



Evaluation of wheat water irrigation management in Iran with the approach of reducing the area under cultivation and improving water productivity

Hossein Jafari¹ | Fariborz Abbasi²

1. Corresponding author: Department of Irrigation and Soil Physics, Soil and Water Research Institute (SWRI), Agriculture Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: jafari52_h@yahoo.com

2. Department of Irrigation and Drainage, Agriculture Engineering Research Institute (AERI), Agriculture Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: F.abbasi@areeo.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Aug. 13, 2024

Revised: Sep. 20, 2024

Accepted: Oct. 21, 2024

Published online: Feb. 2025

Keywords:

Agricultural Management,
Applied Irrigation Water,
Cultivated Area,
Performance and Suitability of
Land.

ABSTRACT

Water consumption and disproportion of the cultivated area and the amount of available water in the agricultural sector, or the disproportion of water supply and demand, have always been the concern of farmers and agricultural managers. Sustainable food security due to the growth and change of people's taste is an additional concern. Therefore, according to the determination of land suitability class and the percentage of the area of each of the S1, S2, S3 and N classes in Iran, was determined and Based on that, the physical (WPPa), economic (WPEa), relative physical (KWPP) and relative economic (KWPe) indicators of water were calculated. Based on the results of evaluating the economic suitability, wheat fields were removed from the lands with S3 and N suitability. Then, using water productivity indicators, the ways to compensate for the decrease in wheat production in lands with S1 and S2 suitability classes were investigated. The results showed that the area under wheat cultivation was 989 thousand hectares, wheat production was 1184 thousand tons, applied irrigation water was 5.138 billion cubic meters, and the indices of WPPa, WPEa, KWPP and KWPe are increased by 41, 47, 12 and 39% respectively. Also, if the irrigation water use efficiency is increased 16% or the amount of irrigation water is decreased between 73 and 80mm in the lands with S1 and S2 suitability classes, or agricultural management, increase the yield by 9 to 14%, the decrease in yield caused by the decrease in the area under wheat cultivation is compensated.

Cite this article: Jafari, H., & Abbasi, F., (2025) Evaluation of wheat water irrigation management in Iran with the approach of reducing the area under cultivation and improving water productivity, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55 (12), 2333-2349. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.380800.669778>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.



DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.380800.669778>

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Water consumption and disproportion of the cultivated area and the amount of water available in the agricultural sector, or the disproportion of water supply and demand, have always been the concern of farmers and agricultural managers. Sustainable food security due to the growth and change of people's taste is an additional concern. So that according to the 7th national economic and social development plan, an annual increase of 5% in water productivity is targeted. One of the ways to achieve this goal is to reduce the area under cultivation in lands with low suitability.

Purpose

In order to reduce water consumption and increase its efficiency, the reduction of the area under cultivation of wheat in lands with low suitability throughout the country (Iran) and methods to compensate for the decrease in wheat yield caused by the reduction of the area under cultivation in lands with high suitability were evaluated.

Material and method

According to the determination of land suitability class (S_1 , S_2 , S_3 , and N) and the percentage of the area of each of the S_1 , S_2 , S_3 and N classes of Iran, yield, applied irrigation water, production potential, income and cost in each of the land suitability classes for wheat were determined and based on that, physical (WPP_a), economic (WPE_a), relative physical (KWP_p) and relative economic (KWP_e) water productivity indices were calculated. Based on the results of evaluating the economic suitability of the lands in all suitability classes, the area of wheat in lands with S_3 and N suitability classes were removed. By removing these lands, the area under cultivation, applied irrigation water and the amount of reduced yield due to the removal of these lands and the remaining lands (the lands with suitability of S_1 and S_2) were calculated. Then, by using water productivity indicators, the ways of compensating for yield reduction in lands with S_1 and S_2 suitability classes were investigated.

Results

The results showed that 11.434 billion cubic meters of water is applied for 2.295 million hectares of wheat lands in Iran. Removed lands with S_3 and N suitability was 989 thousand hectares, reduction in yield of wheat was 1.184 million tons, and applied irrigation water for lands with S_3 and N suitability was 5.138 billion cubic meters. The WPP_a , WPE_a , KWP_p and KWP_e indices increased by 41, 47, 12 and 39%, respectively. On the other hand, the lands area with S_1 and S_2 suitability was 1.306 million hectares, and in these lands, 6.296 billion cubic meters of water were consumed to produce 7.14 million tons wheat.

Conclusion

Therefore if irrigation water efficiency increases between 15 to 17 percent in the lands with S_1 and S_2 suitability, or the amount of irrigation water decreases between 73 to 80 mm, or agricultural management, including variety improvement, nutrition and irrigation management, will increase the yield by 9 to 14%, the decrease in wheat production due to the decrease in the area under wheat cultivation will be compensated.

Author Contributions

Authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

ارزیابی مدیریت مصرف آب آبیاری گندم در کشور با رویکرد کاهش سطح زیرکشت و ارتقای بهره‌وری آب

حسین جعفری^۱  فریبرز عباسی^۲ 

۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

رایانامه: jafari52_h@yahoo.com

۲. بخش تحقیقات آبیاری و زهکشی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

رایانامه: F.abbasi@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	همواره مصرف آب و عدم تناسب سطح زیرکشت و مقدار آب در دسترس در بخش کشاورزی و یا عدم تناسب عرضه و تقاضای آب دغدغه کشاورزان و مدیران کشاورزی بوده است. امنیت غذایی پایدار با عنایت به رشد و تغییر ذائقه مردم هم مزید بر این نگرانی است. از این رو، با توجه به تعیین کلاس تناسب اراضی و درصد مساحت هر یک از کلاس های S1، S2، S3 و N در کشور، مقدار عملکرد، حجم آب آبیاری، پتانسیل تولید، درآمد و هزینه در هر یک از این اراضی برای گندم تعیین و بر اساس آن شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی (WPPa)، اقتصادی (WPEa)، نسبی فیزیکی (KWPP) و نسبی اقتصادی (KWPe) آب محاسبه گردید. بر اساس نتایج ارزیابی تناسب اقتصادی اراضی با تناسب S3 و N حذف گردید. سپس با استفاده از شاخص‌های بهره‌وری آب، حجم آب آبیاری مورد نیاز برای جبران کاهش عملکرد ناشی از کاهش سطح زیرکشت، محاسبه و راه‌های جبران کاهش عملکرد در اراضی با تناسب S1 و S2 بررسی شد. نتایج نشان داد سطح زیرکشت گندم ۹۸۹ هزار هکتار، عملکرد گندم ۱۱۸۴ هزار تن، حجم آب آبیاری ۵/۱۳۸ میلیارد مترمکعب کاهش و شاخص‌های WPPa، WPEa، KWPP و KWPe به ترتیب ۴۱، ۴۷، ۱۲ و ۳۹ درصد افزایش یافتند. اگر در اراضی با تناسب S1 و S2 راندمان کاربرد آب آبیاری ۱۶ افزایش یا مقدار آب آبیاری ۷۶ میلی‌متر کاهش و یا مدیریت زراعی به اندازه ۹ تا ۱۴ درصد عملکرد را افزایش دهد، کاهش عملکرد ناشی از کاهش سطح زیرکشت گندم جبران می‌گردد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۲۳	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۶/۳۰	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۳۰	
تاریخ انتشار: اسفند ۱۴۰۳	
واژه‌های کلیدی:	
تناسب اراضی،	
حجم آب آبیاری،	
سطح زیرکشت،	
عملکرد و مدیریت به‌زراعی.	

استناد: جعفری، حسین، عباسی، فریبرز، (۱۴۰۳) ارزیابی مدیریت مصرف آب آبیاری گندم در کشور با رویکرد کاهش سطح زیرکشت و ارتقای بهره‌وری آب، مجله

تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۵ (۱۲)، ۲۳۴۹-۲۳۳۳. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.380800.669778>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.380800.669778>

مقدمه

کمبود آب در بخش کشاورزی و به مخاطره انداختن امنیت غذایی یکی از چالش‌های اصلی مدیران بخش کشاورزی است. بر اساس شاخص دومارتن، ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است (فتحی‌تپه‌رشت و همکاران، ۱۴۰۱). به طوری که میانگین بارش در ایران ۲۵۰ میلی‌متر معادل یک سوم میانگین بارش جهان و پتانسیل تبخیر ۲۰۰۰ میلی‌متر معادل سه برابر میانگین جهانی است (بذرافشان و همکاران، ۱۴۰۰). حجم کل بارندگی در ایران ۳۹۶/۳۶ میلیارد مترمکعب، سهم تبخیر و ترقق واقعی از بارندگی ۲۸۶/۴۸ میلیارد مترمکعب و سهم رواناب و نفوذ نیز به ترتیب ۶۵/۶۵ و ۴۴/۴ میلیارد مترمکعب است. به این ترتیب از کل بارندگی ۷۲/۳ درصد صرف تبخیر و ترقق واقعی می‌شود و مابقی که حجم تجدیدپذیر منابع آب کشور را تشکیل می‌دهد، برابر ۱۰۹/۸۸ میلیارد مترمکعب و معادل ۲۷/۷ درصد از بارندگی می‌باشد. حجم کل برداشت آب برای مصارف مختلف از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی کشور برابر ۹۸/۹ میلیارد مترمکعب است. بیشترین سهم برداشت مربوط به بخش کشاورزی است (کشاورز و همکاران، ۱۴۰۰). از طرفی از کل سطح اراضی برداشت شده (۶/۴۸۹ میلیون هکتار) حدود ۸۴/۷۷ میلیون تن انواع محصولات زراعی برداشت شد که ۹۳٪ از آن سهم اراضی با کشت آبی می‌باشد که ۳۷٪ از این اراضی اختصاص به کشت گندم دارد (آمارنامه کشاورزی، ۱۴۰۱). سطح زیرکشت گندم عامل مهمی در تعیین سهم حجم آب آبیاری است. گندم، به‌رغم اینکه از نظر حجم آب آبیاری در واحد سطح محصول آبر نیست، اما با توجه به سطح زیرکشت زیاد آن در کشور، بیشترین حجم آب آبیاری را با ۹/۵ میلیارد مترمکعب به خود اختصاص داده است (عباسی و همکاران، ۱۴۰۳).

نتایج مطالعات عظیمی دزفولی و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که مقدار نیاز خالص آب در سطح کشور برای تولید ۹/۲ میلیون تن گندم آبی در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ برابر با ۱۸/۱۳۵ میلیارد مترمکعب است. دو سال بعد در مطالعات مشابه توسط عظیمی دزفولی (۲۰۱۹) مقدار سهم مصرف ناخالص آبیاری گندم در ایران برابر با ۱۶/۹۶ میلیارد مترمکعب که به ازای هر هکتار برابر با ۸۴۷۸ مترمکعب اعلام شد. در حالی که معاونت آب و خاک (۲۰۱۵، DMWMSAJ) در سند راهبردی ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی، حجم کل آب برای تولید گندم آبی در کشور را ۱۱/۷۷ میلیارد مترمکعب گزارش کردند (ابراهیمی‌پاک و همکاران، ۱۴۰۱). همچنین دامنه تغییرات بهره‌وری آب گندم در ایران و جهان به ترتیب ۰/۲۵ تا ۰/۳ و ۳/۹ تا ۰ کیلوگرم بر مترمکعب آب گزارش شده است (حیدری، ۱۴۰۰). طاهری و همکاران (۱۳۹۹) متوسط بهره‌وری آب گندم را در قطب‌های تولید این محصول در ایران (مناطق که تا ۸۰ درصد گندم کشور را تامین می‌کنند مثل استان‌های خوزستان، فارس، آذربایجان غربی و شرقی، خراسان رضوی، کرمان، گلستان و غیره) را ۰/۷۹ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد کردند. با این مقدار مصرف و بهره‌وری آب در گندم‌زارهای ایران و کمبود آب در کشور، مدیریت مصرف آب و ارتقاء بهره‌وری آب را غیرقابل اجتناب می‌کند. در برنامه هفتم توسعه اقتصادی و اجتماعی هم پیش‌بینی شده که مصرف آب در بخش کشاورزی تا سال ۱۴۰۶ به مقدار ۱۸/۳ درصد کاهش و مقدار بهره‌وری آب، سالیانه ۵ درصد افزایش یابد (قانون برنامه هفتم توسعه کشور، ۱۴۰۳). برای دستیابی به این اهداف راه‌های مختلفی وجود دارد که کاهش سطح زیرکشت با سازوکارهای علمی یکی از این راه‌هاست.

Foley و همکاران (۲۰۱۱) دریافتند که با توجه به مشکلات کم آبی، افزایش تولید از طریق افزایش سطح زیرکشت گندم امکان‌پذیر نیست. آنها نتیجه گرفتند که برای افزایش تولید، باید مقدار تولید در واحد سطح افزایش یابد و بهترین راه برای بهبود عملکرد محصول حذف اراضی با عملکرد کمتر از حد متوسط و رفع خلأ عملکرد راهکار ارزشمندی در جهت افزایش عملکرد در واحد سطح است (Foley et al., 2011). Perry و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه دیگری پیشنهاد کردند که برای تعادل سفره آب زیرزمینی باید مصرف واقعی آب ناشی از آبیاری محصولات کشاورزی به میزان ۲۰٪ کاهش یابد و برای کاهش آن راهکارهایی نظیر تغییر الگوی کشت و کاهش سطح زیرکشت اراضی را پیشنهاد نمود (Perry et al., 2017). اولین گام در کاهش سطح زیرکشت گندم در یک منطقه، برآورد تناسب اراضی در آن منطقه می‌باشد تا اراضی که تناسب اراضی پایینی دارند، کاشته نشوند. ارزیابی قابلیت و تناسب اراضی با رویکردهای مکانی مبتنی بر تحلیل و بهینه‌سازی با مدیریت قوی و کارآمد اراضی کشاورزی لازمه استفاده کارآمد از اراضی، با هدف توسعه پایدار کشاورزی و رسیدن به امنیت غذایی فعلی و آینده است (Abdallah et al., 2019; Bonfante et al., 2018; Montgomery et al., 2016 and Seyedmohammadi and Navidi, 2022). به عبارت دیگر کشاورزی پایدار زمانی تحقق می‌پذیرد که اراضی کشاورزی بر حسب تناسب آنها برای اهداف مختلف کاربری‌ها، طبقه‌بندی شوند که در این میان ارزیابی کیفی و کمی تناسب اراضی یک راهکار محسوب می‌گردد (Ayoubi & Jalalian, 2010).

برخی گندم‌زارهای کشور، به دلیل ویژگی فیزیولوژی خود گندم و محدودیت‌های اقلیمی و خاک مزرعه، سازگاری مناسب ندارند و عملکرد آن کمتر از عملکرد بحرانی و یا نزدیک به آن است. این اراضی به دلیل وجود محدودیت‌های اراضی مثل بافت، شیب و غیره آب

بیشتری نسبت به اراضی با تناسب بالا مصرف می‌کنند (رجا و همکاران، ۱۳۹۸).

این محدودیتها (شاخص تناسب اراضی) نشان دادند که مقدار عملکرد گندم در اراضی بدون محدودیت (S_1) بیش از ۵ برابر عملکرد در اراضی با محدودیت زیاد (N) است (آزادی و همکاران، ۱۴۰۰؛ زینالی و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین، منطقی به نظر می‌رسد که به جای کشت گندم در این اراضی، کشت گندم در اراضی با تناسب بالا کشت شود تا هم مصرف آب مدیریت شود و هم بهره‌وری آب افزایش یابد. تناسب اراضی به دو صورت کیفی و کمی انجام می‌شود. ارزیابی کیفی به نوعی از طبقه‌بندی اطلاق می‌شود، که درجه تناسب اراضی به صورت کیفی تعیین می‌شود. ارزیابی کمی تناسب اراضی مبتنی بر مراحل است که در آن میزان تولید پیش‌بینی می‌گردد. تحلیل‌های اقتصادی در رابطه با ارزیابی سودده بودن یک فعالیت تجاری-اقتصادی، معمولاً با مقایسه هزینه‌ها با فایده‌های آن انجام می‌شود (Ayoubi and Jalalian, 2006). تناسب اراضی به ۴ کلاس شامل کلاس تناسب بالا (S_1)، کلاس تناسب متوسط (S_2)، کلاس تناسب کم (S_3) و کلاس نامناسب (N) تقسیم می‌شود. البته کلاس نامناسب خود به دو کلاس نامناسب قابل اصلاح و نامناسب دائمی تقسیم می‌گردد. محدودیت اراضی در تناسب اراضی عبارتند از: بافت و عمق خاک، سنگریزه، آهک، زهکشی، شیب، شوری، قلیائیت و اسیدیتته خاک. بر این مبنای تناسب اراضی برای کشت گندم در دشت‌های آبی ایران توسط نویدی و همکاران (۱۴۰۱) بررسی و انجام گردید. در این پژوهش با جمع‌آوری داده‌سازی و رقوم‌سازی مطالعات خاک و طبقه‌بندی اراضی در کشور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های کاربری و در نظر گرفتن پهنه‌های زراعی - اقلیمی، واحدهای خاک در دشت‌های آبی در سراسر کشور مشخص شدند. ارزیابی تناسب اراضی با وارد کردن داده‌های اقلیمی، خاک، و پستی و بلندی در نرم‌افزار تهیه شده بر پایه روش فائو و پارامتریک ریشه دوم، کلیه واحدهای خاک واقع در دشت‌های آبی کشور برای کشت گندم آبی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ۱/۴ میلیون هکتار دارای کلاس (S_1)، ۲/۰۸ میلیون هکتار از اراضی مزبور در کلاس نسبتاً مناسب (S_2)، ۱/۴ میلیون هکتار دارای کلاس تناسب کم (S_3)، ۵۲۴ هزار هکتار اراضی دارای کلاس نامناسب در حال حاضر (N_1) و ۵۰۳ هزار هکتار اراضی دارای کلاس نامناسب دائمی (N_2) بودند. در این تحقیق، عمده‌ترین ویژگی‌های محدود کننده تناسب اراضی ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند بافت، شوری و قلیائیت، شیب، زهکشی و در برخی مناطق ویژگی‌های اقلیمی اعلام شد (نویدی و همکاران، ۱۴۰۱).

از یک طرف کمبود آب، تامین امنیت غذایی، تغییر شرایط اقلیمی کشور و کارایی پایین نهاده‌هایی مثل آب در اراضی با کلاس تناسب پایین، از طرف دیگر کاهش ۱۸/۳ درصدی سهم آب بخش کشاورزی و افزایش ۵ درصدی بهره‌وری آب مطابق برنامه هفتم توسعه تا سال ۱۴۰۶ و سند دانش‌بنیان امنیت غذایی نشان می‌دهد که صرفاً کاهش مصرف آب هدف نیست بلکه کاهش مصرف آب بدون کاهش عملکرد و تامین امنیت غذایی هدف غایی است. از سوی دیگر اثربخشی تغییرات مصرف آب بر تغییرات عملکرد محصول فقط با شاخص بهره‌وری آب قابل انجام است. یا به عبارت دیگر اثربخشی تغییر عملکرد از کاهش مصرف آب، بر اساس ویژگی خاک مزرعه و اقلیم منطقه، فقط با شاخص بهره‌وری آب امکان‌پذیر است. بر این اساس اثربخشی کاهش حجم آب آبیاری از طریق کاهش سطح زیرکشت گندم با شاخص‌های مختلف بهره‌وری آب هدف این مقاله بود و بررسی لازم برای پاسخ به سوالاتی نظیر اینکه آیا با حذف اراضی با تناسب پایین و در مقابل با مدیریت به‌زراعی در مزارع با تناسب خاک بالا و ارتقاء بهره‌وری آب، می‌توان بدون کاهش عملکرد، مصرف آب گندم را کاهش داد؟، آیا با مدیریت به‌زراعی در اراضی با تناسب خاک بالا می‌توان کمبود عملکرد ناشی از کاهش سطح زیرکشت را جبران کرد؟ با آب صرفه‌جویی شده ناشی از کاهش سطح زیرکشت، چقدر می‌توان در اراضی با تناسب خاک بالا گندم تولید کرد؟ آیا خلاء عملکرد اجازه افزایش عملکرد با این مقدار آب صرفه‌جویی شده را می‌دهد؟ کاهش عملکرد ناشی از کاهش سطح زیرکشت گندم در اراضی با تناسب پایین، با چه مقدار آب در اراضی با تناسب بالا قابل تولید است؟ آیا می‌توان با افزایش راندمان آبیاری یا کاهش نیاز واقعی آبی گیاه یا مدیریت تغذیه کاهش تولید ناشی از کاهش سطح زیرکشت را جبران کرد؟

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر بر اساس نتایج تحقیقات و پژوهش‌های صورت گرفته در کشور، با هدف کاهش حجم آب آبیاری گیاه گندم بدون تغییر در تولید یا سود خالص بهره‌بردار، در راستای اجرای قانون برنامه هفتم توسعه، از طریق کاهش سطح زیرکشت گندم در اراضی با تناسب پایین (N و S_3) انجام شد. هنگامی که کاهش سطح زیرکشت چند گیاه زراعی مد نظر باشد، سطح زیرکشت گیاه با بهره‌وری پایین، توسط گیاه با بهره‌وری آب بالا جایگزین می‌گردد. ولی زمانی که فقط یک گیاه مد نظر باشد، خاک مزرعه مبنای این تصمیم است و اراضی که دارای خاک با کلاس تناسب بدون محدودیت است، جایگزین اراضی با کلاس تناسب محدودیت زیاد خواهند شد و حجم آبی که صرف آبیاری



اراضی با تناسب بسیار کم می‌گردد، برای گندمزارهای با تناسب خاک بسیار مناسب مصرف می‌شود. بدیهی است که با حذف این اراضی، سطح زیرکشت، حجم آب آبیاری و تولید کاهش می‌یابد. با استفاده از شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی (WPP_a)، اقتصادی (WPE_a)، بهره‌وری نسبی فیزیکی (KWP_p) و بهره‌وری نسبی اقتصادی آب (KWP_e) ارزیابی (روابط ۱ تا ۴)، اثربخشی کاهش حجم آب آبیاری بر روی تولید و سود خالص بهره‌بردار ارزیابی شدند سپس راه‌های جبران کاهش تولید، در اراضی با تناسب بالا، مورد بررسی قرار گرفت. شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب توسط جعفری و عباسی (۱۴۰۲) معرفی گردیده است.

$$WPP_a = \frac{(Yield)_a}{WCI} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$WPE_a = \frac{(Income - Cost)_a}{WCI} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$KWP_p = \frac{\frac{Yield_a}{WCI}}{\frac{Yield_p}{NWI}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$KWP_e = \frac{\frac{(Income - Cost)_a}{WCI}}{\frac{(Income - Cost)_p}{NWI}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این روابط، Yield: عملکرد (کیلوگرم در هکتار)، a و p: بیانگر شرایط واقعی و پتانسیل، WCI^1 و NWI^2 : حجم آب آبیاری و نیاز خالص آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)، Income و Cost: درآمد و هزینه در واحد سطح (ریال).

برای برآورد شاخص بهره‌وری آب گندم، در هر یک از کلاس‌های تناسب اراضی، نیاز به داده‌های فراوان، مخصوصاً در شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب (رابطه ۴) بود. تنوع و حوزه گسترش داده‌ها باعث شد تا از نتایج تحقیقات موجود در منابع (جدول ۱) برای این منظور استفاده شود. بر این اساس در گام اول تناسب اراضی زیرکشت گندم کشور به جزء استان‌های خراسان جنوبی، هرمزگان، کهگیلویه و بویراحمد، البرز و گیلان (با ۱۷۷ هزار هکتار سطح زیرکشت به دلیل نبود داده)، به تفکیک استان و در هر استان سطح اراضی گندم به تفکیک ۵ کلاس تناسب شامل S_1 ، S_2 ، S_3 ، N_1 و N_2 بر اساس مطالعات نویدی و همکاران (۱۴۰۱) استخراج گردید.

جدول ۱- برخی مشخصات داده‌های مورد استفاده

ردیف	محل مطالعه	محصول	مورد استفاده	ماخذ
۱	سراسر کشور	گندم	تناسب اراضی	نویدی و همکاران (۱۴۰۱)
۲	سراسر کشور	گندم	نیاز خالص آب آبیاری	ابرهیمی‌پاک و همکاران (۱۴۰۱)
۳	سراسر کشور	گندم	عملکرد و حجم آب آبیاری	Azadi et al. (2022) Naseri & Abbasi (2022)
۴	سراسر کشور	گندم	هزینه گندم	آمارنامه ۱۴۰۱
۵	سراسر کشور	گندم	عملکرد و حجم آب آبیاری	عباسی و همکاران (۱۴۰۳)
۶	سراسر کشور	گندم	پتانسیل تولید	سلطانی و همکاران (۱۳۹۸)

در جدول ۲ کلاس تناسب N ، میانگین کلاس N_1 و N_2 می‌باشد. میانگین عملکرد واقعی و حجم آب آبیاری گندم در استان‌های مختلف از نتایج مطالعات عباسی و همکاران (۱۴۰۳) و عملکرد واقعی و پتانسیل تولید گندم در تناسب‌های مختلف از نتایج پژوهش‌های سلطانی و همکاران (۱۳۹۸)؛ زین‌الدینی‌میمند (۱۳۹۹)؛ آزادی و همکاران (۱۴۰۰)؛ شاهرخ و همکاران (۱۳۹۰)؛ آزادی و همکاران (۱۴۰۱)؛ زینالی و همکاران (۱۳۹۵)؛ عباس‌زاده و همکاران (۱۳۹۷)؛ کمالی و همکاران (۱۳۹۵)؛ مصدقی و همکاران (۱۳۹۸)؛ زین‌الدینی و همکاران (۱۳۹۹) استفاده گردید. متوسط راندمان کل آبیاری و حجم آب آبیاری برای همه کلاس‌های تناسب، یکسان فرض شد. هر چند در اراضی که دارای تناسب ضعیف هستند و عامل اصلی ضعف، بافت خاک است و در خاک‌های با بافت سبک معمولاً آب بیشتری در مقایسه با

1 - Water Content Irrigation

2 - Net Water Irrigation

بافت‌های متوسط و سنگین مصرف می‌شود. رجا و همکاران (۱۳۹۸) این موضوع را تایید کردند. برای راندمان کل آبیاری از داده‌های عباسی و عباسی (۱۴۰۲) استفاده شد.

با مشخص بودن سطح و مقدار عملکرد در واحد سطح در کلاس‌های مختلف (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ ناصری و عباسی، ۲۰۲۲)، عملکرد گندم در هر تناسب به تفکیک استان تعیین شد. تبخیر و تعرق و نیاز آبیاری گیاه گندم در استان‌های مختلف از سامانه نیاز آب (ابراهیمی‌پاک و همکاران، ۱۴۰۱ الف) استخراج گردید. در برآورد نیاز آب آبیاری گندم در هر استان، بارش برای همه کلاس‌های تناسب اراضی یک استان یکسان فرض شد. قیمت هر کیلوگرم گندم در سال ۱۴۰۱، ۱۵۰۰۰۰ ریال و میانگین هزینه تمام شده بر اساس اطلاعات ارائه شده توسط مرکز آمار، فناوری اطلاعات و ارتباطات معاونت برنامه‌ریزی اقتصادی وزارت جهاد کشاورزی در سال ۱۴۰۱ استخراج گردید.

برای مشخص نمودن این که چه سطحی از مزارع گندم حذف گردد، از شاخص تناسب اقتصادی استفاده گردید. پس از محاسبه سطح زیرکشت، عملکرد واقعی، پتانسیل تولید، حجم آب آبیاری، نیاز خالص آب آبیاری و هزینه تمام شده در هر یک از کلاس‌های تناسب اراضی استان‌ها، با استفاده از تناسب اقتصادی (رابطه ۵)، کلاس‌هایی از خاک که عملکردی کمتر از عملکرد بحرانی^۱ داشتند، مشخص و کاندیدای حذف سطح زیرکشت شدند. بر اساس سطح زیرکشت حذف شده، مقادیر کاهش تولید (رابطه ۶)، حجم آب آبیاری (رابطه ۷) متناظر محاسبه گردید (شاهرخ و همکاران، ۱۳۹۰).

$$\text{رابطه ۵)} \quad \text{هزینه متغیر} = \frac{\text{عملکرد بحرانی}}{\text{قیمت واحد گندم}}$$

$$\text{رابطه ۶)} \quad dY = \sum_{i=1}^n YS_3 + \sum_{i=1}^n YN$$

$$\text{رابطه ۷)} \quad dWCI = \sum_{i=1}^n WCIS_3 + \sum_{i=1}^n WCIN$$

در این روابط: هزینه متغیر و قیمت واحد گندم بر حسب ریال در هکتار، عملکرد بحرانی بر حسب کیلوگرم بر هکتار، dY : کاهش عملکرد ناشی از کاهش سطح زیرکشت، YS_3 و YN : عملکرد در کلاس تناسب S_3 و N ، n : تعداد استان‌ها، $dWCI$: کاهش حجم آب آبیاری و $WCIS_3$ و $WCIN$: به ترتیب کاهش حجم آب آبیاری در کلاس تناسب S_3 و N .

بر اساس روابط ۱ تا ۴ بهره‌وری آب در کل اراضی گندم، اراضی حذف شده و اراضی باقیمانده محاسبه گردید. با عنایت به کاهش مقدار تولید ناشی از کاهش سطح زیرکشت و شاخص‌های بهره‌وری آب در اراضی باقیمانده (تناسب اراضی مناسب)، مقدار حجم آب آبیاری مورد نیاز برای آبیاری اراضی باقیمانده که بتواند کاهش تولید را جبران نماید، محاسبه گردید. در ادامه، مقادیر افزایش راندمان کاربرد آب آبیاری، کاهش تبخیر و مدیریت تغذیه به عنوان سه راهکار که منجر به افزایش عملکرد گردد، بر اساس هر یک از شاخص‌های بهره‌وری آب (رابطه ۱ تا ۴) بررسی و تحلیل شد. به‌طور خلاصه، در این مقاله امکان‌سنجی حذف اراضی که دارای بهره‌وری آب پایین و جبران عملکرد ناشی از آن به عنوان یکی از روش‌های دستیابی به اهداف برنامه هفتم توسعه و تامین امنیت غذایی در گندمزارهای کشور مورد بررسی قرار گرفت. راهکارهای افزایش راندمان کاربرد آب آبیاری، کاهش تبخیر و مدیریت تغذیه نیز برای جبران تولید ناشی از کاهش سطح زیرکشت ارائه گردیده است.

نتایج و بحث

با عنایت به مشخص بودن سطح زیرکشت گندم در هر استان (آمارنامه ۱۴۰۱) و درصد اراضی هر یک از کلاس‌های تناسب اراضی (نوبدی و همکاران، ۱۴۰۱)، مساحت گندمزارها در هر یک از کلاس‌های تناسب اراضی در هر استان به شرح جدول (۲) حاصل شد.



جدول ۲. مساحت کلاس‌های مختلف تناسب اراضی گندم به تفکیک استان‌ها

استان	کلاس تناسب اراضی	مساحت (درصد)	مساحت (هکتار)	استان	کلاس تناسب اراضی	مساحت (درصد)	مساحت (هکتار)	استان	کلاس تناسب اراضی	مساحت (درصد)	مساحت (هکتار)	
آذربایجان شرقی	S ₁	۳۰	۲۵۰۰۴	خراسان شمالی	S ₁	۵	۲۶۹۵	کردستان	S ₁	۱۴	۹۱۵۶	
	S ₂	۳۰	۲۴۳۳۱		S ₂	۴۶	۲۵۲۸۱		S ₂	۷۲	۱۸۵۵۵	
	S ₃	۳۰	۲۴۸۷۹		S ₃	۲۰	۱۰۷۵۸		S ₃	۱۱	۴۳۱۹۵	
آذربایجان غربی	S ₁	۳۸	۴۵۵۲۷	خوزستان	S ₁	۵	۲۴۹۸۸	کرمان	S ₁	۹	۴۳۱۷۸	
	S ₂	۳۳	۳۹۱۲۲		S ₂	۳۱	۱۶۱۶۱۷		S ₂	۱۸	۴۶۱۵۷	
	S ₃	۱۷	۲۰۱۶۲		S ₃	۱۷	۸۶۴۳۵		S ₃	۴۲	۱۹۵۲۴	
اردبیل	S ₁	۱۲	۱۳۶۷۷	زنجان	S ₁	۴۷	۲۴۳۷۳۰	کرمانشاه	S ₁	۳۰	۲۲۵۴	
	S ₂	۴۲	۳۲۵۱۱		S ₂	۱۳	۲۷۰۸		S ₂	۳۹	۸۹۴۵۰	
	S ₃	۴۳	۳۳۶۶۷		S ₃	۱۷	۳۶۶۱		S ₃	۴۲	۴۲۴۹۹	
اصفهان	S ₁	۱۳	۱۰۳۴۱	سمنان	S ₁	۴	۷۶۶	گلستان	S ₁	۲	۳۳۸۴	
	S ₂	۱۷	۱۱۳۰۸		S ₂	۲۷	۶۷۷۱		S ₂	۵۶	۱۸۵۱۰	
	S ₃	۲۷	۱۷۸۱۶		S ₃	۳۳	۸۱۵۸		S ₃	۲۷	۲۰۶۸۱	
ایلام	S ₁	۳۵	۲۳۴۵۳	سیستان و بلوچستان	S ₁	۱۵	۳۶۶۴	لرستان	S ₁	۱۵	۹۴۹۰	
	S ₂	۲۱	۱۳۶۲۴		S ₂	۲۵	۶۰۷۰		S ₂	۲	۸۱۶	
	S ₃	۵	۳۰۷۷		S ₃	۱	۳۰۴		S ₃	۳۷	۶۰۴۱	
بوشهر	S ₁	۵۰	۳۳۰۸۷	فارس	S ₁	۳۶	۱۳۷۶۵	مازندران	S ₁	۴۲	۱۷۲۷۲	
	S ₂	۳۳	۲۱۶۲۶		S ₂	۲۶	۹۹۲۷		S ₂	۱۹	۶۱۰۶	
	S ₃	۱۳	۸۷۳۲		S ₃	۳۷	۱۴۳۰۲		S ₃	۲	۱۹۱۸	
تهران	S ₁	۱	۳۴۱	قزوین	S ₁	۱۶	۴۱۸۴۶	مرکزی	S ₁	۱۹	۱۸۶۳۶	
	S ₂	۳۲	۱۰۲۳۳		S ₂	۳۷	۹۹۴۲۸		S ₂	۵۵	۱۲۱۸۱	
	S ₃	۱۹	۵۸۳۶		S ₃	۲۹	۷۸۲۶۲		S ₃	۱۹	۱۲۹۰۷	
چهارمحال و بختیاری	S ₁	۴۸	۱۵۱۱۵	همدان	S ₁	۱۷	۴۵۸۶۸	یزد	S ₁	۶	۵۱۰۶	
	S ₂	۵۱	۲۸۵۱۹		S ₂	۲۹	۱۳۶۹۴		S ₂	۲۸	۳۸۳۴۵	
	S ₃	۲۵	۱۳۹۰۵		S ₃	۳۸	۱۸۰۸۹		S ₃	۲۵	۲۶۱۹۵	
خراسان رضوی	S ₁	۱۶	۸۸۵۳	قم	S ₁	۲۱	۱۰۰۱۰	همدان	S ₁	۲۶	۸۸۹۱	
	S ₂	۹	۴۷۶۵		S ₂	۱۱	۵۳۳۲		S ₂	۱۰	۴۹۶۱	
	S ₃	۳۰	۷۰۴۹		S ₃	۱۳	۷۴۹		S ₃	۴۹	۳۸۳۴۵	
خراسان رضوی	S ₁	۴۰	۱۰۳۱۶	کردستان	S ₁	۲۲	۱۲۳۷	یزد	S ₁	۳۳	۲۶۱۹۵	
	S ₂	۳۰	۶۶۶۳		S ₂	۳۱	۱۱۹۳		S ₂	۱۱	۸۸۹۱	
	S ₃	۰	۸۶۸		S ₃	۳۴	۱۹۷۱		S ₃	۶	۴۹۶۱	
خراسان رضوی	S ₁	۱۶	۳۹۷۹۱	کردستان	S ₁	۵۶	۶۰۲۳	یزد	S ₁	۹	۹۹۰	
	S ₂	۳۷	۴۶۷۱۰		S ₂	۲۷	۲۹۹۸۹		S ₂	۳۹	۴۱۳۹	
	S ₃	۲۹	۶۰۴۳۹		S ₃	۱۵	۴۴۲۰		S ₃	۴۰	۴۳۳۱	
			۲۳۴۶۵				۱۱۳۷				۱۲	۱۲۸۷

(برگرفته از نتایج مطالعات نویدی و همکاران، ۱۴۰۱)

میانگین عملکرد واقعی، حجم آب آبیاری و پتانسیل تولید گندم در کلاس‌های مختلف تناسب اراضی به تفکیک هر استان استخراج شد (جدول ۳). با فرض راندمان کل آبیاری ۵۰ درصد (عباسی و عباسی، ۱۴۰۲) برای همه کلاس‌های تناسب، حجم آب آبیاری برای همه آنها یکسان به دست آمد. هر چند در اراضی که دارای تناسب ضعیف هستند و عامل اصلی ضعف، بافت خاک و شیب مزرعه است و در خاک‌های با بافت سبک و ناهموار معمولاً آب بیشتری در مقایسه با بافت‌های متوسط و سنگین و تسطیح شده مصرف می‌شود. رجا و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعات خود دریافتند که برخی گندم‌زارهای کشور، به دلیل محدودیت‌های اقلیمی و خاک مزرعه، سازگاری مناسب

ندارند. این اراضی به دلیل وجود محدودیت‌های اراضی مثل بافت، شیب و غیره آب بیشتری نسبت به اراضی با تناسب بالا مصرف می‌کنند. در صورت لحاظ نمودن این محدودیت‌ها، مقدار آب مورد نیاز در اراضی باقی‌مانده برای جبران کمبود عملکرد ناشی از حذف اراضی با تناسب پایین، مقدورتر خواهد شد. چون با احتساب مصرف آب بیشتر در این اراضی، بهره‌وری آب کاهش و لذا با آب کمتری در اراضی بدون محدودیت (S_1 و S_2) می‌توان کاهش تولید گندم را جبران کرد.

جدول ۳- عملکرد و حجم آب آبیاری در واحد سطح در کلاس‌های مختلف تناسب اراضی به تفکیک استان

استان	کلاس تناسب اراضی	عملکرد (kg)	حجم آب آبیاری (m^3)	استان	کلاس تناسب اراضی	عملکرد (kg)	حجم آب آبیاری (m^3)	استان	کلاس تناسب اراضی	عملکرد (kg)	حجم آب آبیاری (m^3)
آذربایجان شرقی	S_1	۵۷۸۵	۴۲۰۰	قزوین	S_1	۷۱۷۶	۶۶۴۲	قزوین	S_1	۵۷۸۵	۴۲۰۰
	S_2	۳۸۵۷	۴۲۰۰		S_2	۴۷۸۴	۶۶۴۲		S_2	۳۸۵۷	۴۲۰۰
	S_3	۱۴۰۳	۴۲۰۰		S_3	۱۴۷۲	۶۶۴۲		S_3	۱۴۰۳	۴۲۰۰
آذربایجان غربی	N	۵۶۱	۴۲۰۰	کرمان	N	۳۶۸	۶۶۴۲	کرمان	N	۵۶۱	۴۲۰۰
	S_1	۶۶۳۶	۳۷۵۸		S_1	۵۱۹۶	۶۰۹۰		S_1	۶۶۳۶	۳۷۵۸
	S_2	۴۴۲۴	۳۷۵۸		S_2	۳۷۱۱	۶۰۹۰		S_2	۴۴۲۴	۳۷۵۸
	S_3	۱۳۶۱	۳۷۵۸		S_3	۱۳۵۰	۶۰۹۰		S_3	۱۳۶۱	۳۷۵۸
اردبیل	S_1	۵۶۲۱	۶۱۰۶	کرمانشاه	S_1	۷۱۱۴	۴۲۵۶	کرمانشاه	S_1	۵۶۲۱	۶۱۰۶
	S_2	۳۷۴۷	۶۱۰۶		S_2	۴۷۴۲	۴۲۵۶		S_2	۳۷۴۷	۶۱۰۶
	S_3	۱۱۵۳	۶۱۰۶		S_3	۱۴۵۹	۴۲۵۶		S_3	۱۱۵۳	۶۱۰۶
	N	۳۰۷	۶۱۰۶		N	۳۶۵	۴۲۵۶		N	۳۰۷	۶۱۰۶
تهران	S_1	۷۳۹۸	۵۱۲۰	ایلام	S_1	۷۳۲۴	۵۸۰۰	ایلام	S_1	۷۳۹۸	۵۱۲۰
	S_2	۴۸۶۵	۵۱۲۰		S_2	۴۸۸۳	۵۸۰۰		S_2	۴۸۶۵	۵۱۲۰
	S_3	۱۳۵۲	۵۱۲۰		S_3	۱۳۹۵	۵۸۰۰		S_3	۱۳۵۲	۵۱۲۰
	N	۳۶۰	۵۱۲۰		N	۳۷۲	۵۸۰۰		N	۳۶۰	۵۱۲۰
خراسان شمالی	S_1	۷۹۳۹	۴۸۰۰	چهارمحال و بختیاری	S_1	۵۷۱۸	۴۹۱۲	چهارمحال و بختیاری	S_1	۷۹۳۹	۴۸۰۰
	S_2	۵۴۷۵	۴۸۰۰		S_2	۳۸۱۲	۴۹۱۲		S_2	۵۴۷۵	۴۸۰۰
	S_3	۱۵۶۷	۴۸۰۰		S_3	۱۱۷۳	۴۹۱۲		S_3	۱۵۶۷	۴۸۰۰
	N	۴۱۷	۴۸۰۰		N	۳۱۳	۴۹۱۲		N	۴۱۷	۴۸۰۰
خراسان رضوی	S_1	۸۶۸۸	۵۹۷۶	لرستان	S_1	۵۳۲۹	۴۸۰۰	لرستان	S_1	۸۶۸۸	۵۹۷۶
	S_2	۶۲۰۶	۵۹۷۶		S_2	۳۷۳۵	۴۸۰۰		S_2	۶۲۰۶	۵۹۷۶
	S_3	۱۷۷۳	۵۹۷۶		S_3	۱۱۸۶	۴۸۰۰		S_3	۱۷۷۳	۵۹۷۶
	N	۴۴۳	۵۹۷۶		N	۳۳۹	۴۸۰۰		N	۴۴۳	۵۹۷۶
خوزستان	S_1	۷۸۴۷	۴۷۵۲	همدان	S_1	۵۳۰۶	۵۲۳۴	همدان	S_1	۷۸۴۷	۴۷۵۲
	S_2	۶۲۷۸	۴۷۵۲		S_2	۳۵۳۷	۵۲۳۴		S_2	۶۲۷۸	۴۷۵۲
	S_3	۲۲۴۲	۴۷۵۲		S_3	۱۲۸۶	۵۲۳۴		S_3	۲۲۴۲	۴۷۵۲
	N	۶۹۲	۴۷۵۲		N	۵۱۵	۵۲۳۴		N	۶۹۲	۴۷۵۲
زنجان	S_1	۶۶۰۰	۴۹۰۰	مازندران	S_1	۶۸۴۱	۱۹۵۶	مازندران	S_1	۶۶۰۰	۴۹۰۰
	S_2	۴۸۸۹	۴۹۰۰		S_2	۴۵۶۱	۱۹۵۶		S_2	۴۸۸۹	۴۹۰۰
	S_3	۱۶۳۰	۴۹۰۰		S_3	۱۴۷۱	۱۹۵۶		S_3	۱۶۳۰	۴۹۰۰
	N	۴۶۶	۴۹۰۰		N	۵۲۵	۱۹۵۶		N	۴۶۶	۴۹۰۰
فارس	S_1	۶۱۴۸	۵۵۷۶	گلستان	S_1	۴۲۷۰	۱۹۲۴	گلستان	S_1	۶۱۴۸	۵۵۷۶
	S_2	۴۹۱۹	۵۵۷۶		S_2	۲۸۴۷	۱۹۲۴		S_2	۴۹۱۹	۵۵۷۶
	S_3	۱۹۶۷	۵۵۷۶		S_3	۱۳۵۶	۱۹۲۴		S_3	۱۹۶۷	۵۵۷۶
	N	۶۵۶	۵۵۷۶		N	۵۴۲	۱۹۲۴		N	۶۵۶	۵۵۷۶

(برگرفته از نتایج مطالعات عباسی و همکاران، ۱۴۰۳)



سطح زیرکشت، عملکرد و حجم آب آبیاری اراضی با تناسب S_1 ، S_2 ، S_3 و N در کل گندمزارهای کشور برآورد شد (جدول ۴). در ارزیابی عملکرد و بهره‌وری آب در کلاس‌های مختلف تناسب اراضی، نتایج نشان داد که سطح زیرکشت گندم در اراضی با کلاس تناسب S_1 تقریباً ۱/۱ برابر اراضی با کلاس تناسب N در صورتی که عملکرد بیش از ۱۱ برابر بود و با لحاظ نمودن هم‌زمان عملکرد و مقدار آب، یعنی مقدار شاخص بهره‌وری فیزیکی آب، این نسبت به بیش از ۱۰ برابر رسید (بهره‌وری فیزیکی آب در اراضی با تناسب S_1 حدوداً ۱۳ برابر اراضی با تناسب N بود).

بر اساس قیمت گندم در سال زراعی ۱۴۰۱ (۱۵۰۰۰۰ ریال برای هر کیلوگرم) و هزینه تمام شده برای تولید گندم در هر استان، عملکرد بحرانی به تفکیک استان و برای همه کلاس‌های تناسب، محاسبه شد (جدول ۵). نتایج نشان داد که به جز استان گلستان، در بقیه استان‌ها عملکرد در کلاس تناسب N اقتصادی نیست و به جز چهار استان خوزستان، گلستان، یزد و قم، اختلاف عملکرد حاصل شده توسط بهره‌بردار با عملکرد بحرانی، در کلاس تناسب S_3 در بقیه استان‌ها زیر ۱۰۰۰ کیلوگرم بود. به عبارت دیگر سود خالص کشاورز در این کلاس کمتر از فروش یک تن گندم است. اما در سایر کلاس‌های تناسب اراضی، سود خالص بهره‌بردار بیش از درآمد حاصل از فروش ۳ تن گندم بود. بر این اساس، اراضی با کلاس‌های تناسب S_3 و N از سطح زیرکشت گندم در کل کشور حذف و ارزیابی مدیریت مصرف آب آبیاری گندم بر اساس آن انجام شد.

جدول ۴- سطح زیرکشت، تولید و حجم آب آبیاری اراضی به تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی در کل مزارع گندم

کلاس تناسب اراضی	سطح زیرکشت (هزارهکتار)	تولید (هزار تن)	حجم آب آبیاری (میلیارد مترمکعب)	WPP_a (kg/m ³)	WPE_a (Rials/m ³)	KWP_p (بی‌بعد)	KWP_e (بی‌بعد)
S_1	۵۱۷	۳۳۳۰	۲/۳۷۶	۱/۳۹	۱۷۷۴۳۰	۰/۶۵	۰/۵۶
S_2	۷۸۹	۳۹۱۰	۳/۹۲	۰/۹۹۸	۱۱۵۵۹۰	۰/۵۷	۰/۴۶
S_3	۵۱۹	۸۹۸	۲/۷۱	۰/۳۴	۱۹۹۸۰	۰/۴۷	۰/۱۹
N	۴۶۹	۲۷۹	۲/۴۳	۰/۱۰	-۱۰۲۰	۰/۴۳	۰/۰۱

جدول ۵- شاخص‌های KWP_e ، KWP_p ، WPE_a ، WPP_a در استان‌های مختلف قبل از حذف اراضی کم‌بازده

استان	سطح (هکتار)	تولید (هزار تن)	حجم آب آبیاری (میلیون مترمکعب)	عملکرد بحرانی (kg)	WPP_a (kg/m ³)	WPE_a (Rials/m ³)	KWP_p (بی‌بعد)	KWP_e (بی‌بعد)
آ. شرقی	۸۲۳۳۶	۲۷۸	۳۴۶	۹۶۱	۰/۶۹	۷۲۸۶۰	۰/۴	۰/۲۰
آ. غربی	۱۱۸۴۸۸	۵۰۸	۴۴۹	۱۰۵۶	۰/۸۴	۹۱۶۱۰	۰/۴۳	۰/۲۴
اردبیل	۷۷۷۴۵	۳۲۱	۴۷۵	۷۷۱	۰/۴۴	۵۰۴۱۰	۰/۳۸	۰/۲۳
اصفهان	۶۶۲۰۱	۲۱۸	۳۹۷	۱۲۳۴	۰/۵۹	۶۱۶۸۰	۰/۵۶	۰/۲۸
ایلام	۶۶۵۲۱	۲۱۷	۳۸۶	۸۶۰	۰/۶	۷۱۲۷۰	۰/۴	۰/۲۶
بوشهر	۳۱۵۲۵	۶۲	۱۹۵	۷۳۸	۰/۵۳	۶۳۵۰۰	۰/۴۶	۰/۳
تهران	۵۶۰۴۱	۲۸۹	۲۸۷	۱۰۱۷	۰/۶۸	۷۶۶۵۰	۰/۴۶	۰/۲۷
چهارمحال و بختیاری	۲۴۸۹۷	۸۸	۱۲۲	۷۲۰	۰/۵۶	۶۵۲۳۰	۰/۶۲	۰/۳۹
خراسان رضوی	۱۷۰۴۰۵	۷۵۳	۱۰۱۸	۱۳۶۹	۰/۷۲	۷۸۸۱۰	۰/۵۷	۰/۳۲
خراسان شمالی	۵۴۶۱۶	۱۸۳	۲۶۲	۹۸۴	۰/۸	۹۳۹۵۰	۰/۵۵	۰/۳۴
خوزستان	۵۱۶۷۷۰	۱۵۷۲	۲۴۵۶	۷۷۳	۰/۹	۱۱۰۸۶۰	۰/۶۷	۰/۴۴
زنجان	۲۱۵۰۰	۹۴	۱۰۵	۱۶۱۱	۰/۶۹	۵۴۶۴۰	۰/۵۲	۰/۲۲
سمنان	۲۴۶۶۳	۱۱۷	۱۹۳	۱۲۸۹	۰/۵۴	۶۰۱۶۰	۰/۵۲	۰/۲۷
سیستان	۳۸۲۹۹	۱۱۰	۲۵۰	۸۶۷	۰/۵۳	۶۳۰۶۰	۰/۶۱	۰/۳۶
فارس	۲۶۵۴۰۳	۹۳۰	۱۴۸۰	۱۲۷۵	۰/۶۱	۶۱۹۳۰	۰/۶۳	۰/۳۱
قزوین	۴۷۱۲۵	۲۰۲	۳۱۳	۱۲۳۹	۰/۵۲	۵۴۸۴۰	۰/۳۷	۰/۲
قم	۵۷۵۰	۲۷	۳۹	۹۱۷	۰/۷۹	۱۰۰۳۵۰	۰/۶۳	۰/۴۳
کردستان	۴۱۲۶۷	۲۰۱	۱۷۲	۱۱۹۱	۰/۸۵	۸۹۶۸۰	۰/۶۷	۰/۳۵
کرمان	۱۰۱۸۶۹	۱۸۷	۶۲۰	۱۱۲۹	۰/۴۴	۴۲۱۳۰	۰/۶۰	۰/۳
کرمانشاه	۱۱۱۱۱۳	۵۵۵	۴۷۳	۸۱۸	۰/۸	۹۵۷۰۰	۰/۴۲	۰/۲۶
گلستان	۱۵۹۰۹۲	۵۳۶	۳۰۶	۵۵۲	۱/۱۷	۱۳۲۶۹۰	۰/۶۸	۰/۳۹
لرستان	۴۹۴۹۶	۱۸۶	۲۲۸	۸۹۹	۰/۵۵	۵۸۲۴۰	۰/۵۱	۰/۲۶
مازندران	۳۱۳۳۸	۱۳۰	۶۱	۱۰۸۰	۱/۷۱	۱۸۷۷۵۰	۰/۵۹	۰/۴۹
مرکزی	۴۸۸۳۰	۱۹۷	۳۱۱	۱۰۵۰	۰/۵۱	۵۵۷۷۰	۰/۵۳	۰/۳
همدان	۷۸۳۹۲	۳۱۰	۴۱۰	۹۳۱	۰/۵۱	۵۲۵۷۰	۰/۴۳	۰/۲۱
یزد	۱۰۷۴۶	۴۳	۷۰	۱۰۶۱	۰/۶۷	۷۸۶۴۰	۰/۷۳	۰/۴۵
جمع/متوسط	۲۲۹۴۷۵۶	۸۳۱۶	۱۱۴۳۴		۰/۷	۷۷۹۰۰	۰/۵۳	۰/۳۰

همچنین بعد از حذف اراضی با تناسب S_3 و N ، مساحت کشتزارهای گندم، عملکرد، حجم آب آبیاری، عملکرد بحرانی و شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی (WPP_a)، بهره‌وری اقتصادی (WPE_a)، بهره‌وری نسبی فیزیکی (KWP_p) و بهره‌وری نسبی اقتصادی (KWP_e) آب برای کل مزارع گندم (جدول ۵) و سطح، عملکرد، حجم آب آبیاری و شاخص‌های بهره‌وری آب مزارع حذف شده (S_3 و N) و اراضی باقیمانده (S_1 و S_2) برآورد گردید (جدول ۶).

جدول ۶- شاخص‌های WPP_a ، WPE_a ، KWP_p و KWP_e در استان‌های مختلف بعد از حذف اراضی کم‌بازده

مقادیر بعد از حذف اراضی با تناسب S_3 و N		اراضی با تناسب S_3 و N		مقادیر بعد از حذف اراضی با تناسب S_3 و N		اراضی با تناسب S_3 و N		مقادیر بعد از حذف اراضی با تناسب S_3 و N		استان
تولید (هزار تن)	حجم آب آبیاری (میلیون مترمکعب)	سطح (ha)	KWP_e (بی‌بعد)	KWP_p (بی‌بعد)	WPE_a (Rials/m ³)	WPP_a (kg/m ³)	تولید (هزار تن)	حجم آب آبیاری (میلیون مترمکعب)	سطح (ha)	
۲۳۸	۲۰۷	۴۹۳۳۵	۰/۳۴	۰/۴۲	۱۳۷۸۵۰	۱/۱۵	۲۳۸	۲۰۷	۴۹۳۳۵	آ. شرقی
۴۷۵	۳۲۱	۸۴۶۴۹	۰/۴۳	۰/۵۲	۱۷۷۱۸۰	۱/۴۶	۴۷۵	۳۲۱	۸۴۶۴۹	آ. غربی
۳۰۹	۴۰۴	۶۶۱۷۸	۰/۴	۰/۴۷	۹۶۱۳۰	۰/۷۷	۳۰۹	۴۰۴	۶۶۱۷۸	اردبیل
۱۶۰	۱۷۵	۲۹۱۲۴	۰/۴۵	۰/۵۶	۱۱۳۱۸۰	۰/۹۶	۱۶۰	۱۷۵	۲۹۱۲۴	اصفهان
۱۸۴	۲۱۰	۳۶۱۶۳	۰/۴۵	۰/۵۲	۱۳۵۶۱۰	۱/۰۵	۱۸۴	۲۱۰	۳۶۱۶۳	ایلام
۴۸	۶۶	۱۰۵۷۴	۰/۵۱	۰/۵۷	۱۱۹۰۷۰	۰/۹۱	۴۸	۶۶	۱۰۵۷۴	بوشهر
۲۷۶	۲۱۷	۴۲۴۲۴	۰/۴۹	۰/۵۸	۱۴۸۳۹۰	۱/۱۹	۲۷۶	۲۱۷	۴۲۴۲۴	تهران
۸۰	۸۵	۱۷۳۶۶	۰/۶۶	۰/۷۷	۱۲۳۵۴۰	۰/۹۷	۸۰	۸۵	۱۷۳۶۶	چهارمحال و بختیاری
۶۳۶	۵۱۷	۸۶۵۰۲	۰/۵۹	۰/۷۱	۱۵۲۵۵۰	۱/۲۵	۶۳۶	۵۱۷	۸۶۵۰۲	خراسان رضوی
۱۶۰	۱۳۴	۲۷۹۷۶	۰/۵۹	۰/۶۸	۱۷۸۸۴۰	۱/۴	۱۶۰	۱۳۴	۲۷۹۷۶	خراسان شمالی
۱۲۱۰	۸۸۷	۱۸۶۶۰۵	۰/۶۷	۰/۷۴	۱۹۸۵۳۰	۱/۴۹	۱۲۱۰	۸۸۷	۱۸۶۶۰۵	خوزستان
۸۸	۸۴	۱۷۰۷۳	۰/۴۵	۰/۶۱	۱۲۶۵۳۰	۱/۱۷	۸۸	۸۴	۱۷۰۷۳	زنجان
۱۰۸	۱۱۷	۱۴۹۳۰	۰/۴۹	۰/۵۹	۱۱۶۵۲۰	۰/۹۴	۱۰۸	۱۱۷	۱۴۹۳۰	سمنان
۸۱	۱۰۶	۱۴۰۶۹	۰/۵۱	۰/۵۸	۱۱۱۸۱۰	۰/۸۶	۸۱	۱۰۶	۱۴۰۶۹	سیستان و بلوچستان
۷۴۶	۷۸۸	۱۴۱۲۷۳	۰/۵۳	۰/۶۸	۱۱۴۵۶۰	۰/۹۹	۷۴۶	۷۸۸	۱۴۱۲۷۳	فارس
۱۸۵	۲۱۱	۳۱۷۸۳	۰/۳۷	۰/۴۶	۱۰۷۰۶۰	۰/۹	۱۸۵	۲۱۱	۳۱۷۸۳	قزوین
۱۹	۱۵	۱۹۸۶	۰/۶۳	۰/۶۸	۱۷۳۰۹۰	۱/۲۷	۱۹	۱۵	۱۹۸۶	قم
۱۹۱	۱۵۰	۳۶۰۱۲	۰/۵۵	۰/۶۸	۱۶۴۰۵۰	۱/۳۸	۱۹۱	۱۵۰	۳۶۰۱۲	کردستان
۱۱۶	۱۶۹	۲۷۷۱۱	۰/۵۵	۰/۷۳	۸۱۶۵۰	۰/۷۳	۱۱۶	۱۶۹	۲۷۷۱۱	کرمان
۵۲۶	۳۸۰	۸۹۳۳۵	۰/۴۳	۰/۵	۱۸۰۱۰۰	۱/۳۹	۵۲۶	۳۸۰	۸۹۳۳۵	کرمانشاه
۵۰۳	۲۵۴	۱۳۱۹۴۹	۰/۵۸	۰/۶۸	۲۳۴۴۲۰	۱/۸۵	۵۰۳	۲۵۴	۱۳۱۹۴۹	گلستان
۱۷۴	۱۸۸	۳۹۱۹۰	۰/۴۷	۰/۵۸	۱۱۱۹۹۰	۰/۹۳	۱۷۴	۱۸۸	۳۹۱۹۰	لرستان
۱۲۰	۴۶	۲۳۳۱۴	۰/۴۹	۰/۵۹	۳۵۷۴۳۰	۲/۹۱	۱۲۰	۴۶	۲۳۳۱۴	مازندران
۱۷۶	۱۹۶	۳۰۸۱۷	۰/۵۲	۰/۶۳	۱۰۶۳۷۰	۰/۸۷	۱۷۶	۱۹۶	۳۰۸۱۷	مرکزی
۲۹۶	۳۳۸	۶۴۵۳۹	۰/۳۶	۰/۴۵	۱۰۰۰۴۰	۰/۸۴	۲۹۶	۳۳۸	۶۴۵۳۹	همدان
۳۳	۳۳	۵۱۲۸	۰/۷۱	۰/۸۲	۱۴۲۷۶۰	۱/۱۱	۳۳	۳۳	۵۱۲۸	یزد
۷۱۳۲	۶۲۹۶	۱۳۰۶۰۰۵	۰/۵۱	۰/۶۱	۱۴۶۵۱۰	۱/۱۸	۷۱۳۲	۶۲۹۶	۱۳۰۶۰۰۵	جمع/متوسط

بر اساس آمارنامه ۱۴۰۱، به جز استان‌های خراسان جنوبی، هرمزگان، کهگیلویه و بویراحمد، البرز و گیلان، در ۲/۲۹۵ میلیون هکتار از اراضی کشور، گندم کشت شد که برای آبیاری آن حدوداً ۱۱/۴۳۴ میلیارد مترمکعب آب مصرف شده است (جدول ۵). ابراهیمی‌پاک و همکاران (۱۴۰۱) هم به نقل از معاونت آب و خاک، در سند راهبردی ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی در سال ۲۰۱۵، حجم آب آبیاری مورد نیاز برای آبیاری گندم در سطح کشور را ۱۱/۷۷ میلیارد مترمکعب و عظیمی دزفولی و همکاران (۲۰۱۷) آن را ۱۶/۹۶ میلیارد مترمکعب اعلام کردند.

کل اراضی گندم در کشور با تناسب S_3 و N دارای مساحت حدود ۹۸۹ هزار هکتار بود که از این مساحت ۱۱۷۷ هزار تن گندم تولید شد. در مقابل اراضی با تناسب S_1 و S_2 دارای مساحت ۱/۳۰۶ میلیون هکتار بود که در این اراضی برای تولید ۷۱۳۲ هزار تن، ۶/۲۹۶ میلیارد مترمکعب آب مصرف شد (جدول ۵).



شاخص بهره‌وری فیزیکی (WPP_a)، اقتصادی (WPE_a)، نسبی فیزیکی (KWP_p) و نسبی اقتصادی (KWP_e) آب در کل اراضی گندم، اراضی با تناسب S_1 و S_2 و اراضی S_3 و N در جدول (۷) ارائه گردیده است. نتایج نشان داد که به جز شاخص KWP_p نسبت بقیه شاخص‌ها در اراضی با کلاس‌های تناسب S_1 و S_2 نسبت به اراضی با تناسب S_3 و N بیش از ۵ بود و به‌طور ویژه نسبت شاخص بهره‌وری فیزیکی آب در این اراضی بیش از $5/3$ برابر بود. این امر نشان داد که در گام اول با مدیریت سطح زیرکشت می‌توان شاخص بهره‌وری آب را افزایش داد و در گام بعدی باید جبران کاهش تولید ناشی از حذف اراضی با کلاس تناسب پایین بررسی شود. بدیهی است شاخص بهره‌وری در کل مزارع گندم کشور میانگینی از اراضی با کلاس تناسب بالا و پایین است. بنابراین، شاخص بهره‌وری آب با احتساب همه کلاس‌های تناسب اراضی در کل اراضی کشور، از شاخص بهره‌وری آب بدون احتساب کلاس تناسب اراضی، کمتر است. نتایج تحقیقات حیدری (۲۰۲۱) و طاهری و همکاران (۲۰۲۰) که بهره‌وری فیزیکی آب گندم در کشور را به ترتیب $1/2$ و $0/79$ به‌دست آوردند، گویای این موضوع می‌باشد. به زبان ساده‌تر دلیل بالا بودن مقدار شاخص بهره‌وری فیزیکی آب در این پژوهش‌ها، در نظر گرفته نشدن تاثیر اراضی با تناسب S_3 و N در شاخص بهره‌وری آب است.

با عنایت به مقادیر هر یک از این شاخص‌ها، آب مورد نیاز برای جبران عملکرد ناشی از حذف اراضی با تناسب S_3 و N (۱۱۸۴ هزار تن) در اراضی با کلاس تناسب S_1 و S_2 (از این به بعد این اراضی بنام اراضی باقی‌مانده یاد می‌شود) محاسبه گردید. به عنوان مثال شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب در اراضی باقی‌مانده برابر $0/51$ بود. بهره‌وری اقتصادی آب در شرایط پتانسیل در این اراضی هم 279720 ریال بر مترمکعب برآورد شد. با عنایت به مقدار سود خالص به‌دست آمده در این اراضی با استفاده از رابطه ۴، مقدار آب مورد نیاز برای جبران تولید ناشی از حذف اراضی، $1/04$ میلیارد مترمکعب محاسبه شد. $5/3$ برابری شاخص بهره‌وری فیزیکی آب در اراضی S_1 و S_2 ، $5/3$ نسبت به اراضی S_3 و N است (جدول ۴) به این معناست که با یک مقدار مشخص آب، اراضی S_1 و S_2 ، $5/3$ برابر اراضی S_3 و N محصول تولید می‌کند. بنابراین، بر اساس شاخص بهره‌وری فیزیکی، مقدار آب مورد نیاز برای جبران کاهش عملکرد $0/95$ میلیارد مترمکعب حاصل شد. بر اساس سایر شاخص‌ها، مقدار آب مورد نیاز برای جبران کاهش تولید ناشی از حذف اراضی S_3 و N ، مطابق جدول ۷ برآورد شد.

جدول ۷- شاخص‌های بهره‌وری آب گندم در اراضی با کلاس تناسب‌های مختلف و حجم آب مورد نیاز برای جبران کاهش تولید ناشی از حذف اراضی کم‌بازده

KWP_e (بی‌بعد)	KWP_p (بی‌بعد)	WPE_a (Rils/m ³)	WPP_a (Kg/m ³)	شاخص بهره‌وری
۰/۳۰	۰/۵۳	۷۸۲۵۰	۰/۷۰	شاخص بهره‌وری آب در کل مزارع گندم کشور
۰/۵۱	۰/۶۱	۱۴۶۵۱۰	۱/۱۸	شاخص بهره‌وری آب در اراضی با تناسب S_1 و S_2
۰/۱۰	۰/۴۵	۹۹۹۰	۰/۲۲	شاخص بهره‌وری آب در اراضی با تناسب S_3 و N
۱/۰۴	۱/۰۱	۰/۹۸	۰/۹۵	حجم آب مورد نیاز در اراضی S_1 و S_2 برای جبران تولید (میلیارد مترمکعب)

هر چند بهره‌وری آب بالا، در اراضی با تناسب S_1 و S_2 ، باعث می‌شود که با مقدار مشخصی آب، بیش از ۵ برابر اراضی با کلاس تناسب S_3 و N ، محصول تولید کرد (به عنوان مثال با مقدار آب صرفه‌جویی شده $5/138$ میلیارد مترمکعب می‌توان ۵ برابر کاهش تولید ناشی از حذف اراضی یعنی ۵۸۵۰ هزار تن گندم تولید کرد). ولی اولاً خلاء عملکرد این اراضی، اجازه تولید بیش از عملکرد پتانسیل را نمی‌دهد. سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) حداکثر خلاء عملکرد قابل تحقق برای گندم را 3677 کیلوگرم اعلام کردند، ثانیاً هدف از حذف اراضی کم‌بازده کمبود آب و صرفه‌جویی در مصرف آب در بخش کشاورزی است ثالثاً زیرساخت انتقال آب صرفه‌جویی شده از یک منطقه یا روستا به منطقه و روستای دیگر وجود ندارد. بنابراین، باید آب مورد نیاز برای جبران تولید بر اساس شاخص‌های مختلف بهره‌وری را محاسبه نمود نه اینکه با مقدار آب صرفه‌جویی شده افزایش تولید در اراضی با تناسب S_1 و S_2 را بررسی نمود (جدول ۶). نتایج حاکی از این است که اولاً برای تولید 1177 هزار تن بجای صرف $5/138$ میلیارد مترمکعب آب آبیاری در اراضی با تناسب S_3 و N ، از آب کمتری استفاده شود. مثل خودرویی که با بهره‌وری بالا مسیر طولانی‌تری را با سوخت کمتر طی می‌کند. ثانیاً محاسبه مقدار آب مورد نیاز برای جبران تولید ناشی از کاهش سطح زیرکشت، بر اساس شاخص‌های مختلف بهره‌وری آب، پاسخ‌های مختلفی دریافت شد. اگر محاسبه آب مورد نیاز برای جبران تولید ناشی از کاهش سطح، بر مبنای شاخص WPP_a ، WPE_a ، KWP_p و KWP_e برآورد شود به ترتیب کمترین تا بیشترین حجم آب آبیاری احتیاج است (جدول ۷). برخلاف شاخص WPP_a ، شاخص WPE_a ، قیمت و هزینه تمام شده برای تولید گندم را در محاسبه بهره‌وری آب لحاظ می‌کند. قیمت گندم تفاوتی در ارزیابی بهره‌وری آب در این دو شاخص، ایجاد نمی‌کند چون قیمت محصول

مانند ضربی است که در عملکرد گندم در همه کلاس‌های تناسب اراضی از N تا S_1 ضرب می‌شود. آنچه که باعث ایجاد تفاوت در ارزیابی بهره‌وری آب و در نتیجه آب مورد نیاز می‌شود، هزینه تمام شده تولید محصول گندم می‌باشد. در نظر گرفته نشدن هزینه تمام شده در شاخص WPP_a باعث می‌شود که آب مورد نیاز برای جبران تولید ناشی از کاهش سطح، در این شاخص کمتر از مقدار واقعی برآورد شود (جدول ۷). همچنین دو شاخص WPP_a و WPE_a ، بر خلاف شاخص‌های KWP_p و KWP_e ، خاک مزرعه را چه از جنبه فیزیکی و چه از جنبه شیمیایی در محاسبات بهره‌وری آب لحاظ نمی‌کنند. خاک مزرعه در اراضی با تناسب کم در دشت‌های آبی کشور برای کشت گندم، ویژگی‌های فیزیکی خاک عمدتاً بافت و آهک و گچ خاک، شوری و قلیائیت، واکنش خاک، خطر سیل‌گیری و شیب افزون‌ترین وسعت اراضی واقع شده در این کلاس را محدود کرده‌اند (نویدی و همکاران، ۱۴۰۱). از این رو ویژگی فیزیکی و شیمیایی این خاک‌ها نسبت به خاک‌های با تناسب مناسب که از ویژگی فیزیکی و شیمیایی بهتری برخوردارند، باعث مصرف آب بیشتر می‌شوند. بنابراین، برآورد آب مورد نیاز برای جبران تولید ناشی از کاهش سطح زیرکشت گندم بر مبنای دو شاخص WPP_a و WPE_a ، کمتر از دو شاخص بهره‌وری نسبی فیزیکی و اقتصادی بود. تفاوت دو شاخص بهره‌وری نسبی فیزیکی و اقتصادی، مشابه دو شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی، فقط در لحاظ شدن هزینه تولید گندم در شاخص KWP_e است. لذا، حجم آب آبیاری برآورد شده در شاخص WPP_a کمتر از شاخص WPE_a و شاخص KWP_p هم آب کمتری نسبت به شاخص KWP_e برآورد کرد.

ثالثاً تنها راه تامین مقادیر آب مورد نیاز برای جبران تولید گندم ناشی از حذف اراضی با تناسب پایین، افزایش بهره‌وری آب است. روش‌های مختلفی برای افزایش بهره‌وری آب وجود دارد که سه روش آن در این مقاله مورد بررسی قرار گرفت.

نخست افزایش راندمان کاربرد آب آبیاری است. البته در برخی منابع (عباسی و همکاران، ۱۴۰۳) ذکر شده است که به دلیل مواجه بودن اراضی گندم با کم‌آبایی، امکان افزایش راندمان کاربرد آب آبیاری خیلی وجود ندارد و با افزایش راندمان آبیاری فقط مقدار و موقعیت کفایت آبیاری در مزرعه تغییر می‌کند و کمک زیادی به افزایش تولید محصول نخواهد کرد. ولی کم‌آبایی شکل‌های مختلف دیگری مثل کاهش درصدی از عمق آب آبیاری، حذف آبیاری در برخی مراحل رشد و افزایش فاصله دو نوبت آبیاری متوالی هم دارد که غالباً کشاورزان به دلیل نداشتن ابزار اندازه‌گیری، کم‌آبایی را به صورت افزایش فاصله زمانی بین دو نوبت آبیاری متوالی، اعمال می‌کنند. در این صورت می‌توان هم با افزایش راندمان آبیاری سطح بیشتری از مزارع را آبیاری نمود و با ثابت نگهداشتن بهره‌وری آب، به تولید مدنظر رسید (که به دلایل کمبود آب و استفاده بهینه از واحد حجم آب به عنوان هدف اصلی این مقاله، افزایش سطح زیرکشت هدف این مقاله نیست) و هم با افزایش راندمان آب آبیاری و در نتیجه افزایش بهره‌وری آب به این مهم دست یافت که مدنظر این مقاله است. بدیهی است این شرایط زمانی صادق است که مزارع گندم در سطح کشور کمتر از حد نیاز یا کم‌آبایی شوند (عباسی و همکاران، ۱۴۰۳). این یعنی جبران عملکرد فقط از طریق استفاده بهینه از حجم آب آبیاری، بدون تغییر شرایط مزارع در اراضی با تناسب S_1 و S_2 (تغییر در تغذیه و مسائل به‌زرعی و غیره)، برای تولید بیشتر است. برای محاسبه مقدار افزایش راندمان آب آبیاری، با ثابت نگهداشتن شاخص بهره‌وری آب (بهره‌وری آب در اراضی با تناسب S_1 و S_2)، برای تولید مقدار مشخص عملکرد (۱۷/۳۱۷ میلیون تن تولید گندم)، مقدار آب مورد نیاز برآورد و نسبت آن با مقدار آبی که برای تولید گندم در اراضی با تناسب بالا مصرف می‌شد محاسبه گردید. این نسبت، مقدار راندمانی است که باید افزایش یابد تا کاهش تولید گندم ناشی از کاهش سطح زیرکشت جبران شود.

با عنایت به حجم آب برآورد شده در مزارع باقی‌مانده، مقدار افزایش راندمان کاربرد آب آبیاری که بتواند آب مورد نیاز برای جبران تولید گندم را تامین نماید، بر اساس هر یک از شاخص‌های بهره‌وری محاسبه گردید. افزایش راندمان آبیاری بر اساس شاخص‌های WPP_a ، WPE_a ، KWP_p و KWP_e ، که از نسبت حجم آب آبیاری مورد نیاز برای جبران تولید در اراضی با تناسب S_1 و S_2 (جدول ۸) به مقدار آب مصرف شده در اراضی با تناسب N و S_3 ($S_3 = 5/138 = 6/296$ - $11/434$ میلیارد مترمکعب) محاسبه گردید، به ترتیب ۱۵، ۱۶، ۱۶ و ۱۷ درصد برآورد شد. به عبارت دیگر اگر از شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب در ارزیابی عملکرد گندم در کلاس‌های مختلف تناسب اراضی استفاده شود، با افزایش ۱۷٪ راندمان کاربرد آب آبیاری می‌توان کاهش تولید را جبران کرد. بهبود مدیریت آبیاری، تغییر یا اصلاح روش آبیاری، تسطیح اراضی، آبیاری موجی و غیره می‌تواند به این هدف کمک نماید (جدول ۸).

روش دوم افزایش بهره‌وری آب با کاهش حجم آب مورد نیاز گیاه از طریق کاهش تبخیر از سطح خاک مزرعه و یا هر روش دیگر مثل معرفی ارقام با طول دوره رشد کوتاه است. هر چند تبخیر جزء نیاز آبی گیاه محسوب می‌شود ولی نقشی در تولید ماده خشک ندارد آنچه که باعث افزایش ماده خشک (محصول) می‌شود مقدار تعرق گیاه است. با کاهش تبخیر رطوبت خاک در مدت زمان زیادی در دسترس گیاه قرار می‌گیرد بنابراین کاهش تبخیر علاوه بر این که با کاهش حجم آب آبیاری بهره‌وری آب را افزایش می‌دهد بلکه با تولید محصول



بیشتر به دلیل افزایش تعرق، هم بهره‌وری آب را افزایش می‌دهد. کاهش تبخیر برای جبران عملکرد گندم بر اساس مساحت هر یک از کلاس‌های تناسب و شاخص‌های WPP_a ، WPE_a ، KWP_p و KWP_e به ترتیب ۷۲/۹، ۷۵/۱، ۷۷/۳ و ۷۹/۶ میلی‌متر برآورد گردید. این مقدار کاهش تقریباً معادل یک نوبت آبیاری در آبیاری به روش‌های سطحی است. با استفاده از مالچ‌ها، تغییر روش آبیاری، برنامه‌ریزی مناسب آبیاری و غیره می‌توان این مقدار آب را جبران کرد.

و بالاخره مدیریت تغذیه گیاهی یا اصلاح رقم که منجر به افزایش تولید محصول گردد، نیز بررسی شد. نتایج نشان داد که بر اساس شاخص‌های WPP_a ، WPE_a ، KWP_p و KWP_e اگر مدیریت تغذیه یا اصلاح رقم به ترتیب ۱۰، ۹، ۱۴ و ۱۰ درصد منجر به افزایش تولید بیشتر در زمین‌های باقی‌مانده شود، مقدار کاهش تولید ناشی از کاهش سطح زیرکشت جبران می‌گردد.

جدول ۸- روش‌های جبران تولید ناشی از کاهش سطح در اراضی با کلاس تناسب S_1 و S_2

KWP_e (بی‌بعد)	KWP_p (بی‌بعد)	WPE_a (Rils/m ³)	WPP_a (kg/m ³)	شاخص بهره‌وری
۱۷	۱۶	۱۶	۱۵	افزایش راندمان در اراضی با کلاس تناسب S_1 و S_2 (%)
۷۹/۶	۷۷/۳	۷۵/۱	۷۲/۹	کاهش تبخیر (mm)
۱۰	۱۴	۹	۱۰	روش‌های افزایش عملکرد (%)

نتیجه‌گیری

یکی از دلایل پایین بودن بهره‌وری آب گندم در کشور، کشت آن در برخی اراضی با کلاس تناسب اراضی پایین است. در این اراضی سود حاصل از برداشت گندم جبران هزینه تمام شده را نمی‌کند. ولی به دلیل تامین برخی هزینه‌ها مثل هزینه کارگری از طریق کار خانوادگی کشاورزان در مزرعه و یا استفاده از ادوات کشاورزی خود زارع، معمولاً هزینه واقعی برای کشاورز پنهان است. بنابراین، کشاورز برای کشت گندم در این اراضی ترغیب می‌شود. از طرف دیگر این اراضی به دلیل داشتن محدودیت‌های زیاد (مثل بافت سبک، ناهمواری و شوری خاک و غیره)، آب بیشتری برای آبیاری نیاز دارند. بنابراین، حذف این اراضی یکی از راه‌های موثر در جلوگیری از اتلاف آب در بخش کشاورزی است. حدود ۹۸۹ هزار هکتار از اراضی زیرکشت گندم در کشور دارای کلاس تناسب S_3 و N هستند که با حذف آنها از ۵/۱۳۸ میلیارد مترمکعب در مصرف آب صرفه‌جویی و در مقابل ۱۱۸۴ هزار تن از مقدار تولید گندم کاسته می‌شود. با بررسی صورت گرفته، بر اساس شاخص‌های بهره‌وری آب WPP_a ، WPE_a ، KWP_p و KWP_e می‌توان با افزایش ۱۵ تا ۱۷ درصدی راندمان کاربرد آب آبیاری یا کاهش ۷۳ تا ۸۰ میلی‌متر تبخیر و یا با افزایش ۹ تا ۱۴ درصدی عملکرد محصول با مدیریت تغذیه یا اصلاح رقم، می‌توان کاهش تولید گندم را جبران نمود. با کاهش تلفات ریزش دانه گندم در زمان برداشت و انتقال به سیلو، نیز می‌توان بخشی از کاهش تولید (ناشی از کاهش سطح زیرکشت گندم) در کشور را جبران نمود. در مجموع، خاک و تناسب اراضی عامل مهمی در تصمیم‌گیری‌ها و سیاستگذاری است. حذف اراضی کم بازده از چرخه تولید می‌تواند سهم زیادی در تحقق «بخش آب» برنامه‌های بالادستی داشته باشد. با ارتقای بهره‌وری آب امکان جبران کاهش تولید ناشی از کاهش سطح زیرکشت محصول میسر است. پیشنهاد می‌شود که حذف اراضی کم‌بازده برای گیاهان مختلف، در اقلیم‌های مختلف با کیفیت و کمیت‌های مختلف آب آبیاری انجام شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- 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)، ۱۷۷-۲۰۰.
- 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)، ۲۳۴-۲۱۷.
- آمارنامه کشاورزی محصولات زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰. ۱۴۰۲. مرکز آمار فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی. جلد اول.
- ابراهیمی‌پاک، نیازعلی؛ تافته، آرش؛ حسینی، سیده نرگس و کیخا، فاطمه (۱۴۰۱الف). سیستم نیازآب. موسسه تحقیقات خاک و آب. <http://swri.ir>.
- ابراهیمی‌پاک، نیازعلی؛ تافته، آرش؛ عباسی، فریبرز و باغانی، جواد (۱۴۰۱ب). برآورد مقدار آب آبیاری گندم با استفاده از سامانه نیاز آب و مقایسه با

- مقادیر اندازه‌گیری مزرعه‌ای. مجله تحقیقات آب و خاک ایران ۵۳(۹)، ص ۲۰۹۳-۲۰۷۵.
- بذرافشان، جواد؛ خلیلی، علی؛ زندپارسا، شاهرخ، سپاسخواه، علیرضا؛ عزیززاده، امین و فرهودی، جواد (۱۴۰۰). بررسی اسنادی وضعیت منابع و مصرف‌های آب کشاورزی در ایران: واکاوی وضعیت موجود، آسیب‌شناسی و راه‌های برون‌رفت از چالش‌ها. پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱(۶)، ۳۵-۵۰.
- جعفری، حسین و عباسی، فریبرز (۱۴۰۲). معرفی و ارزیابی شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۶(۵۴)، ۱۰۹۵-۱۱۱۴. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.358941.6694951114>
- حیدری، نادر (۱۴۰۰). بهره‌وری آب گندم در ایران و مقایسه آن با مقادیر چند کشور. پژوهش آب کشاورزی. ۳۵(۴)، ۳۳۷-۳۴۲.
- رجا، امید؛ پارس‌نژاد، مسعود و سهرابی، تیمور (۱۳۹۸). اثربخشی راهکارهای مدیریتی کاهش مصرف آب کشاورزی در مرودشت -خرامه. حفاظت منابع آب و خاک. ۸(۴)، ۶۷-۸۶.
- زین‌الدینی میمند، علی؛ سید جلالی، سیدعلیرضا؛ نویدی، میرناصر؛ ابراهیمی‌میمند، فاطمه؛ فرج‌نیا، اصغر و زارعیان، غلام‌رضا (۱۳۹۹). ارزیابی پتانسیل تولید گندم در برخی از دشت‌های کشور. نشریه مدیریت اراضی. ۱۸(۱)، ۱۳-۱.
- زینالی، محمد؛ جعفرزاده، علی‌اصغر؛ شهیازی، فرزین و اوستان، شاهین (۱۳۹۵). ارزیابی کیفی، کمی و اقتصادی تناسب اراضی برای گندم، جو، ذرت و آفتابگردان در بخشی از دشت خوی. دانش آب و خاک. ۲۶(۳/۲)، ۱۵-۲۹.
- سلطانی، افشین؛ نه‌بندانی، علیرضا؛ زینلی، ابراهیم؛ ترابی، بنیامین؛ زند، اسکندر؛ قاسمی، ثریا؛ الستی، امید؛ دادرسی، امیر؛ حسینی، رقیه‌سادات؛ عالمقام، سیدمجید؛ زاهد، محبوبه؛ فیاضی، حسنا؛ کمری، حسین؛ عرب‌عامری، راحله؛ محمدزاده، زهرا؛ رهبان، سمانه؛ پورشیرازی، شبنم؛ محمدی، سمانه و کرامت، صالح (۱۳۹۸). تهیه اطلس خلاً عملکرد و توان تولید گیاهان زراعی مهم در کشور در شرایط اقلیمی فعلی و آینده. چاپ اول. گرگان. انتشارات واژگان سیرنگ.
- شاهرخ، وحیبه؛ ایوبی، شمس‌الدین و جلالیان، احمد (۱۳۹۰). ارزیابی کیفی، کمی و اقتصادی تناسب اراضی و بررسی عواقب محیطی کشت آبی گندم و برنج بر اراضی منطقه زرین‌شهر و مبارکه (اصفهان). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد ۱۸، شماره ۳. ص ۶۱-۳۷.
- طاهری، مینا؛ رضاردی‌نژاد، وحید؛ بهمنش، جواد؛ عباسی، فریبرز و باغانی، جواد (۱۳۹۹). تحلیل مکانی شاخص بهره‌وری آب در قطب‌های تولید گندم کشور. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۴(۲)، ص ۲۲۷-۲۱۷.
- عباس‌زاده، مهدی؛ سالاری، امیر و روحانی، حمید (۱۳۹۷). ارزیابی کیفی، کمی و اقتصادی تناسب اراضی جلگه رخ شهرستان تربت‌حیدریه جهت کشت گندم و زعفران. نشریه زراعت و فناوری زعفران. ۷(۱)، ۹۳-۱۰۹.
- عباسی، فریبرز؛ اکبری، مهدی؛ ناصری، ابوالفضل؛ عباسی، نادر؛ باغانی، جواد؛ جلیلی، جواد؛ شاهرخ‌نیا، محمدعلی؛ نخجوانی‌مقدم، محمدمهدی؛ سپهری، سالومه؛ معیری، منصور؛ حسن‌اقلی، علی‌رضا؛ حقایقی، ابوالقاسم؛ قدمی‌فیروزآبادی، علی؛ موسوی‌فضل، حسن و یزدانی، محمدرضا (۱۴۰۳). مروری بر شاخص‌های مدیریت مصرف آب گیاهان مختلف در ایران. تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی. ۲۵(۹۴)، ص ۱۴-۱.
- عباسی، فریبرز و عباسی، نادر (۱۴۰۲). تحلیلی بر راندمان‌های آبیاری ایران در بستر زمان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۷(۶)، ص ۱۰۳۳-۱۰۲۵.
- عظیمی‌دزفولی، سید علی‌اکبر (۱۳۹۸). برآورد مصرف آب در محصولات زراعی -درآمدی بر حسابداری آب کشاورزی. نشریه آب و توسعه پایدار. ۶(۴)، ۳۱-۴۰.
- عظیمی‌دزفولی، سید علی‌اکبر؛ رکن‌الدین افتخاری، عبدالرضا و هایدج، آوا (۱۳۹۶). برنامه‌ریزی و آمایش فضا. ۲۱(۲)، ۱۵۴-۱۳۱.
- فتحی تپهرشت، امین؛ شفیق‌زاده‌مقدم، حسنین و کوچک‌زاده، مهدی (۱۴۰۱). تحلیل فضایی-زمانی طبقه‌بندی اقلیمی ایران بر اساس روش دومارتن و آزمون من-کندال در دوره آماری ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۸. فصلنامه علوم محیطی، ۲۰(۳)، ص ۱۵۵-۱۳۷.
- قادرزاده، حامد و کریمی، مبین (۱۳۹۷). اثرات سیاست سهمیه‌بندی آب بر مصرف آب‌های زیرزمینی در دشت قروه-دهگلان، فصلنامه اقتصاد کشاورزی. ۱۲(۴)، ۷۳-۹۸.
- کشاورز، عباس؛ ملکیان، راحله؛ نژدعلی، عاطفه و بیگی، اعظم (۱۴۰۰). مجموعه اسناد مرتبط با سند ملی و راهبردی تحول امنیت غذایی؛ تبیین وضعیت آب کشور (شماره ۸). چاپ اول، تهران. نشر آموزش کشاورزی.
- کمالی، اردوان؛ شیرانی، حسین و رحمتی، فاطمه (۱۳۹۵). کاربرد سامانه استنتاج فازی برای تخمین عملکرد سیب‌زمینی، یونجه و گندم در شهرکیان. نشریه دانش آب و خاک. ۲۶(۱)، ۲۶۵-۲۶۵.
- مصدقی، عبدالنور؛ اکبری، ناصر؛ بخشنده، عبدالمهدی؛ سرمیدان، فریدون؛ نصیری، بهروز و صوفی‌زاده، سعید (۱۳۹۸). پهنه‌بندی آگرواکولوژیکی نظام‌های تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) دشت کشاورزی شاوور خوزستان با به‌کارگیری فناوری. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. ۱۱(۴)، ۱۵۴۳-۱۵۲۷.
- معصومی، حسن (۱۴۰۰). تدوین الگو و ترکیب کشت با تاکید بر کاهش نیاز خالص آبیاری از طریق کم‌آبیاری) مطالعه موردی: محدوده مطالعاتی



بوکان-حوضه دریاچه ارومیه). دومین همایش ملی کم‌آبیاری و استفاده از آبهای نامتعارف در کشاورزی مناطق خشک. ۲۷ و ۲۸ بهمن ماه. نویدی، میرناصر؛ سیدمحمدی، جواد؛ سیدجلالی، سیدعلیرضا؛ زین الدینی، علی؛ فرج نیا، اصغر؛ زارعیان، غلامرضا؛ تومانیان، نورایر؛ فاتحی، شاهرخ؛ اسکندری، مهناز و بهاره، دلسوز (۱۴۰۱). ارزیابی تناسب اراضی برای کشت گندم در دشت‌های آبی ایران. نشریه علمی پژوهش‌های خاک. ۱۲۷-۱۴۷، (۲)۳۶.

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. ۴۱-۵۰، (۳)۶.

REFERENCES

- Abbasi, F. and Abbasi N., (2023). An analysis of Iran's irrigation efficiency over time. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 17(6), 1033-1025. (In Persian).
- Abbasi, F., Akbari, M., Naseri, A., Abbasi, N., Baghani, J., Jolaini, M., Shahrukhnia, M.A., Nakhjavani Moghaddam, M.M., Sepehri, S., Miri, M., Hasan-Oghli, A.R., Haghayeghi, A., Gadami-Firouzabadi, A., Mousavi Fazl, H. & Yazdani M.R., (2024). A review of water consumption management indicators of different plants in Iran. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*. 25(94), 1-14. (In Persian).
- Abbaszadeh, M., Salari, A., & Rohani, H. (2019). Quantitative, qualitative and economic assessment of agricultural land suitability of Rokh plains of Torbat Heydarieh for saffron and wheat cultivation. *Journal of Saffron Agriculture and Technology*. 7(1), 109-93. (In Persian).
- Abdallah, S., Elmohemen, M.A., Hemdan, S., & Ibrahim, K.. (2019). Land assessment for agricultural use in Jizan basin, KSA, after 48 years of Jizan dam construction. *J. Indian Soc. Remote Sens.* 47:1895-1904.
- Agricultural Statistics of Crops 2021-2022. (2022). Information and Communication Technology Statistics Center of the Ministry of Agricultural Jihad. Volume 1. (In Persian).
- Ayoubi, S., & Jalalian, A. (2006). *Land Evaluation (Agriculture and Natural Resources)*. 1st edition. Isfahan University of Technology Press.
- Ayoubi, Sh., & Jalalian, A. (2010). *Land Evaluation (Agricultural and Natural Resources) Second Edition*. Isfahan University of Technology Publication Center, Isfahan, Iran.
- Azadi, A., Banineme, J. & Seyed Jalali, S.J. (2021). Land suitability assessment for wheat in some saline lands in the south of Khuzestan province. *Iranian Journal of Soil Research (IJSR)*. 35(3), 234-217. (In Persian).
- Azadi, A., Banineme, J. & Seyed Jalali, S.J. (2022). Production potential modeling and quantitative land evaluation for wheat cultivation in calcareous soils (The case of southern Behbahan). *Journal of land Management (Soil and Water Sci.)*. 10(2): 177-200. (In Persian).
- Azimi Dezfuli, A.A. (2020). An introduction to agricultural water accounting by estimating crop water consumption. *J. Water and Sustainable Development*, 3(6), 31-40. (In Persian)
- Azimi Dezfuli, A.A., Roknoddin Eftekhari, A., Nazari, B., Haydaj, A., Nezamipour, Q., Farajzadeh, M. & Fahmi, H. (2017). Analytical estimation of water requirement for wheat production in Iran. *Space Planning and Design*, 21(2), 173-195. (In Persian)
- Bazarafshan, J., Khalili, A., Zandparsa, S., Sepaskhah, A.R., Alizadeh, A. & Farhoudi, J. (2021). Documentary Study of the Situation of Agricultural Water Resources and Uses in Iran: Analysis of the Current Situation, Pathology and Solutions to the Challenges. *Strategic Researches In Agricultural Sciences and Natural Resources*. 6(1), 35-50. (In Persian).
- Bonfante, A., G. Langella, P. Mercogliano, E. Bucchignani, P. Manna, & F. Terribile. (2018). A dynamic viticultural zoning to explore the resilience of terroir concept under climate change. *Sci.Total Environ.* 624:294-308.
- Ebrahimi Pak, N. A., Tafta A., Hosseini, S.N. & Keykha, F. (2022a). Water demand system. Soil and Water Research Institute. <http://swri.ir>. (In Persian).
- Ebrahimipak, N.A., Tafta, A., Abbasi, F. & Baghani, J. (2022b). Estimation of the actual amount of wheat irrigation water using the NIAZAB system and comparing with the farm measurement. *Iranian Journal of Water and Soil Research*, 53(9), 2075-2092. (In Persian).
- Elsheikh, R., Mohamed Shariff, A.R.B., Amiri, F., Ahmad, N.B., Balasundram, S.K. & Soom, M.A.M. (2013). Agriculture land suitability evaluator (ALSE): A decision and planning support tool for tropical and subtropical crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 93: 98-110.
- Fathi Tepehrasht, A., Shafizadeh Moghadam, H. & Kochzadeh, M. (2022). Spatio-temporal analysis of Iran's climatic classification based on Domarten method and Mann-Kendall test in the statistical period of 1995-2019. *Environmental Sciences*. 20(3), 137-155. (In Persian).

- Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., & Gerber, J.S., (2011). Solutions for a cultivated planet. *J. Nature*. 478: 337-342.
- Ghaderzadeh, H. & Karimi, M. (2017). Impacts of agricultural water quota policy in groundwater resources management in Qorveh-Dehgolan plain. *Agricultural Economics*. 12(4), 73-98. (In Persian).
- Heydari, N. (2021). Wheat water productivity in Iran compared with data of some countries. *Journal of Water Research in Agriculture (Soil and Water Sci.)*. 35(4), 342-337. (In Persian).
- Jafari, H. & Abbasi, F. (2023). Introducing and evaluation of relative economic water productivity index. *Journal of Water and Soil Research in Iran*. 6(54), 1095-1114. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.358941.669495>. (In Persian).
- Kamali, A., Shirani, H. & Rahmati, F. (2015). Application of fuzzy inference system to estimate yield of potato, alfalfa and wheat in Shahrekian. *Water and Soil Science Journal*. 26(1), 275-265.
- Keshavarz, A., Malekian, R., Najhand Ali, A. & Beigi, A. (2021). The collection of documents related to the national and strategic document on the transformation of food security; Explanation of the country's water situation (No. 8). First edition. Tehran: Publication of Agricultural Education. (In Persian).
- Masoumi, H. (2021, February). Formulating the pattern and composition of cultivation with emphasis on reducing the net need of irrigation through low irrigation (Case study: Bukan study area - Urmia lake basin). The Second National Conference on Deficit Irrigation and the Use of Non-conventional Water for Agriculture in Dry Regions. 27 and 28 of February, Fars-Fasa. (In Persian).
- Montgomery, B., Dragičević S., Dujmović, J. & Schmidt, M. (2016). A GIS-based logic scoring of preference method for evaluation of land capability and suitability for agriculture. *Comput. Electron. Agric.* 124:340-353. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.04.013>.
- Mosadeghi, A., Akbari, N., Bakhshandeh, A.M., Sarmadian, F., Nasiri, B. & Sofizadeh, S. (2018). Agroecological Zoning of wheat (*Triticum aestivum* L.) Production Systems using RS and GIS in the Shavoor plain of Khouzestan. *Journal of Agroecology*. 11(4), 1527-1543. (In Persian).
- Navidi, M.N., J., Seyedmohammadi, Seyed Jalali, S.A., Zeinadini, A., Farajnia, A., Zareain, G.R., Toomanian, N., Fatehi, S., Eskandari, M. & Delsooz, B. (2022). Assessing land suitability for wheat cultivation in irrigated plains of Iran. *Scientific Journal of Soil Research*. 36(2), 127-147. (In Persian).
- Nazari, B. (2018). Analysis of productivity gap and agricultural water productivity improvement planning with the empowerment approach of farmers and aquifer sustainability (case study: Qazvin plain). *Journal of Water and Sustainable Development*, 6(3), 50-41. (In Persian).
- Perry C., Steduto P. & Karajeh F. (2017). Does improved irrigation technology save water? Global, Near East & North Africa. *Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO), CAIRO*, 1-57.
- Raja, O., Parsinejad, M. & Sohrabi, T. (2018). Evaluation of management strategies to reduce water use in Marvdasht-Kharameh study area. *Water and Soil Resources Conservation*. 8(4), 86-67. (In Persian).
- Seyedmohammadi, J., & Navidi, M.N. (2022). Applying fuzzy inference system and analytic network process based on GIS to determine land suitability potential for agricultural. *Environ. Monit. Assess.* 194: 712.
- Shahrukh, V., Ayubi, Sh. & Jalalian, A. (2013). Qualitative, quantitative and economic assessment of land suitability and environmental consequences of wheat and rice irrigation on the lands of Zarin Shahr and Mobarakeh (Isfahan). *Journal of Water and Soil Conservation*. 18(3), 61-37. (In Persian).
- Soltani, A., Nehbandani, A.R., Zainli, A., Torabi, B., Zand, A., Ghasemi, S., Elesti, A., Dadarsi, A., Hosseini, R.S., Aalimaqam, S.M., Zahid, M., Fayazi, H., Kemari, H., Arab Ameri, R., Mohammadzadeh, Z., Rehban, S., Mohammadi, S. & Dignity, P. (2018). Preparation of the Gap Atlas of Yield and Production Capacity of Important Agricultural Plants in the Country in Current and Future Climatic Conditions. First Edition. Gorgan. *Sirang Vocabulary Publications*. (In Persian).
- Sun, S., Zhang C., Li X., Zhou T., Wang Y., Wu P. & Cai, H. (2017). Sensitivity of crop water productivity to the variation of agricultural and climatic factors: A study of Hetao irrigation district, China. *Journal of Cleaner Production*, 142(2017), 2562-2569.
- Taheri, M., Rezavardinjad, V. Bahmanesh, J. Abbasi, F. & Baghani, J. (2019). Spatial analysis of water productivity index at major wheat production centers of IRAN. *Water Research in Agriculture*, 34(2), 227-217. (In Persian).
- Zeinadini Meymand, A., Seyed Jalali, S.A., Navidi, M.N., Ebrahimi Maimand, F., Farajnia, A. & Zareian, G. 2019. Evaluation of wheat yield potential in some Iranian cultivated plains. *Journal of Land Management*. 8(1), 13-1. (In Persian).
- Zinali, M., Jafarzadeh, A.A., Shahbazi, F. & Oustan, Sh. (2015). Qualitative, quantitative, and economic evaluation of land suitability for wheat, barley, maize and sunflower in part of Khoy plain. *Water and Soil Sci.* 26(2/3), 15-29. (In Persian).