Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Introducing and evaluation of relative economic water productivity index

Hossein Jafari[1] | Fariborz Abbasi[2]
1. Corresponding author, Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: jafari52_h@yahoo.com
2. Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: fariborzabbasi@ymail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: May. 8, 2023

Revised: Aug. 12, 2023

Accepted: Aug. 19, 2023

Published online: Aug. 23, 2023

Keywords:
Climate,
Economy,
Land Production Potential ,
Productivity Gap.

ABSTRACT

In the agricultural sector, indicators of physical productivity (WPPa), economic productivity (WPEa), physical (WPGp) and economic productivity gap (WPGe) of water are used to evaluate the performance of farmers and gardeners. The WPPa index, does not consider the price and costs of the product. The WPEa index is not only affected by inflation and market regulation policy, but also does not take into account the effect of the region's soil and climate. The WPGP and WPGe indices do not provide an accurate evaluation of water productivity of plants due to the difference in the nature of the performance of different plants. Purpose: In this study a new index is introduced that does not have any the aforementioned disadvantages. Material and method: A relative economic water productivity index was introduced and evaluated using different data for each of the factors affecting agricultural production, including soil, plant, climate, management and inflation, and it was compared with the WPPa, WPEa, WPGP and WPGe indices. Results: The results showed that unlike other indicators, the relative economic water productivity index evaluated water productivity in different plants compared to other indicators in proportion to the production capacity of the soil and the climate of the region for any type of agricultural management without being affected by the different nature of crop plants performance and inflation (economy). Because in the KWPe index, the water productivity of each plant is estimated based on the potential conditions and these conditions are unique for each plant and in each region and climate and under each agricultural management, therefore, the productivity of different plants in different regions can be compared only with this index. So that the WPGe index estimated the average value of water productivity for wheat and barley in different soils to be equal (3973 toman/m3), but the KWPe index estimated water productivity of wheat and barley at 0.67 and 0.33, respectively. Also, the KWPp index estimated the same value for water productivity of wheat and corn as 0.42, but the KWPe index estimated 0.36 and 0.4 for wheat and corn respectively due to the high price of corn compared to wheat.

Cite this article Jafari, H., & Abbasi, F., (2023) Introducing and evaluation of relative economic water productivity index, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (7), 1095-1114. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.358941.669495
© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.358941.669495

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۴، شماره ۷ شاپا: ۲۴۲۳-۷۸۳۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

معرفی و ارزیابی شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب

حسین جعفری[۱]✉ و فریبرز عباسی[۲]

۱. نویسنده مسئول، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: jafari52h@yahoo.com

۲. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،کرج. ایران. رایانامه: fariborzabbasi@ymail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۱۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۵/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۲۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۶/۱

واژه‌های کلیدی:
اقلیم،
اقتصاد،
پتانسیل تولید اراضی،
شکاف بهره‌وری.

چکیده

در حوزه کشاورزی و در ارزیابی عملکرد گیاهان زراعی و باغی از شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی آب (WPPa)، بهره وری اقتصادی آب (WPEa)، شکاف بهره‌وری فیزیکی (WPGP) و اقتصادی آب (WPGe) استفاده می‌شود. در شاخص WPPa قیمت محصول و هزینه‌های صرف شده در نظر گرفته نمی‌شود و شاخص WPEa نیز نه تنها تحت تاثیر تورم و سیاست تنظیم بازار قرار می‌گیرد، بلکه اثر خاک و اقلیم، در مقدار آن دخالت داده نمی‌شود. شاخص‌های WPGPو WPGe هم به دلیل تفاوت در ماهیت عملکرد گیاهان مختلف، ارزیابی دقیقی از بهره‌وری آب گیاهان ارائه نمی‌دهد. معرفی شاخصی که معایب مذکور را نداشته باشد، ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش شاخص بهره وری نسبی اقتصادی آب معرفی، و برای هر یک از عوامل موثر بر تولیدات کشاورزی شامل خاک، گیاه، اقلیم، مدیریت آبیاری و تورم ارزیابی و با شاخص‌های WPPa، KWPp WPEa، WPGP و WPGe مقایسه شد. نتایج نشان داد که شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب، بر خلاف سایر شاخص‌ها، متناسب با توان تولید خاک و اقلیم منطقه و هر نوع مدیریت به‌زراعی و بدون اثرپذیری از ماهیت متفاوت عملکرد گیاهان زراعی، تورم (اقتصاد)، بهره‌وری آب را در گیاهان مختلف ارزیابی می‌کند. چون در شاخص KWPe، بهره‌وری آب هر گیاه، بر اساس شرایط پتانسیل برآورد می‌شود لذا با این شاخص می‌توان بهره‌وری گیاهان مختلف در مناطق مختلف را با هم مقایسه کرد. به‌طوری‌که شاخص WPGe میانگین بهره‌وری آب برای گندم و جو در خاک‌های مختلف را مساوی (toman/m33973) برآورد نمود ولی شاخص KWPe در همین شرایط، بهره‌وری آب گندم و جو را به‌ترتیب ۰/۶۷ و ۰/۳۳ برآورد نمود. همچنین شاخص KWPp بهره‌وری آب گندم و ذرت را برابر ۰/۴۲ تخمین زد، در حالی‌که شاخص KWPe به دلیل بالا بودن قیمت ذرت نسبت به گندم، برای این دو محصول به‌ترتیب مقادیر ۰/۳۶ و ۰/۴ را برآورد نمود.

استناد: جعفری؛ حسین، عباسی؛ فریبرز، (۱۴۰۲). معرفی و ارزیابی شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴ (۶)، ۱۱۱۴-۱۰۹۵.
https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.358941.669495

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.358941.669495

مقدمه

جایگاه و اهمیت بهره‌وری به حدی گسترش یافته که آن را مترادف با خردگرایی سازمان (رفتار عقلایی سازمان) می‌دانند و حتی مدیریت را دانش افزایش بهره‌وری و استفاده از منابع و امکانات موجود برای دستیابی به اهداف تعیین شده معرفی می‌کنند. بهره‌وری به مفهوم استفاده کارا از منابع سازمانی (کارایی) برای تحقق اهداف سازمان (اثربخشی) است. به بیان دیگر، مجموع کارایی و اثربخشی بالا، سبب بهره‌وری بالای سازمان خواهد شد و فقط تمرکز بر کارایی راه پرثمری برای افزایش بهره‌وری نیست، زیرا ممکن است سیستمی اثربخش، کارایی نداشته باشد یا سیستمی کارا، اثربخش نباشد (اکبری و همکاران، ۱۳۹۷).

در بخش آب، از اصطلاح «بازده آبیاری» استفاده می‌شود، اما در کشاورزی به جای اصطلاح بازده، از بهره‌وری آب برای ارزیابی فعالیت‌های کشاورزی استفاده می‌شود (Fernández et al., 2020). در بررسی منابع، بیش از ۱۸۰ نوع بهره‌وری آب از لحاظ شکلی (رابطه) و واحدهای‌های بکار رفته برای عملکرد و آب مصرفی در منابع علمی ذکر شده است. این نشان می‌دهد که نه تنها سردرگمی در استفاده از اصطلاحاتی مانند بهره‌وری آب وجود دارد، بلکه روی معادلات هم توافقی وجود ندارد (Fernández et al., 2020). این شاید بخاطر عاریه گرفتن بهره‌وری از علوم دیگر و عدم تبیین آن در علم کشاورزی باشد. با پیروی از تعریف بهره‌وری در علم اقتصاد، بهره‌وری آب را می‌توان استفاده از کلیه نهاده‌های موثر بر تولید محصول برای دستیابی به یک هدف مشخص تعریف کرد. بر این اساس ارزیابی فعالیت‌های کشاورزی بر اساس بهره‌وری آب، در داخل و خارج کشور به شکل‌های مختلف استفاده شده است که اغلب آنها تحت عنوان شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی آب (نسبت عملکرد به حجم آب آبیاری) و بهره‌وری اقتصادی آب (نسبت سود خالص به حجم آب آبیاری) نام برده می‌شود (Molden et al., 2003; Seckler, 1996).

در ارزیابی این شاخص‌ها اظهارنظرهای متفاوتی صورت گرفته است. برخی افزایش عملکرد در واحد سطح زمین را لزوماً منجر به افزایش بهره‌وری آب نمی‌دانند. چون زمینه‌های زیادی برای افزایش بهره‌وری اقتصادی آب مانند ارزش محصول تولید شده با مصرف آب، تغییر هزینه‌های مربوطه و برخی محرک‌های کلیدی از جمله تغییرات آب و هوایی، بهبود حاصلخیزی خاک، کنترل آفات و بیماری‌ها و انتخاب محصول یا دسترسی به بازارهای بهتر وجود دارد (Molden et al., 2010). حتی مدیریت آبیاری را هم به تنهایی برای افزایش شاخص بهره‌وری آب کافی نمی‌دانند و معتقدند که شاخص بهره‌وری آب صرفا متاثر از برنامه و سامانه آبیاری نبوده و عوامل فراوانی در آن دخالت دارند که عبارتند از: آب آبیاری (کیفیت و کمیت آب)، مدیریت زراعی، پارامترهای اقلیمی، خاک (ویژگی فیزیکی و شیمیایی)، اقتصاد، قوانین و برنامه‌ریزی (عباسی، ۱۳۹۶). در کاشت یک گیاه زراعی، خاک و اقلیم نقش بسیار زیادی ایفا می‌کند و یکی از عوامل مهم در تغییر بهره‌وری آب یک گیاه به شمار می‌رود. توقع از یک خاک شنی در یک منطقه گرم و خشک با یک خاک لومی در یک منطقه معتدل در تولید گیاهی مثل گندم متفاوت است. لذا، در برآورد شاخص بهره‌وری آب مطالعات خاکشناسی و بررسی اقلیم ضروری است. تخریب ساختمان خاک، کاهش مواد مغذی، آفات و بیماری‌ها و سایر مدیریت‌ها به طور قابل توجهی ظرفیت افزایش بهره‌وری آب را محدود می‌کند (Molden et al., 2010; Trout & Manning, 2019). مطالعات در خصوص اثر مواد مغذی و مدیریت آب بر بهره‌وری آب محصولات مختلف نشان می‌دهد که اثر نیتروژن و فسفر یا ترکیب آن، با مقدار اعمال شده در شرایط آب خاک، متفاوت است و استفاده بیش از حد مواد مغذی ممکن است بهره‌وری آب را کاهش دهد (Kilemo, 2022). نقش ویژه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و آب در بهره‌وری آب، سبب شد که استفاده از توابع تولید برای ارزیابی بهره‌وری اقتصادی آب توصیه شود (Trout & Mainning, 2019).

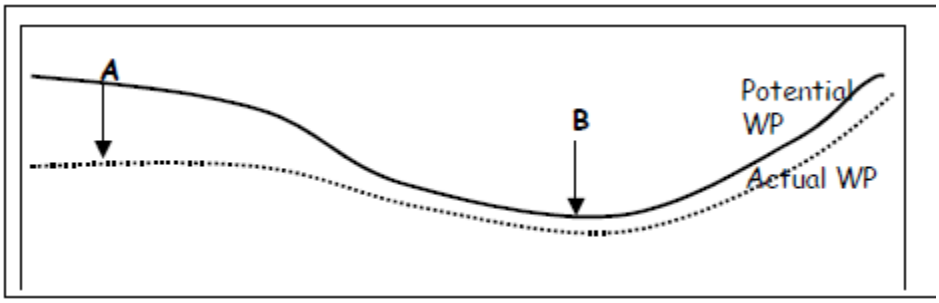
برای ارزیابی مدیریت‌های مختلف کشاورزی در کشور، اغلب از شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب استفاده می‌شود. در شاخص بهره‌وری فیزیکی آب، درآمد و هزینه در محاسبات وارد نمی‌شود و در شاخص بهره‌وری اقتصادی آب هم، تورم ناشی از عدم مدیریت صحیح بازار (تغییر قیمت چند برابری برخی محصولات در اثر تنظیم نبودن عرضه و تقاضا)، نقش مستقیم در مقدار کمی آن دارد، در صورتی‌که تورم یا تنظیم بازار جز فعالیت‌های به‌زراعی نیستند. ارزیابی بر اساس شاخص بهره‌وری اقتصادی آب، زمانی چالش برانگیز است که ارزش محصول تحت تاثیر تورم و یا هر عامل دیگری از فصلی به فصل دیگر و حتی در طول دوره رشد، تعییر کند (Fernandez et al., 2020). در برخی موارد برای جلوگیری از تاثیر تورم و مدیریت بازار استفاده از شاخص‌های مطلق مانند مصرف سرانه آب توصیه شده است (Parrique et al., 2019; Rodriguez et al., 2020).

در ارزیابی و تحلیل بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات زراعی در دشت مغان، بهره‌وری فیزیکی آب محصولات گندم، کلزا، سویا، برنج، ذرت علوفه‌ای، ذرت‌دانه‌ای، خربزه، یونجه، گوجه فرنگی، جو، شلیل، هندوانه، خیار و چغندرقند به‌ترتیب ۱/۲۷، ۰/۵، ۰/۶۷، ۰/۰۶۹، ۴/۵، ۰/۴۵، ۳/۲، ۰/۲۵، ۳/۴۶، ۱/۱۹، ۰/۵۵، ۳/۱، ۰/۴۲ و ۵/۵ کیلوگرم بر مترمکعب و همچنین بهره‌وری اقتصادی آب به‌ترتیب

۱۰۹۸، ۵۷۲، ۷۰۲، ۳۱۳، ۵۴۲، ۲۲۸۶، ۳۲۲، ۹۷، ۸۳۲، ۶۸۵، ۵۴۷، ۲۷۹، ۲۶۷ و ۱۱۱۱ تومان بر مترمکعب محاسبه شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که چغندرقند، هندوانه، ذرت علوفه‌ای و خربزه از لحاظ بهره‌وری فیزیکی در وضعیت بهتری قرار دارند. در حالی که از لحاظ بهره‌وری اقتصادی در وضعیت ضعیفی قرار دارند و تنها دو محصول چغندرقند و گوجه‌فرنگی در سطح خوب یا نسبتا خوب از لحاظ هر دو شاخص قرار می‌گیرند. نتایج این تحقیق نشان داد که بسته به این که شاخص بهره‌وری فیزیکی یا بهره‌وری اقتصادی آب در برنامه‌ریزی و سیاستگذاری مدنظر قرار گیرد، رویکردها و الگوهای پیشنهادی کاملاً متفاوت خواهد بود (فرحزا و همکاران، ۱۳۹۹). اگرچه، اصطلاحات نسبت عملکرد به آب مصرفی و نسبت سود خالص به آب مصرفی ارتباط نزدیکی با هم دارند، اما بالا بودن بهره‌وری فیزیکی لزوماً منجر به بهره‌وری اقتصادی بالا نمی‌شود زیرا هر یک توسط عوامل دیگر کنترل می‌شوند (Jha et al., 2016). زارعی قورخودی و همکاران (۱۴۰۱) در ارزیابی شاخص بهره‌وری آب در مرکبات و شالیزار بر اساس شاخص بهره‌وری اقتصادی و فیزیکی در غرب و مرکز استان مازندران (چهار دشت شامل رامسر- چالوس، نور- نوشهر، آمل- بابل و قائم‌شهر- جویبار) نتیجه گرفتند که اراضی تحت کشت مرکبات و شالیزاری ناحیه نور- نوشهر و رامسر- چالوس بهترین عملکرد را از نظر بهره‌وری اقتصادی آب و ناحیه نور - نوشهر و آمل- بابل بهترین عملکرد را از نظر شاخص بهره‌وری فیزیکی داشته‌اند. در بررسی مزیت نسبی محصولات کشاورزی استان سمنان با محوریت بهره‌وری آب در آبیاری سطحی نشان داده شد که در محصولات باغی، بهره‌وری اقتصادی ناخالص آب پسته با ۴۸۶۹ تومان بر مترمکعب دارای بالاترین بهره‌وری اقتصادی بود و انگور با ۳۰۲۲ تومان بر مترمکعب (۶۲ درصد پسته) در رتبه دوم قرار گرفت. در گیاهان زراعی، کمترین میزان بهره‌وری اقتصادی ناخالص آب برای جو، یونجه و گندم به‌ترتیب برابر با ۳۷۰، ۳۹۹ و ۴۵۷ تومان بر مترمکعب بدست آمد. بررسی تجارب عملی کاربرد آبیاری تیپ برای گندم و جو نشان داد که این روش شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب را بهبود نبخشیده است که حاکی از عدم مزیت نسبی کشت گندم و جو در استان سمنان حتی با آبیاری تیپ است. این در حالی است که حدود ۷۶ درصد از سطح اراضی زراعی استان سمنان به کشت این سه محصول (جو، یونجه و گندم) اختصاص داده شده است (آمارنامه کشاورزی ۱۴۰۰-۱۳۹۹) و این نشان دهنده رضایت زارعین از کشت این سه گیاه زراعی است، در صورتیکه بر اساس نتایج این شاخص، نباید هیچ‌کدام از کشاورزان از کشت این گیاهان استقبال نمایند (توکلی و همکاران، ۱۴۰۰).

سنگتراشان و همکاران (۱۳۹۹) در راستای بهبود بهره‌وری آب با اعمال برخی فناوری‌های به‌زراعی مانند تغییر روش‌های خاک‌ورزی، اصلاح ابعاد کرت آبیاری، تغییر ارقام گیاهی و اصلاح برنامه کودی، آزمایشی در هشت مزرعه کشاورزان (چهار مزرعه تیمار و چهار مزرعه شاهد) در شهرستان‌های بناب، اسکو و عجبشیر واقع در حوضه‌ی شرقی دریاچه ارومیه اجرا کردند. در مزارع تیمار، فناوری‌های پیشنهادی بدون اعمال مدیریت کشاورزان انجام شد و در مزارع شاهد، کشاورزان به‌صورت سنتی و براساس دانش بومی خود و تجربه قبلی اقدام به انجام عملیات کاشت، داشت و برداشت نمودند. شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب برای هریک از مزارع محاسبه شد. نتایج نشان داد که فناوری‌های اعمال‌شده در مزرعه تیمار گندم، در مقایسه با مزارع شاهد، منجر به افزایش شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصول گندم در منطقه بناب شد. ولی در مورد حد مطلوب بهره‌وری آب در هر دو شاخص، تحلیل لازم صورت نگرفت.

بهره‌وری آب واقعی پایین در یک گیاه زراعی در یک منطقه، لزوماً بدتر از منطقه‌ای که بهره‌وری آب در آن بالا است نیست. در شکل زیر نقطه A دارای بهره‌وری آب واقعی بیشتری نسبت به نقطه B است. ولی شرایط بیشتری برای بهبود نسبت به نقطه B دارد، به عبارت دیگر در نقطه A به دلیل برخی مدیریت‌های ناصحیح (مثل عدم رعایت برنامه‌ریزی آبیاری و تغذیه)، نسبت بهره‌وری آب در شرایط واقعی، نسبت به بهره‌وری آب در شرایط پتانسیل، بسیار کمتر از نقطه B است که در آن کلیه اصول به‌زراعی انجام شده است. بنابراین در نقطه A شرایط بیشتری برای بهبود وجود دارد (مثل رعایت برنامه‌ریزی آبیاری و تغذیه). نقطه B علی‌رغم داشتن بهره‌وری آب واقعی کمتر ولی به بهره‌وری آب در شرایط پتانسیل نزدیکتر و حداکثر استفاده از مزارع در این نقطه صورت گرفته است. ویژگی‌های آب و هوا، خاک و زمین، یک نقطه را مستعد "قابلیت مدیریت" یا بهره‌وری آب بالقوه می‌کند که باید با استفاده از تمام ظرفیت‌های موجود مثل مدیریت به‌زراعی، سامانه آبیاری مناسب و غیره می‌توان به آن دست یافت. به عبارت دیگر شاخص بهره‌وری نسبی مبنای مناسبی برای ارزیابی شرایط کشاورزی در هر منطقه است. فقط با شناخت کلیه عوامل دخیل در بهبود بهره‌وری آب می‌توان شرایط مزرعه را کامل ارزیابی کرد. این ارزیابی ممکن است با تعریف یک نقطه "هدف" همراه با مدل‌سازی باشد که کاربری زمین و هیدرولوژی را به روشی مناسب ادغام و اثرات بازخورد تغییر تخصیص آب، اثرات استفاده از آب شور، تغییرات خاک مزرعه، هیدرولوژی (آب و هوا)، عوامل زراعی، امنیت عرضه محصول، تناسب اقتصاد (قیمت واقعی در هر منطقه) در مدل دیده شود (Jones et al., 2005).



شکل ۱- شکل شماتیک از بهره‌وری فیزیکی در شرایط واقعی و استاندارد (Jones et al., 2005)

Vladimirova و همکاران (۲۰۱۸) در ارزیابی بهره‌وری آب در اروپا به این نتیجه رسیدند که مقایسه شاخص بهره‌وری اقتصادی آب بین کشورهای عضو بی‌معنی است. زیرا بهره‌وری آب تا حد زیادی به ساختارهای اقتصادی هر کشور بستگی دارد که با اقدامات سیاستی در کوتاه مدت تغییر می‌کند. علاوه بر این، از آنجایی که این شاخص در سطح ملی محاسبه می‌شود، تفاوت‌های درون کشوری در نظر گرفته نمی‌شود. زیرا بهره‌وری آب منعکس‌کننده توزیع مکانی نابرابر منابع، آب و هوا، اقتصاد یا جغرافیا نیست، بنابراین ممکن است تفاوت‌های محلی پنهان شود. به عبارت دیگر باید بهره‌وری اقتصادی آب بر اساس شرایط محلی نظیر مقدار آب در دسترس، خاک، اقلیم، ارزش محصول، مدیریت زراعی و غیره برآورد گردد. در غیر اینصورت اطلاعات سودمندی در اختیار سیاست‌گذاران قرار نمی‌دهد. برخی از این عوامل قابل مدیریت و برخی غیرقابل مدیریت هستند. محرک‌های غیرقابل مدیریت در کوتاه‌مدت ثابت هستند و شامل خاک، آب و هوا، کیفیت آب و در دسترس بودن آب است. سایر محرک‌ها به تصمیمات مدیریت وابسته هستند، به عنوان مثال فن‌آوری‌ها، تلفات آب، ساختار اقتصاد، سیاست قیمت‌گذاری آب و غیره. شرایط آب و هوایی بر نیازهای آبی و طول دوره رشد گیاه تأثیر می‌گذارد. بنابراین، آب و هوا یک محرک مهم غیرقابل مدیریت بهره‌وری آب در کشاورزی است. هنگامی که به بهره‌وری آب اشاره می‌شود، روند تغییر اقلیم می‌تواند به عنوان اطلاعات پشتیبان در فرآیند تصمیم‌گیری در نظر گرفته شود، بهره‌وری آب در یک نقطه و زمان مشخص به شدت با شرایط آب و هوایی خاص در آن مکان و مقطع زمانی خاص مرتبط است. سه عامل (بهره‌وری، در دسترس بودن و کیفیت منابع) باید در کنار هم در نظر گرفته شوند تا درک بهتری از فرآیندها و مسائل مربوط به مصرف آب در اقتصاد (بهره‌وری آب) حاصل شود. بدیهی است که اگر شاخص مناسبی برای ارزیابی بهره‌وری ارائه نشود، آنگاه دقت بالا در تعیین الگو و ترکیب کشت (چی بکاریم و در چه سطحی بکاریم) دور از انتظار است (Vladimirova et al., 2018).

ناصری و عباسی (۲۰۲۲) با لحاظ نمودن نقش اقلیم و خاک در بهره‌وری آب، بهره‌وری فیزیکی گندم در شرایط واقعی و پتانسیل را برای گیاه گندم در کشور برآورد نمودند. اختلاف معنی‌دار بین بهره‌وری فیزیکی گندم در شرایط پتانسیل و واقعی در سطح یک درصد از نتایج پژوهش آنها بود. دلیل اختلاف بهره‌وری فیزیکی در شرایط واقعی و پتانسیل کشت گندم در کشور، تفاوت اقلیم و خاک مناطق مختلف اعلام شد. در این تحقیق بیشترین عملکرد گندم در اقلیم نیمه‌خشک در دشت مغان بدست آمد و بهره‌وری پتانسیل و واقعی در اقلیم مرطوب، نیمه‌خشک و خشک به‌ترتیب از بیشتر به کمتر متغیر بود. ولی نسبت بهره‌وری در شرایط واقعی و پتانسیل در هر سه اقلیم مساوی بود که دلیلی برای آن ذکر نشد. در مطالعهٔ آنها آزمایش آب (کیفیت و مقدار)، خاک (کیفیت فیزیکی و شیمیایی و مقدار آن که به عمق خاک تعبیر می‌شود)، گیاه (رقم، سازگاری با اقلیم و خاک، دریافت انرژی، طول دوره رشد، مقدار تعرق، تراکم و غیره) و مدیریت به‌زراعی (برنامه‌ریزی آبیاری و تغذیه، تاریخ کاشت و برداشت، مبارزه با آفات و بیماری‌ها و غیره) را عامل تغییر در مقدار عملکرد حتی در یک اقلیم مشابه دانستند (ناصری و عباسی، ۱۴۰۱).

برای برآورد بهره‌وری نسبی آب هر گیاه زراعی و باغی، نیاز به برآورد بهره‌وری آب در شرایط پتانسیل برای آن گیاه است. بهره‌وری آب در شرایط پتانسیل، نیاز به برآورد پتانسیل تولید اراضی خاک مزرعه برای گیاه زراعی دارد که در پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفت. در ارزیابی تناسب اراضی و تخمین پتانسیل تولید گندم در برخی خاک‌های آهکی جنوب بهبهان، پتانسیل تابشی _گرمائی تولید گندم (اقلیم)، متوسط پتانسیل تولید زمین (خاک) و میانگین عملکرد زارع به‌ترتیب ۷۱۲۱، ۳۸۸۵ و ۳۲۵۵ کیلوگرم در هکتار برآورد شد (آزادی و همکاران، ۱۴۰۱). در تحقیق دیگر با هدف امکان کشت گندم در اراضی شور (با دامنه ۴/۷ و ۱۱۵ دسی‌زیمنس‌برمتر) آزمایشی در جنوب استان خوزستان انجام و پتانسیل تولید گندم آبی برای منطقه مورد مطالعه برابر با ۶۹۸۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. محدودیت‌های زیاد شوری و قلیائیت، آهک، رطوبت خاک و اسیدیته بالا باعث شد. تا مقدار پتانسیل تولید در واحدهای اراضی بین ۲۹۳/۲ تا ۴۰۹۰/۳ کیلوگرم

در هکتار متغیر باشد (آزادی و همکاران، ۱۴۰۰). زین‌الدینی‌میمند و همکاران (۱۳۹۹) در برخی دشت‌های کشور، پتانسیل اقلیمی گندم را ۸۲۱۱ کیلوگرم، متوسط پتانسیل اراضی را ۵۹۲۳ کیلوگرم و عملکرد واقعی را ۲۷۳۱ کیلوگرم در هکتار بدست آوردند.

بر اساس نتایج پژوهش‌های فراوان در داخل و خارج از کشور، هر یک از شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی، اقتصادی و شکاف بهره‌وری آب، برای ارزیابی یک محصول یا تصمیم‌گیری در مورد کشت یا عدم کشت یک گیاه در یک منطقه، دارای معایبی هستند. با شاخص بهره‌وری فیزیکی نمی‌توان دو گیاه زراعی چغندرقند و زعفران را با هم مقایسه و ارزیابی کرد. شاخص بهره‌وری اقتصادی دو عامل موثر در تولید کشاورزی یعنی شرایط خاک و اقلیم منطقه که مبتنی بر پتانسیل تولید است، در نظر نمی‌گیرد (نظری، ۱۳۹۸). هر چند شکاف بهره‌وری (اختلاف بهره‌وری آب در شرایط واقعی و پتانسیل) بهتر از دو شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی، شرایط را تبیین می‌کند و وضعیت بهره‌وری آب را بهتر نمایان می‌کند، ولی این شاخص هم به دلیل تفاوت در ماهیت عملکرد گیاهان مختلف (مثل زعفران و گوجه‌فرنگی)، ارزیابی صحیحی از بهره‌وری آب را ارائه نمی‌دهد. بنابراین، در این مقاله، شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب معرفی و برای هر یک از عوامل موثر بر تولید محصول، نظیر خاک، گیاه، اقلیم، مدیریت و تورم، به‌طور جداگانه، با شاخص‌های مرسوم بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب و همچنین شکاف بهره‌وری مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب (KWP_e)، با تعریف نسبت بهره‌وری اقتصادی آب در شرایط واقعی به بهره‌وری اقتصادی آب در شرایط استاندارد (رابطه ۱) معرفی و با شاخص بهره‌وری نسبی فیزیکی آب (KWP_p) که به صورت نسبت بهره‌وری فیزیکی آب در شرایط واقعی به بهره‌وری فیزیکی آب در شرایط استاندارد (رابطه ۲) تعریف می‌شود (جناب و نظری، ۱۳۹۷) و سایر شاخص‌های بهره‌وری مرسوم یعنی شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی (WPE_a) و بهره‌وری فیزیکی (WPP_a) آب در شرایط واقعی (به‌ترتیب بر حسب تومان بر مترمکعب و کیلوگرم بر مترمکعب)، مطابق رابطه‌های ۳ و ۴ (ناصری و عباسی، ۱۴۰۱)، شکاف بهره‌وری فیزیکی آب (WPG_p) و شکاف بهره‌وری اقتصادی آب (WPG_e)، مطابق رابطه‌های ۵ و ۶ (جناب و نظری، ۱۳۹۷)، در گیاهان، خاک‌ها، اقلیم‌ها و مدیریت‌های آبیاری مختلف، مقایسه و ارزیابی شد.

$$KWP_e = \frac{\frac{(Income - Cost)_a}{WI}}{\frac{(Income - Cost)_p}{NI}}$$ رابطه ۱)

$$KWP_p = \frac{\frac{Yield_a}{WI}}{\frac{Yield_p}{NI}}$$ رابطه ۲)

در این روابط؛ KWP_e و KWP_p بدون‌بعد، income و cost به‌ترتیب درآمد و هزینه کشاورز در واحد سطح مزرعه (هکتار) بر حسب تومان، a و p: به‌ترتیب بیانگر شرایط واقعی و پتانسیل، WI حجم آب آبیاری بر حسب مترمکعب بر هکتار (مقدار آبی است که وارد مزرعه گردیده است)، NI نیاز خالص آب آبیاری گیاه در شرایط استاندارد بر حسب مترمکعب بر هکتار (روابط ۹، ۱۰ و ۱۱)، $Yield_a$ و $Yield_p$ به‌ترتیب عملکرد در شرایط واقعی و پتانسیل بر حسب کیلوگرم بر هکتار می‌باشند. عملکرد در شرایط واقعی همان عملکرد کشاورز و عملکرد پتانسیل، معادل پتانسیل تولید اراضی (LPP) است که به روش فائو، برای هر گیاه، در خاک‌ها و اقلیم‌های مختلف به‌دست آمد (زین‌الدینی-میمند و همکاران، ۱۳۹۹). درآمد در شرایط واقعی و پتانسیل از حاصل‌ضرب هر کدام از عوامل درآمد مثل عملکرد و اجزای عملکرد در قیمت متناظر، در سال مورد بررسی، به‌ترتیب در شرایط واقعی و پتانسیل محاسبه و هزینه واقعی شامل کلیه مخارج کشاورز از کاشت تا برداشت و رساندن محصول به محل فروش یا مصرف است و هزینه در شرایط پتانسیل، شامل هزینه کاشت تا برداشت (مثل هزینه شخم، برداشت، آبیاری و غیره) بعلاوه هزینه‌ای که لازم است تا شرایط برای رشد گیاه مطابق تعریف فائو، به شرایط بدون محدودیت برسد. شرایط بدون محدودیت شرایطی است که گیاه هیچ تنشی از جنبه آب آبیاری، آفات و بیماری‌ها و تغذیه (عناصر غذایی) متحمل نشود. به عنوان مثال بر اساس آزمون خاک هزینه مقدار کود مورد نیاز برای تامین شرایط بدون محدودیت تغذیه، یا هزینه کارگری برای تعداد آبیاری‌ها به طوری‌که رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی قرار بگیرد باشد مشمول هزینه در شرایط پتانسیل می‌باشد. با این تعریف شاخص بهره‌وری نسبی آب (اعم از اقتصادی و یا فیزیکی)، در واقع نسبت توان بالفعل مزرعه در شرایط خاک، اقلیم، مدیریت به‌زراعی و اقتصاد موجود، به

توان بالقوه آن مزرعه برای تولید محصول است.

$$WPE_a = \frac{(Income - Cost)_a}{WI}$$ رابطه ۳)

$$WPP_a = \frac{(Yield)_a}{WI}$$ رابطه ۴)

به‌طور کلی شکاف بهره‌وری آب، اختلاف بین بهره‌وری در شرایط استاندارد و واقعی (شرایط زارع) است (جناب و نظری، ۱۳۹۷).

$$WPG_e = WPE_p - WPE_a$$ رابطه ۵)

$$WPG_p = WPP_p - WPP_a$$ رابطه ۶)

در این روابط، WPE_p و WPP_p به‌ترتیب بهره‌وری اقتصادی و فیزیکی آب در شرایط پتانسیل است و واحد آن مشابه بهره‌وری اقتصادی و فیزیکی در شرایط واقعی است. بهره‌وری آب در شرایط پتانسیل را محققین زیادی در تحقیقات خود استفاده نموده‌اند (Jones et al., 2005؛ نظری و لیاقت، ۱۳۹۵؛ جناب و نظری، ۱۳۹۷؛ ناصری و عباسی، ۱۴۰۱). مطابق این منابع، بهره‌وری اقتصادی و فیزیکی آب در شرایط پتانسیل به صورت رابطه ۷ و ۸ محاسبه گردید.

$$WPE_p = \frac{(Income - Cost)_p}{\mathrm{NI}}$$ رابطه ۷)

$$WPP_p = \frac{(Yield)_p}{\mathrm{NI}}$$ رابطه ۸)

پارامترهای مورد نیاز در برآورد این دو شاخص عبارتند از نیاز خالص آب آبیاری، عملکرد و هزینه در شرایط پتانسیل. نحوی برآورد و محاسبه عملکرد و هزینه در شرایط پتانسیل قبلا توضیح داد شده است. اما در برآورد مقدار نیاز خالص آب آبیاری از روابط ۹ تا ۱۱ استفاده گردیده است که به شرح زیر می‌باشد:

$$ET_O = \frac{0.408(R_n - G) + \gamma\left(\frac{900}{T + 273.16}\right)U_2(e_a - e_s)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$ رابطه ۹)

$$ET_c = K_c \times ET_o$$ رابطه ۱۰)

$$NI = ET_c - P_{eff}$$ رابطه ۱۱)

در این روابط ETo: تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن (mm/day)، ETc: نیاز آبی (mm/day)، Kc: ضریب گیاهی و P_{eff} مقدار باران موثر (mm) می‌باشد.

مقدار شاخص‌های KWP_e و KWP_p بین صفر تا یک است. مقدار یک بیانگر این است که بهره‌وری آب در مزرعه کشاورز برای آن کشت خاص به حد استاندارد که بالاترین حد از بهره‌وری آب است، رسیده است. بهره‌وری صفر مربوط به شرایطی است که آفات و بیماری‌ها یا سیل و بلایای طبیعی و غیرطبیعی (مثلاً عدم آبیاری طولانی‌مدت) باعث از بین رفتن کامل محصول شده است. وقتی مقدار شاخص KWP_e برای یک گیاه در یک خاک و اقلیم و تحت هر مدیریت و سامانه آبیاری برابر ۰/۶۵ باشد، به این معنا است که ۶۵ درصد بهره‌وری پتانسیل حاصل شده است.

برای ارزیابی شاخص پیشنهادی، نیازمند برآورد شاخص‌های WPE_a، WPP_a، WPE_p، WPP_p، WPG_e و WPG_p و پارامترهای مرتبط آنها در شرایط مختلف (گیاه، اقلیم، خاک و اقتصاد)، احتیاج به داده‌های میدانی است. لذا برای ارزیابی شاخص بهره‌وری نسبی آب و مقایسه آن با سایر شاخص‌ها، از نتایج پژوهش‌های انجام گرفته در مناطقی از ملایر در استان همدان، دشت مغان در استان اردبیل، بهبهان و شاوور در استان خوزستان و قزوین در استان قزوین بین سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۱ در گیاهان زراعی و باغی شامل انگور، گردو، گندم، ذرت، پنبه، چغندرقند، جو، کنجد، آفتابگردان، یونجه و سیب‌زمینی که پیش‌تر در منابع منتشر شده بود، استفاده گردید (جدول ۱).

بر این اساس در مقاله حاضر از نتایج دو دسته از منابع استفاده شد. دسته اول پژوهش‌هایی بود که در آن‌ها با اندازه‌گیری مقدار عملکرد، حجم آب آبیاری، درآمد و هزینه، شاخص WPE_a و WPP_a، برای یک یا چند گیاه زراعی در یک منطقه محاسبه شده بود. در این دسته، نیاز خالص آبی گیاه برای محاسبه شاخص‌های KWP_e و KWP_p، از کتاب برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور استخراج شد (فرشی و همکاران، ۱۳۷۶). برای دستیابی به عملکرد پتانسیل، از منابعی که در آنها پتانسیل تولید اراضی (LPP) برای همان گیاهان و در همان مناطق برآورد شده بود، استفاده گردید. در مجموع با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده شاخص‌های WPE_a، WPP_a، KWP_e و KWP_p برآورد و برای شرایط مختلف، با یکدیگر مقایسه شدند. دسته دوم نتایج پژوهش‌هایی بودند که در آنها شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در شرایط واقعی و پتانسیل ارائه شده بود. بر این اساس، شاخص‌های WPG_e، WPG_p، KWP_p و KWP_e برای چند گیاه مختلف مقایسه و ارزیابی شدند.

جدول ۱. برخی مشخصات و داده‌های مورد استفاده برای ارزیابی شاخص پیشنهادی

ردیف	محل مطالعه	محصول	مورد استفاده	ماخذ
۱	ملایر	انگور و گردو	پتانسیل تولید اراضی	Ghadami Firouzabadi (2021)
۲	دشت مغان	گندم، ذرت، پنبه، چغندرقند، جو، کنجد، آفتابگردان، یونجه و سیب-زمینی	تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب، پتانسیل تولید اراضی	Farahza et al. (2019)
۳	بهبهان	گندم	تعیین پتانسیل تولید اراضی، شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب	Azadi et al. (2022) Naseri & Abbasi (2022)
۴	شاوور (شوش)	گندم	تعیین پتانسیل تولید اراضی، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی	Mossaddeghi et al. (2020) Naseri & Abbasi (2022)
۵	قزوین	گندم، جو و ذرت	تعیین بهره‌وری فیزیکی، اقتصادی و شکاف بهره‌وری آب	Jenab & Nazari (2019)

نتایج و بحث

الف- ارزیابی شاخص پیشنهادی در گیاهان مختلف

برای ارزیابی شاخص KWP_e، مقدار این شاخص به همراه میانگین شاخص‌های KWP_p، WPE_a و WPP_a برای چند محصول مختلف در پارس‌آباد مغان محاسبه و در جدول ۲ نشان داده شده است. اقلیم، خاک و کیفیت آب آبیاری برای این گیاهان یکسان و فقط مقدار هزینه و قیمت هر یک از محصولات متفاوت بود. در بین این گیاهان، هندوانه، چغندرقند و ذرت علوفه‌ای به‌ترتیب با ۶، ۴/۶۳ و ۳/۶ کیلوگرم بر مترمکعب، بیشترین شاخص بهره‌وری فیزیکی آب را داشتند. این موضوع به دلیل تفاوت در ماهیت عملکرد این گیاهان (عملکرد در واحد سطح بالا) می‌باشد. در مزارع آزمایشی، عملکرد در واحد سطح بالای چغندرقند نسبت به محصولاتی مثل گندم و جو، باعث افزایش شاخص بهره‌وری فیزیکی چغندرقند نسبت به محصولات دیگر گردید. چون در این شاخص درآمد (عملکرد × قیمت محصول) و هزینه کشاورز، لحاظ نمی‌شود بدیهی است محصولاتی که عملکرد در واحد سطح بالایی دارند، بالاترین بهره‌وری فیزیکی آب را داشته باشند. بنابراین، بالا بودن شاخص بهره‌وری فیزیکی آب در یک گیاه، دلیل بر برتری بهره‌وری آب در آن گیاه نیست. به همین دلیل بر اساس این شاخص نمی‌توان کاشت یا عدم کاشت یک گیاه، مثل هندوانه، را توصیه کرد. علاوه بر این به دلیل تفاوت در ماهیت عملکرد گیاهان، نمی‌توان میانگین بهره‌وری فیزیکی گیاهان مختلف در یک منطقه را برآورد و با بهره‌وری فیزیکی گیاهان در سایر مناطق مقایسه و ارزیابی کرد. ازاین‌رو، این شاخص ارزیابی دقیقی از بهره‌وری آب در گیاهان مختلف حتی در یک منطقه را ارائه نمی‌دهد و نمی‌توان بر اساس آن در مورد کشت یک گیاه زراعی که بهره‌وری بالایی داشته باشد، تصمیم‌گیری کرد.

مزیت شاخص بهره‌وری اقتصادی نسبت به بهره‌وری فیزیکی آب این است که در آن بجای عملکرد، از سود خالص (هزینه – درآمد) حاصل از تولید و فروش محصول کشاورزی استفاده می‌شود (حجم آب آبیاری در هر دو شاخص یکسان است). بدیهی است که تفاوت قیمت و هزینه تولید محصولات مختلف، باعث تفاوت در مقادیر دو شاخص WPE_a و WPP_a شد. بر خلاف شاخص WPP_a، شاخص WPE_a، در بین گیاهان مورد بررسی در جدول ۲، گیاه خربزه، هندوانه و گوجه‌فرنگی به‌ترتیب با ۸۸۶۰، ۴۹۷۰ و ۲۵۵۰ تومان بر مترمکعب را به عنوان گیاهان با بالاترین بهره‌وری اقتصادی آب معرفی کرد. بنابراین با تغییر شاخص ارزیابی از WPP_a به WPE_a، نتیجه متفاوت

دریافت شد. هر چند در شاخص WPE_a، قیمت و هزینه محصول در محاسبه بهره‌وری آب دخالت داده می‌شود و نسبت به شاخص WPP_a، جامع‌تر است ولی در این شاخص، مبنایی برای مطلوب بودن یا نبودن بهره‌وری آب وجود ندارد. شاخص WPE_a، برای هر گیاه، در خاک و اقلیم مشخص، بر اساس قیمت محصول، آب مصرفی و هزینه صرف شده (رابطه ۳)، یک بهره‌وری ارائه می‌دهد که در سال‌های مختلف با تغییر قیمت محصول و هزینه، تغییر می‌کند. این عدد که معمولا از سه رقم بیشتر است و به ذهن سپردن آن هم مشکل است، حد مطلوب بودن بهره‌وری آب را نشان نمی‌دهد. مثلا آیا ۸۸۶۰ تومن بر مترمکعب برای خربزه مطلوب است یا نیاز به ارتقا بهره‌وری آب بیشتر دارد؟ اگر شاخص WPE_a هندوانه، از طریق مقایسه با سایر گیاهان جدول ۲، ارزیابی شود آن موقع این سوال پیش می‌آیدکه آیا بهره‌وری سایر گیاهان مطلوبیت دارند که با آن سنجیده شوند؟ اگر بر اساس بهره‌وری سال‌های قبل ارزیابی شود، مشابه همین سوال پیش می‌آید که آیا بهره‌وری در سال قبل مطلوب بوده که با آن مقایسه صورت گیرد؟ چقدر بهره‌وری نسبت به سال قبل افزایش یابد، مطلوبیت حاصل خواهد شد؟ با شاخص WPE_a نمی‌توان به این سوال پاسخ داد چون در این شاخص مبنای درستی تعریف نشده است.

پاسخ این سوالات با شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب امکان‌پذیر است. بر این اساس برای گیاهان جدول ۲، در دشت مغان، بهره‌وری نسبی اقتصادی آب (رابطه ۱) با مبنای بهره‌وری اقتصادی پتانسیل آب (۸)، محاسبه گردید. در گوجه‌فرنگی، با بهره‌وری اقتصادی بالا بعد از خربزه و هندوانه، کمترین بهره‌وری نسبی اقتصادی آب به‌دست آمد. به‌عبارتی بر اساس بهره‌وری نسبی اقتصادی، فقط ۰/۱۷ از توان بالقوه بهره‌وری آب مزرعه حاصل شده و ۸۳ درصد فضای کار برای پیشرفت در تولید گوجه‌فرنگی در این منطقه از کشور وجود دارد. در مقابل گندم بالاترین بهره‌وری نسبی اقتصادی آب (۰/۶۸) را نسبت به سایر گیاهان داشت. این یعنی با توجه به پتانسیل تولید و شرایطی که در دشت مغان برای گیاه گندم وجود دارد، بهره‌وری اقتصادی آب در آن، ۳۲ درصد با شرایط پتانسیل فاصله دارد. ذکر این نکته هم ضروری است که فهم و درک شاخص KWP_e، نسبت به سایر شاخص‌ها راحت‌تر است.

تفاوت شاخص KWP_p با شاخص KWP_e، در لحاظ نشدن هزینه و قیمت محصولات زراعی در شاخص KWP_p است. این دو پارامتر در تصمیم‌گیری و مدیریت کشاورز و در بهره‌وری آب نقش پررنگی دارند. در این منطقه چون گیاهان مختلف قیمت‌ها و هزینه‌هایی مختلفی داشتند. بدیهی است که مقادیر شاخص‌های KWP_p و KWP_e متفاوت باشند. غالبا به دلیل کم شدن هزینه از درآمد (کم شدن مقدار صورت و مخرج رابطه ۱)، مقدار شاخص KWP_e کمتر از شاخص KWP_p است. همچنین چون در مزارع مورد نظر در این دشت (گیاهان جدول ۲)، همه عوامل موثر بر شاخص بهره‌وری آب (آب، خاک، اقلیم، مدیریت آبیاری و قیمت محصولات) برای هر دو شاخص یکسان بودند، لذا مقدار شاخص KWP_e نزدیک به شاخص KWP_p حاصل شدند.

جدول ۲- مقایسهٔ مقادیر شاخص‌های مختلف بهره‌وری آب در چند گیاه مختلف در دشت مغان

گیاه	$Yield_a$ (Kg/ha)	$Yield_p$ (Kg/ha)	WI (m^3/ha)	NI (m^3/ha)	$Benefit_a^*$	$Benefit_p^*$	WPP_a (Kg/m^3)	WPE_a (Toman/m^3)	KWP_p (بی‌بعد)	KWP_e (بی‌بعد)
گندم	۵۴۰۰	۷۰۰۰	۴۸۰۵	۴۳۵۵	۷۵۲۰۰۰۰	۱۰۱۰۰۰۰۰	۱/۱۲	۱۵۶۵	۰/۷	۰/۶۸
ذ. دانه‌ای	۴۳۰۰	۸۸۰۰	۷۵۸۰	۵۹۷۰	۵۲۸۴۰۰۰	۱۳۱۴۴۰۰۰	۰/۵۷	۷۰۰	۰/۳۸	۰/۳۲
ذ. علوفه‌ای	۲۲۵۰۰	۶۰۰۰۰	۶۱۸۰	۴۵۳۵	۸۲۳۷۵۰۰	۲۴۶۰۰۰۰۰	۳/۶	۱۳۳۰	۰/۲۸	۰/۲۵
خربزه	۲۷۰۰۰	۴۰۰۰۰	۷۷۷۰	۴۰۱۴	۶۸۸۳۰۰۰۰	۱۰۲۴۰۰۰۰۰	۳/۵	۸۸۶۰	۰/۳۵	۰/۳۵
برنج	۲۵۵۰	۵۰۰۰	۳۴۵۶۰	۲۸۵۰۰	۲۲۵۰۰۰۰۰	۴۶۱۰۰۰۰۰	۰/۰۷	۶۵۰	۰/۴۶	۰/۴۲
یونجه	۳۰۰۰	۵۵۰۰	۱۴۰۴۰	۹۷۴۶	۳۱۰۰۰۰۰	۷۲۰۰۰۰۰	۰/۲۱	۲۲۰	۰/۳۸	۰/۳
گوجه‌فرنگی	۳۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	۱۲۹۶۰	۶۱۸۴	۳۳۰۵۰۰۰۰	۹۲۱۰۰۰۰۰	۲/۳۱	۲۵۵۰	۰/۱۸	۰/۱۷
جو	۳۶۰۰	۶۰۰۰	۳۷۵۰	۴۲۰۰	۵۳۸۰۰۰۰	۹۲۰۰۰۰۰	۰/۹۶	۱۴۳۵	۰/۶۷	۰/۶۵
هندوانه	۳۹۵۰۰	۵۵۰۰۰	۶۶۰۰	۶۱۷۲	۳۲۷۷۲۵۰۰	۴۵۸۲۵۰۰۰	۶	۴۹۷۰	۰/۶۷	۰/۶۷
چغندرقند	۵۰۰۰۰	۷۰۰۰۰	۱۰۸۰۰	۷۰۳۲	۱۵۶۵۰۰۰۰	۲۲۸۰۰۰۰۰	۴/۶۳	۱۴۵۰	۰/۴۷	۰/۴۵

*** - $Benefit_a$ و $Benefit_p$ به ترتیب بیانگر سود خالص در شرایط واقعی و پتانسیل**

ب- ارزیابی شاخص پیشنهادی در اقلیم‌های مختلف

میانگین شاخص‌های WPP_a، WPE_a، KWP_e و KWP_p در سه اقلیم گرم و معتدل، سرد و گرم و خشک، برای گیاه گندم در جدول (۳) ارائه شده است. اقلیم، اولین مجوز کاشت یک گیاه در یک منطقه می‌باشد. در مناطق سردسیر خرما قابل پرورش نیست حتی اگر آب به

اندازه کافی وجود داشته باشد و خاک هم از شرایط مناسبی برخوردار باشد. اگرچه گندم در اغلب اقلیم‌ها قابل کشت است ولی این گیاه در اقلیم‌های مختلف، عملکرد متفاوتی دارد. مقادیر شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی در سه اقلیم مورد بررسی نشان داد که شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در اقلیم‌های سه‌گانه روندی (تغییرات نسبت به اقلیم) مشابه داشتند. هم بهره‌وری فیزیکی و هم بهره‌وری اقتصادی، در اقلیم گرم و معتدل کمترین و در اقلیم گرم و خشک بیشترین مقدار داشتند (جدول ۳). این در حالی است که گندم در مناطق گرم و خشک و گرم و معتدل عملکرد بیشتری نسبت به مناطق سردسیر دارد (زین‌الدینی و همکاران، ۱۳۹۹) و شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب این موضوع را تایید کرد. در شاخص KWP_e آب، بهره‌وری اقتصادی در شرایط واقعی نسبت به بهره‌وری اقتصادی آب در شرایط پتانسیل سنجیده می‌شود (رابطه ۱). در بهره‌وری اقتصادی آب در شرایط استاندارد (رابطه ۸) نیازمند پتانسیل تولید اقلیمی و اراضی مزرعه (عملکرد پتانسیل) و نیاز آبیاری در شرایط استاندارد (پتانسیل) است. هم پتانسیل تولید اقلیمی و اراضی مزرعه و هم نیاز آب آبیاری در شرایط استاندارد به اقلیم منطقه وابسته است. به عبارت دیگر در استفاده از این شاخص اقلیم منطقه مستقیما در مقدار بهره‌وری آب دخالت دارد. در حالی که در هر دو شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی، اقلیم دخالت مستقیم ندارد. در شاخص بهره‌وری نسبی فیزیکی آب (رابطه ۲) هم اقلیم در برآورد پتانسیل عملکرد و نیاز آب آبیاری نقش مستقیم دارد. لذا در هر دو شاخص بهره‌وری نسبی (فیزیکی و اقتصادی)، اقلیم اثرگذار بود ولی به دلیل در نظر گرفته نشدن هزینه برای تولید گندم و قیمت آن در شاخص بهره‌وری نسبی فیزیکی آب، نتایج متفاوتی نسبت به شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب، در پی داشت. به طوری‌که شاخص KWP_p ، کمترین بهره‌وری آب را در اقلیم گرم و خشک و شاخص KWP_e در اقلیم سرد نشان داد. هر چند هر دو شاخص منطقه گرم و معتدل را مناسب برای کشت گندم معرفی نمودند.

جدول ۳- مقایسهٔ مقادیر شاخص‌های مختلف بهره‌وری در اقلیم‌های مختلف•

پارامترهای اندازه‌گیری و محاسبه شده	گرم و معتدل	سرد	گرم و خشک
$Yield_a$ (Kg/ha)	۲۸۴۵	۳۹۸۲	۴۱۱۸
$Yield_p$ (Kg/ha)	۳۸۹۲	۷۲۶۸	۶۵۰۵
WI (m^3/ha)	۶۵۸۰	۷۵۴۲	۷۶۱۸
NI (m^3/ha)	۴۴۹۰	۴۱۵۵	۵۳۰۰
$Benefit_a$	۴۳۵۴۷۰۰۰	۶۵۷۱۶۰۰۰	۶۸۳۷۲۰۰۰
$Benefit_p$	۶۲۷۳۲۰۰۰	۱۳۰۲۶۸۰۰۰	۱۱۴۷۲۰۰۰۰
WPP_a (Kg/m^3)	۰/۴۶	۰/۵۶	۰/۶
WPE_a (Toman/m^3)	۷۰۰۰	۹۳۰۰	۱۰۰۰۰
KWP_p (بی‌بعد)	۰/۵۱	۰/۴۶	۰/۴۲
KWP_e (بی‌بعد)	۰/۴۸	۰/۳۱	۰/۴۳

•تقسیمات اقلیمی ایران (گنجی، ۱۳۸۲)

ج- ارزیابی شاخص پیشنهادی در خاک‌های مختلف

خاک بعد از اقلیم، دومین مجوز برای کاشت گیاهان زراعی و باغی است. در یک اقلیم، گیاهان مختلف، در خاک‌های مختلف عملکرد متفاوتی دارند. برخی گیاهان در خاک‌های سبک و برخی گیاهان در خاک‌های سنگین، رشد بهتری دارند. برای ارزیابی شاخص‌های مد نظر در خاک‌های مختلف، چند مزرعه گندم در استان خوزستان که در یک منطقه قرار داشتند و دارای اقلیم و مدیریت زراعی مشابه بودند و پتانسیل عملکرد گندم در هر یک از آنها (آزادی و همکاران، ۱۴۰۱) برآورد شده بود، برای این منظور انتخاب و میانگین شاخص‌های مختلف بهره‌وری آب گندم در هر یک از خاک‌های جدول ۴ برآورد و مقایسه شدند. کشاورزان منطقه بدون توجه به نیاز آبی گندم و بر اساس عرف یا حقابه، مزارع خود را آبیاری کردند. بدیهی است مزارع با خاک‌های مختلف و در نتیجه با نفوذ و گنجایش زراعی متفاوت، حجم آب آبیاری متفاوتی برای آبیاری گندم نیاز دارند. یک حجم مشخص آب آبیاری، ممکن است برای آبیاری یک مزرعه کافی و برای یک مزرعه دیگر کم باشد. چون مزارع گندم انتخابی در یک منطقه بودند، بنابراین قیمت و هزینه صرف شده تا حدودی یکسان ولی مقدار عملکرد و حجم آب آبیاری در واحد سطح هر مزرعه، متفاوت بودند. به همین دلیل روند تغییرات شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب (تغییرات شاخص نسبت به تغییرات خاک)، در خاک‌های مختلف مشابه بودند. به عنوان مثال مقدار هر دو شاخص در خاک لوم رسی تقریبا دو برابر خاک لومی بود.

در جدول (۴) علی‌رغم این‌که گندم در خاک شنی پایین‌ترین مقدار شاخص‌های WPP_p و WPE_a را داشت ولی شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب نتیجه متفاوتی ارائه داد. به طوری‌که شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب این خاک بیشتر از شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب برخی خاک‌ها مثل خاک لومی بود و نشان داد که در خاک شنی فاصله بین توان تولید بالفعل (آنچه که در مزرعه اتفاق می‌افتد) و توان تولید بالقوه (بهره‌وری در شرایط استاندارد) مزرعه کمتر از خاک لومی است. این مسئله توجیه‌کننده رضایت برخی کشاورزان از مزارعی با عملکرد کمتر نسبت به مزرعه‌ای با عملکرد بیشتر می‌باشد. در واقع رضایت‌مندی یا عدم رضایت زارع از عملکرد یک محصول، مرتبط با توان تولید خاک مزرعه است. در خاک شنی اگر شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب مبنای قضاوت باشد، کشاورز ناراضی اما اگر کشاورز شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب را مبنا قرار دهد، راضی خواهد بود. این دلیل دیگری بر ارجحیت شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب در ارزیابی بهره‌وری آب در کشاورزی است. به عبارت دیگر شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب، متناسب با آبی که برای تولید یک محصول مصرف شده است، بهره‌وری را بر اساس توان تولید خاک و اقلیم منطقه ارائه می‌دهد نه صرفا محصولی که زارع به‌دست آورده است.

همان‌طور که قبلا هم گفته شد، تنها تفاوت شاخص KWP_p و KWP_e، لحاظ نشدن درآمد و هزینه در شاخص KWP_p است و چون هزینه و قیمت محصول گندم یکسان بود، لذا مقادیر این دو شاخص در خاک‌های مختلف بسیار به هم نزدیک بودند. این نتیجه نشان داد که برای یک گیاه زراعی در یک منطقه که هزینه صرف شده و قیمت محصول یکسان است، می‌توان از شاخص KWP_p که نسبت به شاخص KWP_e نیاز به داده‌های میدانی کمتری دارد، استفاده نمود. چون اولا شرایط اقلیمی و در نتیجه پتانسیل تولید اقلیمی برای گیاه یکسان است و ثانیا در هر دو شاخص بهره‌وری نسبی (فیزیکی و اقتصادی) آب، بهره‌وری بر اساس توان تولید هر یک از خاک‌ها، برآورد می‌شود بنابراین اقلیم و خاک به‌طور مستقیم در شاخص بهره‌وری دخالت داده می‌شود و ثالثا عامل تفاوت دو شاخص یعنی هزینه و قیمت محصول هم یکسان است.

جدول ٤- مقایسهٔ مقادیر شاخص‌های مختلف بهره‌وری آب در خاک‌های مختلف

ویژگی خاک	$Yield_p$ (Kg/ha)	$Yield_a$ (Kg/ha)	WI (m^3/ha)	NI (m^3/ha)	$Benefit_a^*$	$Benefit_p^*$	WPP_a (Kg/m^3)	WPE_a (Toman/m^3)	KWP_p (بی‌بعد)	KWP_e (بی‌بعد)
Silty Clay Loam	۳۳۷۲	۴۰۱۶	۶۵۸۸	۴۵۰۱	۵۳۸۱۴۰۰۰	۶۴۸۵۵۰۰۰	۰/۵۱	۸۲۰۰	۰/۵۷	۰/۵۷
Silt Loam	۴۲۰۰	۴۷۲۸	۷۰۵۸	۴۵۰۱	۶۹۹۷۵۰۰۰	۷۸۶۶۷۰۰۰	۰/۶	۹۹۰۰	۰/۵۷	۰/۵۷
Loam	۳۰۵۰	۳۵۸۲	۸۰۰۰	۴۵۰۱	۴۷۵۲۹۰۰۰	۵۶۳۰۲۰۰۰	۰/۳۸	۵۹۰۰	۰/۴۸	۰/۴۷
Sandy	۱۲۰۰	۱۲۸۰	۸۰۰۰	۴۵۰۱	۱۱۴۲۱۰۰۰	۱۱۰۴۱۰۰۰	۰/۱۵	۲۰۰۰	۰/۵۳	۰/۵۸
Loam	۳۲۰۰	۳۹۸۱	۸۰۰۰	۴۵۰۱	۵۰۴۵۷۰۰۰	۶۴۲۷۲۰۰۰	۰/۴	۶۳۰۰	۰/۴۵	۰/۴۴
Clay Loam	۴۷۰۰	۵۱۴۱	۶۱۱۷	۴۵۰۱	۷۹۷۳۴۰۰۰	۸۶۶۶۴۰۰۰	۰/۷۷	۱۳۰۰۰	۰/۶۷	۰/۶۸
Silty Clay Loam	۴۱۶۶	۴۸۸۵	۶۵۸۸	۴۵۰۱	۶۹۳۱۱۰۰۰	۸۱۸۷۱۰۰۰	۰/۶۳	۱۰۵۰۰	۰/۵۸	۰/۵۸
Silty Clay	۴۱۳۰	۴۶۲۲	۵۱۷۶	۴۵۰۱	۶۸۶۰۹۰۰۰	۷۶۵۷۲۰۰۰	۰/۸	۱۳۳۰۰	۰/۷۸	۰/۷۸

د- ارزیابی شاخص پیشنهادی در مدیریت آبیاری

تغییر سامانه آبیاری مزارع از ثقلی به تحت‌فشار (قطره‌ای) یکی از ده‌ها مدیریتی است که در کشاورزی با هدف افزایش بهره‌وری آب صورت می‌گیرد. این تغییر مدیریت آبیاری، برای دو گیاه باغی انگور و گردو در منطقه ملایر استان همدان با شاخص‌های پیشنهادی ارزیابی شد. مقادیر شاخص‌های مختلف بهره‌وری آب برای این دو گیاه در دو سامانه آبیاری مورد نظر در جدول (۵) ارائه شده است. به دلیل ماهیت عملکرد انگور (عملکرد در واحد سطح بیشتر نسبت به گردو)، شاخص بهره‌وری فیزیکی انگور که ارتباط مستقیم با عملکرد در واحد سطح دارد، در هر دو سامانه آبیاری بیشتر از گردو بود. به عبارت دیگر شاخص بهره‌وری فیزیکی آب، آبیاری ثقلی در باغ انگور را به دلیل عملکرد در واحد سطح بیشتر، بهره‌ورتر از سامانه آبیاری قطره‌ای در گردو معرفی کرد. در صورتی‌که شاخص بهره‌وری اقتصادی، به دلیل قیمت بالای گردو، در هر دو سامانه آبیاری، گردو را بهره‌ورتر معرفی نمود. بنابراین، اگر شاخص WPP_a مبنای ارزیابی قرار بگیرد، در هر دو سامانه آبیاری، انگور و اگر شاخص WPE_a مبنا قرار بگیرد در هر دو سامانه آبیاری، گردو دارای بهره‌وری آب بیشتر می‌باشد. یعنی شاخص‌های WPP_a و WPE_a، مقادیر بهره‌وری آب برای انگور و گردو در دو سامانه آبیاری ثقلی و قطره‌ای، نتیجه معکوس ارائه دادند. لذا، با این دو

شاخص نمی‌توان تغییر مدیریت آبیاری از ثقلی به قطره‌ای را ارزیابی کرد. اما نتایج ارزیابی مدیریت آبیاری انگور و گردو با استفاده از شاخص پیشنهادی KWP_e، نشان داد که با هر قیمتی و با هر ماهیت عملکردی، چون بهره‌وری آب هر کدام از گیاهان گردو و انگور بر اساس بهره‌وری استاندارد منحصر به فرد هر گیاه مقایسه می‌شود، لذا اولا چه در سامانه ثقلی و چه در سامانه قطره‌ای، بهره‌وری آب در گردو کمتر از انگور به‌دست آمد، ثانیا چه در انگور و چه در گردو، به دلیل کاهش مصرف آب در سامانه آبیاری قطره‌ای، همواره بهره‌وری آب در سامانه آبیاری قطره‌ای بیشتر از سامانه آبیاری ثقلی بود. به عبارت دیگر هر مدیریتی که باعث کاهش مصرف آب و افزایش عملکرد در شرایط زارع (واقعی) شود، باعث نزدیکی بهره‌وری واقعی به بهره‌وری در شرایط استاندارد و در نتیجه افزایش شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب می‌شود و این برای زعفران با قیمت کیلویی حدود ۳۰ میلیون تومان و عملکرد ۳ کیلوگرم در هکتار و چغندرقند با قیمت کیلویی ۱۸۰۰ تومان و ۷۰ تن در هکتار صادق است.

نکته حائز اهمیت در تغییر سامانه آبیاری یا هر مدیریت به‌زراعی دیگر، تعیین مقدار دقیق اثرگذاری آن مدیریت بر بهره‌وری است. تغییر سامانه آبیاری از ثقلی به قطره‌ای باعث افزایش بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی در انگور و گردو به‌ترتیب به مقدار ۳/۴۶ و ۰/۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب و ۱۵۰۰۰ و ۱۳۷۰۰ تومان بر مترمکعب شده است. سوال اصلی این است که آیا این مقدار در حد کفایت بوده یا خیر؟ به عبارتی این افزایش بهره‌وری آب برای کشاورز راضی‌کننده است یا خیر؟ این سوال مشابه این است که فرض کنید حقوق ماهیانه یک کارمند دو میلیون تومان در ماه افزایش یافته است. آیا کارمند از این افزایش حقوق راضی است؟ قطعا پاسخ به این سوال به اطلاعات بیشتری نیاز دارد و بدون آنها پاسخ به این سوال امکان‌پذیر نیست. افزایش دو میلیون تومان زمانی معنا و مفهوم پیدا می‌کند که حقوق مبنا مشخص باشد. افزایش حقوق دو میلیون تومانی در حقوق مبنای ۵۰ میلیون تومان و ۵ میلیون تومان بسیار متفاوت است. بنابراین، قضاوت در مورد تاثیر دقیق یک مدیریت با دو شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی ممکن نیست. اما با شاخص بهره‌وری نسبی (اقتصادی و یا فیزیکی)، تحت هر شرایط و در هر سال زراعی، با دقت می‌توان تاثیر آن مدیریت را با درصد مشخص کرد. مثلا با معیار شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی، سامانه آبیاری قطره‌ای، بهره‌وری را در گردو و انگور به‌ترتیب ۲۱ و ۳۷ درصد ارتقا داده است. یعنی سهم مدیریت تغییر سامانه در دو محصول گردو و انگور به‌ترتیب ۲۱ درصد (۰/۲۱=۰/۳۱− ۰/۵۲) و ۳۷ درصد (۰/۳۷=۰/۴۳− ۰/۸) است (جدول ۵). اگر این ارزیابی، برای سال‌های بعد هم انجام شود، باز شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی چنین نتیجه‌ای را ارائه خواهد داد. ولی در شاخص WPE_a این‌گونه نیست. اگر مقدار شاخص بهره‌وری اقتصادی در شرایط واقعی، در ۱۰ سال آینده در اثر تغییر شرایط موثر بر تولید (مثل تورم، آب، حاصلخیزی خاک، اقلیم و سایر مدیریت‌ها)، با این شرط که این تغییرات برای هر دو سامانه و در هر دو محصول یکسان باشد، برای دو محصول گردو و انگور به ۱۳۷۰۰۰ و ۱۵۰۰۰۰ برسد (ده برابر شود)، سهم تغییر سامانه از ثقلی به قطره‌ای برای این دو گیاه، به جای ۲۱ و ۳۷ درصد ۱۳۷۰۰ و ۱۵۰۰۰ حال حاضر، ۲۱ و ۳۷ درصد ۱۳۷۰۰۰ و ۱۵۰۰۰۰ در ده سال آینده خواهد بود. ولی شاخص WPE_a ناشی از تغییر سامانه آبیاری برای گردو و انگور به‌ترتیب ۱۳۷۶۶۰ و ۱۵۰۱۶۰ تومان بر مترمکعب افزوده می‌گردد. حال این مقدار افزایش در شاخص بهره‌وری اقتصادی مفید است یا خیر، پاسخی وجود ندارد. این از مزیت‌های مهم شاخص بهره‌وری نسبی آب است که می‌توان سهم هر نوع مدیریت در مزرعه مثل تغییر برنامه حاصلخیزی یا آبیاری، تاریخ کاشت و برداشت و غیره را تعیین کرد. دلیل این موضوع آن است که شاخص بهره‌وری نسبی، نسبتی از شرایط موجود و شرایط استاندارد است.

جدول ۵. مقایسهٔ مقادیر شاخص‌های مختلف بهره‌وری آب در دو سامانه آبیاری

گیاه- سامانه	$Yield_a$ (Kg/ha)	$Yield_p$ (Kg/ha)	WI (m^3/ha)	NI (m^3/ha)	$Benefit_a^*$	$Benefit_p^*$	WPP_a (Kg/m^3)	WPE_a (Toman/m^3)	KWP_p (بی‌بعد)	KWP_e (بی‌بعد)
گردو- قطره ای	۱۸۹۷	۵۰۷۵	۴۳۷۴	۷۴۴۷	۱۶۰۵۴۲۰۰۰	۵۲۵۶۲۱۰۰۰	۰/۴۳	۳۶۶۰۰	۰/۶۴	۰/۵۲
انگور- قطره ای	۳۳۳۰۰	۴۸۰۰۰	۴۸۶۰	۶۶۲۰	۱۶۷۱۵۰۰۰۰	۲۸۲۱۸۸۰۰۰	۶/۸۵	۳۴۳۰۰	۰/۹۴	۰/۸۱
گردو- ثقلی	۲۱۱۰	۵۰۷۵	۹۱۸۵	۷۵۳۸	۲۱۱۱۴۷۰۰۰	۵۴۲۸۷۳۰۰۰	۰/۲۳	۲۲۹۰۰	۰/۳۴	۰/۳۱
انگور- ثقلی	۲۶۳۷۰	۴۸۰۰۰	۷۷۷۶	۶۶۲۰	۱۵۰۵۵۴۰۰۰	۲۹۴۶۶۸۰۰۰	۳/۳۹	۱۹۳۰۰	۰/۴۷	۰/۴۳

هر چند نتایج شاخص بهره‌وری نسبی فیزیکی روندی مشابه شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی را نشان داد (جدول ۵)، ولی توجه به مقادیر این دو شاخص در باغ انگور تحت مدیریت سامانه آبیاری قطره‌ای، تفاوت و اهمیت شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب را روشن‌تر کرد. برای باغ مذکور مقدار شاخص KWP_p، بدون در نظر گرفتن هزینه سامانه آبیاری، برابر ۰/۹۴ به‌دست آمد. این یعنی تا رسیدن به شرایط استاندارد فقط ۰/۰۶ جا برای پیشرفت بهره‌وری آب وجود دارد که با اندکی مدیریت به‌زراعی دست‌یافتنی است. ولی واقعیت این‌است

که اگر مقدار هزینهٔ صرف شده برای سامانه آبیاری باغ انگور در برآورد شاخص بهره‌وری آب در نظر گرفته شود، این فاصله ۰/۱۹ خواهد شد. به عبارت دیگر شاخص KWP_p، ۰/۱۳ یا ۱۳ درصد در بهره‌وری آب انگور به دلیل حذف هزینه و قیمت محصول، خطای محاسباتی دارد. در گردو هم به دلیل نادیده گرفته شدن هزینه سامانه آبیاری، حدود ۱۲ درصد نسبت به شاخص KWP_e تفاوت وجود دارد که در بهره‌وری آب قابل توجه است. بنابراین، شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب مخصوصا در جاهایی که هزینه زیادی برای تولید محصولات بیشتر (استفاده از کودهای ماکرو و میکرو، مبارزه با آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز) و کاهش مصرف آب (سامانه آبیاری قطره‌ای) صرف می‌شود، نسبت به شاخص بهره‌وری فیزیکی نسبی آب از دقت بالاتری برخوردار است.

ه- ارزیابی شاخص پیشنهادی با تغییر تورم

گاها به دلیل برخی تصمیمات مدیریتی و عوامل غیرقابل پیش‌بینی، قیمت برخی از محصولات کشاورزی در یک مدت زمان کوتاهی مخصوصا در ایام فروش، چندین برابر افزایش یا کاهش می‌یابد. این موضوع کشاورزان را برای تصمیم‌گیری در مورد کاشت یا عدم کاشت این محصولات برای سال زراعی آتی دچار مشکل می‌کند. از شاخص‌های مختلف بهره‌وری آب برای بررسی این موضوع استفاده شد. برای این منظور شاخص‌های مختلف بهره‌وری آب برای چند گیاه زراعی محاسبه گردید. در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۳۹۹، قیمت گوجه‌فرنگی و برنج بنا به برخی سیاست‌ها و مشکلاتی که در بازار ایجاد شد، به‌ترتیب ۵ و ۲ برابر شد (مرتضایی، ۱۳۹۹). تاثیر این تغییر قیمت با استفاده از شاخص‌های بهره‌وری مختلف آب بررسی شد. مقادیر شاخص‌های بهره‌وری آب برای این دو محصول قبل و بعد از تغییر قیمت در جدول (۶) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که شاخص‌های WPP_a و KWP_p، تحت تاثیر تغییر قیمت برنج و گوجه‌فرنگی قرار نگرفتند. دلیل این عدم تاثیر، لحاظ نشدن قیمت محصول و هزینه تولید آن در این دو شاخص است. به عبارت دیگر در چنینی شرایطی، این دو شاخص نمی‌توانند به کشاورزان یا مدیران بخش کشاورزی کمک کنند تا بهره‌وری واقعی آب را به درستی ارزیابی و بر اساس آن برای کشت یا عدم کشت گوجه‌فرنگی و برنج برای سال زراعی آینده تصمیم‌گیری نمایند.

جدول ٦- تاثیر تورم بر مقادیر شاخص‌های بهره‌وری آب در برخی گیاهان

وضعیت تورم	گیاه	WPP_a (Kg/m^3)	WPE_a ($Toman/m^3$)	KWP_p (بی‌بعد)	KWP_e (بی‌بعد)	وضعیت تورم	WPP_a (Kg/m^3)	WPE_a ($Toman/m^3$)	KWP_p (بی‌بعد)	KWP_e (بی‌بعد)
	گندم	۱/۴	۲۹۰۰	۰/۸۶	۰/۸۴		۱/۴	۲۹۰۰	۰/۸۶	۰/۸۴
	ذرت دانه‌ای	۰/۵۷	۷۰۰	۰/۳۸	۰/۳		۰/۵۷	۷۰۰	۰/۳۸	۰/۳
	خربزه	۲/۵	۷۴۰۰	۰/۲۵	۰/۲۵		۲/۵	۷۴۰۰	۰/۲۵	۰/۲۵
قبل از تورم	برنج	۰/۰۶	۵۰۰	۰/۲۸	۰/۲۵	بعد از تورم	۰/۰۶	۱۱۰۰	۰/۲۸	۰/۲۶
	یونجه	۰/۲۳	۳۰۰	۰/۴	۰/۳۳		۰/۲۳	۳۰۰	۰/۴	۰/۳۳
	گوجه-فرنگی	۲/۵	۳۹۷۰	۰/۱۹	۰/۱۸		۲/۵	۱۷۳۰۰	۰/۱۹	۰/۱۹
	جو	۱/۲	۱۹۰۰	۰/۸۵	۰/۸۱		۱/۲	۱۹۰۰	۰/۸۵	۰/۸۱

برخلاف شاخص WPP_a و KWP_p، شاخص بهره‌وری اقتصادی آب در گیاه گوجه‌فرنگی حدود چهار برابر (از ۳۹۷۰ به ۱۷۳۰۰ تومان بر مترمکعب) و برنج حدود دو برابر (۵۰۰ به ۱۱۰۰ تومان بر مترمکعب) افزایش پیدا کرد. این یعنی بدون هیچ‌گونه فعالیت به‌زراعی، شاخص بهره‌وری اقتصادی آب تحت تاثیر تغییر آنی قیمت که متاثر از عواملی غیر از عوامل موثر بر تولید بوده، چندین برابر تغییر کرده است. اگر بعد از تورم ایجاد شده، توصیه انجام شود، قطعا گوجه‌فرنگی به دلیل داشتن شاخص بهره‌وری اقتصادی بالا، در اولویت کشت کشاورزان قرار می‌گیرد که از عواقب آن بهم خوردن عرضه و تقاضا و در نتیجه خسارت به کشاورز می‌باشد. بنابراین، شاخص بهره‌وری اقتصادی نمی‌تواند ستون محکمی برای سیاستگذاری مدیران بالادستی برای ارزیابی و توصیه کشت یک گیاه در این شرایط باشد.

اما شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب در تولید گوجه‌فرنگی از ۰/۱۸ به ۰/۱۹ و برنج از ۰/۲۵ به ۰/۲۶ تغییر پیدا کرد و نشان داد که به دلیل نسبی بودن شاخص، از تورم و افزایش یا کاهش قیمت محصول تاثیر نمی‌پذیرد و تحت تاثیر عوامل غیر موثر بر تولید کشاورزی قرار نمی‌گیرد. دلیل تغییر اندک در این شاخص به دلیل عدم دخالت تورم در هزینه‌ای که در ابتدای فصل کشت صرف شده است، می‌باشد. به عبارت دیگر تورم فقط بر درآمد در صورت و مخرج کسر (income در رابطه ۱) اثرگذار بود و در پارامتر هزینه (cost) اثری نداشت.

بنابراین در ارزیابی ایجاد تورم در برخی محصولات کشاورزی، در بین چهار شاخص بهره‌وری آب، شاخص KWP_e ارزیابی دقیق‌تری ارائه داد.

و- مقایسه شاخص پیشنهادی KWP_e با شاخص شکاف بهره‌وری فیزیکی (WPG_p)

مقایسه شاخص پیشنهادی KWP_e و شاخص WPG_p برای گندم، جو و ذرت در خاک‌های مختلف در استان قزوین در جدول (۷) ارائه شده است. هر چه مقدار شاخص WPG_p در یک گیاه زراعی کمتر باشد یعنی شاخص WPP_a به شاخص WPP_p نزدیکتر (جدول ۸) و نشان‌دهنده مطلوب بودن بهره‌وری آب در آن گیاه است و برعکس. ولی در شاخص KWP_e، هر چه مقدار آن بیشتر باشد، بهره‌وری آب در آن گیاه مطلوب‌تر است. در مزارع مورد بررسی، جو با میانگین شکاف بهره‌وری فیزیکی ۰/۴۱ kg/m^3 کمترین شکاف بهره‌وری و در نتیجه بهترین بهره‌وری آب را دارا بود و گندم و ذرت به‌ترتیب با میانگین ۰/۶۵ kg/m^3 و ۱/۱۷ kg/m^3 در مراتب بعدی قرار داشتند. ولی بر اساس شاخص KWP_e، جو، ذرت و گندم به‌ترتیب بالاترین بهره‌وری آب را به خود اختصاص دادند. در بین خاک‌های مورد بررسی، هر دو شاخص WPG_p و KWP_e، میانگین بهره‌وری آب گندم در خاک لوم‌سیلتی را بیشترین معرفی کردند، ولی بر اساس شاخص WPG_p ذرت در خاک لوم‌سیلتی (۱/۸۴ kg/m^3) و بر اساس شاخص KWP_e گندم در خاک لوم‌شنی (۰/۲۱) پایین‌ترین بهره‌وری آب را داشتند (جدول ۷). این نتایج نشان داد که بسته به نوع شاخص مورد استفاده، نتایج متفاوتی از بهره‌وری آب در سه گیاه زراعی حاصل شد. دلیل این تفاوت، اختلاف در ماهیت عملکرد ذرت، گندم و جو و تفاوت در شاخص بهره‌وری آب در شرایط پتانسیل در هر یک از این گیاهان در خاک‌های مختلف بود (جدول۸). علاوه بر این، بر خلاف شاخص KWP_e، در شاخص WPG_p، مانند شاخص‌های WPP_a و KWP_p، هزینه و قیمت محصول در برآورد میزان بهره‌وری آب لحاظ نمی‌شود و معایبی که در شاخص‌های WPP_a و KWP_p، ذکر شد در این شاخص هم صادق است. همچنین نتایج نشان داد که عملکرد در واحد سطح گیاه جو، باعث کاهش شکاف بهره‌وری فیزیکی آن نسبت به ذرت که عملکرد در واحد سطح بیشتری دارد شد، اما به دلیل در نظر گرفتن قیمت محصول در شاخص KWP_e، این موضوع تاثیری بر مقدار شاخص نداشت. به همین دلیل در خاک لوم شنی، شاخص WPG_p در جو کمتر از ذرت به‌دست آمد (به‌ترتیب ۰/۳۵ و ۰/۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب) و بهره‌وری آب در جو را برتر از ذرت نشان داد اما در همین خاک، شاخص KWP_e ذرت را بهتر از جو معرفی کرد (شاخص KWP_e در جو ۰/۳۴ و کمتر از ذرت ۰/۴۳ بود).

ز- مقایسه شاخص پیشنهادی KWP_e با شاخص شکاف بهره‌وری اقتصادی (WPG_e)

مقادیر دو شاخص پیشنهادی WPG_e و KWP_e برای سه گیاه گندم، جو و ذرت در دشت قزوین در جدول (۷) ارائه و مقایسه شده است. شاخص WPG_e مشابه شاخص WPG_pاست با این تفاوت که در شاخص WPG_e قیمت محصول و هزینه در آن لحاظ می‌شود. میانگین شاخص WPG_e در گیاهان جو، گندم و ذرت به‌ترتیب بیشترین تا کمترین بهره‌وری آب را نشان داد (مشابه شاخص WPG_p) با این تفاوت که به دلیل هزینه کم و قیمت بالای گندم نسبت به ذرت، مقدار شاخص WPG_e، در این دو محصول نزدیکتر بود (جدول ۷). بر اساس میانگین شاخص KWP_e، بهره‌وری آب در جو بیشترین و در گندم کمترین بود. بیشترین شکاف بهره‌وری اقتصادی آب در خاک لوم سیلتی و برای گیاه ذرت بدست آمد (۱۳۶۱۰toman/m^3) و نشان داد که در این گیاه بین شاخص (WPE_a) و (WPE_p) بیشترین فاصله وجود دارد (جدول۸) و برای رسیدن به بهره‌وری پتانسیل باید مدیریت‌های به‌زراعی بیشتری صورت گیرد. ماهیت متفاوت عملکرد در گیاهان مختلف و یکسان نبودن شاخص WPE_p در خاک‌ها و گیاهان مختلف، عامل اختلاف بین شاخص WPG_e و KWP_e در ارزیابی بهره‌وری آب گیاهان بود. بهره‌وری اقتصادی آب جو در خاک لوم‌شنی و گندم در خاک لوم‌سیلتی به‌ترتیب ۲۰۸۰ و ۷۹۸۳ و بهره‌وری پتانسیل به‌ترتیب ۶۰۵۴ و ۱۱۹۵۷ و شکاف بهره‌وری در هر دو خاک برابر ۳۹۷۳ تومان بر مترمکعب به‌دست آمد. اگر بر اساس شاخص WPG_e ارزیابی صورت گیرد، بهره‌وری آب در گندم و جو در این دو خاک مشابه هستند. ولی شاخص KWP_e، در این دو خاک به‌ترتیب ۰/۳۴ و ۰/۶۷ حاصل شد و نشان داد که شاخص WPG_e به‌ازای مقادیر مختلف شاخص‌های WPE_p و WPE_a می‌تواند یک خروجی یکسان داشته باشد. مثلا مقدار شکاف بهره‌وری ۳۹۷۳ در گندم (WPG_e=۳۹۷۳)، هم می‌تواند از اختلاف WPE_p=۱۱۹۵۷ و WPE_a=۷۹۸۳ باشد و هم می‌تواند از اختلاف WPE_p=۶۰۵۴ و WPE_a=۲۰۸۱ باشد. به‌این ترتیب، شکاف بهره‌وری آب، بسته به نوع خاک مزرعه، نوع گیاه و قیمت محصول می‌تواند حاصل اختلاف بی‌نهایت شاخص‌های WPE_p و WPE_a که دارای شکاف بهره‌وری یکسانی هستند، باشد اما برای همین شاخص-های بهره‌وری (WPE_p و WPE_a) که اختلاف آنها یکسان است، شاخص KWP_e که نسبت بین آنهاست، در آنها مساوی نخواهد بود. به عبارت دیگر هر چند در شاخص WPG_e، هدف که همان رساندن بهره‌وری آب به شرایط استاندارد است، وجود دارد. اما چون مبدا (شاخص

WPE_a) و هدف (شاخص WPE_p) در آن متغییر هستند، لذا ارزیابی صحیحی از بهره‌وری آب در مقایسه با شاخص KWP_e ارائه نمی‌دهد. برای روشن شدن موضوع به ذکر یک مثال پرداخته می‌شود. فرض کنید نمره کسب شده یک دانش‌آموز در دروس فیزیک، ریاضی و شیمی به‌ترتیب ۵، ۱۰ و ۲۵ است (بهره‌وری واقعی). اگر حد بالای نمره این دروس به‌ترتیب ۱۵، ۲۰ و ۳۵ باشد (بهره‌وری پتانسیل) در هر سه درس اختلاف نمره کسب شده با حداکثر نمره قابل دریافت، ۱۰ نمره است (شکاف بهره‌وری). اما دانش‌آموز در درس فیزیک کمترین نمره (در شرایط عرف مردود)، در درس ریاضی ۵۰ درصد نمره (دریافت حداقل نمره قبولی) و در درس شیمی ۷۱ درصد نمره (در شرایط عرف قبول شده است) را کسب کرده است (بهره‌وری نسبی).

ح- مقایسه شاخص‌های KWP_e و KWP_p

تفاوت شاخص KWP_p با شاخص KWP_e، درنظر نگرفتن قیمت محصول و هزینه تمام شده از کاشت تا فروش محصول در آن است. شاخص KWP_p، میانگین بهره‌وری آب در همه خاک‌ها در گندم و ذرت را مساوی و برابر ۰/۴۲ ولی شاخص KWP_e، میانگین بهره‌وری آب در ذرت (۰/۴) را بیشتر از گندم (۰/۳۶) نشان داد. هر چند هر دو شاخص به‌صورت نسبت بهره‌وری آب در شرایط واقعی به شرایط پتانسیل تعریف می‌شوند اما به دلیل در نظر گرفته نشدن هزینه و درآمد گیاهان مختلف، نتایج مشابهی ارائه ندادند (جدول۷). بدیهی است شاخصی که عوامل بیشتری در در آن دخالت دارند به واقعیت نزدیک‌تر هستند و در بین این دو شاخص، شاخص KWP_e عوامل قیمت و هزینه را در محاسبات دخالت داده و برتر از شاخص KWP_p است.

جدول ۷. مقایسهٔ شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب با شاخص‌های شکاف بهره‌وری اقتصادی (تومان‌برمترمکعب)، شکاف بهره‌وری فیزیکی (کیلوگرم‌برمترمکعب) و بهره‌وری نسبی فیزیکی آب (بدون‌بعد) در تولید گندم، جو و ذرت

خاک	گندم		جو		ذرت		گندم		جو		ذرت	
	WPG_p (Kg/m^3)	WPG_e (tom/m^3)	WPG_p (Kg/m^3)	WPG_e (tom/m^3)	WPG_p (Kg/m^3)	WPG_e (tom/m^3)	KWP_p (بی‌بعد)	KWP_e (بی‌بعد)	KWP_p (بی‌بعد)	KWP_e (بی‌بعد)	KWP_p (بی‌بعد)	KWP_e (بی‌بعد)
لوم	۰/۸۶	۱۱۱۴۱	۰/۳۲	۳۳۵۶	۱/۰۶	۷۹۸۹	۰/۳۵	۰/۲۹	۰/۷۰	۰/۵۳	۰/۴۶	۰/۴۵
لوم شنی	۰/۷۶	۹۵۸۵	۰/۳۵	۳۹۷۳	۰/۸۸	۶۶۷۱	۰/۲۶	۰/۲۱	۰/۶۳	۰/۳۴	۰/۴۶	۰/۴۳
لوم	۰/۷۹	۱۰۱۶۳	۰/۳۵	۳۱۲۱	۰/۸۹	۶۷۴۹	۰/۲۸	۰/۲۳	۰/۶۱	۰/۴۷	۰/۴۴	۰/۴۱
لوم رسی	۰/۶۰	۷۸۷۰	۰/۵۸	۴۲۴۸			۰/۴۶	۰/۳۹	۰/۳۵	۰/۲۴		
لوم سیلتی	۰/۲۷	۳۹۷۳	۰/۴۶	۳۸۲۲	۱/۸۴	۱۳۶۱۰	۰/۷۴	۰/۶۷	۰/۵۹	۰/۴۷	۰/۳۰	۰/۲۹
میانگین	۰/۶۵	۸۵۴۶	۰/۴۱	۳۷۰۴	۱/۱۷	۸۷۵۵	۰/۴۲	۰/۳۶	۰/۵۷	۰/۴۱	۰/۴۲	۰/۴۰

جدول ۸. مقایسهٔ شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در شرایط واقعی و پتانسیل در تولید گندم، جو و ذرت

خاک	گندم				جو				ذرت			
	WPP_a	WPP_P	WPE_a	WPE_P	WPP_a	WPP_P	WPE_a	WPE_P	WPP_a	WPP_P	WPE_a	WPE_P
	(Kg/m^3)		($toman/m^3$)		(Kg/m^3)		($toman/m^3$)		(Kg/m^3)		($toman/m^3$)	
لوم	۰/۴۶	۱/۳۲	۴۵۹۹	۱۵۷۴۰	۰/۷۴	۱/۰۶	۳۷۵۲	۷۱۰۸	۰/۹۲	۱/۹۸	۶۴۵۶	۱۴۴۴۵
لوم شنی	۰/۲۶	۱/۰۲	۲۵۶۹	۱۲۱۵۴	۰/۵۷	۰/۹۳	۲۰۸۱	۶۰۵۴	۰/۷۴	۱/۶۲	۵۱۰۲	۱۱۷۷۲
لوم	۰/۳۱	۱/۱	۲۹۹۷	۱۳۱۶۱	۰/۵۴	۰/۹۰	۲۷۱۵	۵۸۳۶	۰/۶۹	۱/۵۸	۴۷۰۰	۱۱۴۵۰
لوم رسی	۰/۵۱	۱/۱۱	۵۰۶۸	۱۲۹۳۸	۰/۳۱	۰/۸۹	۱۳۱۴	۵۵۶۲				
لوم سیلتی	۰/۷۵	۱/۰۱	۷۹۸۳	۱۱۹۵۷	۰/۶۶	۱/۱۲	۳۴۰۱	۷۲۲۴	۰/۷۹	۲/۶۳	۵۵۸۴	۱۹۱۹۴
میانگین	۰/۴۶	۱/۱۱	۴۶۴۳	۱۳۱۹۰	۰/۵۷	۰/۹۸	۲۶۵۳	۶۳۵۷	۰/۷۹	۱/۹۶	۵۴۶۱	۱۴۲۱۵

نتیجه‌گیری

در این مقاله، شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی (KWP_e) آب معرفی و با شاخص‌های مرسوم بهره‌وری فیزیکی (WPP_a) و اقتصادی (WPE_a) آب، شکاف بهره‌وری فیزیکی (WPG_p) و اقتصادی (WPG_e) آب و شاخص بهره‌وری نسبی فیزیکی (KWP_p) آب برای عوامل موثر بر تولیدات کشاورزی یعنی خاک‌ها، اقلیم‌ها، مدیریت‌ها، گیاهان و تورم‌های (اقتصاد) مختلف، مقایسه و ارزیابی شدند. در این بررسی‌ها خلاصه نتایج به شرح زیر ارائه می‌شود:

الف- در شاخص‌های بهره‌وری نسبی (فیزیکی و اقتصادی) و شکاف بهره‌وری (فیزیکی و اقتصادی) آب، مستقیما خاک و اقلیم منطقه لحاظ می‌شود ولی در شاخص‌های WPP_a و WPE_a تاثیر خاک و اقلیم در نظر گرفته نمی‌شوند.

ب- کلیه عوامل موثر بر تولیدات کشاورزی بر شاخص KWP_e اثرگذار بود ولی شاخص‌های WPP_a، WPE_a، WPG_e، WPG_p و KWP_p، یا تحت تاثیر همه عوامل موثر بر تولید قرار نگرفتند و یا عواملی غیر از عوامل موثر بر تولید مثل تورم و تنظیم بازار در آنها اثرگذار نبود.

ج- شکاف بهره‌وری آب نسبت به شاخص‌های WPP_a و WPE_a، ارزیابی بهتری از بهره‌وری آب ارائه داد، اما به دلیل تفاوت در ماهیت عملکرد گیاهان مختلف و پتانسیل تولید اراضی در خاک‌ها و اقلیم‌های مختلف، نسبت به شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب، ارزیابی دقیقی از وضعیت بهره‌وری آب ارائه نداد.

د- شاخص بهره‌وری نسبی فیزیکی آب (KWP_p)، به دلیل در نظر نگرفتن قیمت و هزینه تمام شده برای تولید یک محصول زراعی، دقت کمتری نسبت به شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب در ارائه بهره‌وری آب در گیاهان مختلف داشت.

ه- در شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب، ضمن کمی شدن میزان اثرگذاری هر فعالیت کشاورزی مثل استفاده از کود خاص، قابلیت ارزیابی آن هم وجود داشت. ولی در شاخص‌های WPP_a، WPE_a، WPG_e، WPG_p و KWP_p هر چند مقدار تاثیر قابل محاسبه است، اما حدی از مطلوب بودن بهره‌وری آب را ارائه ندادند.

و- چون در شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب، کلیه عوامل موثر بر تولید در کشاورزی لحاظ می‌شود، لذا با این شاخص می‌توان با دقت بیشتری الگو (چه‌بکاریم) و ترکیب کشت (در چه سطحی بکاریم) را تعیین کرد.

ز- فهم و درک بسیار راحت شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی از دیگر ویژگی این شاخص است.

ح- چون در شاخص KWP_e، بهره‌وری آب هر گیاه، بر اساس شرایط پتانسیل آن گیاه سنجیده می‌شود، لذا فقط با این شاخص می‌توان بهره‌وری چند گیاه زراعی در یک منطقه و یک گیاه را در چند منطقه با هم مقایسه کرد و این مهم با هیچ‌کدام از شاخص‌های WPP_a، WPE_a، WPG_p و WPG_e امکان‌پذیر نبود.

ط- از مشکلات شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب، نیاز به داده‌های بیشتر، نسبت به شاخص‌های دیگر از جمله نیاز خالص آبی گیاه، پتانسیل تولید اقلیمی و اراضی به منظور برآورد عملکرد پتانسیل اقلیمی و اراضی و برآورد هزینه در شرایط استاندارد برای هر گیاه و در هر خاک و منطقه بود. بدیهی است نیاز به داده‌های بیشتر، نیاز به متخصصین مرتبط هم دارد. بنابراین، ارزیابی بهره‌وری تولیدات کشاورزی از طریق شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب، نیاز به متخصصین آبیاری، خاکشناسی، تناسب اراضی و اقتصاد کشاورزی دارد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

آزادی، ابوالفضل؛ بنی‌نعمه، جمال و سیدجلالی، سیدعلیرضا (۱۴۰۰). ارزیابی تناسب سرزمین برای کشت گندم در برخی خاک‌های شور جنوب استان خوزستان. *نشریه علمی پژوهش‌های خاک*. ۳۵(۳)، ۲۱۷-۲۳۶.

آزادی، ابوالفضل؛ بنی‌نعمه، جمال و سیدجلالی، سیدعلیرضا (۱۴۰۱). مدل‌سازی پتانسیل تولید و ارزیابی کمی تناسب اراضی برای کشت گندم در برخی خاک‌های آهکی جنوب بهبهان. *نشریه علمی مدیریت اراضی*. ۱۰(۲)، ۱۷۶-۱۹۹.

آمارنامه کشاورزی (۱۴۰۱). گزارش سطح، تولید و عملکرد محصولات زراعی. مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی.

اکبری، محسن؛ خدادادحسینی، سیدحمید؛ حسین‌زاده، آمنه و حاتمی‌نژاد، محمد (۱۳۹۷). تجزیه و تحلیل رابطه بین سرمایه اجتماعی، نوآوری سازمانی و بهره‌وری سازمانی. *سیاست‌نامه علم و فناوری*. ۸(۴)، ۳۳-۴۸.

توکلی، علیرضا؛ حکم‌آبادی حسین؛ نادری عارفی، علی و حجی، علی‌اصغر (۱۴۰۰). بررسی مزیت نسبی محصولات کشاورزی استان سمنان با محوریت بهره‌وری آب. *نشریه علوم آب و خاک*. ۲۵(۴)، ۶۳-۸۲.

جناب، مهنوش و نظری، بیژن (۱۳۹۷). مطالعه شکاف عملکرد و شکاف بهره‌وری آب گندم، جو و ذرت در استان قزوین. *تحقیقات آب و خاک ایران*. ۴۹(۶). ص. ۱۴۱۷-۱۴۰۵.

زارعی قورخودی، علی‌رضا؛ شاه‌نظری، علی و داداشی، پرشان (۱۴۰۱). ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری آب در تولید محصولات زراعی و باغی در غرب و مرکز استان مازندران و رتبه‌بندی دشت‌های مطالعاتی. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*. ۱۶(۳)، ۶۵۷-۶۷۰.

زین‌الدینی‌میمند، علی؛ سیدجلالی، سیدعلیرضا؛ نویدی، میرناصر و ابراهیمی‌میمند فاطمه (۱۳۹۹). ارزیابی پتانسیل تولید گندم در برخی از دشت‌های کشور. *نشریه مدیریت اراضی*. ۸(۱)، ۱-۱۳.

سنگتراشان، علی ؛ میرلطیفی، سیدمجید و دهقانی‌سانیج، حسین (۱۴۰۰). تاثیر فناوری‌های به‌زراعی بر بهبود شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی و کارایی مصرف آب در حوضه شرقی دریاچه ارومیه. *نشریه پژوهش آب در کشاورزی*. ۳۵(۱)، ۳۵-۴۸.

عباسی، نادر (۱۳۹۶). تحلیل‌های فنی در مدیریت و مهندسی کشاورزی ایران. کرج: انتشارات موسسه تحقیقات فنی و مهندسی.

فرح‌زا، محمدنوید؛ نظری، بیژن؛ اکبری، محمدرضا؛ سادات نائینی، مه‌کامه و عبدالمجید، لیاقت (۱۳۹۹). ارزیابی بهره‌وری آب فیزیکی و اقتصادی محصولات زراعی در دشت مغان و تحلیل رابطه بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب. *نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران*. ۱۱(۴۲). ۱۶۶-۱۸۲.

فرشی، علی‌اصغر، شریعتی، محمدرضا، جارالله‌ی،رقیه، قائمی، محمدرضا، شهابی‌فر، مهدی و تولائی، میرمسعود (۱۳۷۶). برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور. *نشر آموزش کشاورزی*. ص. ۱۵۲۹-۱.

قدمی فیروزآبادی، علی، سپیدان، سیدمحسن و زارع ابیانه، حمید (۱۳۹۹). تعیین و ارزیابی آب کاربردی و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در باغات انگور و گردو منطقه ملایر همدان. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*. ۶(۱۴). ص. ۱۹۱۹-۱۹۰۸.

گنجی، محمدحسن. (۱۳۸۲). تقسیمات اقلیمی ایران. بولتن علمی مرکز اقلیم‌شناسی. جلد سوم. شماره اول. ص. ۴۱.

مرتضایی، اشرف. (۱۳۹۹). تحلیل روند تولید، تجارت، مصرف و قیمت برنج (بررسی چالش های واردات و تامین برنج و افزایش قیمت داخل و مرور تولید و قیمت جهانی). کمیسیون بازرگانی داخلی اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی ایران. ص.۱۴.

مصدقی، عبدالنور؛ اکبری، ناصر؛ بخشنده، عبدالمهدی؛ سرمدیان، فریدون؛ نصیری بهروز و صوفی‌زاده سعید. (۱۳۹۸). پهنه‌بندی آگرواکولوژیکی نظام‌های تولید گندم (Triticum aestivum L.) دشت کشاورزی شاوور خوزستان با به کارگیری فناوری GIS و RS . *نشریه بوم شناسی کشاورزی*. جلد ۱۱. شماره۴. ص. ۱۵۴۳-۱۵۲۷.

ناصری، ابوالفضل و عباسی فریبرز (۱۴۰۱). برآورد مقدار پتانسیل و شکاف بهره‌وری آب در تولید گندم آبی در ایران. *تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی*. ۲۶(۸۶)، ۸۷-۱۱۰.

نظری، بیژن (۱۳۹۸). تحلیل شکاف بهره‌وری و برنامه‌ریزی بهبود بهره‌وری آب کشاورزی با رویکرد توانمندسازی کشاورزان و پایداری در آبخوان‌ها (مطالعه موردی: دشت قزوین). *نشریه آب و توسعه پایدار*. شماره۳. ص. ۵۰-۴۱.

نظری، بیژن و لیاقت عیدالمجید (۱۳۹۵). مبانی و شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی. کمیسیون آب، محیط زیست و اقتصاد سبز. *دبیرخانه کمیسیون-های تخصصی اتاق ایران*. ص. ۲۰.

REFERENCES

Abbasi, Nader. (2017). Technical Analysis in Iran's Agricultural Management and Engineering (volume one). Agricultural Engineering Research Institute. 31 pages. (In Persian)

Agricultural Statistics (2022). Report on the level, production and performance of agricultural crops, in the agricultural year 2019-2019, Information and Communication Center. Ministry of Jehad-e-Agriculture (in Persian).

Akbari, M., S.H. Khodadad Hosseini, A. Hosseinzadeh and M. Hatminjad (2018) Analyzing the relationship between social capital, organizational innovation and organizational productivity. 8(4): 33-48 (in Persian).

Azadi, A., J. Banineme and S. A. Seyed Jalali (2021). Production potential modeling and quantitative land evaluation for wheat cultivation in calcareous soils (The case of Southern Behbahan). *Journal of land Management*. 10(2):177-198. DOI: 10.22092/LMJ.2022.126414 (in Persian).

Azadi, A., J. Banineme and S. A. Seyed Jalali. (2022). Assessment of land suitability for wheat cultivation in some saline soils in the south of Khuzestan province. *Scientific Journal of Soil Research*. 35(3). 217-236 (in Persian).

Farahza, M.N., B. Nazari, M. R. Akbari, M. Sadat Naini and A. Liaghat (2020). Evaluation of physical and economic water productivity of crops in Moghan plain and analysis of the relationship between physical and economic water productivity. *Journal of Irrigation and Water Engineering*. 11(2): 166-182. (in Persian)

Farshi, A.A., M.R. Shariati, R. Jarallahi, M.R. Ghaemi, , M. Shahabifar & M.M. Tulai (1998). Estimation of water requirement of major agricultural and horticultural plants in the country. *Publication of agricultural*

education. Agricultural Research, Education and Extension Organization. P. 1-1529. (In Persian).

Fernández, J.E., Alcon, F., Diaz-Espejo, A., Hernandez-Santana, V., Cuevas, M.V., (2020). Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high density olive tree orchard. Agric. Water Manag. 237, 106074. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106074.

Ghadami Firouzabadi, A., S. M. Seidan and H. Zare Abianeh (2021). Determining and evaluating the practical water and physical and economic productivity of water in grape and walnut orchards in Melair Hamadan region. *Journal of Iranian Irrigation and Drainage*. 14(6). p. 1908-1919. (in Persian*).*

Ganji M. H. (2002). Climatic divisions of Iran. Scientific Bulletin of the National Climatology Center. 3(1). P. 41.

https://donyayebourse.com/news/54710/ Statistical Center of Iran.

Jenab, M. and B. Nazari (2019). The study of water productivity and yield gap of wheat, barley and maize in Qazvin Province. *Iran Water and Soil Research*, 6(49): 1405-1417.

Jha, A.K., Malla, R., Sharma, M., Panthi, J., Lakhankar, T., Krakauer. N.Y., Pradhanag, S.M., Dahal, P. and Shrestha, M.L., (2016). Impact of irrigation method on water use efficiency the productivity of fodder crops in nepal. climate , 4, Article No.4. https://doi.org/10.3390/cli4010004

Jones, P.G., Diaz, W., and Cock, J.H., (2005). Homologue, a computer system for identifying similar environments throughout the tropical world, version Beta a.0. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

Kilemo, D.B. (2022). The review of water use efficiency and water productivity metrics and their role in sustainable water resources management. *Open Access Library Journal*, 9: 7075. https://doi.org/10.4236/oalib.1107075

Molden, D., Murray-Rust, H., Sakthivadivel, R., Makin, I., (2003). A water-productivity framework for understanding and action. In: Kijne, J.W., Barker, R., Molden, D. (Eds.), Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement. CABI Publishing and International Water Management Institute, Wallingford, UK/Colombo, Sri Lanka

Molden, D., T. Oweis, P. Steduto, P. Bindraban, M. A. Hanjra and J. Kijne. (2010). Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. *Agricultural Water Management*. 97(4). P. 528-535. doi:10.1016/j.agwat.2009.03.023.

Mortezaei, A. (2019). Analysis of rice production, trade, consumption and price trends (examining the challenges of importing and supplying rice and increasing domestic prices and reviewing global production and prices). Prepared by the Internal Trade Commission of the Chamber of Commerce, Industries, Mines and Agriculture of Iran. P.14.

Mossaddeghi, A., N. Akbari, A.A. Merchandeh, F. Sarmadyan, B. Nasiri and S. Sufizadeh (2020). Agro-ecological zoning of wheat production systems (Triticum aestivum L.) in Shavor agricultural plain of Khuzestan using GIS and RS Technology. *Journal of Agricultural Ecology*. 11(4): 1527-1543. (in Persian*).*

Naseri, A. and F. Abbasi. (2022). Estimating the amount of potential and water productivity gap in irrigated wheat production in Iran. Engineering Research of Irrigation and Drainage Structures. 68 (32): 87-101. (in Persian*).*

Nazari, B. (2019). Analysis of productivity gap and agricul-tural water productivity emprovement approach of farmers and aquifer sustainability (Case Study: Qazvin Plain). *Journal of Water and Sustainable Development*.6(3): PP.41-50. (in Persian).

Gadami, F.A., Sepidan, S. M. & Zare Abianeh, H. (2021). Determination and evaluation of applied water and physical and economic productivity of water in grape and walnut orchards in Malair region of Hamedan. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage.* 14(6). P. 1908-1919. (in Persian).

Parrique, T., Barth, J., Briens, F., Kerschner, C., Kraus-Polk, A., Kuokkanen, A., Spangenberg, J.H., (2019). Decoupling debunked: Evidence and Arguments Against Green Growth as a Sole Strategy for Sustainability.

Rodriguez, M., Pansera, M., Lorenzo, P.C., (2020). Do indicators have politics? A review of the use of energy and carbon intensity indicators in public debates. J. Clean. Prod. 243, 118602. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118602.

Sangtrashan, A., S. M. Mirlatifi and H. Dehghani Sanij. (2022). The effect of agronomic technologies on the improvement of physical and economic productivity indicators and water consumption efficiency in the eastern basin of Lake Urmia. *Journal of Water Research in Agriculture*. 35(1): 35-48. (in Persian*)*

Seckler, D., (1996). The new era of water resources management: from ‘dry’ to ‘wet’ water savings. research report 1. *International Irrigation Management Institute (IIMI*), Colombo, Sri Lanka.

Tavakoli, A. R., H. Hakkamabadi, A. Naderi Arefi, and A. A. Hajji. (2020). Investigating the relative advantage of agricultural products in Semnan province with a focus on water efficiency. *Journal of Water and Soil Sciences*. 11(4): 63-72. (in Persian*)*

Trout, T.J., D.T. Manning. (2019). An economic and biophysical model of deficit Irrigation. *Agromy Journal*. 6(3). PP:3182-3194. doi:10.2134/agronj2019.03.0209.

Vladimirova, I., N. Nguyen, J. Schellekens, and I. Vassileva (2018). Assessment of the water productivity index. project report of "Study on EU integrated policy assessment for the freshwater and marine environment, on the economic benefits of EU water policy and on the costs of its non- implementation"". PP.48.

Zarei Gorkhodi, A., A. Shah Nazari and P. Dadashi. (2022). Evaluation of water productivity indicators in the production of agricultural and horticultural crops in the west and center of Mazandaran province and ranking of study plains. *Iranian Irrigation and Drainage Journal*. 16(3): 669-657. (in Persian).

Zeynadini, A., A. Seyed Jalali, , M. Navidi, F. Ebrahimi Mimand, A. Farajnia, and Gh. Zareian, (2022). Evaluation of wheat yield potential in some Iranian Cultivated plains. *Journal of land Management.* 8(1): 1-13.

Nazari, B. & Liaqat A.M. (2016). Basics and indicators of agricultural water productivity. Commission for Water, Environment and Green Economy. *Secretariat of specialized commissions of Iran Chamber*. Pp.20. (in Persian).

Introducing and evaluation of relative economic water productivity index

EXTENDED ABSTRACT

Introduction:

In order to evaluate the result of any activity, a comprehensive and complete index is required to take into account all factors affecting the activity. In the field of agriculture, an index called water productivity is used for this purpose in different ways. Performance index, Benefit-Cost Ratio (B/C), Physical Water Productivity index (WPP_a), Economic Water Productivity index (WPE_a), Physical Productivity Gap index (WPG_p) and Economic Productivity Gap index (WPG_e) are used to evaluate the performance of farmers and gardeners. The WPP_a index does not consider product price and costs and therefore cannot be a suitable indicator for choosing a plant for the farm or garden. The WPE_a index cannot provide an accurate assessment of various crops/plants due to the influence of inflation and market regulation policy and the absence of the soil and climate properties of the regions. The water productivity gap index (WPG_p & WPG_e) cannot provide a correct assessment of water productivity due to the different nature of yield and price of different plants.

Purpose:

Therefore, it is necessary to introduce an index that firstly takes into account all factors affecting agricultural production and secondly does not get affected by factors ineffective on production, such as inflation and market regulation policies, and provides an accurate assessment of various field and garden products.

Material and method:

In the present study, the relative economic water productivity index (KWP_e) was introduced as the ratio of economic water productivity in real conditions to economic water productivity in standard conditions (potential). This index was evaluated for different factors affecting production, including soil, plants, climate, management and inflation and compared with the traditional physical and economic water productivity and productivity gap indicators. In this research, The relative physical water productivity index (KWP_p) was also calculated and compared with the KWP_e. To calculate economic water productivity under potential conditions, net crop water requirement was calculated using the Penman-Monteith, and potential yield determined based on the land potential production, which depends on the soil and climate of the region.

Results:

The results showed that all factors affecting agricultural production have a logical effect on the KWP_e index. But the WPP_a, WPE_a, KWP_p, WPG_e and WPG_p indices are either not affected by all the factors affecting production, or they are affected by factors other than the factors affecting the reproduction of inflation and market regulations. For this reason, by using the proposed KWP_e index, it is possible to assesst the crop pattern (what to plant) and the combination of cultivation (at what level to plant) with higher accuracy. Due to the fact that in the KWP_e index, the water productivity of each plant is measured based on the standard conditions of each plant, the productivity of several crops in one region or a single plant in several regions can be compared using the introduced index. As the price and cost is not considered in KWP_p index ca;culation, it is less accurate than the KWP_e index in providing water productivity in different plants. In addition, in the KWP_e, WPG_e and WPG_p indices, the soil and climate of the region are directly included in the water productivity index through the net water requirement and land production potential. But the soil and climate of the region are not considered in WPP_a and WPE_a indices. Unlike other indices, the KWP_e index was not affected by the five times price of tomatoes, and introduced soybean plant as the most productive plant with a relative productivity of 0.86. Despite the equality of water productivity gap for wheat and barley (3973 toman/m^3), in the same conditions, the KWP_e index was estimated to be 0.67 for wheat and 0.33 for barley. In briefly in terms of accuracy, the order of proposed indicators are the WPP_a, WPE_a, WPG_p, WPG_e, KWP_p and KWP_e is recommended to evaluate water productivity in different plants, climates, soils, managements and inflation.

Keywords: Climate, Economy, Land Production Potential, Productivity Gap.