پذیرش این سیستم‌ها به کندی صورت گرفته، به طوری که فقط ۲ درصد نواحی زیرکشت در ایران به این سیستم‌ها مجهز شده‌اند (Hassan et al., 2007) و حتی در بسیاری از موارد، حتی پس از نصب این سیستم‌ها اقدام به جمع آوری و بازگشت به روش‌های سنتی آبیاری کرده‌اند. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات رفتار کشاورزان در مورد دلایل عدم استفاده از سیستم‌های آبیاری بارانی پرداخته شود تا از این طریق بتوان به این پرسش پاسخ داد که "چرا بخش قابل توجهی از کشاورزان مورد مطالعه تاکنون اقدام به تغییر سیستم آبیاری نکردند."

منابع

- Abbasi, F., Naseri, A., Sohrab, F., Baghani, J., Abbasi, N., and Akbari, M. (1394). Improvement of Water Consumption Utilization, Agricultural Engineering Research Institute. Research Organization, Education and Agricultural Promotion. (Persian)
- 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, Agricultural Water Management. Page 1-14.

- Akbari, M. (1383). Improved irrigation management of farms using information integration, farm and SWAP simulation model. PhD in Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran. (Persian)
- Arnold, J.G., Srinivasan, P., Muttiah, R.S. and Williams, J.R., (1998). Large area hydrologic modelling and assessment. Part I. Model development. *J. Am. Water Resource. Assoc.* 34, pp. 73–89.
- 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. *Water*, 9(3), 157.
- Cai, X., McKinney, D.C. and Rosegrant, M.W., (2003). Sustainability analysis for irrigation water management in the Aral Sea region. *Agric. Syst.* 76, pp. 1043–1066.
- Droogers, P. (2001). Simulation models to assess water productivity at different scales. IWMI, P.O.Box 2075, Colombo, Sri-Lanka.
- Ehsani, M. and Khaldi, H. (1382). Agricultural water productivity. Iranian Irrigation and Drainage Committee. (Persian)
- Heidari, N. (1390). Determination and Evaluation of Water Use Efficiency Index of Agricultural Crop by Farmers in the Country, *Journal of Water Management and Irrigation*, No. 2, pp. 57-43. (Persian)
- Hassan, M. U., Qureshi, A. S., and Heydari, N. (2007). A proposed framework for irrigation management transfer in Iran: Lessons from Asia and Iran
- 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. *Agric. Water Manage.* 97, pp. 1077–1092.
- Irrigation and Drainage National Committee, Working Group Irrigation Field; Agricultural Water Productivity, 2003.
- <http://www.frrw.ir/>, Regional Water Company (Persian)
- <http://www.FAO.org/>, reports.
- Immerzeel, W., Gaur, A. and Zwart, S., (2008). Integrating remote sensing and a process-based hydrological model to evaluate water use and productivity in a south Indian catchment. *Agric. Water Manage.* 95, pp. 11–24.
- Kaushal, K., Luna, B., Anju, G., Biju, G., Sreedhar, A., Kiran, J. and Narasimhan, B., (2011). Spatial mapping of agricultural water productivity using SWAT model in Upper Bhima Catchment, India. *Irrig. Drain.*, <http://dx.doi.org/10.1002/ird.618>.
- Keshavarz, A. and Dehghani, H., (1391). Water productivity index and future agricultural strategy of the country. *Quarterly Journal of Economic Strategy*. Pp. 199-233. (Persian)
- Ministry of Jihad-Agriculture, Institute for Planning Research, Economics and Development Rural, (1388). Productivity of crops in exchange for water consumption in Iran and comparison with countries World

Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. and Williams, J.R., (2002b). Soil and Water Assessment Tool User's Manual, Version 2000. Available at <http://www.brc.tamus.edu/swat/downloads/doc/swatuserman.pdf>. Accessed in May 2005.

- Sadeghzadeh, K. and Keshavarz, A. (1379). Recommendations on optimization of water use efficiency in the country, Agricultural Education Publishing Publishers. pp. 32. (Persian)
- Sharifan, H., Ghahreman, B., Alizadeh, A. and Mirlotfi, M., (1384). 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*, Issue 19, pp. 280-290. (Persian)
- Sheikhzeinoddin, A., Esmaili, A.K. and Noshadi, M. (1394). The Effects of Irrigation and Fertilizer Management Strategies on Nitrogen Loss: Using the SWAT Model, *Journal of Water*

and Soil Science (Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources), Issue 74, pp. 155-141. (Persian)

Sheikhzeinoddin, A. and Esmaili, 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*, Vol. 19, pp 2499-2515.

Törnqvist, R. and Jarsjö, J., (2012). Water savings through improved irrigation techniques: basin-scale quantification in semi-arid environments. *Water Resour. Manage.* 26 (4), pp. 949–962.

Tuong, T. and Bouman, B., (2003). Rice production in water-scarce environments. In: *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CABI Publishing, Wallingford (UK), pp. 53–67.

Zwart, S.J., (2010). Benchmarking water productivity in agriculture and the scope for improvement. *Technische University Delft*, pp. 121.