تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال نوزدهم، شماره ۵، زمستان ۱۴۰۲
Volume 19, No. 5, Winter 2024 (IR-WRR)
۱-۱۳

افزایش توأمان رفاه کشاورزان و بهره‌وری توزیع آب، با احتساب قیمت تمام شده آب
مطالعه موردی: شبکه آبیاری دشت قزوین

حامد مازندرانی‌زاده[۱*] و سیده مرضیه حسینی[۲]

چکیده

افزایش بهره‌وری آب یکی از سازوکارهای مدیریت مصرف آب است و ابزارهای اقتصادی نظیر قیمت آب می‌تواند منجر به کاهش مصرف و افزایش بهره‌وری شود. سد طالقان تأمین‌کننده اصلی آب مورد نیاز بخش کشاورزی دشت قزوین است که در سال‌های اخیر به دلایل مختلف نظیر تغییر اقلیم و افزایش جمعیت مقدار آب تخصیص یافته به آن کاهش یافته است. عدم تغییر الگوی کشت و توزیع آب متناسب یا آب تخصیص یافته از یک سو و قیمت پایین آب از سوی دیگر سبب استفاده نادرست از آب در شبکه آبیاری دشت قزوین شده است. در این پژوهش در ابتدا به برآورد قیمت تمام شده آب با استفاده از روابط اقتصاد مهندسی و تأثیر آن بر درآمد کشاورزان در شبکه آبیاری دشت قزوین پرداخته شد. سپس، به بهینه‌سازی الگوی کشت و توزیع آب در صورت عرضه آب به قیمت هزینه تمام شده آن، با درنظر گرفتن رفاه کشاورزان پرداخته شد. برای بهینه‌سازی از الگوریتم ژنتیک و برای بررسی بهره‌وری آب از دو شاخص CPD و NBPD بهره گرفته شد. قیمت هر متر مکعب آب بر اساس هزینه‌های تمام شده در شبکه آبیاری دشت قزوین ۸۵۹۵ ریال برآورد شد. نتایج نشان داد عرضه آب با قیمت ۸۵۹۵ ریال در شرایط فعلی، باعث کاهش رفاه کشاورزان می‌شود. در حالی که با بهینه‌سازی الگوی کشت و توزیع آب علاوه بر تأمین رفاه کشاورزان، مقدار تقاضای آب به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد و متوسط شاخص CPD حدود ۶۹/۴ درصد نسبت به وضعیت فعلی افزایش می‌یابد؛ بنابراین افزایش قیمت آب بدون بهینه‌سازی الگوی کشت و توزیع آب در شبکه آبیاری دشت قزوین نمی‌تواند راهکار مناسبی برای مدیریت منابع آب باشد.

کلمات کلیدی: قیمت‌گذاری آب، منابع آب، باز تخصیص، قیمت فروش.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۴/۳۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۷/۲۷

Simultaneous Increase in Farmers' Welfare and Water Distribution Efficiency Taking into Account the Cost of Water
Case Study: Qazvin Plain Irrigation Network

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

Abstract

Increasing water productivity is one of the mechanisms for water consumption management and economic tools such as water price are means that can lead to a reduction in consumption and an increase in productivity. Taleghan Dam is the main supplier of water for agricultural sector of Qazvin Plain the water allocation to which has decreased in recent years due to various reasons such as climate change and population growth. Meanwhile no change in the cropping pattern and the disproportionate distribution of water to the allocated water coupled with the low price of water have caused the incorrect use of water in the Qazvin Plain irrigation network. In this research first the estimation of the water cost price was done using engineering economics relationships and its effect on the income of farmers in the Qazvin plain irrigation network was evaluated. Then the cropping and water distribution pattern in case of water supply at the cost price were optimized considering the welfare of the farmers. Genetic algorithm was used for optimization and CPD and NBPD indices were employed to check water efficiency. The price of each cubic meter of water was estimated at 8,595 rials based on the costs incurred in the Qazvin Plain irrigation network. The results showed that the supply of water at this price in the current conditions reduces the welfare of the farmers. While by optimizing the pattern of cultivation and water distribution in addition to ensuring the welfare of farmers, the amount of water demand would decrease significantly and the average CPD index would increase by 69.4% compared to the current situation. Therefore, increasing the price of water without optimizing the pattern of cultivation and water distribution in the Qazvin Plain irrigation network cannot be a suitable solution for managing water resources.

Keywords: Water Pricing, Water Resources, Re-Allocation, Selling Prices.

Received: July 22, 2023
Accepted: October 19, 2023

۱- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
۲- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۴۰۳ امکانپذیر است.

1- Associate Professor, Water Science and Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: mazandaranizadeh@eng.ikiu.ac.ir
2- Ph.D., Student in Water Resources Engineering, Water Science and Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
*- Corresponding Author
Doi: 10.22034/IWRR.2023.181576

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

۱- مقدمه

امروزه به دلیل رشد جمعیت، ارتقای سطح بهداشت و رفاه عمومی، گسترش صنعت و رشد فعالیت‌های اقتصادی و کشاورزی سرانه مصرف آب بسیار افزایش یافته و با توجه به عدم توازن بین عرضه و تقاضا، مدیریت منابع آب بسیار پیچیده و با اهمیت شده است (Taghizadeh Ranjbari et al., 2020). بخش کشاورزی مصرف‌کننده عمده آب در ایران است که سالانه بیش از نیمی از منابع آب مصرف شده را به خود اختصاص می‌دهد (Boghraie and Mahjourimajd, 2019) در حالی که در کشور به دلایل گوناگون از جمله حمایت از طبقه کشاورز، آب بهایی که از بهره‌برداران بخش کشاورزی دریافت می‌شود خیلی کمتر از قیمت آبی است که از سایر بخش‌های غیرکشاورزی دریافت می‌گردد. تخصیص آب بین کشاورزان به صورت سنتی است و کشاورزان از این نهاده به صورت غیربهینه استفاده می‌کنند (Piri and Heidari, 2021). در حال حاضر بهره‌گیری از سیاست‌ها و اصول اقتصادی از اهمیت بالایی برخوردار بوده و به عنوان یکی از ابزارهای کم هزینه در کنار سایر اصلاحات، می‌تواند مفید واقع شود، به طوری که رویکردهای مبتنی بر اصول اقتصادی، یکی از کاراترین و انعطاف‌پذیرترین روش‌ها برای غلبه بر چالش‌های منابع آب در بخش کشاورزی به شمار می‌رود (Hassani and Hashemy Shahdany, 2019). از جمله سیاست‌های مهم اقتصادی، مدیریت تقاضای منابع آب با استفاده از قیمت‌گذاری مناسب آن در بخش کشاورزی است (Tahami Pour Zarandi et al., 2020). از جمله اهداف مهم در نظام نرخ‌گذاری می‌توان به ایجاد انگیزه و احساس مسئولیت در جهت اصلاح الگوی مصرف، افزایش میزان بهره‌وری آب، تأمین یا بازپرداخت تمام یا بخشی از سرمایه‌گذاری اولیه و بازپرداخت هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری، رعایت ضوابط و جلوگیری از تخلفات جهت ایجاد انگیزه برای رعایت حدود و ضوابط تعیین شده در راستای توسعه بدون تخریب محیط‌زیست و حفظ حقوق و منافع گسترده آیندگان اشاره کرد (Ataie et al., 2017). به طور کلی ایجاد وابستگی میان نظام تعرفه و هزینه تأمین منابع آب، اولین گام در بهبود سیاست‌گذاری قیمت است. در تدوین نظام تعرفه، پایبندی به سه اصل پوشش هزینه، کارایی اقتصادی و عدالت از اهمیت زیادی برخوردار است (Tahami Pour Zarandi and Yazdani, 2017). در این ارتباط قانون هدفمند کردن یارانه‌ها با تأکید بر دریافت قیمت آب بر اساس هزینه تمام شده آن، اثر زیادی روی مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی دارد (Ataie et al., 2017).

در زمینه برآورد ارزش اقتصادی، محاسبه هزینه تمام شده، تعیین تعرفه مناسب آب آبیاری و بررسی اثرات افزایش قیمت آب مطالعات متعددی انجام شده است. Asadi et al. (2007) با هدف تعیین بازده نهایی آب آبیاری به محاسبه هزینه تمام شده آب کشاورزی، برآورد متوسط هزینه تولید یک هکتار محصولات گروه‌های مختلف بهره‌برداری، تعیین کشش قیمتی تقاضای آب کشاورزی و تعیین نرخ آب به روش گاردنر در دشت قزوین در سال ۱۳۵۷ پرداختند. داده‌های موردنیاز این تحقیق از ۱۲۷ بهره‌بردار با استفاده از روش نمونه‌گیری از ۲۷ منطقه جمع‌آوری شد و از روش برنامه‌ریزی خطی، اقتصادسنجی و اقتصاد مهندسی جهت تعیین تقاضای آب آبیاری و قیمت سایه‌ای آب استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد کشش قیمتی محاسبه شده در بیشتر نواحی منفی و کوچک‌تر از یک و مبین کشش ناپذیر بودن تقاضای آب نسبت به قیمت است. همچنین، ارزش بازده نهایی آب کشاورزی بیشتر از آب بهای دریافتی در منطقه است. متوسط نرخ یک متر مکعب آب آبیاری در منطقه به روش گاردنر معادل ۶۵ ریال محاسبه شد. ارزش بازده نهایی یک متر مکعب آب آبیاری (قیمت سایه‌ای آب) در نواحی ۵ گانه مورد مطالعه برای گروه بهره‌برداری دارای زمین کمتر از ۱۰ هکتار به ترتیب ۶۵، ۱۴۸، ۱۹۰، ۲۳۰ و ۱۰۲ ریال و برای گروه بهره‌برداری دارای زمین بیشتر از ۱۰ هکتار به ترتیب ۲۰۸، ۱۱۳، ۷۷، ۶۹ و ۱۲۰ ریال برآورد شد.

Asaadi et al. (2019) به تعیین ارزش اقتصادی آب کشاورزی از دیدگاه متقاضیان در مزارع گندم و کلزا در شبکه آبیاری دشت قزوین با استفاده از رهیافت تابع تولید و آمار و اطلاعات جمع‌آوری شده به کمک تکمیل پرسشنامه از ۱۴۴ نفر از کشاورزان، بر اساس روش نمونه‌گیری خوشه‌ای دو مرحله‌ای، در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ پرداختند. نتایج نشان داد ارزش اقتصادی هر متر مکعب در تولید محصول گندم و کلزا به ترتیب ۳۷۱۵ و ۳۳۷۰ ریال است که اختلاف زیادی با آنچه کشاورزان به عنوان آب بها، برابر ۴۱۸ ریال، در سال زراعی مزبور پرداخت کردند دارد.

Badiebarzin et al. (2019) در مطالعه‌ای به تحلیل اقتصادی اثرات سهمیه‌بندی و قیمتی آب آبیاری بر الگوی کشت و مدیریت تقاضای آب در دشت سیستان با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت[1] (PMP) در سال ۱۳۹۵-۱۳۹۴ پرداختند. نتایج نشان داد که اعمال سیاست‌های قیمت‌گذاری و سهمیه‌بندی آب آبیاری منجر به کاهش مجموع سطح زیر کشت محصولات منتخب و کاهش بازده ناخالص کشاورزان دشت سیستان می‌شود. این در حالی است که سیاست‌های مذکور به ترتیب منجر به صرفه‌جویی ۴/۵۶ تا ۲۴/۴۶ و ۷/۱۲ تا ۲۹/۴۹ میلیون متر مکعب آب مصرفی در الگوی کشت منطقه می‌شود. کاهش

مجموع سطح زیر کشت محصولات منتخب زراعی تحت سناریوهای مختلف سهمیه‌بندی آب آبیاری، به خصوص محصولات با صرفه اقتصادی بالاتر مانند هندوانه، خربزه و پیاز میزان مجموع بازده ناخالص کشاورزان سیستانی از ۱۴۲۵۶۹۴ به ۱۲۹۲۶۷۷ میلیون ریال می‌رسد که کاهش میزان سود ناخالصی معادل ۲/۱۷ تا ۹/۳۳ درصد را در الگوی زراعی منطقه به همراه دارد. بدین ترتیب اعمال سیاست سهمیه‌بندی آب آبیاری با توجه به صرفه‌جویی حدود ۹۳ میلیون متر مکعب آب در دسترس کشاورزان، در مقایسه با سیاست قیمت‌گذاری آب راهکار مناسب‌تری برای حفظ و صیانت از منابع آب موجود در دشت سیستان است.

Kazem Attar et al. (2020) در پژوهشی به بررسی تأثیر قیمت‌گذاری آب در افزایش بهره‌وری محصولات کشاورزی در شبکه آبیاری دشت قزوین با کمک سیستم‌های نوین آبیاری پرداختند. بدین منظور با استفاده از اطلاعات موجود شامل هزینه‌های احداث شبکه، هزینه‌های جاری و سایر هزینه‌ها قیمت تمام شده هر متر مکعب آب در شبکه آبیاری دشت قزوین ۸۲۹۵ ریال برآورد شد. سپس با توجه به الگوی کشت حاکم بر شبکه، حجم آب مورد نیاز محصولات، هزینه و درآمد مرتبط با آن‌ها، بهره‌وری اقتصادی هر یک از محصولات در شبکه در چهار سناریو مختلف بررسی شد. نتایج نشان داد قیمت فروش آب در سال پایه مطالعه بسیار پایین‌تر از قیمت تمام شده آن است. همچنین، قیمت‌گذاری آب در شبکه آبیاری، به دلیل بالا بردن هزینه‌های کشاورزان، منجر به تشویق کشاورزان به اجرای سیستم‌های نوین آبیاری و به تبع آن منجر به کاهش مصرف و افزایش بهره‌وری آب می‌شود.

Kanooni et al. (2020) در مطالعه‌ای در شبکه آبیاری سبلان با استفاده از مدل PMP به بررسی تغییرات الگوی کشت با توجه به متوسط تعرفه آب در اراضی کشاورزی و ارزش اقتصادی آب بدست آمده پرداختند. نتایج نشان داد تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین ارزش اقتصادی آب و تعرفه آن وجود دارد. با افزایش قیمت آب، ضمن کاهش سطح زیر کشت، عملکرد محصولات کشاورزی کم شده و به تبع آن سود ناخالص شبکه کاهش می‌یابد. Keramatzadeh et al. (2020) در پژوهشی با استفاده از مدل PMP به شبیه‌سازی رفتار کشاورزان در اراضی پایین‌دست گنبد کاووس در حالت اجرای روش‌های مختلف قیمت‌گذاری آب شامل قیمت‌گذاری سطحی، حجمی و ترکیبی پرداختند. نتایج نشان داد با افزایش قیمت آب میزان تقاضای آب در روش‌های مختلف قیمت‌گذاری آب (سطحی، حجمی و ترکیبی) بین ۲۲/۶ الی ۴۸/۸ درصد کاهش می‌یابد. در بین روش‌های مختلف قیمت‌گذاری آب، بیشترین کاهش تقاضای آب به ترتیب مربوط به روش قیمت‌گذاری ترکیبی، حجمی و سطحی آب است.

Biniaz et al. (2021) در پژوهشی در کهگیلویه و بویر احمد به بررسی تأثیر قیمت‌گذاری و سهمیه‌بندی بر الگوی کشت با استفاده از مدل PMP تحت هفت سناریو شامل بدون سهمیه‌بندی آب و بدون قیمت‌گذاری، بدون سهمیه‌بندی و ده درصد افزایش قیمت آب، بدون سهمیه‌بندی و بیست درصد افزایش قیمت آب، بدون سهمیه‌بندی و سی درصد افزایش قیمت آب، ده درصد کاهش سهمیه آب و بدون قیمت‌گذاری، بیست درصد کاهش سهمیه و بدون قیمت‌گذاری، سی درصد کاهش سهمیه و بدون قیمت‌گذاری پرداختند. نتایج نشان داد در تمام سناریوهای مربوط به افزایش قیمت آب و یا کاهش سهمیه سطح زیر کشت محصولات آب‌بر کاهش و سطح زیر کشت محصولات دیم افزایش می‌یابد. علاوه بر این نتایج گویای کاهش بازده ناخالص فعالیت‌های کشاورزی است که خود منجر به کاهش سطح فعالیت‌های کشاورزی در منطقه می‌شود و این موضوع تبعات اقتصادی و اجتماعی بر شرایط کشاورزی منطقه دارد. Parhizkari (2022) در پژوهشی با بهره‌گیری از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی در سطح تجمیعی- فضایی و داده‌های پرسشنامه‌ای مربوط به سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ به اثر پذیرش الگوی کم آبیاری در سطح مزارع دشت اردلان پرداختند. پس از واسنجی سیستم مدل‌سازی پیشنهادی در محیط نرم‌افزار GAMS، اثرات کم آبیاری به روش کلارک در سطوح ۵ و ۱۰ درصد بر الگوی کشت بهینه، منابع آب مصرفی و بازده ناخالص کشاورزان ارزیابی شد. نتایج نشان داد تفاوت فاحشی بین آب بهای پرداختی کشاورزان (۵۴۷ ریال) و ارزش اقتصادی آب آبیاری (۱۳۴۸ ریال) وجود دارد که این امر منجر به رایگان تلقی شدن نهاده آب و استفاده بی‌رویه از آن شده است. همچنین، اعمال روش کم آبیاری علیرغم ایجاد کاهش در عملکرد محصولات منتخب از ۰/۸۸ تا ۵/۷۲ درصد و بازده ناخالص کشاورزی از ۳/۱۵ تا ۷/۰۷ درصد منجر به صرفه‌جویی ۵/۰۱ تا ۷/۰۷ درصد در مصرف آب آبیاری می‌شود.

Balali and Kasbian Lal (2022) با بهره‌گیری از الگوی برنامه‌ریزی پویا با استفاده از نرم‌افزار 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 همدان ۳۵۴۳ ریال، منطقه لالجین ۴۵۳۸ ریال، منطقه بهار ۴۰۱۵ و منطقه صالح آباد ۳۶۹۰ ریال محاسبه شد. 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، بـه طوری‌که 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. Veettil et al. (2013) تأثیر قیمت‌گذاری آب بر کارایی استفاده از آن در شرایط نیمه خشک را بررسی کردند. در این بررسی برای تحلیل کارایی استفاده از آب آبیاری در نظام تولید محصول‌های کشاورزی در حوضه رودخانه کریشنای هند، از تحلیل پوششی داده تصادفی استفاده شد. نتایج نشان داد که تقاضا برای آب در کشتزارهای نزدیک به مرز و کسانی که دارای سطح کارایی پایین‌تری هستند بیشتر است و همین طور اگر نظام قیمت‌گذاری به صورت حجمی اعمال شود، افزایش قیمت آب ضرر شایان توجهی نخواهد داشت اما تقاضای آب به میزان قابل توجهی کاهش پیدا خواهد کرد.

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 این‌رو به منظور حداقل‌سازی 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). Shen et al. (2017) به بررسی تعیین قیمت سایه‌ای آب و کشش قیمتی تقاضا آب در چین پرداختند. نتایج نشان داد که قیمت سایه‌ای آب در کشور چین بین ۲/۵۷ و ۳/۸۸ یوان و کشش قیمتی تقاضای آب ۰/۱۲ است و همچنین بهبود کارایی فنی در بخش کشاورزی یک عامل مهم در میزان تقاضای آب است. Chu and 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.

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 (CGE)[۲] 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.

بار بزرگی از ایجاد اشتغال در دشت قزوین بر عهده بخش کشاورزی قرار دارد 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, 2022). بنابراین تداوم اشتغال این جمعیت، وابسته به مدیریت صحیح منابع آب است. مقایسه و بررسی مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که در برخی از مطالعات به تعیین قیمت آب پرداخته شده است و در برخی دیگر به بررسی اثر افزایش قیمت آب بر الگوی کشت، شرایط اقتصادی و اجتماعی کشاورزان پرداخته شده است و در هیچ یک از مطالعات انجام شده، به ارائه راهکاری که به طور همزمان مدیریت منابع آب و تأمین رفاه کشاورزان را مدنظر قرار داده باشد، پرداخته نشده است. از این‌رو در این پژوهش به بررسی اثر افزایش قیمت آب بر مدیریت منابع آب و رفاه کشاورزان و سپس به بهینه‌سازی الگوی کشت و توزیع آب در صورت افزایش قیمت آب و تأثیر آن بر رفاه کشاورزان و مدیریت منابع آب پرداخته شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شبکه آبیاری دشت قزوین بین عرض‌های شمالی ۳۶ درجه و صفر دقیقه و ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه و طول‌های شرقی ۴۹ درجه و ۴۰ دقیقه و ۵۰ درجه و ۳۵ دقیقه واقع شده است. هدف از احداث شبکه آبیاری و زهکشی انتقال آب رودخانه طالقان از محل سد انحرافی زیاران 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 شبکه به صورت حجمی و بر اساس قراردادهای سه

جانبه بین سازمان جهاد کشاورزی، شرکت آب منطقه‌ای و بهره‌برداران تحت عنوان طرح کشت بوده است. طرح کشت نشان‌دهنده 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 جهت 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 بها در سال ۱۳۶۹ توسط مجلس شورای اسلامی تصویب شد. بر اساس این قانون متوسط آب بهای دریافتی از کشاورزان و زارعین با توجه به اولویت‌های تخفیف برای زراعت‌های استراتژیک شامل ۱٪، ۲٪ و ۳٪ محصول کاشته شده به ترتیب 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. الگوی توزیع آب، الگوی کشت، متوسط عملکرد محصولات، هزینه عملیات کشاورزی و قیمت فروش به ترتیب مطابق جدول‌های ۱ تا ۳ است.

۲-۲- 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 کلیه 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 درنظر گرفته نمی‌شود (Tahamipour zarandi and Yazdani, 2017). در بررسی حاضر جهت محاسبه هزینه تمام شده از رهیافت اقتصاد مهندسی استفاده شده است.

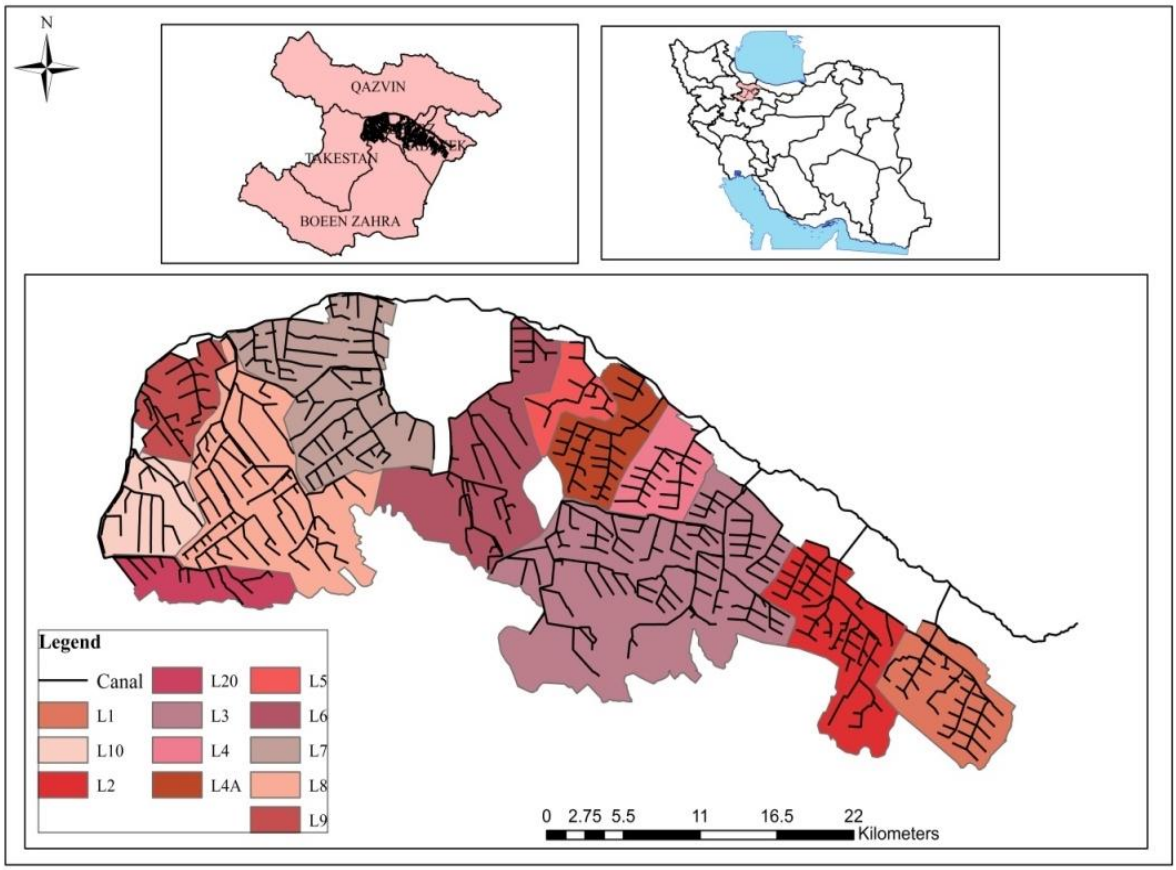

Fig. 1- Area of study

شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

Table 1- Distribution pattern of water allocated from Taleghan Dam to Qazvin Plain irrigation network (thousands of cubic meters)

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

Table 2- Crop area (ha)

جدول ۲- سطح زیر کشت محصولات (هکتار) (Organization of Agricultural- Jihad Qazvin)

Beneficiary / Crop name	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

Table 3- The cost of agricultural operations, Average production potential and the sale price of crops in the Qazvin plain irrigation network in 2018

جدول ۳- هزینه عملیات کشاورزی، عملکرد متوسط و قیمت فروش محصولات زراعی در شبکه آبیاری دشت قزوین در سال ۱۳۹۸ (Organization of Agricultural- Jihad Qazvin and Statistics Center of Iran)

Crop name	The cost of agricultural services (10000 Riyals per hectare)	Average actual yield (tons per hectare)	Average cost of agricultural services per kilogram (excluding water price, Rials)	Selling price (Riyals)
Wheat	5600	6	9335	23000
Forage corn	7299	54	1352	3150
Tomato	27219	50	5444	7040.4
Alfalfa	6230	11.8	5280	16480
Barley	4730	5	9460	19000
Sugar beet	11536	40	2884	4526
Potato	40814	27	15117	19927
Maize	5085	9.9	5136	18300

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 به ترتیب 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 به عنوان 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 مطالعه (ریال)، F هزینه‌های ساخت شبکه آبیاری دشت قزوین به قیمت سال ۱۳۵۷ (ریال)، N فاصله زمانی بین ساخت شبکه و زمان مطالعه و i نرخ بهره است که در این مطالعه بر اساس داده‌های بانک مرکزی ایران، ۱۸درصد معادل نرخ سود بلند مدت بانک‌ها 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 و n عمر مفید پروژه است که برای شبکه آبیاری دشت قزوین در این پژوهش ۵۰ سال درنظر گرفته شده است (Mansouri and Ghiasi, 2002).

۲-۳- 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.

Table 4- Annual expenses in 2018

جدول ۴- هزینه‌های سالانه بر اساس سال ۱۳۹۸ (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

Table 5- Capital costs of Taleghan irrigation project based on the prices of 1978

جدول ۵- هزینه‌های ساخت شبکه آبیاری دشت قزوین بر اساس سال ۱۳۵۷ (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

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

در رابطه (۴)، Ym عملکرد پتانسیل بر حسب تن بر هکتار، Ya عملکرد واقعی بر حسب تن بر هکتار، Ky_i ضریب حساسیت محصول به تنش آبی در دوره رشد i، AET_i مقدار آب داده شده به گیاه بر حسب متر مکعب و PET_i مقدار آب مورد نیاز گیاه بر حسب متر مکعب است. PET_i و AET_i مطابق روابط (۵) تا (۸) برآورد می‌شود (Chai et al., 2014) و عملکرد پتانسیل محصولات زراعی بر اساس اطلاعات اخذ شده از سازمان جهاد کشاورزی قزوین مطابق جدول ۶ است:

$$dn = ET - Pe \qquad (۵)$$

$$ET = dn + Pe \qquad (۶)$$

$$PET_i = ET \times A \qquad (۷)$$

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

در روابط (۵) تا (۷)، dn عمق خالص آبیاری (میلی‌متر بر ماه)، Pe بارش مؤثر (میلی‌متر بر ماه)، ET نیاز آبی گیاه (میلی‌متر بر ماه)، Pr درصد نیاز آبی گیاه کشت شده هر بهره‌بردار در هر ماه و A سطح زیر کشت گیاه (مترمربع) است.

Table 6- Crop production potential in Qazvin plain irrigation network (ton/ha)

جدول ۶- عملکرد پتانسیل محصولات زراعی در شبکه آبیاری دشت قزوین (تن بر هکتار) (Organization of Agricultural-Jihad Qazvin)

Crop name	Wheat	Forage corn	Tomato	Alfalfa	Barley	Sugar beet	Potato	Maize
Yield potential	7	80	120	15	6.5	100	45	13

مقدار dn و Pe از سامانه نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی کشور که توسط موسسه تحقیقات آب و خاک توسعه یافته است، برای گیاهان زراعی کشت شده در شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین در سال ۱۳۹۸ استخراج شد. در رابطه (۸)، 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).

۲-۴- مدل بهینه‌سازی

در این مدل به بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب با هدف تأمین رفاه کشاورزان پرداخته شده است. این مدل شامل ۲۳۱ متغیر است که ۱۳۲ متغیر شامل توزیع آب میان ۱۱ بهره‌بردار در ۱۲ ماه و ۹۹ متغیر شامل سطح زیر کشت ۹ محصول شامل گندم، ذرت‌علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی، یونجه، جو، چغندرقند، سیب‌زمینی، ذرت‌دانه‌ای و آیش برای ۱۱ بهره‌بردار است. سطح رفاه در سال ۱۳۹۸ مطابق پژوهش Mazandarani Zadeh and Hoseini (2023) در شبکه آبیاری و زهکشی قزوین ۷۲ میلیارد تومان برآورد شده است. تابع هدف و قیدهای آن به ترتیب مطابق روابط (۹) تا (۱۵) است:

$$P_t = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} Y_{i,j} \times A_{i,j} \times (P_{sj} - P_{cj}), P_t \geq 72 \text{ Billion tomans} \quad (۹)$$

$$P_{cj} = P_{CA} + P_W \quad (۱۰)$$

$$P_W = P_{WA} \times \sum_{m=1}^{12} V_W \quad (۱۱)$$

$$P_{CA} = P_{AVG} \times Y_i \times A_i \quad (۱۲)$$

Subject to: (۱۳)

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} A_{ij} \leq \sum_{j=1}^{m} A_i \quad (۱۴)$$

$$\sum_{i=1}^{n} V_{it} \leq V_i \quad \forall i = 1,2,\dots,11 \text{ and } \forall t = 1,2,\dots,12 \quad (۱۵)$$

در روابط بالا، P_t درآمد شبکه بر حسب میلیارد تومان، Ya_{ij} عملکرد واقعی محصول زام در بهره‌بردار i برحسب تن بر هکتار، A_{ij} سطح زیر کشت محصول زام در بهره‌بردار i برحسب هکتار، P_{sj} قیمت فروش محصول زام بر حسب ریال، P_{cj} هزینه تولید محصول زام 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 هر بهره‌بردار نباید از سطح زیر کشت آن بهره‌بردار بیشتر شود و 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.

۲-۵- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک عبارت از یک جستجوی چندجانبه موازی و هدایت‌شده بر اساس نظریه تکامل است که با شبیه‌سازی فرایندهای بقای عضو برتر در علم زیست‌شناسی، اقدام به یافتن بهترین پاسخ یک مسئله می‌نماید. عملگرهای الگوریتم ژنتیک شامل انتخاب، پیوند و جهش است که به ترتیب از آن‌ها استفاده می‌شود تا نسل بعد بوجود 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). شایان ذکر است الگوریتم ژنتیک در محیط نرم‌افزار MATLAB اجرا شد.

۲-۶- بهره‌وری

بهره‌وری آب کشاورزی شاخص مناسبی برای ارزیابی مدیریت کشاورزی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است (Karimi and Jolaini, 2017). در این پژوهش برای تعیین بهره‌وری آب کشاورزی از دو شاخص مقدار عملکرد محصول به حجم آب مصرف شده (CPD)[۳] و مقدار سود به حجم آب مصرف شده (NBPD)[۴] استفاده شده است که مطابق روابط ۱۶ و ۱۷ برآورد می‌شود:

$$CPD = \frac{TP}{TWc} \quad (۱۶)$$

$$NBPD = \frac{NB}{TWc} \quad (۱۷)$$

در رابطه (۱۶)، TP مقدار محصول تولید شده بر حسب کیلوگرم، TWc حجم آب مصرف شده بر حسب متر مکعب بدون درنظر گرفتن بارش و در رابطه (۱۷)، NB میزان سود خالص بر حسب ریال است.

۲-۷- داده‌ها

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

۳- نتایج و بحث

قیمت هر متر مکعب آب بر اساس هزینه‌های تمام شده با استفاده از روابط اقتصاد مهندسی در سال ۱۳۹۸ در شبکه آبیاری دشت قزوین ۸۵۹۵ ریال محاسبه شد. در جدول ۷ به بررسی درآمد کشاورزان پرداخته شده است. همانطور که در جدول ۷ اشاره شده است در وضعیت فعلی که قیمت هر متر مکعب آب ۹۴۰ ریال است درآمد کشاورزان حدود ۱۳۰ میلیارد تومان است که در صورت عرضه آب به قیمت ۸۵۹۵ ریال و عدم تغییر الگوی کشت و توزیع آب، کشاورزان حدود ۱۲۴ میلیارد تومان ضرر می‌کنند و انتظار می‌رود در صورت افزایش قیمت آب در شبکه آبیاری دشت قزوین و عدم تغییر الگوی کشت و توزیع آب، برداشت غیر مجاز از منابع آب زیرزمینی افزایش یابد در حالی که با بهینه‌سازی الگوی کشت و توزیع آب نه تنها درآمد کشاورزان حدود ۱۱ میلیارد تومان بیشتر از سطح رفاه تعیین شده، می‌شود بلکه مقدار مصرف آب حدود ۳۰ درصد کاهش می‌یابد.

در جدول‌های ۸ و ۹ به بررسی شاخص بهره‌وری NPBD و CPD پرداخته شده است. در وضعیت فعلی شاخص NPBD و CPD به طور متوسط به ترتیب در شبکه آبیاری دشت قزوین ۴۲۶۳ ریال بر مترمکعب و ۰/۷۷ کیلوگرم بر مترمکعب است که در صورت افزایش قیمت آب و عدم تغییر الگوی کشت و توزیع فعلی آب مقدار NPBD در شبکه ۷۶۵۵ ریال بر متر مکعب نسبت به وضعیت فعلی کاهش می‌یابد. در حالی که با بهینه‌سازی الگوی کشت و توزیع آب همراه با عرضه آب به قیمت تمام شده، متوسط شاخص NPBD نسبت به وضعیت فعلی با عرضه آب به قیمت ۹۴۰ ریال ۶۵۸/۵ ریال بر هکتار کاهش و متوسط شاخص CPD نیز ۱/۷۴ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش می‌یابد. علت کاهش متوسط شاخص NPBD نسبت به وضعیت فعلی، افزیش قیمت آب است که منجر به افزایش هزینه‌های تولید و کاهش درآمد کشاورزان شده است در حالی که افزایش شاخص CPD بیانگر افزایش مقدار تولید محصول در مقایسه با وضعیت فعلی است.

جدول‌های ۱۰ و ۱۱ به ترتیب الگوی توزیع آب و الگوی کشت بهینه را نمایش می‌دهند. مقایسه الگوی بهینه توزیع آب (جدول ۱۰) با وضعیت فعلی (جدول ۱) نشان می‌دهد مقدار آب مصرف شده حدود ۹۹ میلیون مترمکعب نسبت به وضعیت فعلی کاهش یافته است و تقریباً به ۲۳۱ میلیون مترمکعب در سال رسیده است. بررسی خروجی مدل بهینه‌سازی بیانگر این است در صورت عرضه آب به قیمت هزینه‌های تمام شده، حداکثر درآمد شبکه با عرضه حدود ۲۳۱ میلیون متر مکعب صورت می‌گیرد و عرضه بیشتر آب به دلیل افزایش هزینه نهایی تولید موجب کاهش درآمد کشاورزان می‌شود.

Table 7- Income of operators of Qazvin plain irrigation network (billion Tomans*)
جدول ۷- درآمد بهره‌برداران شبکه آبیاری دشت قزوین در شرایط مختلف (میلیارد تومان)

Beneficiary	Current status (water price 940 Rials)	Proposed (water price 8595 Rials)	Optimal water allocation and Cropping pattern
L1	2.9	-0.8	6.5
L2	19.2	-27.4	9.9
L3	24.2	1.3	19.3
L4	2.1	-4.8	1.0
L4A	13.2	-23.1	2.7
L5	10.4	-11.0	2.2
L6	27.6	-14.1	14.4
L7	3.7	-4.4	5.3
M2	2.2	-6.7	0.4
L8	6.8	0.0	14.8
MW	17.4	-32.6	6.0
sum	129.6	123.6	82.5

* **1 Toman = 10 Rials**

Table 8- NPBD values in different conditions in the Qazvin Plain irrigation network (Rials per cubic meter)

جدول ۸- بررسی مقدار NPBD در شرایط مختلف در شبکه آبیاری دشت قزوین (ریال بر متر مکعب)

Beneficiary	Current status (water price 940 Rials)	Proposed (water price 8595 Rials)	Optimal water allocation and Cropping pattern
L1	6050.2	-1604.7	4600.5
L2	3148.9	-4506.0	4914.4
L3	8077.8	422.7	9985.0
L4	2330.0	-5325.0	548.0
L4A	2780.9	-4873.9	1659.4
L5	3732.0	-3922.8	1329.7
L6	5071.8	-2583.3	3442.9
L7	3455.2	-4199.8	2236.2
M2	1890.8	-5764.2	198.1
L8	7697.4	42.4	6875.3
MW	2657.4	-4997.7	3346.8
Average	4263.0	-3392.0	3557.9

Table 9- CPD values in different conditions in Qazvin plain irrigation network (kilogram per cubic meter)

جدول ۹- بررسی مقدار CPD در شرایط مختلف در شبکه آبیاری دشت قزوین (کیلوگرم بر متر مکعب)

Crop name	Current status (water price 940 Rials)	Proposed (water price 8595 Rials)	Optimal water allocation and Cropping pattern
Wheat	0.53	0.53	0.96
Forage corn	1.38	1.38	4.55
Tomato	0.68	0.68	6.93
Alfalfa	0.08	0.08	0.38
Barley	0.60	0.60	0.52
Sugar beet	2.37	2.37	3.71
Potato	0.24	0.24	2.12
Maize	0.26	0.26	0.86
Average	0.77	0.77	2.51

همچنین، بررسی سطح زیر کشت محصولات قبل (جدول ۲) و بعد از بهینه‌سازی (جدول ۱۱) نشان می‌دهد در الگوی کشت بهینه شده سطح زیر کشت ذرت‌علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی، یونجه، جو و چغندرقند به ترتیب ۸۶، ۶۲، ۹۸، ۸۸ و ۴۳ درصد کاهش و سطح زیر کشت گندم، سیب‌زمینی، ذرت دانه‌ای و مقدار آیش به ترتیب ۳۸، ۲۹۰، ۴۶ و ۱ درصد نسبت به وضعیت فعلی افزایش یافته است. همچنین، بر اساس خروجی‌های مدل بهینه‌سازی بهترین محصول برای کشت در شبکه آبیاری دشت قزوین گندم است که حدود ۹۰ درصد از الگوی کشت پیشنهادی را به خود اختصاص داده است.

Table 10- Optimized water distribution pattern in Qazvin plain irrigation network (thousands of cubic meters)

جدول ۱۰- الگوی توزیع آب بهینه شده در شبکه آبیاری دشت قزوین (هزار متر مکعب)

Month / Beneficiary	Far.	Ord.	Kho.	Tir	Mor.	Sha.	Meh.	Aba.	Aza.	Sum
L1	3.0	5069.5	3567.0	21.4	14.4	419.9	1355.7	2246.9	1501.4	14199.2
L2	1317.5	8509.8	4355.9	184.8	150.4	817.2	1435.9	1930.8	1434.4	20136.8
L3	2.2	699.7	11085.4	2.6	6.2	157.1	1482.5	4357.4	1548.9	19342.0
L4	3372.7	4150.2	3331.8	2.7	1019.4	992.5	398.8	3294.1	1127.7	17689.9
L4A	2749.8	3823.4	2883.2	1288.8	1145.4	680.1	289.4	2047.8	1599.8	16507.7
L5	973.5	1494.7	3345.5	3739.8	3264.6	778.6	246.2	1055.9	1504.5	16403.2
L6	8558.6	12388.5	7935.9	2790.8	2471.8	873.3	1318.3	3896.8	1606.0	41840.2
L7	5536.3	6872.1	5203.8	2.8	631.1	1372.7	1441.1	1287.3	1316.2	23663.4
M2	1356.3	2065.9	4146.5	4201.8	3592.9	808.0	840.6	4652.3	701.3	22365.5
L8	2.1	7001.2	7305.8	1.6	0.9	234.4	1170.0	4793.8	970.0	21479.7
MW	0.7	5950.5	4009.8	6.6	9.6	162.0	1448.2	5089.9	1220.0	17897.4
Sum	23872.7	58025.5	57170.5	12243.7	12306.6	7295.8	11426.7	34653.0	14530.5	231525

Table 11- Optimized Cropping pattern in Qazvin plain irrigation network (ha)
جدول ۱۱- الگوی کشت بهینه شده در شبکه آبیاری دشت قزوین (هکتار)

Beneficiary / Crop name	L1	L2	L3	L4	L4A	L5	L6	L7	M2	L8	MW
Wheat	3050.8	3640.3	9409.3	1610.8	1523.0	381.4	4937.2	2657.1	552.1	6207.5	3422.6
Forage corn	0.2	0.8	9.9	0.7	0.8	68.8	25.3	1.3	23.5	0.2	0.1
Tomato	0.5	5.3	1.2	0.1	23.8	380.5	160.5	0.0	391.2	2.5	0.7
Alfalfa	1.0	0.9	8.7	0.1	2.0	0.1	82.8	0.2	0.1	1.9	3.7
Barley	2.5	1.5	0.6	0.7	0.4	165.4	26.4	1.1	278.2	0.6	3.5
Sugar beet	2.5	4.6	0.1	322.7	13.9	0.6	33.8	441.8	18.7	2.5	0.6
Potato	1.4	11.7	1.2	0.9	205.6	96.8	218.4	1.9	3.8	0.5	1.5
Maize	0.2	12.0	5.2	5.3	1.1	160.6	34.0	1.0	358.9	9.2	0.1
Fallow	0.8	1.1	4.7	0.2	0.0	101.5	1.0	0.8	166.0	0.1	1.3
Sum	3060.0	3678.3	9441.0	1941.5	1770.5	1355.7	5519.3	3105.2	1792.5	6225.0	3434.0

۴- نتیجه‌گیری

قیمت‌گذاری صحیح آب به عنوان ابزاری در مدیریت منابع آب شناخته شده است؛ اما باید توجه داشت قیمت آب نباید به گونه‌ای باشد که رفاه کشاورزان را به خطر بیندازد. در این پژوهش به بررسی و اعتبارسنجی نظریه‌ای پرداخته شده است که معتقد است به منظور حمایت از کشاورزان باید آب با حداقل قیمت در اختیار آنها قرار گیرد. بر اساس مطالعات صورت گرفته قیمت آب باید حداقل به اندازه هزینه‌های تمام شده آن باشد. در حالی که قیمت فعلی آب در شبکه آبیاری قزوین در حدود ۹۴۰ ریال است، در این پژوهش با استفاده از روابط اقتصادی مهندسی هزینه هر متر مکعب آب در شبکه آبیاری دشت قزوین ۸۵۹۵ ریال برآورد شد و همانطور که در پژوهش Asadi et al. (2007) عنوان شده است میان قیمت آب بر اساس هزینه‌های تمام شده با قیمت پرداختی از سوی کشاورزان در شبکه آبیاری دشت قزوین اختلاف زیادی وجود دارد. نتایج نشان داد در شرایط فعلی، افزایش قیمت آب از ۹۴۰ ریال به ۸۵۹۵ ریال منجر به زیان ۱۲۰ میلیارد تومانی کشاورزان خواهد شد. در حالی که بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب، نه تنها منجر به کاهش مصرف آب کشاورزی به مقدار ۹۹ میلیون متر مکعب خواهد شد بلکه متوسط شاخص مقدار عملکرد محصول به آب مصرفی حدود ۶۹/۴ درصد افزایش می‌یابد. همچنین، به دلیل افزایش قیمت آب، شاهد کاهش متوسط شاخص NPBD هستیم که دلیل آن افزایش هزینه تولید و کاهش درآمد کشاورزان است؛ لذا پیشنهاد می‌شود در گام نخست به اصلاح الگوی کشت و توزیع آب فعلی با درنظر گرفتن محدودیت منابع آب و سطح رفاه کشاورزان پرداخته شود و سپس سیاست افزایش قیمت آب به تدریج در شبکه آبیاری دشت قزوین اعمال شود. نتایج این مطالعه قابل مقایسه با نتایج پژوهش Hosseini and Mazandarani Zadeh (2021) است که در هر دو مطالعه به مدیریت صحیح منابع آب و تأمین رفاه کشاورزان با بهینه‌سازی تأکید دارند. نتایج این مطالعه نشان داد که عرضه آب به قیمت پایین نه تنها منجر به بهبود کشاورزان نخواهد شد بلکه در دراز مدت منجر به تخلیه بیشتر آبهای زیرزمینی و کاهش رفاه کشاورزان خواهد شد. آنچه که منجر به بهبود معیشت کشاورزان خواهد شد برنامه‌ریزی دقیق کشت مناسب، افزایش بهره‌وری آب و نظایر آن است. به منظور بسترسازی اجتماعی در میان بهره‌برداران توصیه می‌شود موضوع بحران آب و اهمیت اجرای توأمان قیمت‌گذاری آب و اصلاح الگوی کشت به صورت شفاف برای بهره‌برداران توضیح داده شود.

پی‌نوشت‌ها

1- Positive Mathematical Programming
2- Computable General Equilibrium
3- Crop Per Drop
4- Net Benefit Per Drop

۵- مراجع

Asaadi M, Khalilian S, Mosavi S H (2019) Assessment of water economic value in wheat and rapeseed farms (Case Study: Qazvin plain irrigation network). Water Resources Engineering Journal 12(40):137-148 (In Persian)

Asadi H, Soltani G, Torkamani J (2007) Irrigation water pricing in Iran: A case study on land downstream of Taleghan dam. Agricultural Economics and Development 15(2):61-91

Ataie A, Moghadasi R, Tahami Pour M (2017) Determine appropriate water pricing in the agricultural sector: A case study of Fars Province. Agricultural Economics and Development 24(4):199-223 (In Persian)

Badibarzin H, Hashemi Tabar M, Hossini S (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):463-478 (In Persian)

Balali H, Kasbian Lal F (2022) Economic valuation of groundwater in agriculture sector (Case Study: Hamedan-Bahar Plain). Journal Of Agricultural Economics and Development 36(1):37-48 (In Persian)

Boghraie H, Mahjourimajd N (2019) A Methodology for water allocation and pricing based on local water marketing and stakeholders hierarchy. Iran-Water Resources Research 15(1):137-153 (In Persian)

Chai Q, Gan Y, Turner N C, Zhang R Z, Yang C, Niu Y, Siddique K H (2014) Water-saving innovations in Chinese agriculture. Advances in Agronomy 126:149-201

Chu L, 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 228:105881

Hassani Y, Hashemy Shahdany S M (2019) Assigning appropriate irrigation water price based on probable reaction of farmers and inter-sectoral effects of the price (Case study: Roodast Irrigation district). Journal of Water and Soil Conservation 26(5):149-164 (In Persian)

Hoseini S M, Mazandarani Zadeh H, 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):563-576 (In Persian)

Hosseini S M, Mazandarani Zadeh H (2022) Optimal water allocation among agricultural consumers using crop pattern change approach to improve farmers' livelihood. Irrigation Sciences and Engineering 45(3):47-61

Kanooni A, Hasani Y, Garaei K, Dindar A (2020) The effects of water market development on farmers' selective cultivation pattern in sabalan irrigation network, Ardabil. Iran-Water Resources Research 16(2):323-333 (In Persian)

Karimi M, Jolaini M (2017) Evaluation of agricultural water productivity indices in major field crops in Mashhad Plain (Technical Note). Journal of Water and Sustainable Development 4(1):133-138 (In Persian)

Kazem Attar H, Noory H, 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): 616-625 (In Persian)

Keramatzadeh A, Khosravipayam V, Joolaie R (2020) The Impact of water pricing method on agricultural water consumption in Gonbad Kavoos County. Journal of Water and Soil Conservation 27(2):179-194 (In Persian)

Mansouri M, 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)

Mazandarani Zadeh H, 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)

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

Parhizkari A (2022) The effect of adoption of deficit irrigation pattern in farm level in Ardalan Plain with emphasis on water resources management. *Iran-Water Resources Research 18*(3):111-130 (In Persian)

Piri H, Heidari M (2021) Determination of economic value and water productivity in major products of Iranshahr. Agricultural Economics Research 13(2):217-234 (In Persian)

Qu Y, Kang J, Lin X, Ni H, Jiang Y, Chen G (2022) Analysis of agriculture water pricing reform in a

water-deficit area of Northwest China. Water Policy 24(10):1570-1589

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

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

Shen X, Lin B (2017) The shadow prices and demand elasticities of agricultural water in China: A StoNED-based analysis. Resources, Conservation, and Recycling 127:21-28

Taghizade Ranjbari H, Shokat fadaee M, Mahmodi A, Alijani F, Yavari Q (2020) Investigating the potential impacts of water supply policies on agricultural production in the south of Kerman Province. Iran-Water Resources Research 16(3):96-108 (In Persian)

Tahami Pour Zarandi M, Khazaei A, Kolivand F (2020) Analysing the tariff system and economic value of water in Iran's Industry Sector. Journal of Water and Sustainable Development 6(3):19-30 (In Persian)

Tahami Pour Zarandi M, Yazdani S (2017) 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):545-556 (In Persian)

Veettil P C, Speelman S, Van Huylenbroeck G (2013) Estimating the impact of water pricing on water use efficiency in semi-arid cropping system: An application of probabilistically constrained nonparametric efficiency analysis. Water Resources Management 27:55-73