

## مقاله علمی - پژوهشی

# ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری آب در استان‌های عمده تولیدکننده برنج در ایران

گلناز رضایی<sup>۱</sup>، محمدرضا خالدیان<sup>۲\*</sup>، محمد کاوسی کلاشمی<sup>۳</sup>، مجتبی رضایی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۸

## چکیده

خشک‌سالی و کم‌آبی در ایران یک واقعیت اقلیمی است و با توجه به روند روزافزون نیاز بخش‌های مختلف به آب، مشکل کم‌آبی در سال‌های آینده پایداری کشت برخی محصولات راهبردی با نیاز آبیاری بالا را تهدید می‌کند. برنج نیاز آبیاری بالایی دارد و با توجه به محدودیت منابع آب در کشور، بهترین راهکار صرفه‌جویی در مصرف آب، بهبود بهره‌وری آن است. در مطالعه حاضر شاخص‌های بهره‌وری آب در تولید محصول برنج شامل: عملکرد به ازای واحد حجم آب مصرفی، سود خالص و سود ناخالص به ازای واحد مصرف آب را برای چهار استان مهم تولیدکننده این محصول شامل گیلان، مازندران، خوزستان و فارس مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا، از داده‌های مقطعی سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ طرح هزینه تولید برنج وزارت جهاد کشاورزی که به روش نمونه‌گیری خوشه‌ای از برنج‌کاران هر استان جمع‌آوری و نیاز آبی برنج در این استان‌ها از طریق سنجش‌ازدور برآورد شد. نتایج شاخص عملکرد به ازای واحد نیاز آبی نشان داد استان مازندران و گیلان به ترتیب با میانگین ۰/۹۹ و ۰/۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب به ترتیب بیشترین مقدار بهره‌وری آب را دارا می‌باشند. استان‌های فارس و خوزستان نیز به ترتیب با میانگین ۰/۶۵ و ۰/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب در رتبه سوم و چهارم قرار دارند. نتایج شاخص سود خالص به ازای آب مصرفی نشان داد که استان گیلان و مازندران به ترتیب با میانگین ۹۳۱۰ و ۶۵۹۰ ریال بر مترمکعب بیشترین مقدار این شاخص را دارا می‌باشند. با توجه به نتایج مطالعه حاضر، توصیه می‌شود کشت برنج در استان‌های خوزستان و فارس به‌خصوص در سال‌های کم‌آب محدود شود.

واژه‌های کلیدی: آب مجازی، سنجش‌ازدور، سود خالص، عملکرد، نیاز آبی

## مقدمه

آبیاری به همراه افزایش تولید محصولات کشاورزی است. افزایش بهره‌وری آب معمولاً در شرایطی بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد که بهره‌وری آب پایین است و بهبود آن می‌تواند سبب افزایش تولید و رونق کشاورزی شود. همچنین، درجایی که محدودیت منابع آب وجود دارد و تقاضا برای آب زیاد است، بررسی بهره‌وری می‌تواند در تخصیص بهینه آب اثرگذار باشد. واژه آب مجازی، آب، غذا و تجارت را به یکدیگر پیوند می‌زند و عکس بهره‌وری مصرف آب می‌باشد. درمودی و همکاران دلیل قدرت برخی از کشورها نظیر روم را در مدیریت منابع آب در دوران ماقبل صنعتی، شیوه آبیاری و تجارت آب مجازی با ایجاد ثبات اجتماعی - اقتصادی دانستند (Dermody et al., 2014). زارع ایبانه و همکاران (۱۳۹۴) به ارزیابی حجم آب مجازی مبادلاتی محصولات عمده زراعی استان همدان پرداختند. محاسبات نشان داد در دوره ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ به‌طور میانگین ۱۹۵۴۷ میلیون ریال آب به خارج از استان صادر شده است. بنابراین با در نظر گرفتن سیاست‌های مناسب بایستی از صادرات حجم زیادی از منابع آب به‌صورت مجازی جلوگیری کرد.

کشور ایران در سال ۲۰۲۵ جزء کشورهای با بحران آب خواهد بود. نگاهی به شاخص متوسط سرانه منابع آب تجدید پذیر نشان‌دهنده کاهش آن از ۵۵۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۴۰ به کمتر از ۱۳۰۰ مترمکعب در سال ۱۴۰۴ خواهد رسید (محمدجانی و یزدانیان، ۱۳۹۳). مفهوم اساسی بهره‌وری آب کشاورزی، مصرف درست آب

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، گیلان، ایران
- ۲- دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان و گروه پژوهشی مهندسی آب و محیط‌زیست پژوهشکده حوزه آبی دریای خزر، رشت، ایران
- ۳- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، گیلان، ایران
- ۴- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

\* - نویسنده مسئول: (Email: khaledian@guilan.ac.ir)

DOR: 20.1001.1.20087942.1400.15.3.13.7

۶/۴۸ درصد از کل سطح برداشت غلات می‌باشد. استان مازندران با ۳۸/۵ درصد از سطح برداشت اراضی زیر کشت برنج مقام نخست کشور را داشته و استان گیلان نیز با برداشت ۳۰/۵۴ درصد از اراضی شالی‌کاری کشور در جایگاه دوم قرار گرفته است. این دو استان در مجموع ۶۹/۰۹ درصد از سطح برداشت انواع شلتوک کشور را داشتند. استان‌های خوزستان با ۱۰/۱۲ و فارس با ۴/۸۵ درصد از کل سطح برداشت اراضی شالی‌کاری کشور را به خود اختصاص دادند. استان‌های مازندران، گیلان، فارس و خوزستان جمعاً ۸۴ درصد از سطح اراضی برنج‌خیز کشور را به خود اختصاص دادند و سهم سایر استان‌های برنج‌خیز کشور ۱۶ درصد بود.

بررسی شاخص‌های بهره‌وری آب در سامانه‌های تولید شلتوک استان‌های عمده تولیدکننده کمک شایان توجهی در بهبود تصمیم‌سازی‌ها برای اولویت‌دهی کشت برنج در کشور و تخصیص منابع آب کمیاب در بخش کشاورزی فراهم می‌نماید. با توجه به ضرورت بیان‌شده در خصوص ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری آب و با توجه به منابع علمی بررسی‌شده می‌توان شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی را محاسبه کرد. برای به دست آوردن شاخص‌های بهره‌وری می‌توان شاخص بهره‌وری فیزیکی یعنی عملکرد به ازای واحد حجم آب مصرفی (CPD<sup>۱</sup>) و شاخص‌های اقتصادی شامل سود ناخالص به ازای واحد مصرف آب (BPD<sup>۲</sup>) و سود خالص به ازای واحد مصرف آب (NBPD<sup>۳</sup>) را محاسبه کرد. در مطالعه حاضر علاوه بر شاخص‌های بهره‌وری، شاخص آب مجازی (VW<sup>۴</sup>) نیز محاسبه شد. اهمیت بالا بردن بهره‌وری آب آبیاری در کشت محصول برنج با توجه به محدود بودن منابع آب آبیاری، امری ضروری می‌باشد. با توجه به سطح بالای تولید برنج در استان‌های مازندران، گیلان، خوزستان و فارس (در دسترس بودن اطلاعات) و مصرف بالای آب آبیاری برای کشت برنج و با توجه به اهمیت بهره‌وری آب کشاورزی، هدف از انجام این مطالعه تعیین و مقایسه بهره‌وری آب برنج در چهار استان عمده تولیدکننده برنج می‌باشد، تا با مقایسه بهره‌وری آب در آن‌ها، مناطق مناسب کشت برنج از دیدگاه بهره‌وری آب تعیین شوند.

### مواد و روش‌ها

برای مقایسه شاخص‌های فیزیکی و اقتصادی بهره‌وری آب در چهار استان عمده تولیدکننده برنج از داده‌های مقطعی سال ۱۳۹۳-۹۴ (داده‌های مقطعی یعنی داده‌هایی که در یک مقطع زمانی از تعدادی عامل اقتصادی جمع‌آوری می‌شود) و اطلاعات میدانی مربوط به ۵۴۴

نتایج مطالعه صداقت و همکاران (۱۳۹۳) در مورد بهره‌وری آب برنج در شهرستان آمل نشان داد بهره‌وری آب آبیاری ۱/۰۴ کیلوگرم بر مترمکعب و بهره‌وری آب آبیاری به‌علاوه بارش ۰/۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب بود. عباسی و سپاسخواه در آزمایشی در شیراز نشان دادند که بهره‌وری آب برنج رقم دوروزن ۰/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب بیش‌ترین و ارقام کراس دم‌سیاه و عنبربو-۲۲ با بهره‌وری ۰/۴۰ و ۰/۳۱ کیلوگرم بر مترمکعب به ترتیب در رتبه دوم و سوم قرار دارند (Abbasi and Sepaskhah, 2011). نتایج مطالعه احمدی کلیجی و امین روان (۱۳۹۱) در بررسی وضعیت بهره‌وری آب برنج در استان مازندران نشان داد که مقدار متوسط مصرف آب نسبت به مقدار پیشنهادشده بالاست. همچنین مقدار بهره‌وری آب برای این استان برای برنج دانه بلند پر محصول، دانه بلند، دانه متوسط و دانه کوتاه به ترتیب ۰/۵۳۶، ۰/۳۱۶، ۰/۳۰۳ و ۰/۱۸۴ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد.

سوجونو و رودریک و همکاران در روند بررسی مصرف و بهره‌وری آب آبیاری برنج به این نتیجه دست یافتند که مدیریت‌های مختلف آبیاری نقش بسیار مهمی در صرفه‌جویی مصرف آب و بهره‌وری آب آبیاری دارند (Roderic et al., 2011; Sujono, 2010). نتایج پژوهشی در چین نشان داد که روند فعلی تغییرات آب و هوایی و افزایش غلظت CO<sub>2</sub>، به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک باعث کاهش بهره‌وری آب می‌شود (Liu et al., 2020). در پژوهشی دیگر نقش مدیریت در آبیاری و حفاظت از خاک موردبررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد با آبیاری بهینه و حفاظت از خاک می‌توان عملکرد و بهره‌وری را بین ۳۰ تا ۵۰ درصد افزایش داد (Chibarabada et al., 2019). در کشور اروگوئه پژوهشی روی برنج انجام شد که هدف از این پژوهش تعیین تکنیک‌هایی بود تا بتوان با کاهش آب ورودی به مزرعه بدون تأثیر منفی روی عملکرد محصول، بهره‌وری آب را افزایش داد. نتایج نشان داد با این تکنیک بهره‌وری آب بین ۲۳ تا ۶۲ درصد افزایش می‌یابد (Carracelas et al., 2019).

طبق آمارنامه جهاد کشاورزی (۱۳۹۴)، میزان تولید شلتوک کشور حدود ۲/۳ میلیون تن برآورد شده که معادل ۳/۰۵ درصد از کل میزان تولید محصولات زراعی و ۱۲/۸۷ درصد از کل میزان تولید غلات می‌باشد که ۴۱/۷۳ درصد آن توسط شالی‌کاران مازندرانی و ۲۶/۵ درصد توسط شالی‌کاران گیلانی تولید شد. در مجموع ۶۸/۲ درصد از تولید شلتوک کشور متعلق به این دو استان می‌باشد. سه استان خوزستان با ۱۰/۲۴، گلستان با ۹ و فارس با ۵/۷۲ درصد نیز مقام‌های سوم تا پنجم تولید شلتوک در کشور را دارند. طبق آمارنامه جهاد کشاورزی (۱۳۹۴)، در سال زراعی ۱۳۹۳-۹۴ (سال زراعی این مطالعه) سطح زیر کشت برنج در کشور حدود ۵۳۰ هزار هکتار برآورد شده که معادل ۴/۶۶ درصد کل سطح زیر کشت محصولات زراعی و

- 1- Crop Per Drop
- 2- Benfit Per Drop
- 3- Net Benfit Per Drop
- 4- Virtual Water

**ج- سود خالص به ازای واحد نیاز آبی**

شاید بتوان گفت که یکی از بهترین شاخص‌ها برای سنجش بهره‌وری اقتصادی آب کشاورزی، سود خالص در حجم نیاز آبی (NBPD) است. در این روش برخلاف روش قبل به‌جای در نظر گرفتن سود ناخالص در صورت کسر، میزان سود خالص در صورت کسر قرار می‌گیرد و از رابطه ۳ قابل محاسبه است (صافی و میر لطیفی، ۱۳۹۴).

$$NBPD = \frac{\text{سود خالص}}{\text{نیاز آبی}} \quad (۳)$$

**د- آب مجازی (VW)**

مقدار آب مجازی از تقسیم مقدار نیاز آبی بر مقدار محصول تولید شده طبق رابطه ۴ به دست می‌آید (Shi and Zhan, 2015).

$$VW = \frac{\text{آبی نیاز}}{\text{مقدار محصول تولید شده}} \quad (۴)$$

برای مقایسه آماری شاخص‌های بهره‌وری آب از آزمون تجزیه و تحلیل واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس روش LSD در نرم‌افزار SPSS ویرایش ۲۱ استفاده شد.

**نتایج و بحث**

متوسط و انحراف معیار مصرف نهاده‌ها و عملکرد شلتوک برای شالیزارهای مورد مطالعه در چهار استان مورد بررسی در جدول (۱) ارائه شد. بیشترین عملکرد را استان فارس با میانگین ۴۱۸۷/۶۱ کیلوگرم بر هکتار و کمترین عملکرد را استان خوزستان با میانگین ۳۳۷۰/۴۱ کیلوگرم بر هکتار داشت.

با توجه به متوسط هزینه و درآمد و نیاز آبی ارائه شده در جدول (۲) استان گیلان با نیاز آبی ۴۲۳۰ مترمکعب در هکتار دارای بیشترین درآمد با میانگین ۹۳۱۷۴۶۴ تومان در هکتار و بیشترین هزینه با میانگین ۵۳۸۰۴۴۸ تومان در هکتار می‌باشد. استان فارس با داشتن نیاز آبی به مقدار ۶۳۶۰ مترمکعب در هکتار دارای کمترین درآمد با میانگین ۴۱/۸۸ میلیون ریال در هکتار می‌باشد.

آنالیز واریانس نشان داد که اختلاف آماری شاخص‌های مختلف بهره‌وری آب در استان‌های مورد مطالعه معنی‌دار است. نتایج حاصل از آزمون آنوا در جدول (۳) آورده شده است.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از جداول ۱ تا ۳ برای درک بهتر نتایج نمودار شاخص CPD در شکل (۱) ارائه شده است. در این راستا استان مازندران با میانگین ۰/۹۹ کیلوگرم بر مترمکعب بیشترین بهره‌وری آب را دارد و بعد از استان مازندران، استان گیلان با میانگین ۰/۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب دارای بیشترین بهره‌وری آب است. استان

۵۴۴ و ۱۷۲ و ۲۱۴ شالی‌کار به ترتیب در استان‌های گیلان، مازندران، خوزستان و فارس شامل مقدار مصرف نهاده‌ها، مقدار تولید، هزینه و ارزش تولید استفاده شد. این سری اطلاعات در قالب طرح هزینه‌ی تولید برنج وزارت جهاد کشاورزی از شالی‌کاران این استان‌ها به روش نمونه‌گیری خوشه‌ای جمع‌آوری شد. روش آبیاری در اراضی مورد مطالعه، آبیاری کرتی بود.

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، حذف مشاهدات پرت (به لحاظ مصرف نهاده‌ها و عملکرد) با استفاده از نتایج نمودار باکس صورت گرفت. تعداد شالیزارهای باقی‌مانده در استان گیلان، مازندران، خوزستان و فارس به ترتیب ۳۵۴، ۱۸۸، ۸۱ و ۱۵۹ مورد بود. هرچند بخشی از داده‌های اولیه حذف شده است، ولی با توجه به حجم بالای داده‌های اولیه کماکان تعداد داده کافی برای انجام محاسبات باقی می‌ماند.

در این پژوهش برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی در دوره رشد برنج از محصول تبخیر-تعرق واقعی (نیاز آبی) ماهواره مودیس<sup>۱</sup>، سنجنده ترا<sup>۲</sup> استفاده شد. دقت مکانی این سنجنده ۵۰۰ متر در متر می‌باشد و گذر زمانی آن ۸ روزه است. از تصاویر مودیس با استفاده از الگوریتم محاسباتی هر هشت روز یک عدد برای تبخیر-تعرق واقعی استخراج می‌شود. با توجه به تاریخ نشا و برداشت برنج در هر یک از استان‌ها مقدار تبخیر-تعرق کل در فصل کشت برنج در مناطق مورد مطالعه محاسبه می‌شود. شاخص‌های بهره‌وری محاسبه شده و آب مجازی به قرار زیر است.

**الف- عملکرد به ازای واحد حجم نیاز آبی**

عملکرد به ازای واحد حجم نیاز آبی (CPD) یکی از شاخص‌های مطرح در خصوص سنجش میزان بهره‌وری آب کشاورزی است که از رابطه ۱ قابل محاسبه است (صافی و میر لطیفی، ۱۳۹۴).

$$CPD = \frac{\text{مقدار محصول تولید شده}}{\text{آبی نیاز}} \quad (۱)$$

**ب- سود ناخالص به ازای واحد نیاز آبی**

سود ناخالص به ازای واحد حجم نیاز آبی (BPD) یکی از شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی آب است. در این شاخص میزان سود ناخالص نسبت به مقدار آب مصرف شده در نظر گرفته می‌شود که از رابطه ۲ قابل محاسبه است (صافی و میر لطیفی، ۱۳۹۴).

$$BPD = \frac{\text{سود ناخالص}}{\text{نیاز آبی}} \quad (۲)$$

فارس و خوزستان به ترتیب دارای میانگین بهره‌وری آب به مقدار ۰/۶۵ و ۰/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب هستند. کمترین بهره‌وری آب را استان خوزستان با نیاز آبی بالای ۶۴۵۰ مترمکعب در هکتار دارا می‌باشد. مقایسه آماری نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین استان‌ها وجود دارد ( $p < 0.05$ ).

جدول ۱- آمار توصیفی مقدار مصرف نهاده‌ها در هر هکتار زراعت برنج در استان‌های مورد مطالعه

استان‌ها شاخص‌ها	بذر (کیلوگرم)	کود شیمیایی (کیلوگرم)	سموم شیمیایی (کیلوگرم)	ماشین‌آلات (ده ریال)	نیروی انسانی (نفر-روز)	عملکرد (کیلوگرم)
گیلان	۸۵/۷۵	۲۴۷/۷۱	۹/۷۱	۱۰۵۹۶۵۸	۵۴/۶۱	۳۷۲۶/۹۸
انحراف معیار	۲۲/۲۰	۷۸/۱۷	۸/۲۲	۳۰۴۹۴۲	۱۶/۶۰	۳۵۲/۶۵
مازندران	۵۴/۲۳	۲۷۷/۶۳	۲۸/۶۳	۷۳۵۴۲۵/۵۳	۹۷/۵۱	۳۹۹۰/۴۲
انحراف معیار	۱۰/۳۴	۲۸/۳۱	۷/۰۹	۲۵۶۲۹۶/۸۱	۸/۵۳	۴۳۱/۲۸
خوزستان	۲۵۹/۶۷	۲۵۹/۶۷	۱/۸۹	۳۴۳۸۱۸/۵۱	۱۲/۲۳	۳۳۷۰/۴۱
انحراف معیار	۱۰۰/۱۳	۱۰۰/۱۳	۱/۳۱	۱۷۱۰۲۹/۲۶	۴/۷	۳۱۰/۴
فارس	۱۱۸/۵۹	۲۲۴/۴۷	۱۳/۳۴	۳۹۰۱۸۳/۲۱	۴۴	۴۱۸۷/۶۱
انحراف معیار	۲۴/۱۵	۱۱۹/۸۹	۹/۶۸	۱۹۰۶۶۶/۵۷	۲۱/۷	۲۲۳/۳۲

جدول ۲- میانگین درآمد، هزینه و نیاز آبی برنج در هکتار در استان‌های مورد مطالعه

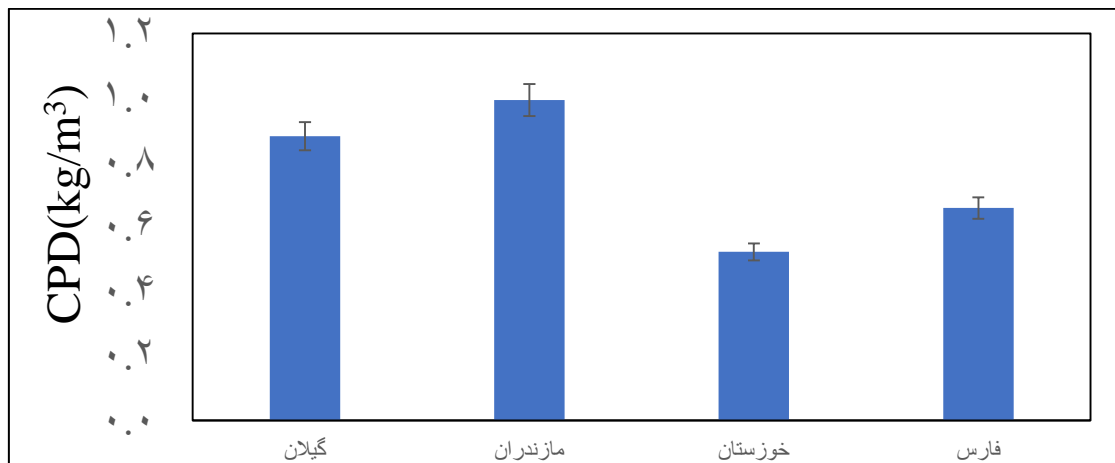
شاخص	گیلان	مازندران	خوزستان	فارس
درآمد کل (میلیون ریال)	۹۳/۱۷	۷۹/۴۹	۵۰/۵۶	۴۱/۸۸
هزینه کل (میلیون ریال)	۵۳/۸۰	۵۳/۱۳	۱۹/۶۶	۳۹/۶۳
نیاز آبی (مترمکعب)	۴۲۳۰	۴۰۰۰	۶۴۵۰	۶۳۶۰

جدول ۳- جدول آنالیز واریانس شاخص‌های مختلف بهره‌وری

شاخص‌ها	مجموع مربعات	درجه آزادی	F	مقدار احتمال
عملکرد به ازای واحد حجم نیاز آبی (CPD)	۱۹/۸۵	۳	۶۷۹	۰/۰۰۰
سود ناخالص به ازای واحد حجم نیاز آبی (BPD)	۲۴۷۵۷۲۸۶۲	۳	۲۰۳۰	۰/۰۰۰
سود خالص در حجم نیاز آبی (NBPD)	۹۷۳۳۳۷۹۹	۳	۲۲۵	۰/۰۰۰
آب مجازی (VW)	۶۲/۹۸	۳	۱۲۷۰	۰/۰۰۰

بهره‌وری در بخش کشاورزی ایران بسیار پایین است به گونه‌ای که در تولید یک کیلوگرم محصول کشاورزی حدود یک مترمکعب آب مصرف می‌شود در حالی که متوسط بهره‌وری در کشورهای پیشرفته ۲/۵ تا ۳ کیلوگرم به ازای یک مترمکعب مصرف آب می‌باشد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۶). با توجه به مطالعات انجام شده در تعیین شاخص‌های محاسبه شده در شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود گیلان مقدار CPD، ۰/۲۸۵ به دست آمد. همچنین در کل کشور مقدار بهره‌وری آب ۰/۶۴۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲). بالاتر بودن مقدار CPD در مطالعه حاضر به دلیل استفاده از نیاز آبی است در حالی که در مطالعه ذکر شده از میزان حجم آب آبیاری که با لحاظ راندمان‌های پایین آبیاری مقداری بیشتر از نیاز آبی دارد استفاده شده است. عباسی و سپاسخواه در آزمایشی در شیراز نشان دادند که بیشترین بهره‌وری آب در رقم دورودزن ۰/۵۲ کیلوگرم بر

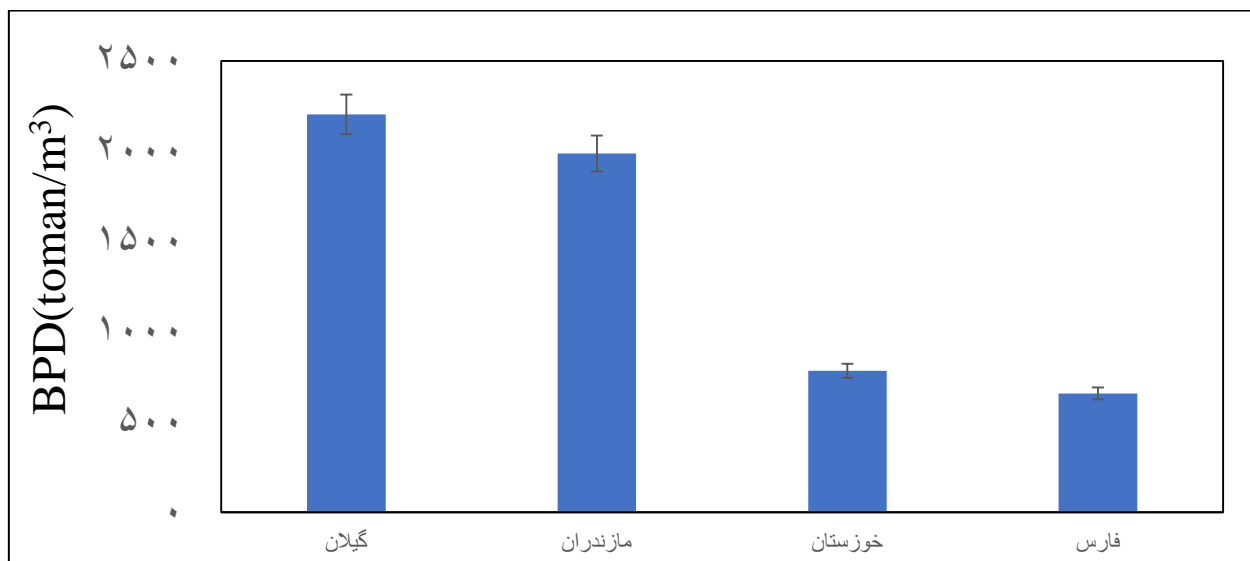
مترمکعب مشاهده شد که با نتایج این مطالعه در استان فارس به مقدار ۰/۶۵ کیلوگرم بر مترمکعب هم‌خوانی دارد (Abbasi and Sepaskhah, 2011). صداقت و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی بهره‌وری آب برنج در موسسه تحقیقات برنج کشور در شهرستان امل پرداختند، نتایج نشان داد بهره‌وری آب آبیاری ۱/۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب و بهره‌وری آب آبیاری به علاوه بارش ۱/۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب بود، بالاتر بودن مقدار بهره‌وری در مطالعه ذکر شده به دلیل استفاده از کم‌آب یاری و رقم پر محصول فجر بوده است. احمدی کلیجی و امین روان (۱۳۹۱) به بررسی وضعیت بهره‌وری آب برنج در استان مازندران پرداختند. نتایج نشان داد برای ارقام مختلف برنج میزان بهره‌وری آب از ۰/۵۳۶ تا ۰/۱۸۴ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر می‌باشد.



شکل ۱- عملکرد به ازای واحد حجم نیاز آبی (CPD) برای برنج در چهار استان مورد مطالعه

مترمکعب و برای استان خوزستان و فارس کمترین میزان با میانگین ۷۸۳۸ و ۶۵۸۴ ریال بر مترمکعب به دست آمد. مقایسه آماری نشان از تفاوت معنی دار بین استان ها دارد.

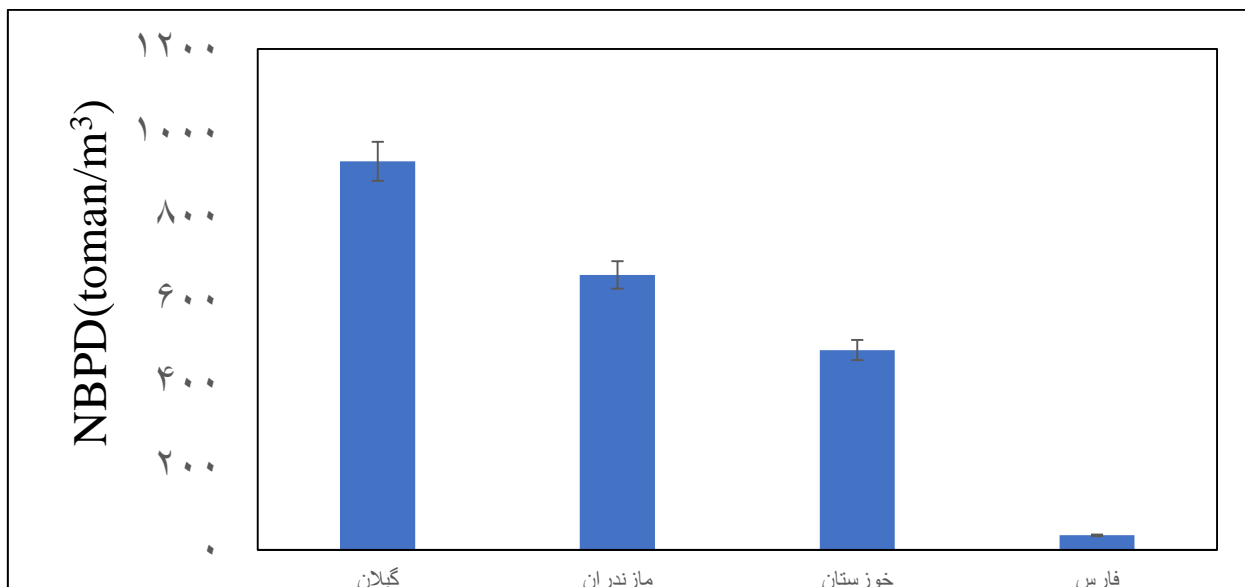
نتایج محاسبه شاخص BPD در استان های مورد مطالعه در شکل (۲) ارائه شد. از لحاظ شاخص BPD، استان گیلان و مازندران به ترتیب دارای بیشترین میزان با میانگین ۲۲۰۲۷ و ۱۹۸۷۲ ریال بر



شکل ۲- سود ناخالص به ازای واحد حجم نیاز آبی (BPD) برای برنج در چهار استان مورد مطالعه

حدود ۲۰ سنت و در سایر کشورها بیش از یک دلار است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۶). تن و ژنگ در چین نشان دادند که با تغییرات در ساختار محصولات کشاورزی منطقه ای از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲، بهره‌وری اقتصادی آب حدود ۴۰ درصد افزایش یافته است (Tan and Zheng, 2019). لذا جایگزینی برخی محصولات در مناطق با مشکل کم آبی می‌تواند موجب ارتقا بهره‌وری اقتصادی آب شود.

نتایج محاسبه شاخص NBPD در شکل (۳) ارائه شده است. از لحاظ شاخص NBPD، استان گیلان و مازندران به ترتیب بیشترین میزان با میانگین ۹۳۰۷ و ۶۵۹۰ ریال بر مترمکعب و استان خوزستان و فارس میانگین ۴۷۹۰ و ۳۵۲ ریال بر مترمکعب کمترین مقدار را داشتند. مقایسه آماری تفاوت معنی داری بین استان ها نشان داد. به طور کلی، بهره‌وری اقتصادی در کشور به ازای هر مترمکعب آب

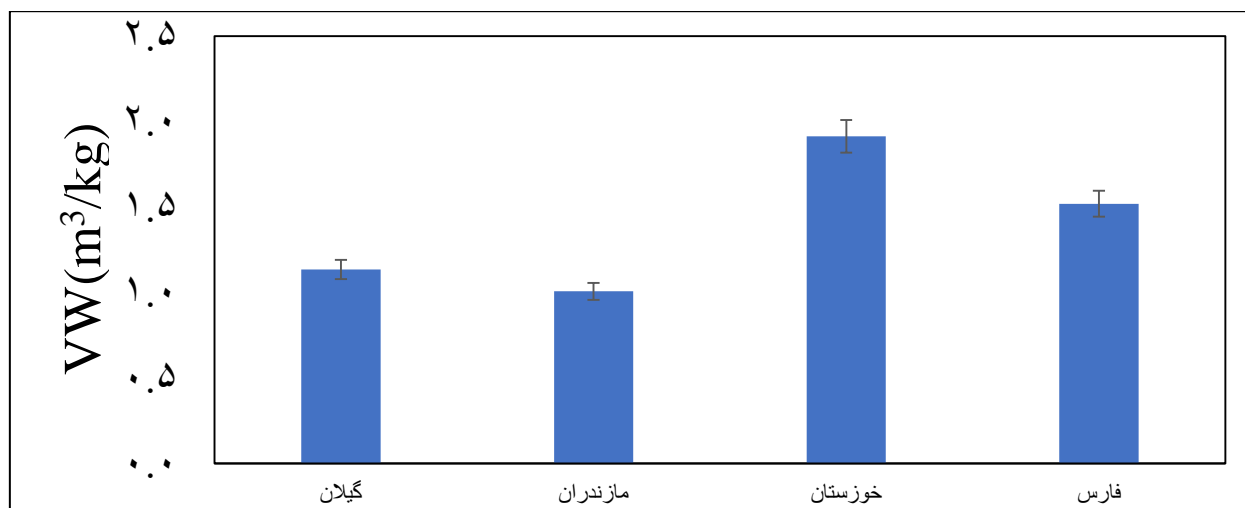


شکل ۳- سود خالص به ازای واحد حجم نیاز آبی (NBPDP) برای برنج در چهار استان مورد مطالعه

آب در بخش کشاورزی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب الزامی است. تجارت آب مجازی می‌تواند به‌عنوان راهکاری برای ارتقای بهره‌وری آب مطرح باشد. با توجه به بحران کم‌آبی در کشور، تجارت آب مجازی در سیاست‌گذاری‌های کاشت و تجارت محصولات کشاورزی مدنظر قرار گیرد (عابدی و تهامی‌پور، ۱۳۹۵). کسری تراز بازرگانی بخش کشاورزی کشور (حدود ۸ میلیارد دلار) به معنی واردکننده آب مجازی بودن است. مبادله آگاهانه آب مجازی بایستی به‌عنوان یک راهبرد اساسی در مدیریت جامع منابع آب و ارتقا بهره‌وری آب کشور مدنظر قرار گیرد (محمدجانی و یزدانیان، ۱۳۹۳).

نتایج محاسبه آب مجازی برنج در استان‌های مورد مطالعه در شکل (۴) ارائه شده است. نتایج به‌دست‌آمده برای آب مجازی نشان داد که استان مازندران و گیلان به ترتیب دارای کمترین میزان با میانگین ۱/۰۱ و ۱/۱۳ مترمکعب بر کیلوگرم و استان فارس و خوزستان به ترتیب بیشترین میزان با میانگین ۱/۵۲ و ۱/۹۱ مترمکعب بر کیلوگرم می‌باشند. مقایسه آماری نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین استان‌ها وجود داد ( $p < 0.05$ ).

در کشور حدود ۸۴ میلیارد مترمکعب (حدود ۹۲ درصد از ۹۲ میلیارد مترمکعب آب قابل استحصال کشور) در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (حیدری، ۱۳۹۳). ارائه شیوه‌های جامع مدیریت منابع



شکل ۴- آب مجازی به ازای عملکرد (VW) برای برنج در چهار استان مورد مطالعه

آبیاری، آبیاری تناوبی، خشکه کاری و استفاده از روش‌های نوین آبیاری می‌باشد. توصیه می‌شود در سال‌های کم‌آبی در استان فارس و خوزستان به دلیل محدود بودن نهاده آب آبیاری، پایین بودن بهره‌وری آب و بالا بودن حجم آب مجازی، کشت برنج محدود شود و محصولات جایگزین معرفی شوند. برای جبران کمبود برنج تولیدی این دو استان می‌توان با توجه به مفهوم تجارت آب مجازی از گزینه واردات استفاده کرد.

### منابع

- آمارنامه جهاد کشاورزی. ۱۳۹۴. وزارت جهاد کشاورزی.
- احسانی، م.، خالدی، ه. ۱۳۸۲. بهره‌وری آب کشاورزی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- احمدی کلیچی، س.، امین روان، م. ۱۳۹۱. بررسی وضعیت بهره‌وری مصرف آب در کشت برنج، مطالعه موردی استان مازندران. پانزدهمین همایش برنج کشور. اسفندماه، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- حیدری، ن. ۱۳۹۳. ارزیابی شاخص بهره‌وری آب کشاورزی و عملکرد سیاست‌ها و برنامه‌های مدیریت آب کشور در این زمینه. فصلنامه علمی پژوهشی مجلس و راهبرد. ۲۱، ۷۸: ۱۷۷-۲۰۰.
- زارع ایبانه، ح.، آرام، م.، اخوان، س. ۱۳۹۴. ارزیابی حجم آب مجازی مبادلات محصولات عمده زراعی همدان. مجله پژوهش آب ایران. ۹، ۳: ۱۵۱-۱۶۱.
- صافی، ر. و میر لطیفی، س.م. ۱۳۹۴. ارزیابی وضعیت کشت نیشکر در استان خوزستان از دیدگاه آب مجازی. مجله‌ی مهندسی منابع آب. ۸ (۲): ۸۷-۹۵.
- صداقت، ن.، پیر دشتی، ا.، اسدی، ر.، موسوی طغانی، س.ی. ۱۳۹۳. اثر روش‌های آبیاری بر بهره‌وری آب در برنج. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲۸ (۱): ۱-۹.
- عابدی، س.، تهامی‌پور، م. ۱۳۹۵. اندازه‌گیری و تحلیل تراز تجاری آب مجازی در بخش کشاورزی استان زنجان. مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران. ۴: ۸۰۵-۸۱۴.
- عباسی، ف.، عباسی، ن.، توکلی، ع. ر. ۱۳۹۶. یادداشت تحلیلی: بهره‌وری آب در بخش کشاورزی؛ چالش‌ها و چشم‌اندازها. نشریه آب و توسعه پایدار. ۴ (۱): ۱۴۱-۱۴۴.
- محمدجانی، ا.، یزدانیان، ن. ۱۳۹۳. تحلیل وضعیت بحران آب در کشور و الزامات مدیریت آن. فصلنامه روند. ۲۱ (۶۵ و ۶۶): ۱۱۷-۱۴۴.

با توجه به شاخص‌های بهره‌وری آب به‌خصوص NBPD و آب مجازی کشت برنج در سال آماری مورد مطالعه در دو استان فارس و خوزستان توجیه فنی و اقتصادی مناسبی در مقایسه با دو استان گیلان و مازندران نداشته است و با توجه به حجم بالای نیاز آبی (۶۳۶۰ تا ۶۴۵۰ مترمکعب در هکتار) اتلاف منابع آب اتفاق افتاده است. در صورتی که می‌توان با مطالعه سایر محصولات با پیشران آب کمتر و درآمد بیشتر یا حداقل برابر، محصول مناسبی را جایگزین برنج کرد. صافی و میر لطیفی (۱۳۹۴) توصیه کردند که کنجد جایگزین کشت نیشکر در بخشی از اراضی استان خوزستان شود، چراکه ضمن مصرف آب کمتر، سود اقتصادی معادل تولید شکر را ایجاد کرده است. کنجد در استان‌های خوزستان و فارس در بهار کشت می‌شود و یا به‌عنوان کشت دوم بعد از برداشت غلات کشت می‌شود که دارای روغن مناسبی نیز هست (صافی و میر لطیفی، ۱۳۹۴)، بنابراین می‌تواند جایگزین کشت برنج نیز شود.

موضوع ارتقای بهره‌وری آب در تولید مواد غذایی از مسائل اساسی در کشورهای مختلف جهان و به‌خصوص کشورهای کم‌آب نظیر ایران است. یوسفیان و همکاران (۱۳۹۷) با اعمال کم‌آب یاری روی برنج و صداقت و همکاران (۱۳۹۳) با اعمال آبیاری تناوبی روی برنج نشان دادند که امکان ارتقای بهره‌وری آب وجود دارد. کومار و همکاران در هند با اعمال تنش ملایم در مراحل رشد برنج موجب بهبود بهره‌وری آب شدند (Kumar et al., 2019). مانپیتاک و همکاران در تایلند نیز نشان دادند که آبیاری تناوبی موجب افزایش ۴۶ تا ۷۷ درصدی بهره‌وری آب می‌شود (Maneepitak et al., 2019). امکان اتخاذ این روش آبیاری در استان‌های شمالی کشور فراهم است. بنابراین با جایگزینی روش آبیاری تناوبی در استان‌های شمالی به‌جای آبیاری غرقابی می‌توان بهره‌وری آب را بهبود داد.

### نتیجه‌گیری

هدف از انجام مطالعه حاضر مقایسه شاخص‌های بهره‌وری آب و آب مجازی در چند استان تولیدکننده عمده برنج کشور بود. با توجه به نتایج حاصل از مطالعه حاضر استان مازندران و گیلان دارای بیشترین بهره‌وری آب آبیاری و کمترین آب مجازی می‌باشند، در حالی که استان فارس و خوزستان دارای کمترین بهره‌وری آب آبیاری و بیشترین آب مجازی بودند. با توجه به محدود بودن نهاده آب و با توجه به اهمیت میزان بهره‌وری آب مصرفی در تولید محصول برنج بهتر است کشت برنج در استان مازندران و گیلان متمرکز شود. علاوه بر آن برای بهبود بهره‌وری آب و کاهش حجم آب مجازی راهکارهای مناسبی اتخاذ شود. از جمله راهکارهایی که به‌منظور ارتقا بهره‌وری آب آبیاری پیشنهاد می‌شود، انجام کم‌آبیاری، ارزش‌گذاری واقعی نهاده آب

- Agricultural Water Management. 215: 8–15.
- Liu, M., Xu, X., Jiang, Y., Huang, Q., Huo, Z., Liu, L and Huang, G. 2019. Responses of crop growth and water productivity to climate change and agricultural water-saving in arid region. *Science of The Total Environment*. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134621.
- Maneepitak, S., Ullah, H., Paothong, K., Kachenchart, B., Datta, A and Shrestha, R.P. 2019. Effect of water and rice straw management practices on yield and water productivity of irrigated lowland rice in the Central Plain of Thailand. *Agricultural Water Management*. 211: 89–97.
- Roderic, M.R., Florencia, G.P., Divina, G.P., Rodriguez, R.M.L and Bouman, B.A.M. 2011. Impact of the alternate wetting and drying (AWD) water-saving irrigation technique: Evidence from rice producers in the Philippines. *Food Policy*. 36 (2): 280-288.
- Sujono, J. 2010. Flood reduction function of paddy rice fields under different water saving irrigation techniques. *Water Resource and Protection*. 2: 555-559.
- Shi, C and Zhan, J. 2015. An Input-Output table based analysis on the virtual water by sectors with the five northwest provinces in China. *Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C*. 47-53.
- Tan, M and Zheng, L. 2019. Increase in economic efficiency of water use caused by crop structure adjustment in arid areas. *Journal of Environmental Management*. 230: 386-391.
- یوسفیان، م.، شاه نظری، ع.، ضیاءتبار احمدی، م. خ.، رایینی سرجاز، م.، عربزاده، ب. ۱۳۹۷. اثر کم‌آبیاری تنظیم‌شده و خشکی بخشی ریشه بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب برنج در روش جوی و پشته و کرتی. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۲ (۳): ۳۵۰-۳۴۱.
- Abbasi, M.R and Sepaskhah, A.R. 2011. Response of different rice cultivars (*Oryza sativa*) to water-saving irrigation in greenhouse conditions. *International Journal of Plant Production*. 5.(1): 37-48.
- Carracelas, G., Hornbuckle, J., Rosas, J and Roel, A. 2019. Irrigation management strategies to increase water productivity in *Oryza sativa* (rice) in Uruguay. *Agricultural Water Management*. 222: 161-172.
- Chibarabada, T.P., Modi, A.T and Mabhaudhi, T. 2019. Options for improving water productivity: A case study of bambara groundnut and groundnut. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 102806.
- Dermody, B.J., Van Beek, R.P.H., Meeks, E., Goldewijk, K.K., Scheidel, W., Vander Velde, Y., Bierkens, M.F.P., Wassen, M.J and Dekker, S.C. 2014. A virtual water network of the Roman world. *Hydrology and Earth System Sciences*. 18: 5025-5040.
- Kumar, S., Narjary, B., Kumar, K., Jat, H.S., Kamra, S.K and Yadav, R.K. 2019. Developing soil matric potential based irrigation strategies of direct seeded rice for improving yield and water productivity.



## Comparison of Water Productivity Indices and Virtual Water in Major Rice Producing Provinces in Iran

G. Rezaei<sup>1</sup>, M. Khaledian<sup>2\*</sup>, M. Kavousi Kalashami<sup>3</sup>, M. Rezaei<sup>4</sup>

Received: Jan.29, 2021

Accepted: Apr.18, 2021

### Abstract

Drought and water scarcity in Iran is a climatic reality, and given the increasing need of different sectors for water, the problem of water scarcity in the coming years threatens the sustainability of cultivating some strategic crops with high irrigation water requirement. Rice cultivation requires high irrigation water and regarding water resources scarcity in Iran, the best way to save water is to improve water productivity. In this regard, in the present study, the estimation of rice water productivity indices i.e. crop per drop, benefit per drop, and net benefit per drop was done in four major rice producing provinces of the country, including: Guilan, Mazandaran, Khuzestan, and Fars provinces. This study uses cross-sectional data from 2014-2015 rice production cost plan of Ministry of Jihad-e-Agriculture collected by cluster sampling from each province's farmers and estimated water requirement through remote sensing to calculate water productivity indices. The results showed that Mazandaran and Guilan provinces had the highest water productivity (yield/water requirement) with average of 0.99 and 0.88 kg/m<sup>3</sup>, respectively, Fars and Khuzestan provinces were in third and fourth places with averages of 0.65 and 0.52 kg/m<sup>3</sup>, respectively. The results showed that the highest net benefit of water consumption were in Guilan and Mazandaran provinces with averages of 9310 and 6590 Rials/m<sup>3</sup>, respectively. According to the results of this study, it is recommended to limit rice cultivation in Khuzestan and Fars provinces, especially in years with water deficiency.

**Keywords:** Net profit, Remote sensing, Virtual water, Water requirement, Yield

---

1- MSc. Student, Department of Water Eng., Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan Iran,  
2- Department of Water Eng., Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan Iran, and Department of Water Engineering and Environment, Caspian Sea Basin Research Center  
3- Department of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan; Iran  
4- Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran  
(\* - Corresponding Author Email: khaledian@guilan.ac.ir)