Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 48, No. 1, Spring 2025, p. 39-57

Research Paper

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Assessing the Economic Efficiency of Water Distribution in the Agricultural Sector through Crop Pattern Modification (Case Study: Qazvin Plain Irrigation Network)

H. Mazandarani Zadeh[1*] and S. M. Hosseini[2]

1- Corresponding Author, Associated professor, Department of Water Science and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. (mazandaranizadeh@eng.ikiu.ac.ir)*

2- PhD sudent in Water Resources Engineering, Department of Water Science and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 12 March 2023
Revised: 13 July 2023
Accepted: 15 July 2023

Keywords:
Productivity, Farmers' income, Water price, Water resource management.

TO CITE THIS ARTICLE:

Mazandarani zadeh, H., Hosseini, S. M. (2025). 'Assessing the Economic Efficiency of Water Distribution in the Agricultural Sector through Crop Pattern Modification (Case Study: Qazvin Plain Irrigation Network)', Irrigation Sciences and Engineering, 48(1), pp. 39-57. doi: 10.22055/jise.2023.43268.2061.

Introduction

There are various methods to enhance water productivity, including the utilization of management tools such as water pricing policies. However, the lack of proper pricing of agricultural water and the absence of real water prices for beneficiaries have resulted in water being considered a low-value commodity that beneficiaries use without proper consideration or management (Kazem Attar et al., 2020**)**. The widening gap between water supply and demand in the future highlights the need for serious attention to the fundamentals of economic planning of water resources and its optimal allocation, along with proper management of water resources. In Qazvin plain, the agricultural sector bears a significant burden of job creation, and many people rely on it for their livelihoods. Effective water resources management should not only meet the long-term needs of stakeholders but also preserve groundwater resources. However, it is important to consider whether farmers in all regions can afford to pay the actual price of water, and if the cropping pattern of different regions should affect water pricing. Therefore, the aim of this study was to determine the real price of water by calculating its cost and evaluating farmers' income with the current water cultivation and distribution patterns in case of water supply at actual prices. The study also investigated the impact of two optimization models, including A- optimization of cropping pattern and B- simultaneous optimization of cropping pattern and water distribution on farmers' income when the water supply is at the actual price in the Qazvin plain irrigation network. Finding answers to these questions is a critical step in achieving economic efficiency in water consumption within the framework of integrated water resources management.

Materials and Methods

Calculate the cost of water

The study employed the engineering economy approach to calculate the cost of each cubic meter of water. This approach considers all capital costs, operation and maintenance expenses of facilities, and other relevant costs throughout the entire lifespan of the project. By creating a cash flow table of

costs, the total cost of water is calculated using this method of engineering economics (Tahamipour Zarandi and Yazdani, 2016).

Yield function

To estimate the quantity of product produced based on the volume of water consumed, the water-production relationship presented by Rao et al. (Rao et al., 1988) was employed. According to equation (1), the yield function of crops during various growth periods has a linear correlation with the volume of water consumed.

$$\frac{Ya}{Ym} = \prod_{i=1}^{n} [1 - Ky_i(1 - \frac{AET_i}{PET_i})] \quad (1)$$

where Ya is the actual yield in tons per hectare, Ym is the potential yield in tons per hectare, Kyi is the coefficient of sensitivity of the crop to water deficit during the i-th growth period, AETi is the amount of water given to the plant (evaporation or actual transpiration) during the i-th growth period in cubic meters, PETi is the water requirement of the plant (potential evapotranspiration) during the i-th growth period in cubic meters, and n is the number of growth periods for each plant.

Productivity

There are different types and numbers of productivity indicators depending on different perspectives. In this study, the financial index of water efficiency was used, which is in line with the main objective. This index is the ratio of net income per unit of water volume, also known as Net Benefit Per Drop.

Results and Discussion

The estimated price of each cubic meter of water using economic and engineering relations was 8,595 rials. In the current situation (water supply at the price of 940 Rials), the Qazvin Plain irrigation network's income is approximately 89 billion Tomans. However, if each cubic meter of water is supplied at the price of 8,595 Rials, the current model of water cultivation and distribution not only fails to generate income for farmers but also causes them harm. Through the optimization of the cultivation pattern, the income of the Qazvin Plain irrigation network can increase to about 101 billion Tomans. Simultaneously optimizing the cultivation pattern and water distribution can lead to an income of approximately 233 billion Tomans. The Net Benefit Per Drop (NPBD) increases by an average of 40% by optimizing the cultivation pattern and by an average of 389.6% by simultaneously optimizing the cultivation and water distribution pattern compared to the current situation where each cubic meter of water is supplied at 940 Rials. However, in the case of supplying each cubic meter of water at the price of 8,595 Rials and not changing the cultivation and water distribution pattern, the average NPBD will decrease by 289.4% compared to the current situation. By optimizing the cultivation pattern, it is found that with the increase in water price and decrease in gross profit, the model tends to cultivate crops that have higher yield and less sensitivity to water stress. According to this, sugar beet and potato are the most suitable crops for cultivation in the Qazvin Plain irrigation network. Although other crops, such as wheat and barley, have low sensitivity to water stress, their low yield and subsequent decline in the irrigation network's income make them less desirable for cultivation.

Result

The price of water is one of the important economic variables that can play a significant role in the optimal use of water resources in the agricultural sector. By implementing water pricing policies, the final cost of production increases, and it becomes essential to select a crop combination that yields higher benefits per unit of water. This study focuses on estimating the total cost of each cubic meter of water using engineering-economic relationships and its impact on the economy of farmers under

two optimization models: optimizing the cropping pattern and simultaneously optimizing the cropping pattern and water distribution. The total cost of each cubic meter of water was estimated at 8,595 rials, and the results showed that the current cropping pattern is not suitable if the price of water increases. However, by optimizing the cropping pattern and simultaneously optimizing the cropping pattern and water distribution, it is possible to achieve an income approximately 14.7% and 162.7% higher than the current situation where the price of each cubic meter of water is 940 rials, respectively.

Acknowledgments

The Qazvin Regional Water Company expresses its utmost gratitude and appreciation to the Agricultural Jihad Organization, which has cooperated in carrying out this research.

Reference

1- Kazem Attar, H., Noory, H. and Ebrahimian, H., 2020. Effect of water pricing on persuading farmers to use modern irrigation systems and increasing the economic productivity of irrigation water (Case study: Qazvin Plain Irrigation Network). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *14*(2), pp.616-625. (In Persian)

2- Rao, N.H., Sarma, P.B.S. and Chander, S., 1988. A simple dated water-production function for use in irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*, *13*(1), pp.25-32.

3- Tahamipour zarandi, M, and Yazdani, S., 2016. The Role of Economic Instruments in IWRM: The Case Study of Irrigation Water Pricing in Western Basins of Iran. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, *47*(3), pp.545-556. (In Persian)

© 2025 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۸، شماره‌ی ۱، بهار ۱۴۰۴، مقاله پژوهشی، ص. ۵۷-۳۹

بررسی بازده اقتصادی توزیع آب بر مبنای قیمت تمام شده آب در بخش کشاورزی با استفاده از اصلاح الگوی کشت (مطالعه موردی: شبکه آبیاری دشت قزوین)

حامد مازندرانی زاده[1*] و سیده مرضیه حسینی[2]

۱*- نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران (mazandaranizadeh@eng.ikiu.ac.ir)

۲- دانشجو دکتری مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۱ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۲۲ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۴

چکیده

یکی از راهکارهای مدیریت منابع آب در اقتصاد کشاورزی، قیمت‌گذاری صحیح آب است. تغییر قیمت آب بر معیشت کشاورزان اثرگذار است؛ لذاتغییر قیمت آب باید به گونه‌ای باشد که تأمین معیشت کشاورزان در آن لحاظ شده باشد. در این پژوهش به بررسی اثر عرضه آب با قیمت واقعی بر درآمد کشاورزان در شبکه آبیاری دشت قزوین در سال ۱۳۹۸ پرداخته شد. بدین منظور از اطلاعات موجود شامل هزینه‌های احداث شبکه، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری استفاده شد و قیمت تمام شده هر متر مکعب آب با استفاده از روش‌های اقتصاد مهندسی ۸۵۹۵ ریال در شبکه آبیاری دشت قزوین برآورد گردید و در ادامه، ارائه دو مدل بهینه-سازی الگوی کشت و بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب با بهره‌گیری از الگوریتم ژنتیک در دستور کار قرار گرفت. نتایج نشان داد قیمت فعلی آب بسیار پایین‌تر از بهای تمام شده آن بوده و در صورت عرضه آب به قیمت تمام شده، الگوی فعلی کشت و توزیع آب مناسب نیست و با بهینه‌سازی الگوی کشت متوسط شاخص بهره‌وری مالی از آب و درآمد شبکه به‌ترتیب حدود ٤٠ و ١٤/٧٠ درصد و با بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب متوسط شاخص بهره‌وری مالی از آب و درآمد شبکه به‌ترتیب حدود ٣٨٩/٦ و ١٦٢/٧درصد نسبت به وضعیت فعلی که قیمت هر متر مکعب آب ٩٤٠ ریال است افزایش می‌یابد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد بر خلاف تصور رایج، افزایش قیمت آب نه تنها می تواند منجر به حفظ ذخایر آب زیر زمینی شود بلکه حتی می‌تواند منجر به بهبود معیشت کشاورزان نیز شود.

کلید واژه‌ها: بهره‌وری، درآمد کشاورزان، قیمت آب، مدیریت منابع آب.

مقدمه

کشاورزی یکی از ارکان اساسی و زیربنایی اقتصاد کشور است که علاوه بر تأمین نیازهای غذایی، موجب کسب درآمد و ایجاد اشتغال برای بخش عمده‌ای از نیروی کار جامعه می‌شود (Badibarzin et al., 2019). بیشترین مصرف آب در بخش کشاورزی و آبیاری مزارع است که بیش از ۷۰ درصد و در برخی مناطق تا ۹۰ درصد از کل آب شیرین جهان را در بر می‌گیرد (Biniaz et al., 2021). با توجه به محدودیت منابع آب و اهمیت کشاورزی در اقتصاد کشور لازم است با اتخاذ تدابیر اصولی به راهکارهایی برای عبور از بحران پیش‌رو اندیشید.

در ایران در طی سال‌های گذشته به دلایل متعددی نظیر استحصال بی‌رویه و غیر منطقی از منابع آب موجود به ویژه آب‌های زیرزمینی، بروز مشکلاتی از قبیل خشکسالی و عدم رعایت حفاظت در بهره‌برداری از منابع آبی، برخی از منابع آبی کشور نابود شده و یا در معرض نابودی قرار گرفته‌اند. در این راستا به‌منظور جبران کمبود آب و افزایش تولید غذا، ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی در درجه اول اهمیت و اعتبار قرار دارد (Ghaderzadeh et al., 2017).

راهکارهای بسیاری برای بالا بردن بهره‌وری آب وجود دارد که می‌توان به بهره‌گیری از ابزارهای مدیریتی شامل سیاست‌های قیمت‌گذاری آب اشاره نمود. متأسفانه به‌دلیل عدم وجود قیمت‌گذاری صحیح آب کشاورزی و عدم پرداخت قیمت واقعی آب توسط بهره‌برداران، آب به مثابه کالای بی‌ارزشی محسوب می‌گردد که بهره‌برداران با هر روشی که ترجیح می‌دهند از آن بهره می‌جویند (Kazem Attar et al., 2020). بر این اساس، تداوم افزایش شکاف میان عرضه و تقاضای آب در آینده، توجه جدی به مبانی برنامه‌ریزی اقتصادی منابع آب و تخصیص بهینه آن را اجتناب ناپذیر کرده و مدیریت صحیح منابع آب را ضروری می‌سازد.

Balali و Kasbian Lal (2022) با بهره‌گیری از الگوی برنامه‌ریزی پویا با استفاده از نرم افزار GAMS در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ به ارزش‌گذاری اقتصادی منابع آب زیرزمینی در دشت همدان- بهار پرداختند. بر اساس نتایج تحقیق ارزش اقتصادی آب زیرزمینی به ازای هر متر مکعب آب در چهار ناحیه دشت همدان- بهار شامل منطقه همدان۳۵۴۳ ریال، منطقه لالجین ۴۵۳۸ ریال، منطقه بهار ۴۰۱۵ و منطقه صالح آباد ۳۶۹۰

ریال محاسبه گردید. همچنین بررسی و مقایسه ارزش اقتصادی برآورد شده با قیمت آب در نواحی مورد مطالعه نشان داد که ارزش اقتصادی محاسبه شده هر متر مکعب آب بیشتر از قیمت فعلی آب در منطقه است، به‌طوری‌که افزایش هزینه استفاده این نهاده از طریق ابزارهای مختلف سیاستی نظیر وضع قیمت آب می‌تواند نقش مؤثری در کنترل بهره‌برداری و تخلیه آبخوان داشته باشد.

Siasar و Salari (2022) با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات آشوبناک (Chaotic Particle Swarm Algorithm) به بهینه‌سازی الگوی کشت دشت سیستان با اهداف حداکثر سازی بازده اقتصادی، حداقل‌سازی مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب با اعمال کم آبیاری پرداختند. نتایج مدل بهینه‌سازی نشان داد الگوی کشت فعلی بهینه نبوده و با اجرای الگوی پیشنهادی مدل، سود حاصل به ازای واحد سطح زیر کشت افزایش خواهد یافت. نتایج کاربرد کم آبیاری طی دوره‌های مختلف رشد محصولات گندم، یونجه، سورگوم، هندوانه و انگور نشان داد که اعمال کم آبیاری‌ها در این دشت استراتژی مناسبی نبوده و تنها استراتژی آبیاری کامل توصیه می‌گردد. همچنین نتایج ارزیابی حساسیت مدل نیز نشان داد که در قیمت‌های پایین آب، کشاورزان واکنش کمتر و در قیمت‌های بالاتر، عکس‌العمل بیشتری به تغییر قیمت نشان داده و با افزایش قیمت آب، سود ناخالص کمتر و مدل بیشتر به سمت افزایش سطح زیر کشت محصولاتی تمایل دارد که با مصرف کمتر آب عملکرد بیشتری دارند. همچنین نتایج نشان داد که در دامنه قیمتی ۷۲۵- ،۰ ،۹۵۰- ،۷۵۰ ،۱۰۵۰- ،۱۰۰۰ و ۱۲۰۰- ۱۰۷۵ ریال تقاضای آب بی کشش است و در برنامه‌ریزی‌های مربوط به منابع آب منطقه بایستی مورد توجه قرار گیرد.

Shirzadi Laskookalayeh et al. (2018) به بررسی اثر سیاست قیمت‌گذاری آب آبیاری بر سطح تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز نیشابور با استفاده از مدل ترکیبی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت و روش پویایی سیستم پرداختند. نتایج نشان داد که اعمال سیاست قیمتی موجب کاهش سود ناخالص، کاهش مصرف آب و افزایش سطح آب زیرزمینی می‌شود.

Qu et al. (2022) در گانسو چین به بررسی افزایش قیمت آب کشاورزی و سیاست حمایتی یارانه پرداختند. در این مطالعه از مدل تعادل عمومی قابل محاسبه (Computable General Equilibrium) برای سیاست قیمت‌گذاری آب کشاورزی استفاده کردند. نتایج نشان داد که اصلاح قیمت‌گذاری آب موجب ارتقا حفظ آب و بهبود کارایی مصرف آب می‌شود. همچنین یارانه می‌تواند تأثیر منفی سیاست قیمت‌گذاری آب بر اقتصاد کشاورزی را کاهش دهد. Chu و Grafton (2020) به بررسی قیمت‌گذاری و ارزش افزوده آب در ویتنام پرداختند نتایج نشان داد قیمت‌گذاری آب می‌تواند استفاده از آب را تا ۸۴ درصد کاهش دهد البته این در حالی‌ست که سود کشاورز تا ۱۷ درصد کاهش پیدا خواهد کرد.

Sahin et al. (2018) با در نظر گرفتن این موضوع که قیمت‌گذاری و محدودیت استفاده از آب دو راهکار برای کاهش تقاضا هست، در یک مدل‌سازی مشارکتی روش محدود کردن در استفاده از آب و ساختار قیمت‌گذاری در سطوح مختلف در کوئیزلند استرالیا را با هم مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که ساختار قیمت‌گذاری نسبت به محدود کردن مصرف از سوی مصرف‌کنندگان مورد استقبال بیشتری قرار خواهد گرفت.

Zhou et al. (2015) در حوضه رودخانه حیه در شمال غرب چین به بررسی شدت تأثیر قیمت آب بر مدیریت منابع آب پرداختند. کشش قیمتی تقاضا آب کشاورزی بر اساس تابع تقاضای آب آبیاری برآورد شد. نتایج نشان داد که قیمت آب آبیاری کشاورزی از نظر آماری معنی‌دار است، اما کشش آن در قیمت‌های پایین خیلی کم است. همچنین واکنش کشاورزان به افزایش قیمت ضعیف است. برای ایجاد انگیزه برای حفظ آب و بهبود کارایی آبیاری، مکانیسم قیمت بایستی بر مبنای حقوق قابل اجرای آب، اندازه‌گیری سهمیه آب، اصلاح مراجع آب و نظرات تعاونی‌های آب‌بر همراه شود. افزون بر این، افزایش قیمت آب آبیاری ممکن است منجر به استخراج و استفاده بیش از حد آب‌های زیرزمینی شود. در نتیجه کاهش مجوز بهره‌برداری و وضع مالیات بر آب‌های زیرزمینی می‌تواند از کاهش بیشتر سطح آبخوان جلوگیری کند.

بررسی اثر سیاست قیمت‌گذاری آب بر تقاضای منابع آب کشاورزی کشور غنا نشان داد که چنانچه قیمت آب به مقداری زیاد افزایش یابد، سیاست قیمت‌گذاری آب تأثیر منفی بر تقاضای منابع آب در غنا دارد. اگر قیمت آب زیاد باشد تأثیر منفی بر فعالیت‌های کشت، درآمد کشاورزان، اشتغال و تنوع محصول دارد. از این رو به منظور حداقل سازی و کاهش تلفات پیشنهاد شد که اطلاع‌رسانی‌های لازم در زمینه کمبود آب به کشاورزان داده شود تا ضمن آگاهی یافتن از کمبود منابع آب نسبت به بکارگیری فناوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب، بهتر متقاعد شوند (Aidam, 2015).

بار بزرگی از ایجاد اشتغال در دشت قزوین بر عهده بخش کشاورزی قرار گرفته است و عده زیادی در این بخش مشغول به کار هستند. از طرفی دشت قزوین از جمله مناطقی از کشور است که با کمبود شدید آب مواجه است و وجود بیش از ۲۵۰۰ حلقه چاه غیرمجاز در استان با حجم برداشت ۳۵۰ میلیون متر مکعب باعث افت مستمر سطح آب زیرزمینی شده است که این موضوع آثار نامطلوبی از جمله کاهش شدید آبدهی چاه‌ها، خشک شدن قنات‌ها، شوری و کاهش کیفیت آب زیرزمینی، کاهش عملکرد محصولات کشاورزی، از بین رفتن کیفیت خاک، تحمیل هزینه‌های زیاد بر مالکان چاه‌های مجاز، ایجاد مشکل اساسی در تأمین آب شرب شهرها و روستاها و در نهایت فرونشست زمین را در پی داشته است (Hosseini and Mazandarani zadeh, 2021). بنابراین تداوم اشتغال این جمعیت، وابسته به مدیریت

DOI: 10.22055/jise.2023.43268.2061

صحیح منابع آب است. مدیریت منابع آب باید به گونه‌ای باشد که علاوه بر تأمین نیاز ذینفعان در دراز مدت، منابع آب زیرزمینی را هم حفظ نماید. در اکثر مطالعات انجام شده بر نقش افزایش قیمت آب بر بهبود مدیریت منابع آب تأکید شده است، اما این سوال مطرح است که آیا کشاورزان در همه مناطق توانایی پرداخت چنین قیمتی را دارند؟ آیا الگوی کشت مناطق مختلف نباید در قیمت‌گذاری دخالت داده شود؟ بنابراین، هدف مطالعه حاضر تعیین قیمت واقعی آب با محاسبه هزینه تمام شده آن و بررسی درآمد کشاورزان در وضعیت فعلی الگوی کشت و توزیع آب در صورت عرضه آب به قیمت واقعی و سپس بررسی تأثیر دو مدل بهینه‌سازی شامل الف- بهینه‌سازی الگوی کشت و ب- بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب بر درآمد کشاورزان در صورت عرضه آب به قیمت واقعی در شبکه آبیاری دشت قزوین است تا با یافتن پاسخ سوالات، گامی مؤثر در دستیابی به کارایی اقتصادی مصرف آب در چارچوب مدیریت یکپارچه منابع آب برداشته شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شبکه آبیاری دشت قزوین در فاصله ۱۵۰ کیلومتری غرب شهر تهران واقع شده است. هدف از احداث این شبکه انتقال آب طالقان از طریق سد انحرافی به دشت قزوین است. شبکه دارای ۱۲۰۰ کیلومتر کانال‌های درجه یک تا چهار و ۶۰ هزار هکتار اراضی خالص کشاورزی است. محدوده شبکه از روستای زیاران در شهرستان آبیک تا روستای کهک در شهرستان تاکستان ادامه دارد. شکل (۱) موقعیت این شبکه را نشان می‌دهد. اراضی موجود در شبکه بر اساس موقعیت به ۵۳۰ بخش تقسیم شده است که هر بخش تحت عنوان یک طرح است. هر طرح دارای یک یا چند نماینده است که سالانه توسط بهره‌برداران هر طرح مشخص می‌شوند و مسئول دریافت آب از کانال‌های درجه دو و توزیع آن بین بهره‌برداران هستند (Kazem Attar et al., 2020). نحوه توزیع آب در شبکه از ابتدای تأسیس، به‌صورت حجمی و بر اساس قراردادهای سه جانبه بین سازمان جهاد کشاورزی، شرکت آب منطقه‌ای و بهره‌برداران تحت عنوان طرح کشت بوده است. طرح کشت نشان‌دهنده‌ی میزان آب مورد نیاز هر طرح بر اساس ترکیب کشت موجود در طرح است که هر ساله توسط سازمان جهاد کشاورزی تهیه و به شرکت آب منطقه‌ای برای توزیع ابلاغ می‌گردد و ملاک توزیع آب در شبکه است. قیمت آب بها در شبکه هر ساله توسط شرکت آب منطقه‌ای و بر اساس قانون تثبیت آب بهای زراعی محاسبه و از کشاورزان دریافت می‌گردد. قانون آب بهای در سال ۱۳۶۹ توسط مجلس شورای اسلامی تصویب گردید. بر اساس این قانون متوسط آب بهای دریافتی از کشاورزان و زارعین با توجه به اولویت‌های تخفیف برای زراعت‌های استراتژیک شامل سه درصد، دو درصد و یک درصد ارزش محصول کاشته شده به‌ترتیب برای آب‌های تنظیم شده و شبکه‌های مدرن، آب‌های تنظیم شده و کانال‌های تلفیقی و آب‌های تنظیم شده و کانال‌های سنتی است. سال مورد مطالعه در این پژوهش ۱۳۹۸ است مقدار آب تخصیص یافته از سد طالقان به شبکه آبیاری دشت قزوین ۳۳۰/۷۵ میلیون مترمکعب و قیمت هر متر مکعب آب در این سال ۹۴۰ ریال (شبکه آبیاری مدرن) است. جدول (۱) الگوی توزیع آب تخصیص یافته از سد طالقان، جدول (۲) سطح زیر کشت هر بهره‌بردار و جدول (۳) هزینه عملیات کشاورزی بدون در نظر گرفتن هزینه خرید آب، عملکرد متوسط و قیمت فروش محصولات زراعی در شبکه آبیاری دشت قزوین را نشان می‌دهد.

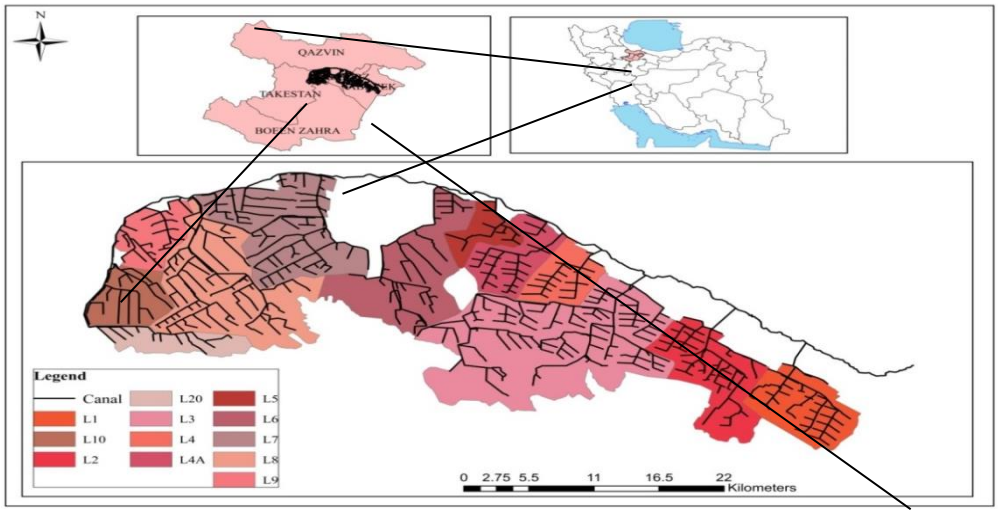


Fig1- Study area

شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- الگوی توزیع آب تخصیص‌یافته از سد طالقان به شبکه آبیاری دشت قزوین بر حسب هزار مترمکعب (شرکت آب منطقه‌ای قزوین)

Table 1- Water distribution pattern allocated from Taleghan Dam to Qazvin Plain irrigation network in thousand cubic meters (Qazvin Regional Water Company)

Month / Beneficiary	Far.	Ord.	Kho.	Tir	Mor.	Sha.	Meh.	Aba.	Aza.	sum
L1	78.8	175.4	66.0	870.3	36.5	23.7	353.8	1700.8	1564.4	4869.7
L2	8635.6	22051.6	16777.1	1.5	5527.4	1572.2	3014.2	2339.4	952.9	60871.8
L3	0.5	363.5	17328.9	2596.2	67.4	34.3	2426.5	5156.1	2023.6	29996.9
L4	42.8	10.0	171.0	2955.0	729.6	12.0	504.5	3439.6	1061.8	8926.4
L4A	8255.8	10062.2	8324.9	2864.3	2178.6	2395.2	1246.2	8181.6	3939.5	47448.3
L5	6855.2	8213.9	5263.3	1564.3	1224.3	1465.1	562.8	1503.2	1330.1	27982.2
L6	2188.1	21576.4	18289.1	793.6	1430.2	7.1	2020.9	5859.9	2264.8	54430.1
L7	33.3	193.2	189.8	2911.1	87.0	45.1	1454.2	4081.0	1598.0	10592.7
M2	32.3	262.4	589.6	1465.8	36.9	20.6	1189.3	5852.3	2087.6	11536.8
L8	3.0	157.1	107.6	1305.9	58.0	16.8	986.9	4751.4	1396.1	8782.7
MW	7978.5	19828.0	14565.0	163.1	6204.9	4830.5	2564.5	6639.1	2538.9	65312.4
Sum	34103.8	82893.6	81672.2	17491.0	17580.9	10422.6	16323.8	49504.3	20757.8	330750

DOI: 10.22055/jise.2023.43268.2061

جدول ۲- سطح زیر کشت محصولات بر حسب هکتار (سازمان جهاد کشاورزی قزوین)

Table 2- Crop area in hectares (Organization of Agricultural- Jihad Qazvin)

Beneficiary / Crop	L1	L2	L3	L4	L4A	L5	L6	L7	M2	L8	MW
Wheat	1972	2681	6296	1228	1151	1017	3671	2054	1174	3724	2111
Forage corn	296	20	295	104	25	36.7	73.5	0	0	88.5	20
Tomato	309	330.2	420	131.5	65.5	77.5	169.8	429.9	198	278.5	164
Alfalfa	406	496	859	278	136	149	395	192	116	967	517
Barley	67	136	775	190	188	72	682	327	263	974	505
Sugar beet	10	9.5	609	0	125	0	423	27.5	0	176	101
Potato	0	0	16	5	0	2	2	39.8	41.5	17	16
Maize	0	5.6	171	5	80	1.5	103	35	0	0	0
Sum	3060	3678.3	9441	1941.5	1770.5	1355.7	5519.3	3105.2	1792.5	6225	3434

جدول ۳- هزینه عملیات کشاورزی، عملکرد متوسط و قیمت فروش محصولات زراعی در شبکه آبیاری دشت قزوین در سال ۱۳۹۸ (سازمان جهاد کشاورزی قزوین و درگاه ملی آمار)

Table 3- The cost of agricultural operations, Average production potential and the sale price of crops in the Qazvin plain irrigation network in 2018 (Organization of Agricultural- Jihad Qazvin and Statistics Center of Iran)

Crop name	Cost of agricultural operations (Rials/ha)	Average production potential (ton/ha)	Average cost of agricultural operations per kilogram (Rials)	Sales price (Rial)
Wheat	55479768	5	11000.9	17094
Forage corn	46333758	58	798.9	3150.3
Tomato	138296418	75	1844.0	7040.4
Alfalfa	46933188	11.8	3977.4	16480
Barley	47284854	3.7	10507.7	19783.8
Sugar beet	112795488	52	2169.1	5217.3
Potato	149063720	27	5520.1	23689.4
Maize	53014914	9.9	5355.0	17816.9

محاسبه قیمت تمام شده آب

هزینه تمام شده آب از دو رهیافت کلی شامل رهیافت حسابداری و رهیافت اقتصاد مهندسی قابل محاسبه است. در رهیافت حسابداری، از فنون حسابداری صنعتی استفاده می‌شود. استهلاک سالانه دارایی‌ها به عنوان هزینه‌های سرمایه‌گذاری سالانه با هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری انجام شده جمع شده و حاصل بر مقدار محصول (آب) تقسیم می‌شود. در رهیافت اقتصاد مهندسی کلیه‌ی هزینه‌های سرمایه‌ای، بهره‌برداری و نگهداری تأسیسات و سایر هزینه‌ها در کل دوره عمر طرح محاسبه شده و با تشکیل جدول گردش نقدی هزینه‌ها، هزینه تمام شده آب محاسبه می‌شود. مهم‌ترین اختلاف دو رهیافت مذکور در ارزش زمانی پول است. در رهیافت حسابداری ارزش زمانی پول در محاسبات در نظر گرفته نمی‌شود (Tahamipour zarandi and Yazdani, 2016). به‌منظور محاسبه ارزش زمانی پول در این پژوهش از رهیافت اقتصاد مهندسی برای برآورد قیمت تمام شده آب استفاده شده است. هزینه‌های سالانه شرکت آب منطقه‌ای که شامل هزینه مرمت شبکه و حقوق کارشناسان مرتبط، هزینه‌های سالانه شرکت بهره‌برداری شبکه آبیاری دشت قزوین شامل هزینه مرمت جزئی شبکه، حقوق میراب‌ها، حقوق کارشناسان و هزینه دفاتر فروش آب و هزینه سالانه جهاد کشاورزی شامل هزینه مرتبط با بازنگری طرح‌های کشت و صدور طرح‌های کشت جدید و هزینه مرتبط به کارشناسان است. هزینه‌های سالانه شرکت آب منطقه‌ای، شرکت بهره‌برداری از شبکه آبیاری دشت قزوین و هزینه سالانه جهاد کشاورزی در سال ۱۳۹۸ و هزینه‌های سرمایه‌ای پروژه آبیاری احداث سد طالقان که مربوط به سال ۱۳۵۷ است که به‌ترتیب در جدول‌های (۴) و (۵) ارائه شده است.

با استفاده از اطلاعات جدول‌های (۴) و (۵) برای برآورد قیمت هر متر مکعب آب از روابط (۱) تا (۳) استفاده شد. سال ۱۳۹۸ به‌عنوان سال مبنا برای محاسبات اقتصادی انتخاب شد. با توجه به اینکه هزینه‌های ساخت شبکه مربوط به سال ۱۳۵۷ است؛ بنابراین با استفاده از رابطه (۱) به سال ۱۳۹۸ بازگردانده شد.

$$C = (1+i)^N \times F \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، C: هزینه‌های ساخت شبکه آبیاری دشت قزوین به قیمت سال مورد مطالعه (ریال)، F: هزینه اولیه ساخت به قیمت سال ۱۳۵۷ (ریال)، N: فاصله زمانی بین ساخت شبکه و زمان مطالعه و i: نرخ بهره که در این مطالعه ۱۸درصد معادل نرخ سود بلند مدت بانک‌ها (Central Bank of the Islamic Republic of Iran) در نظر گرفته شده است. سپس با استفاده از روابط (۲) و (۳) قیمت هر متر مکعب آب برآورد شد.

$$P = \frac{C \times A + M}{V} \qquad (۲)$$

$$A = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \qquad (۳)$$

در روابط (۲) و (۳)، P: قیمت هر متر مکعب آب (ریال)، M: هزینه بهره‌برداری و نگهداری (ریال)، V: حجم آب تأمین شده (متر مکعب)، A: عامل بازیافت سرمایه برای محاسبه معادل یکنواخت سالانه هزینه‌ها و n: عمر مفید پروژه است که برای شبکه آبیاری دشت قزوین در این پژوهش ۵۰ سال در نظر گرفته شده است (Mansouri and Ghiasi, 2002).

تابع عملکرد

برای برآورد مقدار محصول تولیدشده بر اساس مقدار آب مصرفی، از رابطه آب_تولید ارائه شده توسط Rao et al. (1988) استفاده شده است. بر اساس رابطه (۴)، تابع عملکرد محصولات زراعی در دوره‌های مختلف رشد رابطه خطی با میزان آب مصرفی دارد.

$$\frac{Ya}{Ym} = \prod_{i=1}^{n} [1 - Ky_i(1 - \frac{AET_i}{PET_i})] \qquad (۴)$$

که در آن، Ya: عملکرد واقعی بر حسب تن بر هکتار، Ym: عملکرد پتانسیل بر حسب تن بر هکتار، Ky_i: ضریب حساسیت محصول نسبت به کم‌آبی در دوره رشد i ام، AET_i: مقدار آب داده شده به گیاه (تبخیر تعرق واقعی) در دوره رشد i ام بر حسب مترمکعب، PET_i: نیاز آبی گیاه (تبخیر تعرق پتانسیل) در دوره رشد i ام بر حسب مترمکعب و n: تعداد دوره‌های رشد برای هر گیاه است. عملکرد پتانسیل مطابق جدول (۶) است.

هر گیاه را باید به اندازه‌ای آبیاری نمود (نیاز آبیاری) که تبخیر و تعرق گیاه (نیاز آبی) تأمین شود. این نیاز آبیاری، علاوه بر تبخیر تعرق از بارش مؤثر نیز اثر می‌پذیرد؛ زیرا بخشی از نیاز آبی (تبخیر تعرق) می‌تواند با بارش تأمین گردد. نیاز آبی گیاه (PET) با استفاده از روابط (۵) تا (۷) برآورد شد.

$$dn = ET - P_e \qquad (۵)$$

$$ET = dn + P_e \qquad (۶)$$

$$PET_i = ET \times A \qquad (۷)$$

DOI: 10.22055/jise.2023.43268.2061

در رابطه (۵) و (۶)، ET: تبخیر و تعرق (میلی‌متر بر ماه)، dn: عمق خالص آبیاری (میلی‌متر بر ماه) و P_e: بارش مؤثر (میلی‌متر بر ماه) است که با استفاده از نرم‌افزار نت‌وات برای محصولات زراعی دشت قزوین به ترتیب مطابق جدول‌های (۷) و (۸) برآورد شده است. در رابطه (۷) منظور از A سطح زیر کشت محصول است.

جدول ٤- هزینه سالانه بر اساس سال ۱۳۹۸ (شرکت آب منطقه‌ای قزوین و سازمان جهاد کشاورزی قزوین)
Table 4- Annual expenses based on 2018 (Qazvin Regional Water Company and Organization of Agricultural- Jihad Qazvin)

Cost items	Amount (million Rials)
Annual expenses of the regional water company	12750
Annual expenses of Qazvin plain irrigation network exploitation company	40000
Annual expenses of the Agricultural Jihad Organization	1740

جدول ٥- هزینه‌های سرمایه‌ای پروژه آبیاری طالقان بر اساس قیمت‌های سال ۱۳۵۷ (شرکت آب منطقه‌ای قزوین)
Table 5- Capital costs of Taleghan irrigation project based on the prices of 1978 (Qazvin Regional Water Company)

Cost items	Amount (million Rials)
Costs of Taleghan dam, diversion dams, tunnels and overflows	824.76
The cost of irrigation network channels	10316.4
Dam tank cost	150
Interest related to the cost of the building during construction (10% of the cost of the building)	680.92

جدول ٦- پتانسیل تولید محصولات زراعی شبکه آبیاری دشت قزوین بر حسب تن بر هکتار (سازمان جهاد کشاورزی قزوین)
Table 6- Crop production potential of Qazvin plain irrigation network in tons per hectare (Organization of Agricultural- Jihad Qazvin)

Crop name	Wheat	Forage corn	Tomato	Alfalfa	Barley	Sugar beet	Potato	Maize
Yield potential	7	80	120	15	4.5	100	45	13

جدول ۷- عمق خالص آبیاری بر حسب میلی‌متر بر ماه (سازمان جهاد کشاورزی قزوین)
Table 7- Net depth of irrigation in millimeters per month (Organization of Agricultural- Jihad Qazvin)

Month / Crop name	Far.	Ord.	Kho.	Tir	Mor.	Sha.	Meh.	Aba.	Aza.	Dey	Bah.	Esf.
Wheat	92	107	52	0	0	0	7	0	0	0	1	28
Forage corn	0	8	85	222	233	136	0	0	0	0	0	0
Tomato	16	42	196	245	212	40	0	0	0	0	0	0
Alfalfa	58	75	142	161	155	128	80	23	2	0	0	12
Barley	92	89	18	0	0	0	7	0	0	0	1	28
Sugar beet	13	44	196	243	226	126	0	0	0	0	0	0
Potato	16	23	193	234	203	22	0	0	0	0	0	0
Maize	0	17	167	230	190	26	0	0	0	0	0	0

جدول ۸- بارش مؤثر بر حسب میلی‌متر بر ماه

Table 8- Effective precipitation in millimeters per month

Month / Crop name	Far.	Ord.	Kho.	Tir	Mor.	Sha.	Meh.	Aba.	Aza.	Dey	Bah.	Esf.
Wheat	23	26	0	0	0	0	0	16	13	8	19	29
Forage corn	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tomato	12	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alfalfa	22	26	0	0	0	0	0	20	20	15	22	29
Barley	23	26	0	0	0	0	0	16	13	8	19	29
Sugar beet	1	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Potato	12	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maize	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

مقدار آب داده شده به هر گیاه (AET) با توجه به حجم آب تخصیص یافته به هر بهره‌بردار، نسبت نیاز آبی گیاهان کشت شده و راندمان آبیاری با استفاده از رابطه (۸) برآورد شده است.

$$AET = demand \times V_{Ig} \times E + P_e \times A \qquad (۸)$$

در رابطه (۸)، demand: نسبت نیاز آبی گیاه کشت شده در هر بهره‌بردار بر حسب درصد، V_{Ig}: حجم آب تخصیص یافته به هر بهره‌بردار بر حسب مترمکعب بر ماه و E: راندمان کل در شبکه آبیاری دشت قزوین است که طبق اعلام مرکز تحقیقات کشاورزی استان قزوین (بر اساس حاصل‌ضرب راندمان کاربرد، انتقال و توزیع) ۴۵ درصد است (Mazandarani Zadeh and Hoseini, 2023).

بهره‌وری

نوع و تعداد شاخص‌های بهره‌وری با توجه به دیدگاه‌های مختلف متفاوت است(Asadi et al., 2022). در تحقیق حاضر متناسب با هدف اصلی از شاخص مالی بهره‌وری آب استفاده گردید. شاخص مذکور عبارت است از نسبت سود خالص به ازای واحد حجم آب (Net Benefit Per Drop).

$$NPBD = \frac{\text{سود خالص}}{\text{مقدار آب مصرف شده}} \qquad (۹)$$

مدل‌های بهینه‌سازی

الف- بهینه‌سازی الگوی کشت

در این مدل با فرض اینکه الگوی توزیع آب مطابق وضعیت فعلی است جدول (۱) و هر متر مکعب آب به قیمت واقعی عرضه می‌گردد، اقدام به بهینه‌سازی الگوی کشت شده است. این مدل شامل ۹۹ متغیر (سطح زیر کشت نه محصول شامل گندم، ذرت‌علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی، یونجه، جو، چغندرقند، سیب‌زمینی، ذرت دانه‌ای و آیش در ۱۱ بهره‌بردار) است. تابع هدف و قیدهای آن مطابق روابط (۱۰) تا (۱۴) است.

$$MAXP_t = \sum_{i=1}^{11}\sum_{j=1}^{9} Ya_{i,j} \times A_{i,j} \times (P_{sj} - P_{cj}) \qquad (۱۰)$$

$$P_{cj} = P_{CA} + P_W \qquad (۱۱)$$

$$P_W = P_{WA} \times \sum_{m=1}^{12} V_W \qquad (۱۲)$$

$$P_{CA} = P_{AVG} \times Y_i \times A_i \qquad (۱۳)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{11}\sum_{j=1}^{9} A_{ij} \le \sum_{j=1}^{m} A_i \qquad (۱۴)$$

در روابط بالا، Ya_{ij}: عملکرد واقعی محصول j ام در بهره‌بردار i برحسب تن بر هکتار، A_{ij}: سطح زیر کشت محصول j ام در بهره‌بردار i برحسب هکتار، P_{sj}: قیمت فروش محصول j ام بر حسب ریال، P_{cj}: هزینه تولید محصول j ام برحسب ریال، P_{CA}: هزینه عملیات کشاورزی بر حسب ریال، P_W هزینه آب بر حسب ریال، P_{WA}: هزینه هر متر مکعب آب بر حسب ریال، V_W: حجم آب مصرفی، P_{AVG}: متوسط هزینه عملیات کشاورزی هر کیلوگرم بر حسب ریال، P_t: درآمد شبکه، A_i: سطح زیر کشت هر بهره‌بردار برحسب هکتار و A_{ij}: سطح زیر کشت محصول j در بهره‌بردار i بر حسب هکتار است که مجموع سطح زیر کشت محصولات در هر بهره‌بردار نباید از سطح زیر کشت آن بهره‌بردار بیشتر شود.

ب- بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب

در این مدل به بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب به‌منظور حداکثر سازی درآمد کشاورزان در صورت عرضه هر متر مکعب آب به قیمت واقعی پرداخته شده است. در واقع در این مدل الگوی توزیع آب ماهانه تخصیص یافته به شبکه آبیاری دشت قزوین و سطح زیر کشت محصولات در هر بهره‌بردار به‌گونه‌ای تغییر می‌کند که درآمد کشاورزان حداکثر گردد. این مدل دارای

DOI: 10.22055/jise.2023.43268.2061

۲۳۱ متغیر است که ۹۹ متغیر مربوط به بهینه‌سازی سطح زیر کشت نه محصول در ۱۱ بهره‌بردار و ۱۳۲ متغیر مربوط به بهینه‌سازی توزیع آب میان ۱۱ بهره‌بردار در ۱۲ ماه است. تابع هدف و قیدهای آن همانند روابط (۱۵) تا (۲۰) است. در این مدل علاوه بر قیدهای مدل قبل، قید مقدار آب تخصیص یافته ماهانه اضافه شده است. مجموع آب ماهانه توزیع شده در شبکه نباید از مقدار تخصیص یافته به شبکه آبیاری دشت قزوین بیشتر باشد.

$$MAXP_t = \sum_{i=1}^{11}\sum_{j=1}^{9} Y_{i,j} \times A_{i,j} \times (P_{sj} - P_{cj}) \qquad (۱۵)$$

$$P_{cj} = P_{CA} + P_W \qquad (۱۶)$$

$$P_W = P_{WA} \times \sum_{m=1}^{12} V_W \qquad (۱۷)$$

$$P_{CA} = P_{AVG} \times Y_i \times A_i \qquad (۱۸)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} A_{ij} \le \sum_{j=1}^{m} A_i \qquad (۱۹)$$

$$\forall i = \sum_{i=1}^{n} V_{it} \le V_i \quad 1,2,\dots,11 \;\; and \;\; \forall t = 1,2,\dots,12 \qquad (۲۰)$$

در رابطه (۲۰)، V_{it}: مجموع آب توزیع شده میان بهره‌برداران (i=1,2,…,11) در هر ماه (m=1,2,…,12) است که نباید بیشتر از حجم آب تخصیص یافته به شبکه در ماه باشد.

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک عبارت از یک جستجوی چندجانبه موازی و هدایت‌شده بر اساس نظریه تکامل است که با شبیه‌سازی فرآیندهای بقای عضو برتر در علم زیست‌شناسی، اقدام به یافتن بهترین پاسخ یک مسئله می‌نماید. عملگرهای الگوریتم ژنتیک شامل انتخاب، پیوند و جهش است که به‌ترتیب از آن‌ها استفاده می‌شود تا نسل بعد به وجود آید. عملگر انتخاب، کروموزوم‌های قوی‌تر را به نسل‌های بعدی انتقال می‌دهد. عملگرهای پیوند و جهش با ترکیب و تغییر کروموزوم‌ها به تولید کروموزوم‌های جدید و جستجو در فضای مسئله برای رسیدن به جواب‌های بهتر کمک می‌کند (Hoseini et al., 2021).

درصد تقاطع و جهش در مدل‌های بهینه‌سازی به‌ترتیب هشت دهم و یک دهم، تعداد اعضای هر نسل برابر ۱۰۰ و میزان تکرار برابر ۵۰۰۰ در نظر گرفته شده است (Taher et al., 2011; Hoseini et al., 2021). شایان ذکر است الگوریتم در محیط نرم‌افزار Matlab 2015 در رایانه Intel Core i5 @2.5GHz با حافظه داخلی ۶ گیگابایت با زمان متوسط اجرای ۱۷۵۰ ثانیه اجرا شد.

داده‌ها

اطلاعات مورد استفاده در این پژوهش شامل الگوی کشت، عمق خالص آبیاری، عملکرد پتانسیل، ضریب حساسیت گیاه به تنش آبی و هزینه عملیات کشاورزی از سازمان جهاد کشاورزی و الگوی توزیع آب، آب بهاء، هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری از شبکه آبیاری دشت قزوین از شرکت آب منطقه‌ای، نرخ سود سپرده بلند مدت از بانک مرکزی و قیمت فروش محصولات از مرکز آمار برای سال ۱۳۹۸ جمع‌آوری شدند.

نتایج و بحث

قیمت هر متر مکعب آب با استفاده از روابط اقتصاد مهندسی ۸۵۹۵ ریال برآورد شد. در جدول (۹) به مقایسه درآمد بهره‌برداران پرداخته شده است. مطابق این جدول در وضعیت فعلی (عرضه آب به قیمت ۹۴۰ ریال) درآمد شبکه آبیاری دشت قزوین حدود ۸۹ میلیارد تومان است که در صورت عرضه هر متر مکعب آب به قیمت ۸۵۹۵ ریال، الگوی فعلی کشت و توزیع آب نه تنها منجر به کسب درآمد برای کشاورزان نمی‌گردد؛ بلکه باعث تضرر آن‌ها نیز می‌شود. درحالی‌که با بهینه‌سازی الگوی کشت، درآمد شبکه آبیاری دشت قزوین به حدود ۱۰۱ میلیارد تومان و با بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب تقریبا به ۲۳۳ میلیارد تومان می‌رسد. در واقع با بهینه‌سازی علی‌رغم افزایش حدود نه برابری قیمت آب علاوه بر این که می‌توان درآمد شبکه را به ترتیب حدود ۱۳ و ۱۴۴ میلیارد تومان نسبت به وضعیت فعلی افزایش داد، عرضه آب به قیمت هزینه‌های تمام شده سبب می‌شود که دولت تمام هزینه‌های اعمال شده را کسب نماید.

بررسی میزان NPBD در جدول (۱۰) نشان می‌دهد میزان بهره‌وری مالی از آب با بهینه‌سازی الگوی کشت در L1، L3، L4، L7، M2 و L8 به‌ترتیب پنج، یک و پنج دهم، چهار، چهار، چهار و چهار دهم و سه و هفت دهم برابر و با بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب در بهره‌بردارهای L1، L4، L5، M2 و L8 به‌ترتیب سه و شش دهم، ۹۵/۳، ۱۰/۸، ۳۳/۰ و ۱۰/۶ برابر وضعیت فعلی می‌شود. در حالی‌که در صورت عرضه هر متر مکعب آب به قیمت ۸۵۹۵ ریال و عدم تغییر الگوی کشت و توزیع آب مقدار متوسط NPBD نسبت به وضعیت فعلی ۲۸۹/۴ درصد کاهش می‌یابد در صورتی که با بهینه‌سازی الگوی کشت به طور متوسط ۴۰ درصد و با بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب به طور متوسط ۳۸۹/۶ درصد نسبت به وضعیت فعلی که هر متر مکعب آب ۹۴۰ ریال عرضه می‌گردد افزایش می‌یابد. در جدول (۱۱)، الگوی کشت بهینه شده در مدل بهینه‌سازی الگوی

کشت و در جدول‌های (۱۲) و (۱۳) به‌ترتیب الگوی کشت و الگوی توزیع آب بهینه شده در مدل بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب نشان داده شده است. مقایسه الگوی کشت بهینه شده در مدل بهینه‌سازی الگوی کشت جدول (۱۱) با وضعیت فعلی جدول (۲) نشان می‌دهد سطح زیر کشت حدود ۶۰ هکتار کاهش و سطح زیر کشت تمامی محصولات به جز چغندرقند کاهش یافته است. در واقع خروجی‌های مدل بهینه‌سازی الگوی کشت نشان می‌دهد اقتصادی‌ترین محصول برای کشت در شبکه آبیاری دشت قزوین در صورت عدم تغییر الگوی فعلی توزیع آب و عرضه هر متر مکعب آب به قیمت ۸۵۹۵ ریال چغندرقند و پس از آن به ترتیب گندم، ذرت‌علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی، آیش، جو، سیب زمینی، یونجه و ذرت دانه‌ای است. بررسی الگوی کشت بهینه شده در مدل بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب جدول (۱۲) نشان می‌دهد در صورت عرضه هر متر مکعب آب به قیمت ۸۵۹۵ ریال، سطح زیر کشت شبکه آبیاری دشت قزوین حدود ۸۸۶ هکتار نسبت به وضعیت فعلی کاهش می‌یابد و در الگوی کشت پیشنهادی مدل بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب سطح زیر کشت گندم، ذرت علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی، یونجه، جو و ذرت دانه‌ای به ترتیب ۹۷، ۹۹، ۸۷، ۱۰۰، ۹۷ و ۹۵ درصد کاهش و سطح زیر کشت چغندرقند و سیب‌زمینی به‌ترتیب ۲۳۳۹ و ۲۰۷۶ درصد افزایش یافته است. با بررسی و مقایسه الگوی کشت فعلی جدول (۲) و بهینه شده در مدل‌های بهینه‌سازی جدول‌های (۱۱ و ۱۲) و مقدار تولید محصولات در شکل (۲) می‌توان دریافت با افزایش قیمت آب و کاهش سود ناخالص مدل تمایل به افزایش سطح زیر کشت محصولاتی دارد که عملکرد بیشتر و حساسیت کمتری به تنش آبی دارند و بر این اساس مناسب‌ترین محصولات برای کشت در شبکه آبیاری دشت قزوین بر اساس خروجی مدل بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب به ترتیب چغندرقند، سیب‌زمینی، آیش، گندم، گوجه-فرنگی، جو، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای و یونجه هستند. اگرچه محصولات دیگر شامل گندم و جو حساسیت پایینی در برابر تنش آبی دارند ولی به دلیل عملکرد پایین و به دنبال آن کاهش درآمد شبکه آبیاری، مدل تمایل به افزایش سطح زیر کشت آن‌ها ندارد.

جدول ۹- درآمد بهره‌برداران شبکه آبیاری دشت قزوین (میلیارد تومان)

Table 9- Income of operators of Qazvin plain irrigation network (billion Tomans)

Beneficiary	Current status (Price per cubic meter of water 940 Rials)	Current status (Price per cubic meter of water 8595 Rials)	Optimal cultivation pattern	Optimal water allocation and cultivation pattern
L1	1.5	-2.2	7.5	2.3
L2	9.9	-36.7	9.1	0.7
L3	15.4	-7.6	23.1	18.8
L4	1.2	-5.7	4.8	59.3
L4A	14.5	-21.8	4.3	2.1
L5	11.3	-10.2	3.3	51.3
L6	16.8	-24.9	13.6	14.5
L7	1.9	-6.2	7.6	7.6
M2	1	-7.8	4.4	58.4
L8	4.1	-2.7	15.3	14.4
MW	10.9	-39.1	8.4	0.8
Average	88.5	-164.9	101.3	232.5

جدول ۱۰- NPBD بهره‌برداران در شرایط مختلف (ریال بر متر مکعب)

Table 10- The amount of NPBD in the current situation and optimization models (Rials per cubic meter)

Beneficiary	Current status (Price per cubic meter of water 940 Rials)	Current status (Price per cubic meter of water 8595 Rials)	Optimal cultivation pattern	Optimal water allocation and cultivation pattern
L1	228.2	-334.6	1140.8	812.9
L2	1089.5	-4038.8	1001.4	316.9
L3	3956.5	-1952.6	5934.8	3703.4
L4	212.9	-1011.1	851.4	20287.3
L4A	1922.3	-2890.1	570.1	809.9
L5	1371.2	-1237.7	400.4	14846.6
L6	2583.7	-3829.4	2091.6	6784.4

DOI: 10.22055/jise.2023.43268.2061

Beneficiary	Current status (Price per cubic meter of water 940 Rials)	Current status (Price per cubic meter of water 8595 Rials)	Optimal cultivation pattern	Optimal water allocation and cultivation pattern
L7	858.6	-2801.7	3434.3	3237.1
M2	492.1	-3838.7	2165.4	16216.1
L8	553.3	-364.4	2064.9	5882.4
MW	1668.9	-5986.6	1286.1	234.6
Average	1357.9	-2571.4	1903.8	6648.3

جدول ۱۱- الگوی کشت بهینه در مدل بهینه‌سازی الگوی کشت (هکتار)

Table 11- Optimum cultivation pattern in the cultivation pattern optimization model (ha)

Beneficiary / Crop	L1	L2	L3	L4	L4A	L5	L6	L7	M2	L8	MW	Sum
Wheat	3.0	8.0	49.6	0.7	0.1	5.1	1.3	4.0	2.4	1.1	7.3	82.6
Forage corn	23.2	5.8	24.2	1.6	4.1	0.5	5.6	0.1	1.6	3.5	5.0	75.2
Tomato	1.0	1.9	23.9	0.1	7.3	4.2	3.9	5.3	0.2	10.8	3.7	62.3
Alfalfa	2.1	6.1	15.5	1.8	2.1	0.2	1.2	4.9	3.0	2.5	10.0	49.4
Barley	2.1	4.4	2.6	2.6	0.4	4.1	7.8	14.8	3.1	2.4	9.4	53.7
Sugar beet	3019.8	3641.1	9310.7	1921.4	1745.9	1328.6	5469.6	3062.7	1769.1	6190.0	3384.8	40843.7
Potato	1.5	4.3	0.1	2.6	4.4	7.1	7.1	4.3	1.2	8.4	9.9	50.9
Maize	0.2	5.8	1.2	3.7	1.4	2.3	12.7	5.6	6.7	3.6	2.1	45.3
Fallow	7.1	0.8	13.1	7.1	4.8	3.6	10.4	3.5	5.1	2.8	1.8	60.1

جدول ۱۲- الگوی کشت بهینه در مدل بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب (هکتار)

Table 12- Optimum cultivation pattern in the simultaneous optimization model of cultivation pattern and water distribution (ha)

Beneficiary / Crop	L1	L2	L3	L4	L4A	L5	L6	L7	M2	L8	MW	Sum
Wheat	1.9	2.4	3.3	270.6	0.0	73.2	2.9	2.0	424.4	1.7	0.3	782.7
Forage corn	0.1	0.7	1.5	1.4	0.0	0.7	2.0	1.9	0.0	4.3	1.4	14
Tomato	0.4	0.9	1.4	0.4	0.0	5.3	4.9	2.5	308.3	4.0	0.7	328.8
Alfalfa	1.8	3.0	0.3	0.2	0.0	0.1	1.2	0.6	0.5	1.3	2.6	11.6
Barley	2.4	1.3	1.0	42.4	0.0	68.4	3.7	2.3	1.9	1.0	0.4	124.8
Sugar beet	3051.3	3665.6	9422.8	0.7	1763.9	0.1	5497.1	3093.4	0.2	6203.7	3424.6	36123.4
Potato	1.0	0.8	2.5	1084.5	0.0	1047.1	1.6	0.9	891.0	0.9	1.2	3031.5
Maize	0.4	1.2	6.8	0.1	0.0	0.4	3.6	0.1	0.2	7.4	0.2	20.4
Fallow	0.7	2.5	1.3	541.2	6.6	160.5	2.3	1.5	166.0	0.8	2.5	885.9

جدول ۱۳- الگوی توزیع آب در مدل بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب (۱۰۰۰ متر مکعب)

Table 13- Water distribution pattern in the simultaneous optimization model of cultivation and water distribution pattern (1000 cubic meters)

Month / Beneficiary	Far.	Ord.	Kho.	Tir	Mor.	Sha.	Meh.	Aba.	Aza.	Sum
L1	5373	5345	9819	17	982	2163	604	2476	1517	28296
L2	2492	7523	636	6	13	0	2752	5549	3295	22264

DOI: 10.22055/jise.2023.43268.2061

Month / Beneficiary	Far.	Ord.	Kho.	Tir	Mor.	Sha.	Meh.	Aba.	Aza.	Sum
L3	5083	20314	15862	1	116	1	2230	6325	908	50840
L4	2639	3177	4991	5651	4906	540	480	4611	2222	29216
L4A	2767	5191	7605	3	447	2161	77	4646	3137	26034
L5	3785	3364	4668	5482	4759	520	2406	9098	464	34546
L6	4295	8233	4729	0	70	1	208	2961	852	21349
L7	960	5162	12027	2	56	2163	383	149	2493	23395
M2	2635	8355	5659	6316	5476	712	2898	1049	2930	36030
L8	2372	10087	3092	3	280	1	2819	4316	1470	24441
MW	1704	6142	12585	10	477	2160	1468	8324	1471	34339
Sum	34103.8	82893.6	81672.2	17491.0	17580.9	10422.6	16323.8	49504.3	20757.8	330750

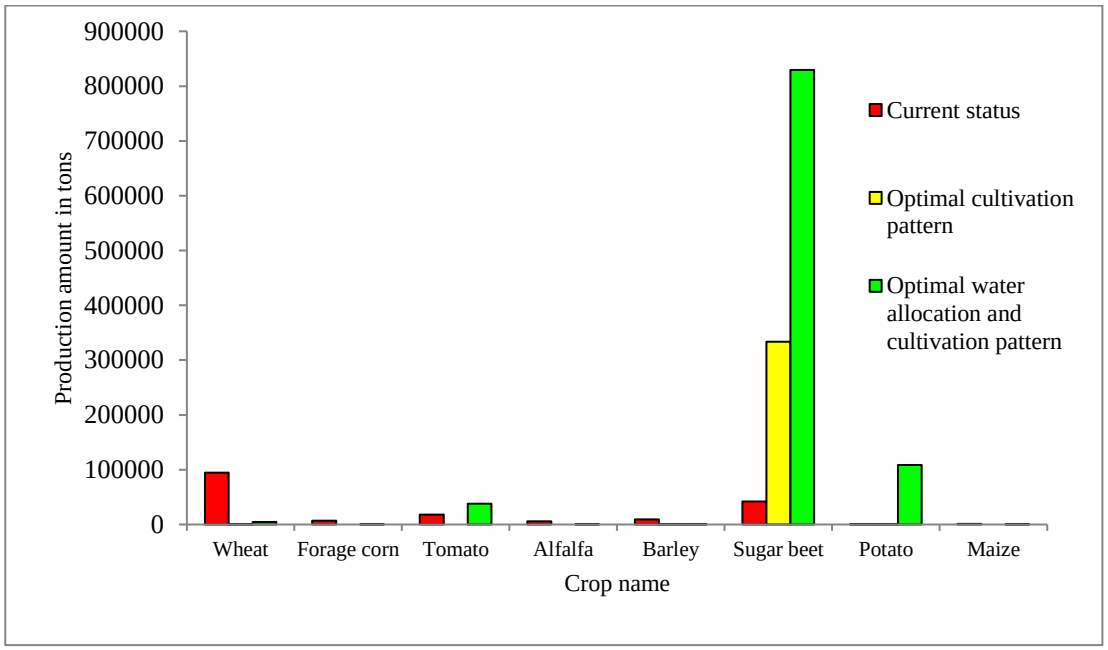


Fig 2- Comparing the amount of product production in the current situation with optimization models

شکل ۲- مقایسه مقدار تولید محصول در وضعیت فعلی با مدل‌های بهینه‌سازی

نتیجه‌گیری

قیمت آب از جمله متغیرهای مهم اقتصادی است که در استفاده بهینه از منابع آب در بخش کشاورزی می‌تواند نقش مؤثری داشته باشد. با اعمال سیاست‌گذاری قیمت آب، هزینه نهایی تولید افزایش می‌یابد و انتخاب ترکیب زراعی که به ازاء هر واحد آب منافع بیشتری حاصل نماید ضروری است. در این مطالعه به برآورد هزینه تمام شده هر مترمکعب آب با استفاده از روابط اقتصاد مهندسی و تأثیر آن بر اقتصاد کشاورزان تحت دو مدل بهینه‌سازی الگوی کشت و بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب پرداخته شد. هزینه تمام شده هر متر مکعب آب ۸۵۹۵ ریال برآورد شد و نتایج نشان داد الگوی کشت فعلی در صورت افزایش قیمت آب مناسب نیست و با بهینه‌سازی الگوی کشت و بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب می‌توان به‌ترتیب به درآمدی حدود ۱۴/۷ و ۱۶۲/۷ درصد بیشتر از وضعیت فعلی که قیمت هر مترمکعب آب ۹۴۰ ریال است دست یافت. همچنین نتایج مدل بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب بیانگر تفاوت فاحشی میان سطح زیرکشت محصولات در الگوی کشت بهینه شده با وضعیت فعلی است و سطح زیرکشت چغندرقند و سیب‌زمینی در الگوی کشت بهینه شده به طور چشمگیری افزایش و سطح زیرکشت سایر محصولات کاهش پیدا کرده است و همانطور که نتایج بهینه‌سازی الگوی کشت و توزیع آب با پیش‌بینی قیمت توسط Hoseini et al. (2021) در شبکه آبیاری دشت قزوین نشان داده است کشت محصولات دارای خرید تضمینی برای کشاورزان به دلیل عدم وابستگی قیمت محصول به مقدار عرضه شده به بازار بهتر از سایر محصولات است اما کاهش تولید محصولات فاقد خرید تضمینی موجب افزایش قیمت آن‌ها به دلیل کاهش عرضه می‌گردد و منجر به تهدید امنیت غذایی می‌گردد. لذا با توجه به اینکه افزایش قیمت آب بدون توجه به کشاورزان خلاف اقتصاد سالم است و از طرف دیگر به دلیل محدودیت منابع آب استفاده غیر بهینه از آن می‌تواند باعث ایجاد چالش‌های بزرگی در امنیت غذایی شود پیشنهاد می‌گردد در مطالعه‌ای به بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب با در نظر گرفتن رفاه کشاورزان و امنیت غذایی پرداخته شود. همچنین به‌منظور بسترسازی اجتماعی در بین بهره‌برداران لازم است موضوع بحران آب و اهمیت قیمت‌گذاری آب برای آن‌ها به صورت شفاف توضیح داده شود و برگزاری کلاس‌های ترویجی در جهت فرهنگ‌سازی و افزایش آگاهی کشاورزان برای استفاده بهینه از نهاده آب و رعایت الگوی کشت پیشنهادی می‌تواند مؤثر واقع شود.

تشکر و قدردانی

از شرکت آب منطقه‌ای قزوین و سازمان جهاد کشاورزی که در راستای انجام این پژوهش همکاری داشته‌اند، کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

1- Aidam, P.W., 2015. The impact of water-pricing policy on the demand for water resources by farmers in Ghana. *Agricultural Water Management, 158*, pp.10-16.

2- Asadi, H., Mahmoodi, M. and Zare, S., 2022. Determining Profitability and the Economic Productivity of Agricultural Water in Crop Production. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *15*(6), pp.1404-1411. (In Persian)

3- Badibarzin, H., Hashemi Tabar, M. and Hossini, S.M., 2019. Effect of Pricing and Rationing Strategies of Irrigation Water on Cropping Pattern and Water Demand in Sistan Plain. *Journal of Water Research in Agriculture*, *33*(3), pp.463-478. (In Persian).

4- Balali, H. and Kasbian Lal, F., 2022. Economic Valuation of Groundwater in Agriculture Sector (Case Study: Hamedan-Bahar Plain). *Journal Of Agricultural Economics and Development*, *36*(1), pp.37-48. (In Persian)

5- Biniaz, A., Ahmadpour Borazjani, M., Ziaee, S. and Mohammadi, H., 2021. Potential Effects of Agricultural Water Pricing and Quota on Productivity and Use of Agricultural Inputs in Kohgiluyeh. *Journal of Water Research in Agriculture*, *35*(1), pp.89-106. (In Persian).

6- Central Bank of the Islamic Republic of Iran. https://www.cbi.ir/.

7- Chu, L. and Grafton, R.Q., 2020. Water pricing and the value-add of irrigation water in Vietnam: Insights from a crop choice model fitted to a national household survey. *Agricultural Water Management*, *228*, p.105881.

8- Ghaderzadeh, H., Shayanmehr, S. and Hezareh, R., 2017. Investigate the effects of pricing policy of water irrigation on cropping pattern and water consumption productivity (Case study: Ghorveh-Dehgolan plain at Kurdistan province). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *11*(4), pp.609-617. (In Persian).

9- Hoseini, M., Mazandaranizadeh, H. and Nazari, B., 2021. Simultaneously Management of Surface and Groundwater Resources and Increasing Farmers' Resilience to Water Scarcity by Predicting the Price of Agricultural Products and using GA (Case Study of Irrigation and Drainage Network of Qazvin Plain). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *52*(2), pp.563-576. (In Persian).

10- Hosseini, S.M. and Mazandarani Zadeh, H., 2021. Optimal Water Allocation among Agricultural Consumers Using Crop Pattern Change Approach to Improve Farmers' Livelihood. *Irrigation Sciences and Engineering*. *Irrigation Sciences and Engineering*, *45*(3), pp.47-61. (In Persian).

11- Kazem Attar, H., Noory, H. and Ebrahimian, H., 2020. Effect of water pricing on persuading farmers to use modern irrigation systems and increasing the economic productivity of irrigation water (Case study: Qazvin Plain Irrigation Network). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *14*(2), pp.616-625. (In Persian).

12- Mansouri, M. and Ghiasi, A., 2002. Estimation of irrigation water cost price at reservoir dams, using engineering economic approach a case study of Bukan, Mahabad and Barun reservoirs. *Journal Agricultural Economics and Development, 10*(37), 171-192. (In Persian).

13- Mazandarani Zadeh, H. and Hoseini, M., 2023. Investigating the effect of agricultural product price forecasting on groundwater level using systems dynamics, in order to simultaneously maintain the welfare of farmers and groundwater resources. *Iranian Journal of Soil and Water Research, 53*(11), 2565-2582. (In Persian).

14- Organization of Agricultural- Jihad Qazvin. https://qazvin.maj.ir/

15- Qu, Y., Kang, J., Lin, X., Ni, H., Jiang, Y. and Chen, G., 2022. Analysis of agriculture water pricing reform in a water-deficit area of Northwest China. *Water Policy*, *24*(10), pp.1570-1589.

16- Rao, N.H., Sarma, P.B.S. and Chander, S., 1988. A simple dated water-production function for use in irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*, *13*(1), pp.25-32.

17- Regional Water Company of Qazvin. https://www.qzrw.ir/st/273.

18- Sahin, O., Bertone, E., Beal, C. and Stewart, R.A., 2018. Evaluating a novel tiered scarcity adjusted water budget and pricing structure using a holistic systems modelling approach. *Journal of Environmental Management*, *215*, pp.79-90.

19- Shirzadi Laskookalayeh, S., Sabouhi, M., Keikha, A. A. and Davari, K., 2018. Survey of the stability and balance of the aquifer in order to achieve sustainable management (Case Study: Nishabour basin). *Agricultural Economics Research*, *10*(39), pp.187-220. (In Persian)

20- Siasar, H. and Salari, A., 2021. Optimization of Sistan Plain Cropping Pattern Using Multi-Objective Chaotic Particle Swarm Optimization Algorithm. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *15*(5), pp.1006-1017. (In Persian)

21- Statical Center of Iran. https://www.amar.org.ir/.

22- Tahamipour zarandi, M, and Yazdani, S., 2016. The Role of Economic Instruments in IWRM: The Case Study of Irrigation Water Pricing in Western Basins of Iran. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, *47*(3), pp.545-556. (In Persian)

23- Taher, S. A., Shibani, M. R., Nosratabadi, S. M., and Jadidoleslam, M., 2011. A New Approach for Optimal Allocation of DG in Distribution Systems Using GA Method. *Computational Intelligence in Electrical Engineering*, *2*(3), pp.79-90.

24- Zhou, Q., Wu, F. and Zhang, Q., 2015. Is irrigation water price an effective leverage for water management? An empirical study in the middle reaches of the Heihe River basin. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, *89*, pp.25-32.