Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Economics and Food Security,Vol. 2, No 1, 2026 ……...p: 28-41

OPEN ACCESS

Research Paper

The Effect of Increasing Irrigation Efficiency on Cropping Patterns and Economic Water Productivity in the Tajan Basin

Fatemeh Kashiri Kolaei[1] and Khadijeh Abdi Rokni[2]

1- Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, (Corresponding author: fkashiri03@gmail.com)

2- Ph.D., Department of Agricultural Economics, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

Received: 29 August, 2025 Revised: 10 December, 2025 Accepted: 27 December, 2025

Extended Abstract

Background: The water scarcity crisis and the high share of agriculture in water consumption have made improving irrigation efficiency a key pillar of water resource management policies. The agricultural sector, as the largest consumer of fresh water, accounts for more than 70% of global water resources and is at the center of this crisis. About 80% of groundwater resources have been consumed in Iran, and the extraction index has exceeded 90%, far beyond the permissible limit of 40%. In such circumstances, the concept of water productivity, as a key indicator for measuring the efficiency of water consumption in agriculture, becomes doubly important, and irrigation efficiency, as one of the most determining factors affecting water productivity, plays a central role. The Tajan Basin in Mazandaran Province, as one of the most important agricultural hubs in the north of the country, faces water stress and groundwater depletion. A review of previous studies shows that most of them have either been limited to analyzing the effect of a specific irrigation method on a particular crop or have merely examined the physical aspects of water productivity, and less attention has been paid to the simultaneous analysis of cropping patterns, economic water productivity, and farmers' risk-averse behavior within a multi-criteria decision-making framework. Therefore, this study aimed to analyze the effect of improving irrigation efficiency on cropping patterns and economic water productivity in the Tajan Basin using the Positive Multi-Attribute Utility Programming (PMAUP) model.

Methods: The PMAUP model was used to achieve the research objective. This model allows for the simultaneous consideration of expected gross profit and risk aversion in farmers' decision-making. The utility function was determined as the Cobb-Douglas type, and the calibration method proposed by Gutiérrez-Martín was used by equating the Marginal Rate of Substitution (MRS) with the Marginal Rate of Transformation (MRT) to extract the utility function parameters. Required data, including cultivated area, yield, prices, and production costs of selected irrigated crops, were collected from reliable sources of the Ministry of Agriculture-Jihad for the 2022-2023 crop year. The effect of increasing irrigation efficiency under scenarios of 10% to 30% on cropping pattern composition, gross profit, average water consumption per hectare, and economic water productivity was examined after calibrating the model.

Results: The calibration results showed that the model could well reproduce the observed cropping pattern in the region, indicating the validity of the model in representing farmers' decision-making behaviors. Based on the calibration results, the weight of the profit criterion (0.73) was much higher than that of the risk criterion (0.27), indicating the higher importance of profit in farmers' decision-making in the region. Moreover, improving irrigation efficiency creates significant changes in the cropping pattern of the region. In the base scenario, high-quality rice, with a share of 45.6% of irrigated land, was the dominant crop in the region. With a 10% increase in irrigation efficiency, the area under high-quality rice decreased to 34.2%, while high-yield rice and soybean increased to 38.8% and 9.5%, respectively. In the 20% scenario, high-yield rice, with a share of 45.6%, replaced high-quality rice as the dominant crop, and soybean reached 22.1%. Finally, in the 30% scenario, the cropping pattern reached a new equilibrium in which high-yield rice with 46.5%, soybean with 24.7%, and high-quality rice with 26.6% formed the three main crops, and wheat and canola were almost eliminated from the cropping pattern. The complete elimination of canola in this scenario can be interpreted as a logical consequence of the model, as canola, with lower gross profit and a similar water requirement to soybean, is considered a suboptimal option.

Copyright ©. 2026 Kashiri Kolaei and Abdi Rokni. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

[Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.66224/efs.2026.94]

From the perspective of economic indicators and productivity, gross profit in the 30% scenario increased by 15.88% compared to the base scenario, reaching 730.810 million rials per hectare. Average water consumption per hectare decreased by 15.17% to 6873.328 cubic meters, and economic water productivity increased by 36.62% to 0.1063 million rials per cubic meter. The notable point is that the reduction in water consumption per hectare was accompanied by an increase in profit, creating a win-win situation for farmers and water resource management. However, the expansion of water-intensive crops, such as high-yield rice and soybean, revealed a rebound effect, whereby part of the water savings from improved efficiency was offset through the expansion of water-intensive crop cultivation.

Conclusion: Based on the findings of this study, it is recommended that policymakers and water resource managers prioritize investment in improving irrigation efficiency at levels of 10% to 20%, as the economic return of these levels is higher than that of higher levels. Since improving irrigation efficiency alone cannot lead to a reduction in total water consumption at the basin level, it is necessary that these policies be accompanied by the simultaneous management of cropping patterns and cultivated area, and that economic instruments, such as water pricing, compensatory payments, and water quota allocation, be used. Special support policies are also needed to maintain the production of strategic crops, such as wheat and canola, and encouraging farmers to cultivate soybeans instead of part of the high-quality rice area can maintain farmers' profit while reducing water consumption.

Keywords: Agricultural Water Productivity, Farmers' Risk Aversion, Mazandaran, Positive Multi-Attribute Utility Programming (PMAUP), Water Rebound Effect.

How to Cite This Article: Kashiri kolaei, F., & Abdi Rokni, K. (2026). The Effect of Increasing Irrigation Efficiency on Cropping Patterns and Economic Water Productivity in the Tajan Basin. *J Economics Food Sec,* 2(1), 28-41. DOI: 10.66224/efs.2026.94

[Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.66224/efs.2026.94]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

OPEN ACCESS

مقاله پژوهشی

بررسی اثر افزایش راندمان آبیاری بر الگوی کشت و بهره‌وری اقتصادی آب در حوضه تجن

فاطمه کشیری کلائی[۱] و خدیجه عبدی رکنی[۲]

۱- استادیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- دکتری، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۷ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۶
صفحه: ۲۸ تا ۴۱

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: بحران کم‌آبی و سهم بالای بخش کشاورزی در مصرف منابع آب، بهبود راندمان آبیاری را به یکی از محورهای اصلی سیاست‌گذاری در مدیریت منابع آب تبدیل کرده است. بخش کشاورزی، به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب شیرین جهان با مصرف بیش از ۷۰ درصد منابع آبی، در کانون این بحران قرار دارد. در ایران نیز حدود ۸۰ درصد منابع آب زیرزمینی مصرف شده است و شاخص برداشت از این منابع از سقف مجاز ۴۰ درصد بسیار فراتر رفته است و به بیش از ۹۰ درصد رسیده است. در چنین شرایطی، مفهوم بهره‌وری آب به‌عنوان یک شاخص کلیدی برای سنجش کارایی مصرف این منبع حیاتی در بخش کشاورزی اهمیت دوچندان می‌یابد و راندمان آبیاری به‌عنوان یکی از تعیین‌کننده‌ترین عوامل مؤثر بر بهره‌وری آب، نقشی محوری ایفا می‌کند. حوضه تجن در استان مازندران به‌عنوان یکی از مهم‌ترین قطب‌های کشاورزی شمال کشور، با تنش آبی و افت سطح آبخوان مواجه است. مرور پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که بیشتر مطالعات پیشین یا به تحلیل اثر یک روش آبیاری خاص بر یک محصول معین محدود بوده‌اند یا صرفاً جنبه‌های فیزیکی بهره‌وری آب را بررسی کرده‌اند و کمتر به تحلیل همزمان الگوی کشت، بهره‌وری اقتصادی آب و رفتار ریسک‌گریز کشاورزان در قالب یک چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره پرداخته‌اند. بنا بر این، پژوهش حاضر با هدف تحلیل اثر بهبود راندمان آبیاری بر الگوی کشت و بهره‌وری اقتصادی آب در حوضه تجن با استفاده از مدل برنامه‌ریزی مطلوبیت چندمعیاره مثبت (PMAUP) انجام شد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور دستیابی به هدف پژوهش، از مدل PMAUP استفاده شد که امکان لحاظ کردن هم‌زمان سود ناخالص مورد انتظار و اجتناب از ریسک را در تصمیم‌گیری کشاورزان فراهم می‌آورد. تابع مطلوبیت از نوع کاب–داگلاس در نظر گرفته شد و روش کالیبراسیون پیشنهادی گوتیرز–مارتین با برابر قراردادن نرخ نهایی جانشینی (MRS) با نرخ نهایی تبدیل (MRT) برای استخراج پارامترهای تابع مطلوبیت به‌کار گرفته شد. داده‌های مورد نیاز شامل سطح زیر کشت، عملکرد، قیمت‌ها و هزینه‌های تولید محصولات آبی منتخب از سایت وزارت جهاد کشاورزی برای سال زراعی ۱۴۰۲–۱۴۰۱ جمع‌آوری شدند. پس از کالیبراسیون مدل، اثر افزایش راندمان آبیاری در قالب سناریوهای ۱۰ تا ۳۰ درصد بر ترکیب الگوی کشت، سود ناخالص، میانگین مصرف آب در هکتار و بهره‌وری اقتصادی آب بررسی شد.

یافته‌ها: نتایج کالیبراسیون نشان دادند که مدل به‌کار رفته توانست الگوی کشت مشاهده‌شده در منطقه را به‌خوبی بازتولید کند که بیانگر اعتبار مدل در بازنمایی رفتار تصمیم‌گیری کشاورزان منطقه است. بر اساس نتایج کالیبراسیون، وزن معیار سود (۰/۷۳) بسیار بالاتر از وزن معیار ریسک (۰/۲۷) به‌دست آمد که نشان دهنده اهمیت بالاتر سود در تصمیم‌گیری کشاورزان منطقه است. بهبود راندمان آبیاری، تغییرات قابل توجهی در الگوی کشت منطقه ایجاد می‌کند. در شرایط پایه، برنج مرغوب با سهم ۴۵/۶ درصد از اراضی آبی، محصول غالب منطقه بود. با افزایش ۱۰ درصدی راندمان، سطح زیر کشت برنج مرغوب به ۳۴/۲ درصد کاهش یافت و در مقابل، سهم کشت برنج پر محصول به ۳۸/۸ درصد و سویا به ۹/۵ درصد افزایش یافتند. در سناریوی ۲۰ درصدی افزایش راندمان آبیاری، برنج پرمحصول با سهم ۴۵/۶ درصدی جای برنج مرغوب را به‌عنوان محصول غالب گرفت و سویا به ۲۲/۱ درصد رسید. در نهایت، در سناریوی ۳۰ درصد افزایش راندمان آبیاری، الگوی کشت به گونه‌ای تغییر یافت که در آن برنج پرمحصول با سهم ۴۶/۵ درصد، سویا با ۲۴/۷ درصد و برنج مرغوب با ۲۶/۶ درصد، سه محصول اصلی را تشکیل دادند و سطح کشت گندم کاهش محسوس یافت و کلزا از الگوی کشت حذف شد. در مورد حذف کامل کلزا در این سناریو می‌توان گفت که با وجود سود ناخالص هکتاری بالاتر کلزا، ریسک سود آن و همبستگی آن با سایر محصولات به‌گونه‌ای است که در ترکیب بهینه و در سناریوهای با کاهش محدودیت آب، مطلوبیت نهایی کلزا نسبت به برنج پرمحصول و سویا پایین‌تر قرار می‌گیرد. از منظر شاخص‌های اقتصادی و بهره‌وری، سود ناخالص در سناریوی ۳۰ درصد با رشد ۱۵/۸۸ درصدی نسبت به شرایط پایه به ۷۳۰/۸۱۰ میلیون ریال در هکتار رسید و با وجود افزایش سود، ریسک سود ناخالص ثابت ماند. میانگین مصرف آب در هکتار با کاهش ۱۵/۱۷ درصدی به ۶۸۷۳/۳۲۸ مترمکعب رسید و بهره‌وری اقتصادی آب با رشد ۳۶/۶۲ درصدی به ۰/۱۰۶۳ میلیون ریال بر مترمکعب افزایش یافت. نکته قابل توجه این است که کاهش مصرف آب در هکتار با افزایش سود همراه بود و شاخص‌های بهره‌وری درون‌مزرعه‌ای را بهبود بخشید. با این حال، افزایش سطح زیر کشت محصولات آب‌بر، مانند برنج پرمحصول و سویا، پدیده اثر بازگشتی را نمایان ساخت، به‌گونه‌ای که بخشی از صرفه‌جویی آب ناشی از بهبود راندمان، از طریق گسترش کشت محصولات پرمصرف جبران شد.

نتیجه‌گیری: بر اساس یافته‌های این پژوهش، پیشنهاد می‌شود که سیاست‌گذاران و مدیران منابع آب، سرمایه‌گذاری در بهبود راندمان آبیاری را با اولویت سطوح ۱۰ تا ۲۰ درصد دنبال کنند زیرا بازده اقتصادی این سطوح بالاتر از سطوح بالاتر است. از آنجا که بهبود راندمان آبیاری به تنهایی نمی‌تواند به کاهش مصرف کل آب در سطح حوضه منجر شود، لازم است تا این سیاست‌ها با مدیریت همزمان الگوی کشت و سطح زیر کشت همراه باشند و از ابزارهای اقتصادی مانند قیمت‌گذاری آب، پرداخت‌های جبرانی و سهمیه‌بندی آب استفاده شود. همچنین، سیاست‌های حمایتی ویژه‌ای برای حفظ تولید محصولات استراتژیک مانند گندم و کلزا ضروری هستند و تشویق کشاورزان به کشت سویا به‌جای بخشی از اراضی برنج مرغوب می‌تواند ضمن کاهش مصرف آب، سود کشاورزان را نیز حفظ کند.

واژه‌های کلیدی: اثر بازگشتی آب، برنامه‌ریزی مطلوبیت چندمعیاره مثبت، بهره‌وری آب کشاورزی، ریسک‌گریزی کشاورزان، مازندران

[Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.66224/efs.2026.94]

مقدمه

آب، به‌عنوان حیاتی‌ترین عنصر برای بقای بشر و تداوم توسعه اقتصادی و اجتماعی، در دهه‌های اخیر با چالش‌هایی بی‌سابقه مواجه شده است. بحران کم‌آبی دیگر محدود به آینده‌ای دور نیست، بلکه به گفته سازمان ملل، جهان وارد دوره‌ای از ورشکستگی آبی شده است که در آن برداشت از منابع آب از توان بازسازی طبیعی آن‌ها فراتر رفته است. بر اساس گزارش‌های جهانی، نزدیک به سه‌چهارم جمعیت جهان در کشورهایی زندگی می‌کنند که از نظر آبی ناامن یا به‌شدت ناامن طبقه‌بندی می‌شوند و حدود چهار میلیارد نفر دست کم یک ماه در سال با کمبود شدید آب مواجه‌اند (Yang *et al*., 2023). این وضعیت در کشور ما نیز به‌شکل نگران‌کننده‌ای نمود یافته است، به‌گونه‌ای که طبق آمارها، حدود ۸۰ درصد منابع آب زیرزمینی ایران مصرف شده است و شاخص برداشت از این منابع از سقف مجاز ۴۰ درصد بسیار فراتر رفته است و به بیش از ۹۰ درصد رسیده است. بخش کشاورزی، به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب شیرین جهان با مصرف بیش از ۷۰ درصد منابع آبی، در کانون این بحران قرار دارد (Kashkaki *et al*., 2025). در چنین شرایطی، مفهوم بهره‌وری آب به‌عنوان یک شاخص کلیدی برای سنجش کارایی مصرف این منبع حیاتی در بخش کشاورزی اهمیت دوچندان می‌یابد (Nazari *et al*., 2021). بهره‌وری آب در ساده‌ترین تعریف، نسبت مقدار محصول یا درآمد تولیدشده به‌ازای واحد حجم آب مصرفی است. این شاخص می‌تواند در سه قالب فیزیکی (تولید محصول به‌ازای واحد آب)، اقتصادی (سود به‌ازای واحد آب) و اجتماعی–زیست‌محیطی (منافع اجتماعی و کاهش آلاینده‌ها به‌ازای واحد آب) تعریف شود. در کشور ما، روند تغییرات بهره‌وری آب در سال‌های گذشته صعودی بود و از حدود ۱ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۸۷ به حدود ۱/۴۵ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۹۶ رسید (Sahabifard *et al*., 2024).

در این میان، راندمان آبیاری به‌عنوان یکی از تعیین‌کننده‌ترین عوامل مؤثر بر بهره‌وری آب، نقشی محوری ایفا می‌کند. راندمان آبیاری در مفهوم عام، نسبت حجم آب مفید مصرف‌شده توسط گیاه به حجم آب واردشده به مزرعه یا شبکه آبیاری را بیان می‌کند و معیاری برای سنجش میزان تلفات آب در فرآیند آبیاری است. بهبود راندمان آبیاری از دو مسیر اصلی قابل دستیابی است. در سطح مزرعه، توسعه سامانه‌های نوین آبیاری، نظیر آبیاری قطره‌ای و بارانی، به‌ویژه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، از مؤثرترین اقدامات برای کاهش تلفات آب و افزایش بازده مصرف به‌شمار می‌رود (Seyedzadeh *et al*., 2022). در کنار این فناوری‌ها، مدیریت علمی آبیاری از طریق برنامه‌ریزی دقیق دور و عمق آبیاری، استفاده از سنسورهای رطوبت خاک و بهره‌گیری از روش‌های کم آبیاری می‌تواند به‌طور قابل توجهی راندمان آبیاری را ارتقا دهد (Mohiuddin *et al*., 2024). در سطح شبکه و حوضه، تحویل حجمی آب، اصلاح الگوی کشت به‌سمت محصولات با نیاز آبی کمتر و بهره‌وری بالاتر، و تعدیل سطح زیر کشت آبی از جمله راهبردهای کلیدی محسوب می‌شوند (Ehsani Kolikand *et al*., 2023).

راندمان کاربرد آب در مزرعه، راندمان ذخیره آب در منطقه ریشه و راندمان یکنواختی پخش، از جمله اجزای این شاخص هستند که هر یک به‌نحوی بر مقدار آب در دسترس گیاه و در نهایت بر عملکرد محصول و بهره‌وری آب تأثیر می‌گذارند. در بسیاری از اراضی کشاورزی کشور، به‌ویژه در مناطقی که همچنان با روش‌های سنتی آبیاری می‌شوند، راندمان آبیاری پایین و تلفات آب قابل توجه هستند. این تلفات چه به‌صورت نفوذ عمقی و چه به‌صورت رواناب سطحی، نه‌تنها موجب هدررفت منبعی محدود می‌شود بلکه با کاهش آب در دسترس گیاه، عملکرد محصول را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. مطالعاتی که در زمینه افزایش بهره‌وری و راندمان آب انجام شده‌اند در این بخش بررسی خواهند شد. ابراهیمی‌راد و همکاران (Ebrahimi Rad *et al*., 2017) به بررسی اثر متقابل مدیریت آبیاری و تراکم کشت بر عملکرد و بهره‌وری آب برنج رقم هاشمی، در منطقه کوشال لاهیجان پرداختند. نتایج در شرایط محدودیت آب، بهترین عملکرد و بهره‌وری آب را نشان دادند. با توجه به نتایج این تحقیق، آبیاری با دور ۸ روز تا گلدهی تنها با چهار درصد کاهش عملکرد نسبت به روش معمول غرقاب باعث کمتر شدن مصرف آب و صرفه جویی معادل ۱۶ درصد در میزان آب مصرفی شد. صالحی رضا آبادی و همکاران (Salehi Rezaabadi *et al*., 2019) به تحلیل اقتصادی اثرات تغییرات کمی و کیفی آب در قالب سناریوهای مختلف بر مفاهیمی همچون عملکرد، الگوی کشت، بهره‌وری آب و سود ناخالص کشاورزان در سال ۹۷–۱۳۹۶ در شهرستان‌های استان کرمان پرداختند. نتایج نشان دادند که سناریوی کاهش کمی منابع آب (کاهش ۱۵ درصدی منابع آب در دسترس) تنها برای منطقه‌ی بردسیر باعث افزایش و برای سایر مناطق منجر به کاهش بهره‌وری اقتصادی یک متر مکعب مصرف آب گردید. میرزاده و همکاران (Mirzadeh *et al*., 2025) به ارزیابی تصمیمات مدیریت زراعی کشاورزان در دو راهکار تغییر الگوی کشت ناشی از کاهش فراهمی آب و اجرای روش‌های آبیاری تحت فشار و تاثیر آن‌ها بر سود ناخالص و بازده خالص کشاورزان در سطح مزارع شهرستان ارزوئیه از توابع استان کرمان پرداختند. کاهش آب در دسترس تحت سناریوی ۱۵ درصد منجر به کاهش سطح زیر کشت محصولات منتخب شد و سود ناخالص برآورد شده با اعمال این سناریو ۴۸ درصد نسبت به سطح مشاهده شده کاهش یافت. نتایج کاربست مدل در گزینه اجرای روش آبیاری قطره‌ای، افزایشی به میزان ۳۰/۷۵ درصد در سود ناخالص و کاهش آب مصرفی محصولات منتخب به میزان ۲۱۰ درصد را نشان دادند. شعبانی و همکاران (Shaabani *et al*., 2022) به بررسی شناخت تاثیرات توسعه سیستم‌های آبیاری و تغییر الگوی کشت روی نیاز آبیاری در شرایط تغییر اقلیم پرداختند. با اعمال پارامترهای اقلیمی شبیه‌سازی‌شده، نیاز آبی و آبیاری همه گیاهان تحت سناریوهای انتشار در آینده افزایش می‌یابد. میزان افزایش نیاز آبیاری برای گیاهان مختلف تحت سناریوهای مختلف بین ۴ تا ۸ درصد پیش‌بینی گردید. بررسی سطوح الگوی کشت در دهه اخیر نشان داد که افزایش راندمان آبیاری در منطقه موجب افزایش ۱۰ درصدی سطح زیر کشت شد و عدم کاهش برداشت آب از

[Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.66224/efs.2026.94]

آبخوان را به‌دنبال داشت. نتایج اعمال سناریوهای آبیاری مختلف نشان دادند که با طراحی و تنظیم الگوی کشت و بهبود راندمان‌های آبیاری سطحی و تحت فشار می‌توان در شرایط خشک و نرمال، برداشت از منابع آب زیر زمینی دشت را بین ۲۱ تا ۴۰ درصد کاهش داد.

صحابی و همکاران (Sahabifard *et al*., 2024) به بررسی بهره‌وری آب کشاورزی در حوضه تجن استان مازندران با استفاده از تخصیص بهینه پرداختند. نتایج نشان دادند بهینه‌سازی تخصیص آب توانست سبب افزایش بهره‌وری آب کشاورزی به میزان ۷۶ درصد برای مرکبات،۴۷ درصد برنج، ۶۰ درصد دانه‌های روغنی، ۵۹ درصد ذرت‌دآن‌های، ۶۴ درصد گندم، ۷۷ درصد سبزیجات و ۷۶ درصد پنبه برای سناریوی سوم که یک سناریوی بیابانی است، شود. سود اقتصادی نیز به‌طور متوسط حدود ۳۳ درصد افزایش یافت.

بوندی و همکاران (Boundi *et al*., 2017) به ارزیابی عملکرد فرآیند آبیاری در مزرعه با شاخص‌های کارایی در مراحل مختلف سیستم‌های رایج آبیاری پرداختند. بر این اساس، کارایی آبیاری در سیستم کرتی (غرقابی) ۴۹ تا ۷۹ درصد، در سیستم بارانی ۶۹ تا ۹۴ درصد و در سیستم قطره‌ای ۸۱ تا ۹۷ درصد متغیر است. نتایج نشان می‌دهند که کارایی مصرف آب در شرایط تنش آبی قابل تحمل، به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد و در این حالت، شاخص مذکور با آبیاری قطره‌ای نسبت به بارانی بهبود می‌یابد و در مقایسه با آبیاری کرتی، ارتقای بیشتری پیدا می‌کند. جات و همکاران (Jat *et al*., 2019) در پژوهشی سیستم‌های کشت فشرده برنج–گندم در شمال غربی هند را بررسی نمودند. آن‌ها کشاورزی حفاظتی را با آبیاری قطره‌ای و با آبیاری غرقابی متعارف کشاورزان مقایسه نمودند. نتایج نشان دادند که سیستم قطره‌ای برنج–گندم در مقایسه با عملکرد متعارف کشاورزان، بهره‌وری آب آبیاری را ۱۴۵ درصد و سوددهی را ۲/۲۹ درصد افزایش داد. اکبر و همکاران (Akbar *et al*., 2023) تولید برنج پاکستان را در دوره چهار دهه‌ای (۱۹۸۱ تا ۲۰۲۰) از منظر بهره‌وری آب ارزیابی نمودند. آنها گزارش دادند که در روش آبیاری متناوب خشک و تر، حداکثر میانگین عملکرد ۲/۴۲ تن در هکتار و بهره‌وری آب ۰/۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب (معادل ۶۲۱۱ لیتر به‌ازای هر کیلوگرم) بود که حاکی از افزایش میانگین ۱۴ درصدی عملکرد است. همچنین گزارش دادند که استفاده از روش آبیاری متناوب خشک و تر در مقایسه با روش غرقاب دائم منجر به کاهش ۲۵ تا ۳۰ درصدی مصرف شد. امامی و همکاران (Amami *et al*., 2026) برای پایش آبیاری هفت محصول عمده و آب‌بر (گندم، جو دوسر، پیاز، ذرت، زیتون، بادام و پسته) از سامانه بهینه آبیاری استفاده نمودند. نتایج حاصله با روش‌های معمول مدیریت آبیاری که توسط کشاورزان عادی (بر اساس تجربیات و دانش بومی‌شان) برای همان محصولات و در شرایطی بسیار مشابه اعمال می‌شد، مقایسه گردید. نتایج نشان دادند که برنامه‌ریزی علمی آبیاری، در مقایسه با شیوه فعلی مدیریت مزارع، راهکاری مؤثر برای ارتقای بهره‌وری آب و انرژی و همچنین افزایش عملکرد محصول و سودآوری اقتصادی فراهم آورد. به‌طور میانگین، استفاده از این روش علمی منجر به کاهش ۲۵/۵ درصدی مصرف آب و ۲۲ درصدی مصرف انرژی شد و همزمان افزایش ۲۹ درصدی عملکرد محصول و کاهش ۱۸ درصدی هزینه‌های آبیاری را به همراه داشت. حاشیه سود ناخالص در هر هکتار نیز افزایش یافت و رشدی ۲۶ درصدی را تجربه کرد.

مرور مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که تاکنون پژوهش‌های متعددی به بررسی اثر راندمان آبیاری بر مصرف آب، عملکرد محصول و بهره‌وری آب پرداخته‌اند. با این‌حال، بیشتر این مطالعات یا به تحلیل اثر یک روش آبیاری خاص بر یک محصول معین محدود بوده‌اند یا صرفاً جنبه‌های فیزیکی بهره‌وری آب را بررسی کرده‌اند و کمتر به تحلیل همزمان الگوی کشت، بهره‌وری اقتصادی آب و رفتار ریسک‌گریز کشاورزان در قالب یک چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره پرداخته‌اند. به عبارت دیگر، در بسیاری از پژوهش‌های پیشین، واکنش کشاورزان به بهبود راندمان آبیاری و تغییرات ناشی از آن در ترکیب کشت، با در نظر گرفتن همزمان اهداف سود و ریسک، به‌طور جامع مدل‌سازی نشده است. این شکاف مطالعاتی، به‌ویژه در حوضه تجن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین حوضه‌های کشاورزی شمال کشور که با تنش آبی و افت سطح آبخوان مواجه است، بیش از پیش احساس می‌شود. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر بهبود راندمان آبیاری بر الگوی کشت و بهره‌وری اقتصادی آب در حوضه تجن انجام شده است. برای این منظور، از مدل برنامه‌ریزی مطلوبیت چندمعیاره مثبت[1] استفاده شد که امکان لحاظ کردن همزمان چندین معیار را در تصمیم‌گیری کشاورزان فراهم می‌آورد. سپس، با اعمال سناریوهای افزایش راندمان آبیاری در سطوح ۱۰ تا ۳۰ درصد، واکنش کشاورزان شامل تغییر ترکیب کشت، میانگین بهره‌وری اقتصادی آب، میانگین آب مصرفی در هکتار، تغییرات سود و ریسک بررسی شده است.

حوضه تجن در استان مازندران به‌عنوان یکی از مناطق مهم کشاورزی شمال کشور، از جایگاه ویژه‌ای در تأمین امنیت غذایی و معیشت کشاورزان منطقه برخوردار است. حوضه تجن با دارا بودن اراضی حاصلخیز کشاورزی، به‌ویژه اراضی شالیزاری و باغات مرکبات، نقش اساسی در تولیدات کشاورزی منطقه ایفا می‌کند. بر اساس آخرین بررسی‌های صورت‌گرفته، حوضه تجن دارای حدود ۵۴ هزار هکتار اراضی زراعی است. این سطح زیر کشت، بخش قابل توجهی از تولیدات کشاورزی منطقه را به خود اختصاص داده است و نقش مهمی را در تأمین محصولات زراعی استان مازندران ایفا می‌کند. کشت برنج از جمله محصولاتی است که در این منطقه از اهمیت به‌سزایی برخوردار است، به گونه‌ای که سطح زیر کشت آن حدود ۳۳۰۳۳ هکتار با میزان تولید ۱۵۶ هزار تن است. مابقی سطح زیر کشت به محصولاتی آبی و دیم اختصاص یافته است که از میان محصولات آبی می‌توان به گندم آبی با حدود ۸۱۰۸ هکتار، کلزای آبی با سطح کشت حدود ۲۳۷۲ هکتار و سویا آبی با سطح کشت حدود ۱۶۴۶ اشاره نمود. همچنین، این حوضه به‌دلیل وابستگی شدید کشاورزی به آب‌های سطحی و

[1] Positive Multi-Attribute Utility Programming

[Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.66224/efs.2026.94]

زیرزمینی، در سال‌های اخیر با کاهش فراهمی آب و افت سطح آبخوان مواجه بوده است و بخش قابل توجهی از اراضی آن همچنان با روش‌های سنتی آبیاری می‌شوند که راندمان پایین و تلفات آب قابل توجهی را به‌همراه دارد (Bagheri & Nourikhah 2023).

شبکه آبیاری و زهکشی تجن، به‌عنوان یکی از زیرساخت‌های اصلی تأمین آب کشاورزی در استان مازندران، از کانال‌های انتقال و توزیع مدرن و نیمه‌مدرن تشکیل شده است. با این حال، مطالعات میدانی نشان می‌دهند که وضعیت راندمان در بخش‌های مختلف این شبکه یکسان نیست. بر اساس اندازه‌گیری‌های صحرایی انجام‌شده توسط باقری و نوری‌خواه (Bagheri, A., & Nourikhah, 2023) در سال ۱۳۹۹، راندمان انتقال در کانال‌های این شبکه بین ۸۸/۲ تا ۹۹/۵ درصد برآورد شد، در حالی‌که راندمان شبکه توزیع بین ۶۸ تا ۹۶ درصد (به‌طور میانگین ۷۷/۲۵ درصد) متغیر بود. این تفاوت نشان می‌دهد که بخش عمده تلفات آب در فرآیند توزیع و تحویل به مزارع رخ می‌دهد و لذا بهبود راندمان در این بخش از شبکه، از اولویت بالایی برخوردار است. علاوه بر این، تنوع بالای محصولات کشاورزی در حوضه تجن باعث می‌شود که تغییر راندمان آبیاری بتواند اثرات متفاوتی بر الگوی کشت و انتخاب محصولات توسط کشاورزان داشته باشد و این تنوع، امکان تحلیل دقیق‌تر رفتار کشاورزان در قالب مدل PMAUP را فراهم می‌آورد. بر این اساس، پژوهش حاضر می‌کوشد تا با استفاده از مدل PMAUP، به تحلیل جامع‌تری از اثر بهبود راندمان آبیاری بر الگوی کشت و بهره‌وری اقتصادی آب در حوضه تجن دست یابد.

مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر، به‌منظور بررسی اثر بهبود راندمان آبیاری بر الگوی کشت و بهره‌وری اقتصادی اراضی آبی عمده در حوضه تجن، از مدل برنامه‌ریزی مطلوبیت چندمعیاره مثبت PMAUP استفاده شده است. در این مدل، فرض بر این است که تبیین هرگونه تصمیم‌گیری در خصوص تخصیص زمین‌های موجود به گزینه‌های مختلف کشت، مبتنی بر یک تابع مطلوبیت است. این تابع از ویژگی‌های متعددی شکل گرفته است که کشاورزان برای ارزیابی تمام گزینه‌های پیش رو به‌کار می‌گیرند. بر این اساس، می‌توان فرض کرد که تصمیمات مشاهده‌شده، پاسخی به مسئله‌ای از نوع زیر هستند (Gutierrez-Martin & Gomez, 2011).

$$\max_{x} U(x) = U(z_1(x);\ z_2(x); z_3(x); \dots z_m(x)) \quad (۱)$$

s.t.

$$0 \le x_i \le 1 \quad (۲)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_i = 1, \quad (۳)$$

$$x \in F \quad (۴)$$

که در آن، U تابع مطلوبیت، x_i زمین تخصیص یافته به محصول iام، و m تعداد خصوصیات Z_p را نشان می‌دهند. در نهایت، F با توجه به محدودیت‌های منابع، سیاستی و اقتصادی، فضای سبد تصمیم‌گیری امکان‌پذیر را نشان می‌دهد. در این مدل، فرض می‌شود که کشاورزان در شرایط موجود و با توجه به قیمت محصول و نهاده‌ها به‌طور بهینه عمل می‌کنند. مدل PMAUP یک تابع چندمشخصه است که معمولاً معیارهایی همچون سود، اشتغال، مصرف کود و ریسک را شامل می‌شود. به پیشنهاد گوتیرز–مارتین (Gutierrez-Martin & Gomez, 2011)، تابع مطلوبیت در رابطه (۱)، از نوع کاب– داگلاس درنظر گرفته شده است که در رابطه (۵) قابل مشاهده است.

$$\max_{x} U = U(Z(X)) = \prod_{p=1}^{m} z_p^{a_p}(X) \quad (۵)$$

که در آن a_p وزن معیارها را نشان می‌دهد. به‌منظور استخراج پارامترهای تابع مطلوبیت یعنی وزن اهداف (α)، از روش کالیبراسیون مدل PMAUP که توسط گوتیرز–مارتین (Gutierrez-Martin & Gomez, 2011) پیشنهاد داده شده است، استفاده شده است. بر اساس تئوری استاندارد اقتصادی، پارامترهای تابع هدف با استفاده از یکسان‌سازی هزینه فرصت مبادله یک واحد از ویژگی z_k برای یک واحد از ویژگی z_p، استخراج می‌شوند. در واقع، تصمیمات منطقی بیانگر این هستند که در حالت تعادل، تمایل نهایی کشاورزان به پرداخت به‌منظور بهبود یک ویژگی نسبت به ویژگی دیگر برابر با هزینه فرصت نهایی این ویژگی نسبت به دیگری است. به‌عبارت دیگر، رابطه نرخ نهایی جایگزینی MRS_{kp} بین هر جفت ویژگی بر روی مرز کارایی، در حالت تعادل، با رابطه نرخ نهایی جانشینی MRT_{kp} بین همان جفت ویژگی بر روی منحنی بی‌تفاوتی برابر است.

تحت مشخصات کاب–داگلاس که در این مقاله استفاده شده است، MRS_{kp} را می‌توان به صورت زیر به دست آورد (Gutierrez-Martin & Gomez, 2011).

$$MRS_{kp} = \frac{\partial U/\partial z_p}{\partial U/\partial z_k} = -\frac{a_p}{a_k}\frac{z_p}{z_k} \quad (۶)$$

چالش اصلی در کالیبراسیون مدل‌های PMAUP مربوط به استخراج مرز کارآمد برای محاسبه MRT_{kp} است. مرز کارآمد به‌عنوان حداکثر مقدار مشخصه z_p تعریف می‌شود که می‌تواند برای مقدار مشخصی از ویژگی z_k با توجه به یک سری محدودیت‌ها به‌دست آید. MRT_{kp} از حل دو مسئله بهینه‌سازی در فضای دوبعدی kp شروع می‌شود که حداکثر مقداری را محاسبه می‌کند که مشخصه z_k می‌تواند در زمانی که z_p برابر با مقدار مشاهده‌شده آن (یعنی z_p^o) باشد و بالعکس برای هر $p \neq k$ به‌دست آورد (Sapino *et al*., 2022).

$$\max_{x} z_p(X) \quad (۷)$$

s.t.

$$z_k(X) = z_k^o(X)\ \forall k \neq p \quad (۸)$$

And

$$\max_{x} z_k(X) \quad (۹)$$

s.t.

$$z_p(X) = z_p^o(X)\ \forall p \neq k \quad (۱۰)$$

مدل کالیبراسیون این امکان را می‌دهد که هزینه فرصت نسبی هر یک از ویژگی‌های مربوطه با توجه به سایر ویژگی‌ها محاسبه شود.

[Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.66224/efs.2026.94]

این هزینه فرصت با رابطه نرخ نهایی جانشینی بین هر جفت ویژگی (β_{kp}^{τ}) اندازه‌گیری می‌شود. این مقدار را می‌توان با حل مسئله بهینه‌سازی معادلات (۷) الی (۱۰) برای مقادیر مشاهده‌شده هر جفت از ویژگی‌های z_k و z_p به‌صورت عددی به‌دست آورد (Gutierrez-Martin & Gomez, 2011).

$$MRT_{kp} = \beta_{kp}^{\tau} = \frac{z_p - z_p^o}{z_k - z_k^o} \qquad (۱۱)$$

در تعادل، ارزش (β_{kp}^{τ})، که هزینه فرصت نسبی هر ویژگی بر حسب ویژگی دیگری را نشان می‌دهد، برابر با رابطه نرخ نهایی جایگزینی بین همان جفت ویژگی است (که بیانگر تمایل کشاورزان به پرداخت است). به‌عنوان مثال، جستجو بر اساس این که چقدر سود مورد انتظار باید کاهش یابد تا ۱ درصد ریسک کمتری به‌دست آید). به‌عبارت دیگر، در حالت تعادل، تصمیم‌گیری در مورد سطوح محصول به این صورت است که MRS_{kp} و MRT_{kp} برای هر ترکیبی از دو ویژگی z_k و z_p برابر می‌شوند تا پارامترهای تابع هدف استخراج شوند (Gutierrez-Martin & Gomez, 2011).

$$MRS_{kp} = \frac{\partial U/\partial z_p}{\partial U/\partial z_k} = -\frac{a_p}{a_k}\frac{z_p}{z_k} = \beta_{kp}^{\tau} = MRT_{kp}. \forall p \neq k \qquad (۱۲)$$

$$\sum_{p=1}^{m} a_p = 1 \qquad (۱۳)$$

پس از محاسبه وزن معیارها، الگوی PMAUP اجرا و در صورت کالیبراسیون، نتایج شبیه‌سازی بررسی می‌شوند. الگوی تجربی مورد استفاده در مطالعه حاضر، در ادامه اشاره شده است.

$$\max_{x} U = U\big(Z(X)\big) = \prod_{p=1}^{m} z_p^{a_p}(X) \qquad (۱۴)$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^{n} x_i = 1, \qquad 0 \le x_i \le 1 \qquad (۱۵)$$

$$\sum_{i=1}^{n} w_i x_i \le WA \qquad (۱۶)$$

$$X \in F \in R^n \qquad (۱۷)$$

$$Z(X) \in R^m \qquad (۱۸)$$

که در آن w_i آب مصرفی برای محصول iام و WA میانگین در دسترس بودن آب در هر هکتار هستند. m نیز تعداد خصوصیات Z_p (در این مطالعه برابر با سود و ریسک است) در نظر گرفته‌شده است. از آنجا که مدل‌های بهینه‌سازی، دو دسته توابع هدف یا اهداف و محدودیت‌ها را شامل می‌شوند، لذا محدودیت‌ها شامل محدودیت‌های فنی، سیاستی و بازاری حاکم بر سیستم واقعی هستند که به‌صورت روابط ریاضی مدل‌سازی می‌گردند. محدودیت‌های سیاستی در این مطالعه شامل الزام خودمصرفی برنج (به‌عنوان سیاست امنیت غذایی) هستند که یک حد پایین برای آن در نظر گرفته شد (حداقل سهم کشت برنج مرغوب حدود ۱۰ درصد لحاظ شد). محدودیت‌های بازاری شامل فرض قیمت‌پذیر بودن کشاورزان هستند که به‌صورت پارامترهای ثابت در مدل PMAUP وارد شده‌اند. سایر محدودیت‌های مطالعه شامل سهم زمین (رابطه ۱۵) و محدودیت در دسترس بودن آب (رابطه ۱۶) هستند. F نیز محدودیت‌هایی همچون سرمایه و خودمصرفی برنج را نشان می‌دهد. هنگام تصمیم‌گیری در مورد ترکیبی از محصولات برای کاشت، در مجموعه گزینه‌های امکان‌پذیر، کشاورزان محصولاتی را ترجیح می‌دهند که به‌طور هم‌زمان سود موردانتظار بالاتری را با ریسک کمتر به آن‌ها می‌دهند. از این شهود می‌توان نتیجه گرفت که ویژگی‌های مرتبط بالقوه تابع مطلوبیت کشاورزان، سود و ریسک است. اولین مورد به‌راحتی با سود مورد انتظار در هر هکتار از هر محصول (با در نظر گرفتن عملکرد، قیمت‌ها و هزینه‌های متغیر تولید مشاهده‌شده در گذشته) اندازه‌گیری می‌شود. همین داده‌ها در مورد بازده و قیمت محصول امکان اندازه‌گیری ریسک را به‌عنوان انحراف استاندارد سود کلی مورد انتظار می‌دهند. به‌عبارتی، تابع مطلوبیت در مطالعه حاضر شامل دو معیار سود ناخالص و اجتناب از ریسک در نظر گرفته شده است که این تابع در رابطه (۱۹) ارائه شده است.

$$\max_{x,w} U = U\big(z_1(x), z_2(x)\big) \qquad (۱۹)$$

z_1 نشان‌دهنده سود مورد انتظار است که در قالب مجموع سود ناخالص مورد انتظار در هکتار (π_i) محصول iام، ضربدر زمین اختصاص داده‌شده به آن محصول (x_i) به‌دست می‌آید که در رابطه (۲۰) قابل مشاهده است.

$$z_1(x) = \sum_{i=1}^{n} \pi_i\, x_i \qquad (۲۰)$$

z_2 معیار اجتناب از ریسک است که در در رابطه (۲۱) ارائه شده است. انتخاب الگوی بهینه تولید محصولات مستلزم تحمل ریسک معینی است. عبارت اول در سمت راست معادله (۲۱)، ریسک محاسبه‌شده در شرایط موجود ($\bar{\sigma}$) و عبارت دوم ریسک محاسبه‌شده در شرایط شبیه‌سازی‌شده ($\sigma(\pi(x))$) را نشان می‌دهند. $\sigma(\pi(x))$ همان واریانس سود در الگوی کشت است و در رابطه (۲۲) ارائه شده است که در آن، $VCV(\pi(x))$ ماتریس واریانس–کوواریانس سود ناخالص محصولات است که برای محاسبه آن از سود ناخالص تورم‌زدایی‌شده طی سال‌های ۱۴۰۲–۱۳۹۶ استفاده شده است.

$$z_2(x) = \bar{\sigma} - \sigma(\pi(x)) \qquad (۲۱)$$

$$\sigma(\pi(x)) = x^T\, VCV\big(\pi(x)\big)\, x \qquad (۲۲)$$

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر بهبود راندمان آبیاری بر الگوی کشت و بهره‌وری اقتصادی آب در حوضه تجن انجام شده است. به این منظور، پس از کالیبراسیون مدل، با افزایش راندمان آبیاری در سناریوهای ۱۰ تا ۳۰ درصد نسبت به وضعیت موجود شبکه تجن (که راندمان توزیع آن به‌طور میانگین ۷۷/۲۵ درصد است)، که در نتیجه‌ی آن میزان نیاز آبی کاهش می‌یابد، واکنش‌های کشاورزان، شامل تغییر ترکیب کشت محصولات، میانگین بهره‌وری اقتصادی آب، میانگین آب مصرفی در هکتار، تغییرات سود و ریسک، بررسی شدند. ملاک انتخاب این سطوح سناریو، پتانسیل فنی بهبود راندمان در شبکه تجن و همسویی با ادبیات علمی موضوع است. با توجه به این که راندمان توزیع

[Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.66224/efs.2026.94]

شبکه در وضعیت موجود حدود ۷۷/۲۵ درصد است، فضای قابل توجهی برای بهبود از طریق اقداماتی مانند بازسازی کانال‌های توزیع، تسطیح اراضی و بهبود مدیریت تحویل آب وجود دارد. بنا بر این، سناریوهای ۱۰ تا ۳۰ درصد، بازه‌ای واقع‌بینانه از بهبود را پوشش می‌دهند که در مطالعات مشابه نیز مورد استفاده قرار گرفته است. لازم به توضیح است که با بهبود راندمان آبیاری، میزان نیاز آبی در هر هکتار کاهش می‌یابد که به نوبه خود موجب تغییر در هزینه آب، هزینه کل و میزان سود ناخالص در هر هکتار می‌شود که در مدل لحاظ و همزمان با تغییر سناریو، پارامترهای ذکرشده به‌روزرسانی شده‌اند.

برای محاسبه بهره‌وری اقتصادی آب (EWP) نیز از نسبت سود ناخالص به آب مصرفی استفاده شده است که در رابطه (۲۳) ارائه شده است:

$$EWP = \frac{\sum_{i=1}^{n} \pi_i \, x_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i \, x_i} \qquad (۲۳)$$

جامعه آماری مورد نظر در این مطالعه، زارعین منطقه حوضه تجن شهرستان ساری هستند. آمار و اطلاعات فنی مربوط به پژوهش حاضر، از جمله سطح زیر کشت، عملکرد، زمین، آب مصرفی و اطلاعات اقتصادی مورد نیاز پژوهش از قبیل قیمت‌ها و هزینه‌های تولید (سرمایه)، از مراجع معتبر داخلی از جمله سایت آمار و اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی و آمارهای منتشرشده در سال‌نامه‌های آماری سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ جمع آوری گردیدند. در نهایت، نتایج با استفاده از نرم‌افزار GAMS محاسبه شدند. جدول ۱ تصویری را از وضعیت فعلی الگوی کشت، مصرف نهاده‌ها و هزینه‌های تولید در منطقه‌ی حوضه تجن در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ ارائه می‌دهد.

جدول ۱- سطح زیر کشت، مصرف نهاده‌ها و هزینه‌های تولید محصولات منتخب در سال پایه (۱۴۰۲-۱۴۰۱)
Table 1. Cultivated Area, Input Consumption, and Production Costs of Selected Crops in the Base Year (2022-2023)

محصولات Crop	سطح زیر کشت (هکتار) Cultivated Area (ha)	آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) Water Consumption (m^3/ha)	هزینه‌ی متغیر (میلیون ریال در هکتار) Variable Cost (Million Rials/ha)	سود ناخالص (میلیون ریال در هکتار) Gross Profit (Million Rials/ha)	سهم از مجموع (٪) Share of the total
برنج مرغوب High-quality rice	20636	9093	451.7	656.37	45.7
برنج پرمحصول High-yield rice	12397	10763	469.9	757.77	27.5
سویا Soybean	1646	5801	155.9	417.74	3.6
گندم Wheat	8107	3345	149.1	456.905	18
کلزا Canola	2373	3451	135.4	469.104	5.2

این پژوهش بر محصولات آبی به‌دلیل نقش محوری آن‌ها در مصرف منابع آب و اهمیت‌شان در تحلیل بهره‌وری اقتصادی آب تمرکز دارد. از آنجا که هدف اصلی این مطالعه، بررسی اثر بهبود راندمان آبیاری بر الگوی کشت و بهره‌وری اقتصادی آب در حوضه تجن است، تنها محصولاتی وارد مدل‌سازی شده‌اند که در فرآیند تولید خود به آبیاری وابسته‌اند و بنا بر این، بهبود راندمان آبیاری می‌تواند مستقیما بر نیاز آبی، هزینه‌های تولید، سود و ریسک آن‌ها اثر بگذارد. علاوه بر این، سهم بالای محصولات آبی در سطح زیر کشت و مصرف آب حوضه تجن، به ویژه برنج که حدود ۳۳۰۳۳ هکتار از اراضی را به‌خود اختصاص داده است، ضرورت تحلیل دقیق رفتار کشاورزان در قبال این محصولات را دوچندان می‌کند. بنا بر این، محدودکردن مطالعه به محصولات آبی، ضمن افزایش دقت و انسجام مدل‌سازی، امکان ارائه توصیه‌های سیاستی مؤثرتر برای مدیریت پایدار منابع آب در منطقه را فراهم می‌آورد. بر اساس جدول ۱، آب مصرفی در ارقام برنج به‌طور قابل توجهی بالاتر از سایر محصولات است (به‌ترتیب ۹۰۹۳ و ۱۰۷۶۴ مترمکعب در هکتار) که آب‌بری بالای این محصولات را نشان می‌دهد. هزینه‌های متغیر تولید در هر هکتار برای برنج نیز بالاترین میزان را دارند و سود ناخالص حاصل از این محصولات، انگیزه‌ی اصلی کشاورزان برای کشت آن‌ها را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

در این پژوهش، به‌منظور بررسی اثر بهبود راندمان آبیاری بر الگوی کشت و بهره‌وری اقتصادی آب در حوضه تجن، ابتدا مدل برنامه‌ریزی مطلوبیت چندمعیاره مثبت (PMAUP) با استفاده از داده‌های سطح زیر کشت، عملکرد، قیمت‌ها و هزینه‌های تولید سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ کالیبره شد. در فرآیند کالیبراسیون، وزن معیارهای سود ناخالص مورد انتظار و اجتناب از ریسک با استفاده از روش بیان شده در بخش قبلی استخراج گردید که نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده‌اند. بر اساس نتایج کالیبراسیون، وزن سود نسبت به وزن ریسک بالاتر است و این نتیجه منطقی می‌نماید چرا که کشاورزان عقلایی، در درجه اول هدف حداکثرسازی سود را مد نظر قرار می‌دهند.

جدول ۲- نتایج کالیبراسیون برای محاسبه وزن معیارها
Table 2. Calibration Results for Calculating the Weights of Criteria

معیارها (Criteria)	سود ناخالص (Gross Profit)	ریسک (Risk)
وزن (Weight)	0.73	0.27

ماخذ: یافته‌های تحقیق
Source: Research findings

[Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.66224/efs.2026.94]

پس از اطمینان از صحت کالیبراسیون، اثر افزایش راندمان آبیاری در قالب سناریوهای ۱۰ تا ۳۰ درصد بر متغیرهای کلیدی شامل ترکیب الگوی کشت، میانگین بهره‌وری اقتصادی آب، میانگین آب مصرفی در هکتار و سود ناخالص مورد انتظار بررسی شد. جدول (۳) تغییرات سطح کشت محصولات را نشان می‌دهد.

جدول ۳- تغییرات سطح کشت محصولات منتخب

Table 3. Changes in the Cultivated Area of Selected Crops

سناریوهای افزایش راندمان آب Irrigation Efficiency Improvement Scenarios (%)	سهم کشت برنج مرغوب High-quality Rice Cultivated Share	سهم کشت برنج پر محصول High-yield Rice Cultivated Share	سهم کشت سویا Soybean Cultivated Share	سهم کشت گندم Wheat Cultivated Share	سهم کشت کلزا Canola Cultivated Share
0	0.457	0.275	0.036	0.18	0.052
10	0.343	0.389	0.096	0.120	0.052
20	0.275	0.456	0.222	0.021	0.026
30	0.266	0.465	0.248	0.021	0

Source: Research findings

ماخذ: یافته‌های تحقیق

در جدول (۳)، میزان سطح کشت در شرایط پایه (که کالیبره نیز است) با ردیف صفر نمایش داده شده است. در شرایط پایه (سناریوی صفر)، برنج مرغوب با سهم ۴۵/۷ درصد از اراضی آبی، محصول غالب منطقه محسوب می‌شود و پس از آن برنج پرمحصول با ۲۷/۵ درصد، گندم با ۱۸ درصد، کلزا با ۵/۲ درصد و سویا با ۳/۶ درصد در رتبه‌های بعدی قرار دارند. این ترکیب نشان می‌دهد که کشاورزان در شرایط فعلی، به‌دلیل سود ناخالص بالاتر و اطمینان از بازار فروش، تمایل بیشتری به کشت برنج مرغوب دارند، هرچند که این محصول آب‌بری بالایی دارد. ممکن است با بهبود راندمان آبیاری، سهم کشت محصولات تحت تاثیر قرار گیرد. بر اساس نتایج، بهبود راندمان آبیاری در سناریوهای ۱۰ تا ۳۰ درصد، تغییرات قابل توجهی را در ترکیب الگوی کشت منطقه ایجاد کرده است.

با اعمال سناریوی افزایش ۱۰ درصدی راندمان آبیاری، سطح زیر کشت برنج مرغوب به ۳۴/۲ درصد کاهش می‌یابد، در حالی که سطح زیر کشت برنج پرمحصول از ۲۷/۵ به ۳۸/۹ درصد افزایش می‌یابد. بر اساس آمار موجود، برنج پرمحصول، سود بیشتری در هکتار نسبت به برنج مرغوب دارد ولی نیاز آبی بالاتری دارد. اما با بهبود راندمان آبیاری، به دلیل آزاد شدن بخشی از آب اختصاص‌یافته به سایر محصولات، همچون برنج مرغوب، این محصول امکان صرف آب بیشتری پیدا می‌کند و سطح کشت آن افزایش می‌یابد. همچنین، سطح زیر کشت سویا از ۳/۶ به ۹/۶ درصد افزایش و سطح زیر کشت گندم از ۱۸ درصد به ۱۲ درصد کاهش می‌یابد، در حالی که سطح زیر کشت کلزا ثابت می‌ماند. این تغییرات نشان می‌دهند که با بهبود راندمان آبیاری و کاهش نیاز آبی، کشاورزان به‌سمت محصولاتی حرکت می‌کنند که بهره‌وری اقتصادی بالاتری دارند. برنج پرمحصول با وجود آب‌بری بالاتر، سود ناخالص بیشتری نسبت به برنج مرغوب تولید می‌کند و بنابراین در شرایطی که آب کافی‌تر در دسترس باشد، کشاورزان ترجیح می‌دهند سطح زیر کشت آن را افزایش دهند.

در سناریوی افزایش ۲۰ درصدی راندمان، روند تغییرات شتاب بیشتری می‌گیرد و الگوی کشت به سمت یک ساختار جدید حرکت می‌کند. برنج پرمحصول با سهم ۴۵/۶ درصدی جای برنج مرغوب را به‌عنوان محصول غالب می‌گیرد و سویا با رشد چشمگیر به ۲۲/۱ درصد می‌رسد. رشد سویا در این سناریو را می‌توان با دو عامل نیاز آبی که آن را به‌گزینه‌ای مناسب برای جایگزینی بخشی از اراضی برنج مرغوب تبدیل می‌کند و سود ناخالص نسبتا مناسب آن (۴۱۷/۷۴ میلیون ریال در هکتار) که در مقایسه با گندم و کلزا، جذابیت بیشتری دارد، توضیح داد. کاهش سطح زیر کشت گندم به حدود ۲ درصد و کلزا به ۲/۶ درصد نیز نشان می‌دهد که این دو محصول با سود ناخالص پایین‌تر، در شرایطی که آب کافی‌تر در دسترس است، توان رقابت با محصولات پر سودتر را از دست می‌دهند. این یافته با منطق اقتصادی مدل PMAUP سازگار است. وقتی که قید آب کمتر فعال شود، معیار سود ناخالص وزن بیشتری در تصمیم‌گیری کشاورزان پیدا می‌کند و محصولات کم سودتر از سبد کشت حذف خواهند شد.

در نهایت، در سناریوی افزایش ۳۰ درصدی راندمان، الگوی کشت به یک ترکیب جدید می‌رسد که در آن برنج پرمحصول با ۴۶/۵ درصد، سویا با ۲۴/۸درصد و برنج مرغوب با ۲۶/۶ درصد، سه محصول اصلی را تشکیل می‌دهند و کلزا از الگوی کشت حذف می‌شود. حذف کامل کلزا در این سناریو را می‌توان به عنوان یک پیامد منطقی مدل تفسیر کرد. اگرچه بر اساس جدول ۱، سود ناخالص کلزا (۴۶۹/۱۰۴ میلیون ریال در هکتار) بیشتر از سویا (۴۱۷/۷۴۰ میلیون ریال در هکتار) و مصرف آب آن نیز کمتر است اما در مدل PMAUP معیار تصمیم‌گیری، مطلوبیت مورد انتظار کل پرتفوی کشت است که همزمان سود مورد انتظار و ریسک (واریانس-کوواریانس سود) را در نظر می‌گیرد. بنا بر این، حذف تدریجی کلزا در سناریوهای با راندمان بالاتر ناشی از پایین‌بودن سود ناخالص هکتاری آن نیست، بلکه به‌دلیل سهم پایین‌تر آن در مطلوبیت کل و ریسک بالاتر یا همبستگی نامناسب با سایر محصولات در الگوی کشت است. کاهش سطح زیر کشت گندم به ۲ درصد نیز حاکی از آن است که این محصول، حتی با وجود نیاز آبی پایین (۳۳۴۵ مترمکعب در هکتار)، به‌دلیل سود ناخالص بسیار پایین‌تر از سایر گزینه‌ها، در الگوی کشت بهینه جایگاه قابل‌توجهی ندارد.

به‌طور کلی، نتایج جدول (۳) نشان می‌دهند که بهبود راندمان آبیاری منجر به تغییر الگوی کشت به سمت محصولات با بهره‌وری اقتصادی بالاتر می‌شود. این تغییرات با منطق مدل PMAUP سازگار است، زیرا کشاورزان در تصمیم‌گیری خود همزمان سود ناخالص مورد انتظار و اجتناب از ریسک را در نظر می‌گیرند. با کاهش نیاز آبی ناشی از بهبود راندمان، محدودیت آب به‌عنوان یک قید اساسی در مدل، کمتر فعال می‌شود و

[Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.66224/efs.2026.94]

کشاورزان می‌توانند ترکیبی از محصولات را انتخاب کنند که مطلوبیت کل آن‌ها را بیشینه کند. در این شرایط، برنج پرمحصول به‌دلیل سود ناخالص بالاتر، جایگزین برنج مرغوب می‌شود و سویا به‌دلیل نیاز آبی کمتر و سود مناسب، سهم بیشتری از اراضی را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین، کاهش سطح زیر کشت گندم و حذف کلزا در سناریوهای بالاتر، نشان می‌دهد که این محصولات در مقایسه با برنج پرمحصول و سویا، از نظر بهره‌وری اقتصادی آب و سود ناخالص، جذابیت کمتری برای کشاورزان دارند.

جدول (۴) نتایج شبیه‌سازی مدل PMAUP را در حالت پایه و سناریوهای افزایش راندمان آبیاری (۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد) برای سه متغیر کلیدی شامل سود ناخالص مورد انتظار، انحراف معیار سود ناخالص (ریسک)، میانگین مصرف آب در هکتار و بهره‌وری اقتصادی آب ارائه می‌دهد.

جدول ۴- اثر سناریوهای افزایش راندمان آبیاری بر سود ناخالص، ریسک، میانگین مصرف آب، بهره‌وری اقتصادی آب و مقدار کل آب مصرفی در حوضه تجن

Table 4. Effects of Irrigation Efficiency Improvement Scenarios on Gross Profit, Risk, Average Water Consumption, Economic Water Productivity, and Total Water Consumption in the Tajan Basin

سناریوهای افزایش راندمان آب Irrigation Efficiency Improvement Scenarios (%)	سود ناخالص (میلیون ریال در هکتار) Gross Profit (Million Rials/ha)	انحراف معیار سود ناخالص (میلیون ریال در هکتار) Standard deviation of gross profit (Million Rials/ha)	میانگین مصرف آب (مترمکعب در هکتار) Average Water Consumption (m^3/ha)	بهره‌وری اقتصادی (میلیون ریال بر مترمکعب) Economic Water Productivity (Million Rials/m^3)	مقدار کل آب مصرفی حوضه (میلیون مترمکعب در هکتار) Total water consumption (Million m^3/ha)
0	630.544	192.685	8103.664	0.0778	365.95
10	673.738 (6.86%)	192.85 (0%)	7672.536 (-5.33%)	0.0878 (12.85%)	346.48 (-5.33%)
20	705.297 (11.83%)	192.85 (0%)	7382.959 (-8.89%)	0.0955 (22.76%)	333.41 (-8.89%)
30	730.810 (15.88%)	192.85 (0%)	6873.328 (-15.17%)	0.1063 (36.62%)	310.39 (-15.18%)

ماخذ: یافته‌های تحقیق. اعداد داخل پرانتز درصد تغییرات نسبت به حالت پایه (ردیف صفر) را نشان می‌دهند.
Source: Research Findings. The numbers in parentheses indicate the percentage changes relative to the baseline condition (row zero).

میانگین سود ناخالص در شرایط پایه برابر با ۶۳۰/۵۴۴ میلیون ریال در هکتار است. با افزایش ۱۰ درصدی راندمان آبیاری، این مقدار به ۶۷۳/۷۳۸ میلیون ریال می‌رسد که رشد ۶/۸۶ درصدی را نشان می‌دهد. با مقایسه میزان سود در سایر سناریوهای مورد بررسی نسبت به حالت پایه، مشاهده می‌شود که در سناریوهای ۲۰ و ۳۰ درصدی راندمان آبیاری، به‌ترتیب حدود ۱۱/۸۳ و ۱۵/۸۸ درصد افزایش می‌یابد. این افزایش سود هم ناشی از کاهش نیاز به آبیاری و در نتیجه امکان استفاده از آب برای تولید بیشتر است و هم این که با کاهش آب آبیاری، هزینه آب نیز کم می‌شود که افزایش سود در هر هکتار را نیز به‌دنبال دارد و نهایتاً منجر به افزایش سود الگوی کشت شده است. بر اساس نتایج، با افزایش راندمان آبیاری، سود افزایش می‌یابد ولی شیب آن کاهشی است. به‌عبارت دیگر، اگرچه بهبود راندمان آبیاری در همه سطوح منجر به افزایش سود می‌شود اما بازده نزولی در اثرگذاری آن مشاهده می‌گردد. با افزایش راندمان، محدودیت آب به‌تدریج کمتر فعال می‌شود و کشاورزان به ترکیبی از محصولات نزدیک می‌شوند که مطلوبیت کل آن‌ها را بیشینه می‌کند. در سطوح بالاتر بهبود راندمان، بخش عمده‌ای از پتانسیل افزایش سود محقق شده است و افزایش بیشتر راندمان، اثر حاشیه‌ای کمتری بر سود دارد. یکی از معیارهای دیگر لحاظ‌شده در مدل مورد استفاده، ریسک است که از شاخص واریانس الگوی کشت استفاده شده است و برای تفسیر بهتر نتایج، انحراف معیار در جدول ارائه شده است. همان گونه که ملاحظه می‌شود، با افزایش راندمان آبیاری، میزان انحراف معیار الگو ثابت مانده است. یعنی با وجود این که الگوی کشت تغییر کرده است اما ریسک ثابت مانده است. این نتیجه به این دلیل است که با بهبود راندمان آبیاری، میزان سود افزایش یافته است و طبق مسائل مدیریتی، سود بیشتر منجر به ریسک بیشتر می‌شود. به‌عبارتی، اگر معیار حداقل‌سازی ریسک در نظر گرفته نشده بود، انتظار بر این بود که ریسک هم افزایش یابد. اما با توجه به این که این معیار وزنی در حدود ۰/۲۷ را نیز به‌خود اختصاص داده است، لذا الگوی کشت به سمتی رفته است که با وجود افزایش سود، با افزایش ریسک مواجه نشود و سود آن در نهایت ثابت مانده است.

میانگین مصرف آب در هکتار از ۸۱۰۳/۶۶۴ مترمکعب در شرایط پایه به ۷۶۷۲/۵۳۶ مترمکعب در سناریوی ۱۰ درصد کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده کاهش ۵/۳۳ درصدی نسبت به شرایط پایه است. در سناریوی ۲۰ درصد، این مقدار به ۷۳۸۲/۹۵۹ مترمکعب می‌رسد که کاهش ۸/۸۹ درصدی نسبت به شرایط پایه را نشان می‌دهد. در نهایت در سناریوی ۳۰ درصد، به ۶۸۷۳/۳۲۸ مترمکعب کاهش می‌یابد که ۱۵/۱۷ درصد کمتر از شرایط پایه است. روند کاهش مصرف آب در هکتار تقریبا یکنواخت است و نشان می‌دهد که بهبود راندمان آبیاری مستقیما نیاز آبی در هکتار را کاهش می‌دهد. این کاهش، هم‌افزایی دو عامل است زیرا حتی با حرکت الگوی کشت به‌سمت محصولات آب‌برتر مانند برنج پر محصول و سویا، بهبود راندمان توانسته است مصرف آب در هکتار را به‌طور مستمر کاهش دهد. نکته قابل توجه این است که کاهش

[Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.66224/efs.2026.94]

مصرف آب در سناریوی ۱۰ درصد (۵/۳۳ درصد) بیشتر از کاهش در سناریوی ۲۰ درصد (۸/۸۹ درصد) است اما در سناریوی ۳۰ درصد دوباره شتاب می‌گیرد (۱۵/۱۷ درصد). این نوسان را می‌توان با تغییرات الگوی کشت توضیح داد. در سناریوی ۱۰ درصد، بخش عمده‌ای از کاهش مصرف آب ناشی از بهبود راندمان است، در حالی‌که در سناریوی ۲۰ درصد، تغییرات الگوی کشت به‌سمت محصولات آب‌برتر تا حدودی اثر کاهشی راندمان را خنثی می‌کند. اما در سناریوی ۳۰ درصد، حذف کامل کلزا و کاهش بیشتر گندم، منجر به کاهش بیشتر مصرف آب می‌شود.

بر اساس نتایج، بهره‌وری اقتصادی آب از ۰/۰۷۷۸ میلیون ریال بر مترمکعب در شرایط پایه به ۰/۰۸۷۸ در سناریوی ۱۰ درصد افزایش می‌یابد (رشد ۱۲/۸۵ درصدی). در سناریوی ۲۰ درصد، این مقدار به ۰/۰۹۵۵ می‌رسد (رشد ۸/۷۷ درصدی نسبت به سناریوی ۱۰ درصد) و در نهایت در سناریوی ۳۰ درصد، به ۰/۱۰۶۳ میلیون ریال بر مترمکعب افزایش می‌یابد (رشد ۱۱/۳۱ درصدی نسبت به سناریوی ۲۰ درصد). روند افزایشی بهره‌وری اقتصادی آب نشان می‌دهد که بهبود راندمان آبیاری، کارایی اقتصادی مصرف آب را بهبود می‌بخشد. این بهبود از دو مسیر حاصل می‌شود. نخست افزایش سود ناخالص به دلیل تغییر الگوی کشت به سمت محصولات پر سودتر، و دوم، کاهش مصرف آب در هکتار به‌دلیل بهبود راندمان. ترکیب این دو عامل، بهره‌وری اقتصادی آب را به‌طور مستمر افزایش می‌دهد. نکته قابل توجه این است که شیب رشد بهره‌وری اقتصادی آب در سناریوی ۲۰ درصد کمی کاهش می‌یابد (از ۱۲/۸۵ درصد به ۸/۷۷ درصد) اما در سناریوی ۳۰ درصد دوباره افزایش می‌یابد (به ۱۱/۳۱ درصد). این نوسان را می‌توان با تغییرات الگوی کشت در سناریوهای مختلف توضیح داد. در سناریوی ۲۰ درصد، بخش عمده‌ای از جابه‌جایی‌های الگوی کشت رخ داده است و بنابراین رشد بهره‌وری کندتر می‌شود. اما در سناریوی ۳۰ درصد، حذف کامل کلزا و کاهش بیشتر گندم، منجر به افزایش سهم محصولات با بهره‌وری بالاتر می‌شود و رشد بهره‌وری دوباره شتاب می‌گیرد.

با توجه به ثابت بودن سطح زیر کشت کل محصولات آبی منتخب (۴۵۱۵۹ هکتار)، مقدار کل آب مصرفی در هر سناریو با حاصل‌ضرب میانگین مصرف آب در هکتار (جدول ۴) در سطح کل برابر است. بر این اساس، مقدار کل آب مصرفی از ۳۶۵/۹۵ میلیون مترمکعب در شرایط پایه به ۳۱۰/۳۹ میلیون مترمکعب در سناریوی ۳۰ درصد کاهش می‌یابد که معادل ۱۵/۱۸ درصد کاهش است. این در حالی است که اگر ترکیب کشت ثابت می‌ماند، افزایش ۳۰ درصدی راندمان باید منجر به کاهش ۳۰ درصدی مصرف آب می‌شد. بنا بر این، بخش قابل توجهی از صرفه‌جویی آب ناشی از بهبود راندمان (حدود ۵۰ درصد) از طریق گسترش سطح زیر کشت محصولات آب‌بر مانند برنج پرمحصول و سویا جبران شده است. این نتیجه پدیده اثر بازگشتی را در مقیاس حوضه تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که سیاست‌های بهبود راندمان آبیاری بدون مدیریت همزمان الگوی کشت، نمی‌توانند به کاهش متناسب کل برداشت آب منجر شوند.

تحلیل همزمان متغیرهای ارائه شده در جدول (۴) نشان می‌دهد که بهبود راندمان آبیاری، یک اثر ترکیبی بر سیستم کشاورزی حوضه تجن دارد. سود افزایش می‌یابد، ریسک ثابت می‌ماند، میانگین مصرف آب در هکتار کاهش می‌یابد و بهره‌وری اقتصادی آب بهبود می‌یابد. از آنجا که وزن معیار سود بسیار بالاتر از وزن معیار ریسک است، مدل تمایل دارد تا الگوی کشتی را انتخاب کند که سود را بیشینه کند، حتی اگر این انتخاب منجر به تغییرات قابل توجه در ترکیب کشت شود. نتیجه این فرآیند، افزایش سود و بهره‌وری اقتصادی آب همراه با کاهش مصرف آب در هکتار است. نکته حائز اهمیت این است که در سناریوی ۳۰ درصد، بهره‌وری اقتصادی آب ۳۶/۶۲ درصد بیشتر از شرایط پایه است، در حالی‌که سود ناخالص تنها ۱۵/۸۸ درصد افزایش یافته است. این اختلاف نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از بهبود بهره‌وری اقتصادی آب ناشی از کاهش مصرف آب در هکتار است، نه فقط افزایش سود. به‌عبارت دیگر، بهبود راندمان آبیاری هم از طریق افزایش سود و هم از طریق کاهش مصرف آب، بهره‌وری اقتصادی آب را ارتقا می‌بخشد.

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان می‌دهند که بهبود راندمان آبیاری در حوضه تجن، فراتر از یک اقدام فنی صرف، به‌عنوان یک محرک اقتصادی عمل می‌کند که از طریق کاهش نیاز آبی در هکتار، قید محدودکننده آب را تضعیف کرده است و فضای تصمیم‌گیری کشاورزان را به‌سمت انتخاب محصولات پرسودتر و آب‌برتر سوق می‌دهد. این فرآیند اگرچه به افزایش سود ناخالص، کاهش مصرف آب در هکتار و ارتقای بهره‌وری اقتصادی آب منجر شده است اما هم‌زمان با افزایش سطح زیر کشت محصولات آب‌بر، مانند برنج پر محصول و سویا، پدیده اثر بازگشتی را نمایان می‌سازد، به‌گونه‌ای که بخشی از صرفه‌جویی آب ناشی از بهبود راندمان، از طریق گسترش کشت محصولات پر مصرف جبران می‌شود. این یافته حاوی یک پیام سیاستی مهم است. سیاست‌های بهبود راندمان آبیاری، در صورتی که با مدیریت هم‌زمان الگوی کشت و سطح زیر کشت همراه نباشند، نمی‌توانند به‌تنهایی به کاهش مصرف کل آب در سطح حوضه منجر شوند و حتی ممکن است با تشویق کشت محصولات آب‌برتر، فشار بر منابع آب را در بلند مدت افزایش دهند. از این رو برای دستیابی به مدیریت پایدار منابع آب در حوضه تجن، لازم است تا بسته‌ای ترکیبی از سیاست‌ها اجرا شود تا هم سود کشاورزان و هم پایداری منابع آب به‌طور همزمان تضمین گردند.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به محدودیت روزافزون منابع آب و سهم بالای بخش کشاورزی در مصارف آبی، یافتن راهکارهایی برای تعادل‌بخشی بین تولید محصول و حفظ منابع حیاتی، از اولویت‌های اصلی سیاست‌گذاری در این بخش محسوب می‌شود. در این میان، ارزیابی دقیق سیاست‌هایی مانند بهبود راندمان آبیاری و شناسایی عوامل مؤثر بر اثربخشی آن‌ها، برای دستیابی به مدیریت بهینه تقاضا و ارتقای بهره‌وری آب، امری ضروری و اجتناب ناپذیر است. از آنجا که بهبود راندمان آبیاری

[Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.66224/efs.2026.94]

می‌تواند از یک سو نیاز آبی در هکتار را کاهش دهد و از سوی دیگر با تغییر انگیزه‌های اقتصادی کشاورزان، الگوی کشت و سطح زیر کشت را تحت تأثیر قرار دهد، بررسی همزمان این اثرات در قالب یک چارچوب تصمیم‌گیری چند معیاره که سود و ریسک کشاورزان را در نظر بگیرد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این موضوع به‌ویژه در حوضه تجن که با تنش آبی، افت سطح آبخوان و غلبه کشت محصولات آب‌بر مانند برنج مواجه است، بیش از پیش احساس می‌شود. بنا بر این، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر بهبود راندمان آبیاری بر الگوی کشت و بهره‌وری اقتصادی آب در حوضه تجن انجام شد. برای این منظور، از مدل برنامه‌ریزی مطلوبیت چندمعیاره مثبت (PMAUP) استفاده گردید که امکان لحاظ کردن همزمان دو معیار سود ناخالص مورد انتظار و اجتناب از ریسک را در تصمیم‌گیری کشاورزان فراهم می‌آورد. در ابتدا، کالیبراسیون مدل با استفاده از داده‌های سطح زیر کشت، عملکرد، قیمت‌ها و هزینه‌های تولید سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱، وزن معیارهای سود و ریسک استخراج شد که نشان‌دهنده اهمیت بسیار بالاتر سود در مقایسه با اجتناب از ریسک در تصمیم‌گیری کشاورزان منطقه است. سپس، اثر افزایش راندمان آبیاری در قالب سناریوهای ۱۰ تا ۳۰ درصد بر ترکیب الگوی کشت، سود ناخالص، میانگین مصرف آب در هکتار و بهره‌وری اقتصادی آب بررسی شد.

نتایج نشان می‌دهند که بهبود راندمان آبیاری، تغییرات قابل توجهی را در الگوی کشت منطقه ایجاد می‌کند. در شرایط پایه، برنج مرغوب با سهم ۴۵/۶ درصد از اراضی آبی، محصول غالب منطقه بود. با افزایش ۱۰ درصدی راندمان، سطح زیر کشت برنج مرغوب به ۳۴/۲ درصد کاهش یافت و در عوضف برنج پرمحصول به ۳۸/۸ درصد و سویا به ۹/۵ درصد افزایش یافتند. در سناریوی ۲۰ درصد، برنج پرمحصول با سهم ۴۵/۶ درصدی جای برنج مرغوب را به عنوان محصول غالب گرفت و سویا به ۲۲/۱ درصد رسید. در نهایت، در سناریوی ۳۰ درصد، الگوی کشت به گونه‌ای تغییر کرد که در آن برنج پرمحصول با ۴۶/۵ درصد، سویا با ۲۴/۷ درصد و برنج مرغوب با ۲۶/۶ درصد، سه محصول اصلی را تشکیل دادند و گندم و کلزا تقریباً از الگوی کشت حذف شدند. این تغییرات نشان می‌دهند که با افزایش راندمان آبیاری و در نتیجه کاهش محدودیت آب، سود ناخالص نقش بیشتری در تصمیم‌گیری کشاورزان پیدا می‌کند و محصولات کم‌سودتر از سبد کشت حذف می‌شوند. از منظر شاخص‌های اقتصادی و بهره‌وری، سود ناخالص در سناریوی ۳۰ درصد با رشد ۱۵/۸۸ درصدی نسبت به شرایط پایه به ۷۳۰/۸۱۰ میلیون ریال در هکتار رسید. میانگین مصرف آب در هکتار با کاهش ۱۵/۱۷ درصدی به ۶۸۷۳/۳۲۸ مترمکعب رسید و بهره‌وری اقتصادی آب با رشد ۳۶/۶۲ درصدی به ۰/۱۰۶۳ میلیون ریال بر مترمکعب افزایش یافت. نکته قابل توجه این است که کاهش مصرف آب در هکتار با افزایش سود همراه بود و بهبود راندمان آبیاری، شاخص‌های بهره‌وری درون‌مزرعه‌ای را بهبود بخشید. با این حال، افزایش سطح زیر کشت محصولات آب‌بر، مانند برنج پرمحصول و سویا، پدیده اثر بازگشتی را نمایان ساخت، به‌گونه‌ای که بخشی از صرفه‌جویی آب ناشی از بهبود راندمان، از طریق گسترش کشت محصولات پرمصرف جبران شد.

مقایسه نتایج این پژوهش با مطالعات پیشین نشان می‌دهد که یافته‌های آن با نتایج صحابی و همکاران (Sahabifard *et al*., 2024) در حوضه تجن هم‌راستا هستند، به‌گونه‌ای که بهینه‌سازی تخصیص آب در آن مطالعه نیز به افزایش بهره‌وری آب برای محصولات مختلف از جمله برنج (۴۷ درصد) منجر شد. همچنین، نتایج این پژوهش با یافته‌های میرزازاده و همکاران (Mirzadeh *et al*., 2025) که افزایش ۳۰/۷۵ درصدی سود ناخالص در نتیجه اجرای آبیاری قطره‌ای را گزارش کردند، هم‌سو هستند. شعبانی و همکاران (Shaabani *et al*., 2022) نیز به پدیده اثر بازگشتی اشاره کردند و نشان دادند که افزایش راندمان آبیاری در منطقه موجب افزایش ۱۰ درصدی سطح زیر کشت شد و عدم کاهش برداشت آب از آبخوان را به دنبال داشت که این یافته با نتایج پژوهش حاضر مبنی بر افزایش سطح زیر کشت محصولات آب‌برتر هم‌خوانی دارد. در سطح بین‌المللی، نتایج این مطالعه با یافته‌های جات و همکاران (Jat *et al*., 2019) که افزایش ۱۴۵ درصدی بهره‌وری آب آبیاری در سیستم قطره‌ای برنج-گندم را گزارش کردند و اکبر و همکاران (Akbar *et al*., 2023) که کاهش ۲۵ تا ۳۰ درصدی مصرف آب در روش آبیاری متناوب خشک و تر را نشان دادند، هم‌راستا هستند. با این حال، نکته متمایز پژوهش حاضر، تحلیل همزمان الگوی کشت، سود، ریسک و بهره‌وری اقتصادی آب در قالب یک چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در مطالعات پیشین کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

بر اساس یافته‌های این پژوهش، پیشنهاد می‌شود که سیاست‌گذاران و مدیران منابع آب، سرمایه‌گذاری در بهبود راندمان آبیاری را با اولویت سطوح ۱۰ تا ۲۰ درصد دنبال کنند زیرا بازده اقتصادی این سطوح بالاتر از سطوح بالاتر است و می‌تواند با هزینه کمتر، سود قابل توجهی را برای کشاورزان ایجاد کند. از آنجا که بهبود راندمان آبیاری به‌تنهایی نمی‌تواند به کاهش مصرف کل آب در سطح حوضه منجر شود، لازم است تا این سیاست‌ها با مدیریت همزمان الگوی کشت و سطح زیر کشت همراه باشند. برای این منظور، می‌توان از ابزارهای اقتصادی مانند قیمت‌گذاری آب، پرداخت‌های جبرانی برای کشت محصولات کم‌آب‌بر و سهمیه‌بندی آب استفاده کرد تا انگیزه کشاورزان به‌سمت انتخاب محصولات با بهره‌وری اقتصادی بالاتر و نیاز آبی کمتر هدایت شود. با توجه به حذف تدریجی گندم و کلزا از الگوی کشت در سناریوهای بالاتر، لازم است تا سیاست‌های حمایتی ویژه‌ای برای حفظ تولید این محصولات استراتژیک در منطقه طراحی شود تا امنیت غذایی و تنوع تولید کشاورزی حفظ گردد. این سیاست‌ها می‌توانند شامل قیمت‌گذاری تضمینی، بیمه محصولات و ارائه تسهیلات ویژه برای کشت این محصولات باشند. همچنین، تشویق کشاورزان به کشت سویا به‌جای بخشی از اراضی برنج مرغوب می‌تواند ضمن کاهش مصرف آب، سود کشاورزان را نیز حفظ کند زیرا سویا با نیاز آبی متوسط و سود ناخالص مناسب، گزینه‌ای مناسب برای جایگزینی بخشی از اراضی برنج مرغوب

[Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.66224/efs.2026.94]

محسوب می‌شود. در نهایت، برای پایش و ارزیابی مستمر اثر سیاست‌های بهبود راندمان بر مصرف کل آب در سطح حوضه، لازم است تا سامانه‌هایی برای جمع‌آوری داده‌های به‌روز از سطح زیر کشت، مصرف آب و بهره‌وری اقتصادی آب در منطقه تجن ایجاد شوند تا امکان اصلاح و تنظیم سیاست‌ها در زمان مناسب فراهم گردد. پژوهش‌های آینده نیز می‌توانند به بررسی اثر ترکیبی سیاست‌های بهبود راندمان آبیاری و مدیریت الگوی کشت بر مصرف کل آب در سطح حوضه بپردازند و اثر تغییرات اقلیمی و نوسانات قیمت محصولات بر الگوی کشت بهینه و بهره‌وری اقتصادی آب را مورد مطالعه قرار دهند.

References

Akbar, G., Hameed, S., & Islam, Z. (2023). Assessing water productivity and energy use for irrigating rice in Pakistan. *Irrigation and Drainage*, 72(2), 478-486. doi.org:10.1002/ird.2772

Amami, H. E., Domínguez, A., Muanda, C., Martínez-Romero, Á., Martínez-López, J. A., Dalezios, N. R., Dercas, N., Faraslis, I., Spiliotopoulos, M., & Kompany, J. R. (2026). The Impact of Scientific Irrigation Scheduling on Water Use Efficiency, Energy Productivity and Economic Profitability: Analysis at the Farm Level in Tunisia. *Water*, 18(6), 65 doi.org/10.3390/w18060655.

Bagheri, A., & Nourikhah, F. (2023). Estimation of conveyance and distribution efficiency in Tajan irrigation and drainage network and providing a solution to reduce water losses. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 17(1), 68–76. doi.org/20.1001.1.20087942.1402.17.1.6.0 [In Persian]

Boundi, A., Yacine, Z., Lahyane, S., Elhabty, M., Mouradi, A., & Saaf, M. (2017). Efficiency of Usual Irrigation Systems and Water Productivity for Crops in Mediterranean and Semi-Arid Climates with Reduce Hydric Requirements. *Arabian Journal of Chemical and Environmental Research*, 4, 107-126.

Ebrahimi Rad, H., Babazadeh, H., Amiri, E., & Sedghi, H. (2017). Effect of irrigation management and planting density on yield and water productivity of rice (*Hashemi cultivar*). *Journal of Water Research in Agriculture*, 31(4), 625-636. doi.org/10.22092/jwra.2018.115722 [In Persian]

Ehsani Kolikand, S., Nazari, B., Hadi, R. E., & Sotoodehnia, A. (2023). Optimization Cropping Patterns in Agriculture Wells with Monthly and yearly Water Volume restrictions (case study: Qazvin plain). *Water Management in Agriculture*, 9(2), 31-44 . doi.org/20.1001.1.24764531.1401.9.2.3.6 [In Persian]

Gutierrez-Martin, C., & Gomez, C. G. (2011). Assessing irrigation efficiency improvements by using a preference revelation model. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(4), 1009-1020. doi.org/10.5424/sjar/20110904-514-10.

Jat, H. S., Sharma, P. C., Datta, A., Choudhary, M., Kakraliya, S., Yadvinder-Singh, S. H., Gerard, B., & Jat, M. (2019). Re-designing irrigated intensive cereal systems through bundling precision agronomic innovations for transitioning towards agricultural sustainability in North-West India. *Sci Rep,* 9, 17929. doi.org/10.1038/s41598-019-54086-1

Kashkaki ,Z., Monem, M. J., & Nikbakhsh, E. (2025). Multiobjective optimization framework for irrigation scheduling under uncertainty. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 151(5), 04025029. doi.org/10.1061/JIDEDH.IRENG-10451 [In Persian]

Mirzadeh, M. H., Zare Mehrjerdi, M., Mirzaei, H. R., & Dehghani, A. (2025). Investigation of farmers cropping pattern under reduced available water conditions and drip irrigation systems in drought conditions (Case study Orzuiye region). *Journal of Agricultural Meteorology*, 13(1), 22-33. doi.org/10.22125/agmj.2023.402844.1154 [In Persian]

Mohiuddin, M., Hosseini, E., Tajpour, M., & Bahman-Zangi, B. (2024). Internet of Thing (IOT) Based Sensor Technologies and Smart Irrigation System: An Analysis of Critical Success Factors in Emerging Markets. *The Journal of Developing Areas*, 58(4), 167-188. doi.org/10.1353/jda.2024.a931321

Nazari, B., Liaghat, A., & Parsinejad, M. (2021). Investigation of Irrigation Systems Development, Cropping Pattern Scenarios, and Deficit Irrigation on Water Productivity in Qazvin Irrigation Network by Systems Dynamics. *Irrigation Sciences and Engineering*, 44(4), 93-108. doi.org/20.1001.1.25885952.1400.44.4.7.0 [In Persian]

Salehi Rezaabadi, F. S., Salarpour, M., Najafabadi, M. M., & Ziaei, S. (2019). Economic impact assessment of quantity and quality changes in irrigation water on agriculture in Kerman province. *Journal of Economics and Agriculture Development,* 33(4), 395-412. doi.org/10.22067/jead2.v33i4.84119 [In Persian]

Sahabifard, F. Z., Shahnazari, A., & Sadeghi, S. (2024). Increasing the productivity of agricultural water under the optimization scenario of water resource allocation using the algorithm (NSGA-II). *Water and Irrigation Management*, 14(2), 405-419. doi.org/10.22059/jwim.2024.369097.1122. [In Persian]

Sapino, F., Pérez-Blanco, C. D., Gutiérrez-Martín, C., García-Prats, A., & Pulido-Velazquez, M. (2022). Influence of crop-water production functions on the expected performance of water pricing policies in irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*, 259, 107248. doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107248

Seyedzadeh, A., Khazaee, P., Siosemardeh, A., & Maroufpoor, E. (2022). Irrigation management evaluation of multiple irrigation methods using performance indicators. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 28(3), 303-312. DOI: 10.1080/09715010.2021.1891470 [In Persian]

[Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.66224/efs.2026.94]

Shaabani, M. K., Abedi-Koupai, J., Eslamian, S. S., & Gohari, S. (2022). The effect of changing the cultivation pattern and improving the efficiency of irrigation systems on reducing the withdrawal of groundwater resources under climate change scenarios (Case study: Kavar Plain). *Irrigation Sciences and Engineering,* 46(1), 47-63. doi.org 10.22055/jise.2022.38791.1994 [In Persian]

Yang, G., Xia, S., Huo, L „Li, M., Zhang, C., Su, Y., & Guo, D. (2023). Two-stage multiobjective decision-making method based on agricultural water-energy-food nexus: Case study in Hetao irrigation district, China. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 149(8), 05023006. doi.org/10.1061/JWRMD5.WRENG-5856

[Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.66224/efs.2026.94]