Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 45, No. 3, Fall 2022, p. 47-61

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

Research Paper

Optimal Water Allocation among Agricultural Consumers Using Crop Pattern Change Approach to Improve Farmers' Livelihood

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

1- M.Sc. Graduate, Dept. of Water Science and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
2- Corresponding Author, Associate professor, Dept. of Water Science and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.. (mazandaranizadeh@eng.ikiu.ac.ir).*

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 12 May 2020
Revised: 20 January 2021
Accepted: 23 January 2021

Keywords:
Climate Change, Farmers Income, Groundwater Discharge, Right of Water, Allocation.

TO CITE THIS ARTICLE:

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), pp. 47-61.

Introduction

Qazvin plain is one of the areas in the country facing a severe shortage of water. In recent years, after the reduction of water allocation to this plain from Taleghan Dam, farmers have been digging illegal wells or over-harvesting existing wells in order to maintain their livelihoods. This has adverse effects, including severe depletion of wells, drying of aqueducts, salinity and degradation of groundwater quality, reduced yield of agricultural products, loss of soil quality, imposition of high costs on well owners, creating a major supply problem. Drinking water in cities and villages and eventually land subsidence (Qazvin Regional Water Authority, 2014). Studies show that the cultivation pattern in the last ten years has been almost constant and included wheat products, forage corn, canola, tomato, alfalfa, barley, sugar beet, peas, beans, potatoes, corn and lentils (Simiari and Mazandaranizadeh, 2017).

Studies have shown that previous studies have either optimized water distribution or optimized cultivation patterns, but this study compared the differences between the two approaches to farmers' livelihoods in order to conserve groundwater resources.

Materials and Methods

Study area

The irrigation network of Qazvin plain is located 150 kilometers from Tehran. The purpose of this network is to transfer Taleghan water through the dam to the Qazvin plain and cover about 58,000 hectares of land in Qazvin province (Sohrabi and Javadpour Berojini, 2006).

Yield function

To estimate the amount of crop produced based on the amount of water consumed, the water-production relationship presented by Rao et al (1988) has been used.

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

Ya and Ym, respectively, actual yield and crop potential in ton per hectare, AETi and PETi, real evapotranspiration and potential in growth period i in mm, respectively, and Kyi crop susceptibility coefficient in growth period i.

Proposed optimization models

A- Water distribution pattern optimization model: this model redistributes the optimal water distribution to increase farmers' income so that restrictions include the amount of water allocated annually and monthly as well as the level of cultivation of crops per user.

B- Full optimization model: this model optimizes the simultaneous cultivation and distribution pattern of water to increase farmers' income. In this model, in addition to the previous limitations, it is possible to change the area allocated to each crop so that the total crop area in each crop is kept constant.

Results and discussion

Survey of operating income shows that in the state of full allocation, the network revenue is about 165 billion tomans, which due to a 53% decrease in surface water resources in the current situation, the network revenue reached about 85 billion tomans and by optimizing the water distribution pattern in these conditions increase network revenue by about 30% to 110 billion tomans and with complete optimization the revenues from the network increase by 89% to 156 billion tomans.

Comparison of the amount of crop production in the optimization model shows the water distribution pattern with the current situation. Investigation of the amount of water allocated to the operators after optimizing the water distribution pattern with the current situation shows that the amount of water allocated to the L3, L6, L8 and MW operators has decreased compared to pre-optimization, and by more than 84% the area under cultivation of sugar beet has been reduced by the amount of allocation that has been reduced. While 24% of the area under potato cultivation is related to the users who had a reduction in the amount of allocation, and this has caused the water stress to this product to decrease compared to before optimization and its production amount more Increase from other products.

Comparison of crop yields before and after optimization shows that despite the decrease in corn-forage, tomato, alfalfa, barley, barley and corn cultivation levels, the amount of tomato and corn crop production production Compared to the current situation, despite the decrease in the area under cultivation, this has increased, which means that the area under cultivation of crops and the pattern of water distribution in this model have been determined in such a way that the water stress on crops has decreased compared to the current situation, and product performance has increased.

In the complete optimization model, although the area under cultivation of wheat, potatoes and lentils has increased compared to before the optimization, the amount of production of these products has decreased compared to the optimization model of water allocation. The reason for this is that in the water allocation optimization model, the area under cultivation of crops is constant, and the increase in the amount of water allocated to farmers with the aim of maximizing farmers' incomes has increased the real potential of these products. While in the complete optimization model, the area under crop cultivation and the pattern of complete water distribution are determined based on production potential, income, water needs and plant sensitivity to water stress in such a way that the network income is maximized.

Conclusion

In recent years, with the ongoing critical conditions of water resources, the water allocated to the irrigation network of Qazvin plain from Taleghan dam has decreased from 255 to 120 million cubic meters per year. Failure to change the cultivation pattern based on the amount of water allocated has led farmers to remove illegal water from the basement to earn a living, and this has led to the destruction of the groundwater aquifer.

Examining the output of the models showed that the current cultivation pattern and water distribution pattern is incorrect, and in the current situation, by optimizing the harvest pattern and water distribution, in addition to preserving groundwater resources, revenues of about 5% lower

than complete allocation can be achieved. Also, based on the model's output, the most suitable crop for cultivation in lands covered by Qazvin plain irrigation network is wheat and then beans, sugar beet, tomatoes, peas, barley, rapeseed, potatoes, corn, barley, lentils, alfalfa and finally Corn is fodder.

Acknowledgments

Qazvin Regional Water Company and the Jihad-e-Qazvin Organization, who contributed to this study, are gratefully acknowledged.

Reference

1- 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.

2- Qazvin Regional Water Authority. 2014. Province water resources management reports. (In Persian).

3- Simiari, F. and Mazandarani Zadeh, H., 2017. Optimal redistribution of agricultural water based on Nash collaboration theory. *16th Iranian Hydraulic Conference, Mohaghegh Ardabil University of Ardabil, Ardabil, Iran.* (In Persian).

4- Sohrabi, T. and Javadpour Berojini, A.,2006.Convayence and distribution efficiencies of Qazvin irrigation network. *Agricultural Research, 5(2)*,pp.68-79. (In Persian).

© 2022 Shahid Chamran Universiry of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۵، شماره‌ی۳، پاییز ۱۴۰۱، مقاله پژوهشی، ص. ۶۱-۴۷

بررسی تأثیر بهینه‌سازی توأم توزیع آب و الگوی کشت بر درآمد کشاورزان (مطالعه موردی: شبکه قزوین)

سیده مرضیه حسینی[۱] و حامد مازندرانی زاده[۲*]

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

دریافت:۱۳۹۹/۰۳/۱۰ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۰۱ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۴

چکیده

با توجه به رشد روز افزون مصرف آب، تخصیص بهینه منابع آب نیاز به توجه بیشتری دارد. در کشور ایران به‌علت کمبود بارندگی در اکثر حوضه‌های آبریز و محدود بودن منابع آب، برنامه‌ریزی به‌منظور شناخت امکانات و محدودیت‌های منابع آب با هدف بهره‌برداری بهینه بسیار ضروری و اجتناب ناپذیر است. مقدار آب تخصیص داده‌شده به شبکه آبیاری قزوین از سد طالقان از گذشته در حدود ۲۵۵ میلیون مترمکعب بوده است که امروزه، مقدار تخصیص به حدود ۱۲۰ میلیون مترمکعب در سال کاهش یافته است. بررسی الگوی کشت طی ده سال اخیر نشان می‌دهد ترکیب الگوی کشت، علی‌رغم کاهش آب تخصیص‌یافته، ثابت بوده است. ازاین‌رو کشاورزان برای جبران اقدام به برداشت غیرمجاز از چاه‌ها نموده‌اند که این موضوع باعث افت شدید سفره آب زیرزمینی شده است. لذا در این مطالعه با هدف حفظ هم‌زمان منابع آب زیرزمینی و افزایش درآمد کشاورزان، به ارائه الگو بهینه توزیع آب و الگوی کشت با استفاده از الگوریتم ژنتیک در قالب دو مدل بهینه‌سازی الف- توزیع آب و ب- توزیع آب و الگوی کشت پرداخته شده است. نتایج نشان داد در صورت تخصیص ۲۵۵ میلیون مترمکعب در سال، درآمد شبکه حدود ۱۶۵ میلیارد تومان بوده که با کاهش تخصیص، درآمد شبکه به حدود ۸۵ میلیارد تومان رسیده است که با بهینه‌سازی توزیع آب در میان بهره‌برداران در وضعیت فعلی درآمد شبکه به حدود ۱۱۰ میلیارد تومان و با بهینه‌سازی توزیع آب و الگوی کشت درآمد به ۱۵۶ میلیارد تومان خواهد رسید.

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، درآمد کشاورزان، تخلیه آب زیرزمینی، حقابه، تخصیص.

مقدمه

براساس شاخص آسیب‌پذیری منابع آب (International Water Management Institute Index)، ایران بیش از ۸۰ درصد کل آب تجدید پذیرش را مورد استفاده قرار داده است و در وضعیت بحران شدید آبی قرار دارد و هم‌چنین بر اساس گزارش‌های موسسه بین‌المللی مدیریت منابع آب (Water Resources Vulnerability Index) ایران در مرحله بحران شدید آبی قرار دارد (Kashefinezhad et al., 2019). پایداری منابع آب در ایران بیش از هر چیز تحت تأثیر بهره‌برداری از منابع آب کشاورزی قرار می‌گیرد زیرا بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف کننده منابع آب محسوب شده و بیش از ۹۰ درصد مصارف آب کشور را شامل می‌شود (Barikani et al., 2011). کمبود بارش و محدودیت منابع آب سطحی کشاورزان را ناگزیر به برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی کرده است. برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، آسیب‌های شدید ناشی از آلودگی و کاهش کیفیت آبخوان، پیشروی آب شور را به همراه دارد که تخریب کیفی آبخوان و افزایش شوری آن را می‌توان یکی از جدی‌ترین آسیب‌های برداشت بی‌رویه منابع آب زیرزمینی دانست (Majidi Khalilabad et al., 2020). در چنین شرایطی بیش‌ازپیش به مدیریت اصولی منابع آب نیاز است. با توجه به سهم عمده مصرف آب در بخش کشاورزی و محدودیت منابع آب لازم است تخصیص آب در این بخش به بهترین شکل ممکن صورت گیرد.

بهینه‌سازی هم‌زمان تخصیص آب و الگوی کشت با استفاده از الگوریتم ژنتیک (Genetic Algorithm) در دشت سیستان نشان داد الگوی کشت فعلی منطقه بهینه نبوده و با اجرای الگوی پیشنهادی، سود حاصله به ازای هر هکتار افزایش می‌یابد و محصول مؤثر اقتصادی برای کشت اول سال زراعی گندم و در کشت دوم هندوانه است (Siasser and Honar, 2017).

Mohammad khani et al. (2016) با مقایسه اقتصادی شبکه آبیاری دشت قزوین در شرایط موجود، شرایط بهینه فعلی و شرایط تنش آبی ۲۰ درصد، ۳۰ درصد و ۴۰ درصد بیان کردند محصولات سیب، گوجه‌فرنگی، انگور و سیب‌زمینی در اولویت اول

تأمین آب و نخود، ذرت‌علوفه‌ای، ذرت‌دانه‌ای و چغندرقند در اولویت آخر قرار دارند. هم‌چنین بیشترین ضریب بهره‌وری اقتصادی آب در تولید سیب‌زمینی و گوجه‌فرنگی و کمترین مقدار در چغندرقند و ذرت‌دانه‌ای است.

بهینه‌سازی الگوی توزیع آب در شبکه آبرسانی زرینه‌رود با استفاده از الگوریتم هوش جمعی ذرات (Particle Swarm Optimization) نشان داد با بهینه‌سازی توزیع آب چهار شاخص راندمان، کفایت، پایداری و عدالت توزیع به‌ترتیب ۶۵، ۱۰۰، ۸ و ۶۰ درصد ارتقا می‌یابد (Khodadadi et al., 2017).

Yousefdoost و Mohammadrezapour (2015) با ارائه الگو بهینه تخصیص آب در شرایط کم آبیاری در شبکه آب‌رسانی دشت قزوین با استفاده از الگوریتم ژنتیک بیان کردند با رعایت الگوی کشت جدید، علاوه بر کاهش حجم آب تخصیص داده شده به گیاهان، ذخیره سد ضمن حفظ سود کشاورزان افزایش می‌یابد.

مقایسه روش‌های مختلف بهینه‌سازی شامل برنامه‌ریزی خطی (Linear Programing)، الگوریتم هوش جمعی ذرات و الگوریتم ژنتیک در تخصیص بهینه آب کشاورزی در شرایط خشک‌سالی با هدف افزایش درآمد شبکه آبیاری زاینده‌رود نشان داد روش برنامه‌ریزی غیرخطی نسبت به سایر روش‌ها برتری دارد (Moghaddasi et al., 2009).

Yao et al. (2019) با بهینه‌سازی برنامه زمانی و مقدار آب تحویلی با استفاده از الگوریتم ژنتیک در شبکه آب‌رسانی شمال چین بیان کردند روش پیشنهادی منجر به کاهش مقدار تلفات نفوذ و تبخیر و تعرق به میزان ۵۴ درصد و کاهش کل آب مورد نیاز به میزان ۱۱ درصد می‌شود. Rath et al. (2019) با بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از الگوریتم جستجو فاخته (Cuckoo Search) و نرم افزار لیندو (LINDO) در ادیشا هند بیان کردند درآمد کشاورزان در صورت استفاده از الگوی کشت پیشنهادی LINDO و الگوریتم جستجو فاخته به‌ترتیب به ۹/۷۴ و ۳۲/۹۲ درصد در سال افزایش خواهد یافت. Singh (2015) با ارائه یک مدل مدیریتی برای تخصیص بهینه منابع آب و الگوی کشت برای اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری هند بیان کردند با کاهش سطح زیر کشت برنج و خردل و افزایش سطح زیر کشت محصولات گندم، ارزن، پنبه و نیشکر علاوه بر حل مشکل آب‌گرفتگی اراضی، میزان بازده خالص سالانه اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری ۲۲ درصد افزایش خواهد یافت.

دشت قزوین از جمله مناطقی از کشور است که با کمبود شدید آب مواجه است. در سال‌های گذشته پس از کاهش تخصیص آب به این دشت از سد طالقان، کشاورزان به‌منظور حفظ معیشت خود، اقدام به حفر چاه‌های غیرمجاز و یا اضافه برداشت از چاه‌های موجود نموده‌اند. در حالی که مقدار تخصیص آب در سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ به‌ترتیب در حدود ۲۸۰ و ۳۳۰ میلیون متر مکعب بوده است، میزان تخصیص در سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ به‌ترتیب به ۱۱۱ و ۱۱۴ میلیون متر مکعب رسیده است. وجود بیش از ۲۵۰۰ حلقه چاه غیرمجاز در استان با حجم برداشت ۳۵۰ میلیون مترمکعب 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 درنهایت فرونشست زمین را در پی داشته است (Qazvin Regional Water Authority, 2014). بررسی الگوی زراعی شبکه آبیاری دشت قزوین نشان می‌دهد که الگوی کشت در ده سال اخیر تقریباً ثابت و شامل محصولات گندم، ذرت‌علوفه‌ای، کلزا، گوجه‌فرنگی، یونجه، جو، چغندرقند، نخود، لوبیا، سیب‌زمینی، ذرت-دانه‌ای و عدس بوده است (Simiari and Mazandarani Zadeh, 2017).

مطالعه‌های انجام‌شده نشان می‌دهد در گذشته یا به بهینه‌سازی توزیع آب و یا به بهینه‌سازی الگوی کشت پرداخته‌شده است، لیکن در این تحقیق تفاوت اثر این دو رویکرد بر معیشت کشاورزان با هدف حفظ منابع آب زیرزمینی با یکدیگر مقایسه شده است. به‌عبارت‌دیگر سعی شده است با بهینه‌سازی تخصیص منابع موجود شامل آب و زمین، معیشت کشاورزان به نحوی تأمین شود که نیازی به اضافه برداشت و فشار بر منابع آب زیرزمینی نباشد. به‌این‌ترتیب در این پژوهش درآمد کشاورزان در شرایط الف- تأمین ۲۵۵ میلیون مترمکعب حقابه دشت، ب- تخصیص ۱۲۰ میلیون مترمکعب، ج- بهینه‌سازی الگوی توزیع آب و د- بهینه‌سازی کامل در شرایط تخصیص ۱۲۰ میلیون مترمکعب بررسی‌شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

شبکه آبیاری دشت قزوین در فاصله ۱۵۰ کیلومتری شهر تهران واقع‌شده است. هدف از احداث این شبکه، انتقال آب طالقان از طریق سد انحرافی زیاران به دشت قزوین است و حدود ۵۸ هزار هکتار از اراضی استان قزوین تحت پوشش این شبکه قرار دارد (Sohrabi and Javadpour Berojini, 2006). در حال حاضر، تأمین آب کشاورزی شبکه قزوین از منابع آب سطحی انتقالی از رودخانه طالقان و منابع آب زیرزمینی صورت می‌گیرد. شکل (۱) منطقه مورد مطالعه را نمایش می‌دهد. شبکه از ۱۱ بخش مجزا تشکیل‌شده است. جدول (۱) مجموع آب ماهانه تخصیص‌یافته از سد طالقان و چاه‌های تلفیقی و جدول (۲) سطح زیر کشت هر بهره‌بردار و جدول (۳) قیمت فروش و هزینه تولید یک کیلوگرم محصول در سال ۹۴ را نمایش می‌دهد. اطلاعات گیاه کلزا علی‌رغم اینکه در سال بررسی کشت نشده بود، برای بررسی و امکان انتخاب در مدل بهینه‌سازی ، در جدول (۲) ارائه شده است.

DOI: 10.22055/JISE.2021.32941.1915

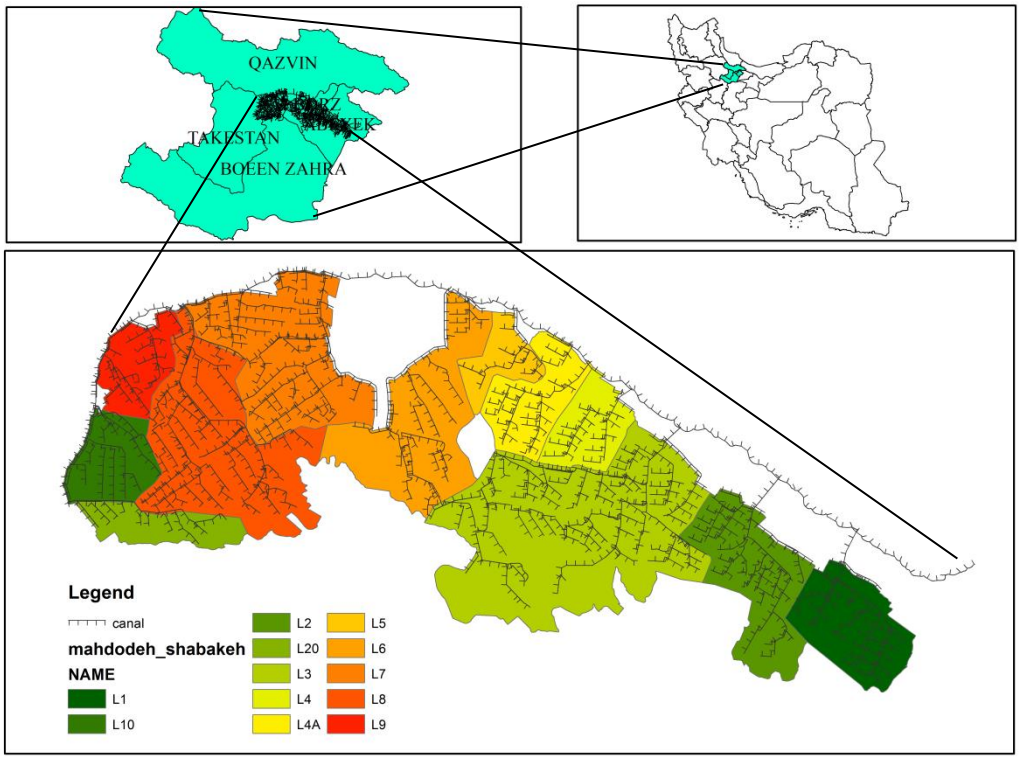

Fig. 1- Area of study
شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- مقدار آب ماهانه تخصیص‌یافته از سد طالقان و چاه‌های تلفیقی به شبکه آبیاری دشت قزوین (هزار مترمکعب)
Table 1- Monthly Water Allocated from Taleghan Dam and Integrated Wells to Qazvin Plain Irrigation Network (1000 m3)

Month / Beneficiary	Far.	Ord.	Kho.	Tir	Mor.	Sha.	Meh.	Aba.	Aza.	sum
L1	2660.2	3686.0	3827.0	2415.2	2140.0	1901.1	1647.4	2117.4	841.7	21236
L2	1764.9	3587.9	3701.3	1424.4	1625.4	1276.3	937.5	2104.2	898	17319.9
L3	4107.1	9060.2	8706.3	3646.7	3551.3	2767.0	1759.0	4162.2	1617.1	39376.9
L4	761.2	1674.8	1742.6	686.4	680.3	375.0	313.6	1130.3	442.0	7806.2
L4A	850.7	1520.1	1527.9	672.8	645.4	561.4	423.1	800	241.6	7243

Month / Beneficiary	Far.	Ord.	Kho.	Tir	Mor.	Sha.	Meh.	Aba.	Aza.	sum
L5	860.8	1498.1	1532.3	598.3	514.9	465.7	418.8	966.1	451.8	7306.8
L6	1914.8	4785.1	4569.3	1866.7	1569.4	601.0	853.6	2491.0	983.0	19633.9
L7	905.7	2572.0	2246.0	686.1	629.8	426.7	335.3	1378.0	854.9	10034.5
M2	596.4	1392.6	1241.0	197.5	187.9	94.1	183.7	1027.3	437.8	5358.3
L8	1693.3	4942.8	4972.4	2119.1	2245.8	1253.1	1221.4	1663.6	666.1	20777.6
MW	834.7	2266.2	1999.3	305.9	250.6	124.8	560.2	775.6	250.1	7367.4
Sum	16949.8	36985.9	36065.4	14619.1	14040.6	9846.2	8653.5	18615.7	7684.1	163460.3

Reference: Qazvin Regional Water Company

جدول ۲- سطح زیر کشت محصولات (هکتار)

Table 2- Crop area (ha)

Beneficiary / Plant	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
Canola	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

DOI: 10.22055/JISE.2021.32941.1915

Beneficiary / Plant	L1	L2	L3	L4	L4A	L5	L6	L7	M2	L8	MW
Tomato	227	280	275	6.5	41.5	41	85.5	255	120	75.8	26
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
Pea	4	11.2	42	0	1	27	29.5	38.7	26	95.6	103
Beans	78	39	103	125	23	9.5	42.8	90.2	52	87.1	20
Potato	0	0	16	5	0	2	2	39.8	41.5	17	16
Maize	0	5.6	171	5	80	4	103	35	0	0	0
Lentils	0	0	7	0	0	0	12	46	20	20	15
Sum	3060	3678.3	9448	1941.5	1770.5	1355.7	5519.3	3105.2	1812.5	6225	3434

Reference: Organization of Agricultural- Jihad Qazvin

جدول ۳- هزینه تولید و قیمت فروش یک کیلوگرم محصول (تومان)

Table 3- production cost and selling price per kilogram (Tomans)

Plant	Cost of production	Sales price
Wheat	919.9	1155
Forage corn	77.2	137.8
Canola	1484.2	2200
Tomato	200.7	453
Alfalfa	456.7	752.7
Barley	784.4	920
Sugar beet	163	270
Pea	3190.9	5854.8
Beans	4857.8	6916.3
Potato	390.3	474.8
Maize	418.4	853.9
Lentils	2239.5	5266.7

Reference: Statistical Center of Iran

تابع عملکرد

برای برآورد محصول تولیدشده بر اساس مقدار آب مصرفی، از رابطه آب_تولید ارائه شده توسط Rao et al. (1988) رابطه (۱) استفاده شده است. بر اساس رابطه (۱)، تابع عملکرد محصولات زراعی در دوره‌های مختلف رشد رابطه خطی با میزان آب مصرفی دارد.

$$\frac{Ya}{Ym}=\prod_{i=1}^{n}[1-Ky_i(1-\frac{AET_i}{PET_i})] \qquad (۱)$$

Ya و Ym به‌ترتیب عملکرد واقعی و پتانسیل محصول بر حسب تن بر هکتار، AET_i و PET_i به‌ترتیب تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل در مرحله رشد i بر حسب مترمکعب و Ky_i ضریب حساسیت گیاه به کم‌آبی در مرحله رشد i و بدون بعد است و n کل تعداد مراحل رشد گیاه است. عملکرد پتانسیل مطابق جدول (۴) است.

PET_i با استفاده از رابطه موازنه آب و خاک رابطه (۲) ارائه شده در نشریه FAO-56 و رابطه (۳) برآورد شده است.

$$ET=I+P-RO-DP+CR \qquad (۲)$$

$$PET_i=ET_i\times A \qquad (۳)$$

در رابطه (۲) ET تبخیر و تعرق، I عمق خالص آبیاری، P بارش موثر، RO رواناب، DP نفوذ عمقی و CR صعود موئینگی بر حسب سانتی‌متر هست که در این پژوهش از رواناب، نفوذ عمقی و صعود موئینه‌ای صرف نظر شده است. در رابطه (۳) منظور از A سطح زیرکشت محصول است.

مدل‌های بهینه‌سازی

الف- توزیع آب

در این مدل افزایش درآمد کشاورزان صرفا با بهینه‌سازی توزیع آب انجام می‌شود. محدودیت‌ها شامل مقدار آب تخصیص‌یافته ماهانه و سطح زیر کشت محصولات هر بهره‌بردار ثابت فرض می‌شود.

Max IN
S.T:

$$IN=\sum_{j=1}^{n} Y_{i,j}\times A_{i,j}\times Pr_j \quad \forall i=1,2,\dots,m \qquad (۴)$$

$$\sum_{i=1}^{11} All_{i,t}\le Re_t \qquad t=1,2,\dots,12 \qquad (۵)$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{t=1}^{12} ReAll_{i,t}\le\sum_{t=1}^{12} All_t \qquad (۶)$$

$$A_{i,j} \text{ is Constant} \quad \forall i=1,2,\dots,m \text{ and } \forall j=1,2,\dots,n \qquad (۷)$$

در روابط بالا IN درآمد کل شبکه، Y_{ij} عملکرد محصول j در زمین بهره‌بردار i، n تعداد محصولات شبکه، m تعداد بهره‌برداران، $A_{i,j}$ مساحت زمین اختصاص‌یافته به محصول j در زمین بهره‌بردار i، Pr_j قیمت محصول j، $ReAll_{i,t}$ مقدار آب تخصیص‌یافته به بهره‌بردار i در ماه t و All_t مقدار کل آب آزادشده در ماه t بر مبنای جدول (۱) است. با توجه به اینکه در این مدل، به بهینه‌سازی توزیع آب میان ۱۱ بهره‌بردار در ۱۲ ماه سال پرداخته‌شده است، تعداد کل متغیرها برابر ۱۳۲ عدد است که توسط مدل ژنتیک و پس از ۳۰۰۰ تکرار در نرم‌افزار Matlab استخراج می‌شود. به عبارت دیگر مقدار آب تحویلی به هر بهره‌بردار در هر ماه از سال به‌عنوان متغیر این مدل و بیشینه‌سازی درآمد همه بهره‌برداران به‌عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است.

جدول ٤- عملکرد پتانسیل و میانگین محصولات شبکه آبیاری دشت قزوین (تن بر هکتار)

Table 4- Potential Performance and Average production potential of Irrigation Network Products in Qazvin Plain (Ton / ha)

Crop	Wheat	Forage corn	Canola	Tomato	Alfalfa	Barley	Sugar beet	Pea	Beans	Potato	Maize	Lentils
Yield potential	7	80	5.5	120	15	4.5	100	3	5	45	13	2
Average production potential	4.12	54	2.2	50	11.8	3.7	40	2	2.5	27	9.9	1.8

Reference: Organization of Agricultural- Jihad Qazvin

DOI: 10.22055/JISE.2021.32941.1915

ب- توزیع آب و الگوی کشت

در این مدل، افزایش درآمد کشاورزان، با بهینه نمودن توأم توزیع آب و الگوی کشت، صورت می گیرد. در این مدل علاوه بر محدودیت‌های قبلی، بر اساس رابطه (۱۱)، امکان تغیر مساحت اختصاص‌یافته به هر محصول وجود دارد، به‌گونه‌ای که مجموع مساحت محصولات کشت شده در زمین هر بهره‌بردار ثابت باقی بماند.

$$\text{Max IN}$$

$$\text{S.T:}$$

$$IN=\sum_{j=1}^{n} Y_{i,j}\times A_{i,j}\times Pr_j \qquad \forall i = 1,2,\ldots,m \qquad (۸)$$

$$\sum_{i=1}^{11} All_{i,t} \le Re_t \qquad t=1,2,\ldots,12 \qquad (۹)$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{t=1}^{12} ReAll_{i,t} \le \sum_{t=1}^{12} All_t \qquad (۱۰)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} A_{i,j} \le \sum_{j=1}^{m} A_i \qquad (۱۱)$$

در روابط بالا A_i سطح زیر کشت هر بهره‌بردار است که از مجموع سطح بهره‌برداری در جدول (۲) نباید تجاوز کند. در مدل بهینه‌سازی کامل، با توجه به اینکه بهینه‌سازی هم‌زمان سطح زیر کشت ۱۳ محصول و توزیع آب ماهانه میان ۱۱ بهره‌بردار انجام می‌شود، تعداد متغیرها ۲۶۴ عدد است که با اعمال محدودیت آب و سطح زیر کشت با استفاده از الگوریتم ژنتیک پس از ۳۰۰۰ تکرار استخراج می‌شود. به عبارت دیگر مقدار آب تحویلی به هر بهره‌بردار در هر ماه از سال و مقدار کشت هر محصول در زمین هر بهره‌بردار، به‌عنوان متغیر این مدل و بیشینه‌سازی درآمد همه بهره‌برداران تابع هدف آن است.

نتایج و بحث

در جدول (۵) به مقایسه درآمد بهره‌برداران در مدل‌های پیشنهادی پرداخته شده است. بر اساس این جدول در وضعیت تخصیص کامل، درآمد شبکه در حدود ۱۶۵ میلیارد تومان بوده است که در اثر کاهش ۵۳ درصدی منابع آب سطحی در وضعیت فعلی، درآمد شبکه به حدود ۸۵ میلیارد تومان رسیده است. با بهینه‌سازی الگوی توزیع آب در شرایط فعلی، درآمد شبکه حدود ۳۰ درصد افزایش‌یافته و به ۱۱۰ میلیارد تومان و با بهینه‌سازی کامل درآمد حاصل از شبکه ۸۹ درصد افزایش و به ۱۵۶ میلیارد تومان می‌رسد؛ به‌عبارت‌دیگر نتایج نشان می‌دهد با انجام بهینه‌سازی کامل می‌توان به درآمدی دست یافت که فقط پنج درصد کمتر از شرایط تخصیص کامل است.

جدول ۵- مقایسه درآمد بهره‌بردارها در وضعیت فعلی با مدل‌های بهینه‌سازی پیشنهادی (میلیارد تومان)

Table 5- Comparison of operating income in the current situation with proposed optimization models (billion tomans)

Beneficiary	Current status (255 million cubic meters)	Current status (120 million cubic meters)	Optimal water allocation	Optimal water allocation and cultivation pattern
L1	18	9.6	18.5	33.7
L2	18.8	8.7	12.6	9.3
L3	38.7	20.4	11	15.8
L4	7.8	3.6	7.1	12.9
L4A	6.9	3.8	7.4	22.6
L5	7.7	4.1	7.9	8.9
L6	21.3	11.1	7.3	8.7
L7	10.8	5.4	18.1	16.8
M2	6.1	2.9	11.6	12.1
L8	20.4	10.3	5.7	11.3
MW	9.1	4.8	2.8	4.2
Sum	165.4	84.7	110.3	156.4

مقایسه مقدار تولید محصولات در شرایط مختلف نشان می‌دهد مقدار تولید ذرت‌دانه‌ای در حدود ۹۵ درصد در وضعیت فعلی نسبت به تخصیص کامل حقابه کاهش‌یافته است. بررسی کاهش تولید این محصول نشان می‌دهد کم‌آبیاری این محصول در ماه تیر و حساسیت بالای آن به تنش آبی در این ماه سبب شده است عملکرد آن کاهش یابد. درحالی‌که مقدار تولید محصولاتی نظیر گندم و جو، به دلیل نداشتن نیاز آبی در سه ماه تابستان، کاهش عملکرد کمتری را نسبت به سایر محصولات داشته‌اند.

الگوی پیشنهادی توزیع ماهانه آب در مدل بهینه‌سازی توزیع آب مطابق جدول (۶) است. شکل (۳)، مقایسه مقدار تولید محصولات در مدل بهینه‌سازی الگوی توزیع آب با وضعیت فعلی نشان می‌دهد مقدار تولید تمامی محصولات به‌جز چغندرقند افزایش‌یافته است. بررسی مقدار آب تخصیص داده‌شده به بهره‌بردارها پس از بهینه‌سازی الگوی توزیع آب با وضعیت فعلی نشان می‌دهد که مقدار آب تخصیص داده‌شده به بهره‌بردارهای L3، L6، L8 و MW نسبت به قبل از بهینه‌سازی کاهش پیداکرده است و چون بیش از ۸۴ درصد سطح زیرکشت چغندرقند در بهره-بردارهایی قرار دارد که کاهش مقدار تخصیص داشتند مقدار تولید آن کاهش پیداکرده است. درحالی‌که ۲۴ درصد از سطح زیر کشت سیب‌زمینی مربوط به بهره‌بردارهایی است که کاهش مقدار تخصیص داشتند و همین موضوع سبب شده تنش آبی وارده به این محصول نسبت به قبل از بهینه‌سازی کاهش یابد و مقدار تولید آن بیشتر از سایر محصولات افزایش یابد.

جدول‌های (۷) و (۸) به‌ترتیب الگوی کشت و الگوی توزیع آب در مدل بهینه‌سازی کامل را نمایش می‌دهد. در شکل (۴) به مقایسه سطح زیرکشت محصولات قبل و بعد از بهینه‌سازی کامل پرداخته‌شده است. بر اساس شکل (۴) سطح زیرکشت ذرت علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی، یونجه، جو و ذرت‌دانه‌ای کاهش و سطح زیرکشت سایر محصولات افزایش‌یافته است درحالی‌که مقایسه مقدار تولید محصولات در این مدل با وضعیت فعلی توزیع آب در شکل (۵) نشان می‌دهد که مقدار تولید گوجه‌فرنگی و ذرت‌دانه‌ای نسبت به وضعیت فعلی علی‌رغم کاهش سطح زیرکشت افزایش پیداکرده است و این به این معناست که سطح زیر کشت محصولات و الگوی توزیع آب در این مدل به‌گونه‌ای تعیین‌شده است که تنش آبی وارده به محصولات نسبت به وضعیت فعلی کاهش پیداکرده و عملکرد محصولات افزایش‌یافته است. مقایسه مقدار تولید در مدل بهینه‌سازی کامل با مدل بهینه‌سازی توزیع آب، شکل (۵)، نشان می‌دهد علی‌رغم اینکه سطح زیر کشت محصولات گندم، سیب‌زمینی و عدس در مقایسه با قبل از بهینه‌سازی الگوی کشت افزایش‌یافته است، شکل (۴)، مقدار تولید این محصولات نسبت به مدل بهینه‌سازی توزیع آب کاهش پیداکرده است. علت این موضوع این است که در مدل بهینه‌سازی الگوی توزیع آب سطح زیر کشت محصولات ثابت بوده و توزیع آب تخصیص داده‌شده بین بهره‌برداران با هدف افزایش درآمد سبب شده عملکرد واقعی گندم، سیب‌زمینی و عدس در بعضی از بهره‌بردارها بسیار افزایش یابد و نزدیک عملکرد پتانسیل شود و مقدار تولید زیاد شود. درحالی‌که در مدل بهینه‌سازی کامل سطح زیر کشت محصولات و الگوی توزیع آب کامل بر اساس پتانسیل تولید، درآمد، نیاز آبی و حساسیت گیاه به تنش آبی طوری تعیین‌شده است که درآمد شبکه حداکثر شود.

بر اساس جدول (۷) محصولات مناسب برای کشت در شبکه آبیاری دشت قزوین در وضعیت فعلی تخصیص به‌ترتیب سطح زیر کشت عبارتند از گندم، لوبیا، چغندرقند، گوجه‌فرنگی، نخود، جو، کلزا، سیب‌زمینی، ذرت‌دانه‌ای، عدس، یونجه و ذرت‌علوفه‌ای است.

جدول ٦- مقدار آب ماهانه تخصیص داده‌شده به هر بهره‌بردار در مدل بهینه‌سازی الگوی توزیع آب (هزار مترمکعب)

Table 6- Monthly water allocated to each operator in water distribution pattern optimization model (thousand cubic meters)

Month / Beneficiary	Far.	Ord.	Kho.	Tir	Mor.	Sha.	Meh.	Aba.	Aza.
L1	4222.2	6107.6	5576.9	3411.8	3349.9	2313.8	1049.0	1054.4	574.4
L2	382.0	5890.2	6246.6	757.1	903.5	1204.9	1333.2	1272.6	268.2
L3	1496.4	2602.6	2237.3	2294.4	2233.4	2230.4	1637.0	2732.6	507.2
L4	108.4	4003.1	3134.8	130.8	164.4	54.9	730.2	1645.1	1276.4
L4A	1825.8	3572.6	3170.2	723.4	376.8	910.0	465.4	612.6	605.1
L5	2382.3	3066.3	2080.6	828.2	917.5	578.6	439.4	2310.3	219.1
L6	228.3	1579.0	2194.0	1261.1	916.3	233.3	1158.1	2705.7	362.3
L7	3888.7	5514.2	5412.9	2168.2	2314.3	926.2	776.7	710.8	1295.5
M2	2357.2	3898.6	3024.1	1553.2	1119.2	484.4	438.3	2317.2	316.1
L8	42.2	582.6	2111.3	1466.6	1683.7	907.5	606.5	1951.8	974.7
MW	16.4	169.1	876.8	24.3	61.6	2.2	19.8	1302.5	1285.2
Sum	16950	36986	36065	14619	14041	9846	8654	18616	7684

DOI: 10.22055/JISE.2021.32941.1915

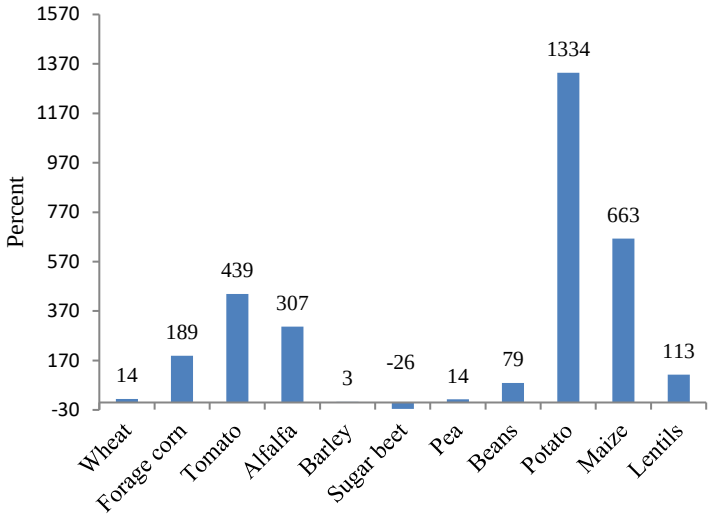

Fig. 3- Chart of change in crop yield in optimized water distribution model relative to current situation

شکل ۳- نمودار تغییر مقدار تولید محصول در مدل بهینه‌سازی توزیع آب نسبت به وضعیت فعلی

جدول ۷- الگوی کشت پیشنهادی پس از بهینه‌سازی کامل (هکتار)

Table 7- Proposed cropping pattern after complete optimization (ha)

Beneficiary / Plant	L1	L2	L3	L4	L4A	L5	L6	L7	M2	L8	MW
Wheat	2133	321	8316	1001	882	773	5160	2379	930	5733	3151
Forage corn	6	0	15	4	0	19	7	28	0	10	6
Canola	2	6	53	27	131	2	42	13	4	41	7
Tomato	630	14	54	6	526	8	31	0	4	98	19
Alfalfa	1	3	3	6	17	2	28	34	2	19	11
Barley	14	20	148	2	32	16	15	26	2	66	13
Sugar beet	13	1578	401	0	1	10	23	69	1	49	6
Pea	0	9	45	39	146	5	21	45	9	83	32
Beans	229	1679	299	834	8	515	76	456	823	32	6
Potato	23	5	46	5	5	1	27	6	5	58	86
Maize	6	33	35	11	9	2	68	9	11	20	27
Lentils	3	9	27	7	12	3	21	38	2	17	69

جدول ۸- الگوی پیشنهادی توزیع آب پس از بهینه‌سازی کامل (هزار مترمکعب)

Table 8 - Proposed pattern of water distribution after complete optimization (thousands cubic meter)

Month / Beneficiary	Far.	Ord.	Kho.	Tir	Mor.	Sha.	Meh.	Aba.	Aza.
L1	3520.7	6135.9	6473.9	4584.7	3290.3	1360.3	1033.0	2368.5	756.1
L2	2184.2	5306.8	704.9	740.6	1488.5	3676.9	1007.9	578.9	815.8
L3	1498.1	2778.4	2071.6	2336.6	2985.0	2045.3	1385.9	3154.3	666.5
L4	1844.0	3925.3	5128.7	178.4	134.4	255.7	580.7	420.7	836.7
L4A	1788.5	3647.3	4477.8	3288.0	2607.7	608.8	358.0	2166.8	305.1
L5	1389.9	2799.5	3279.1	337.3	204.1	277.5	254.3	2518.7	1259.9
L6	228.1	854.3	1149.3	1230.1	894.0	271.3	987.2	1505.8	233.3
L7	2790.8	6099.8	5615.7	424.8	744.1	332.5	528.8	585.5	822.3
M2	1665.3	3755.0	4821.3	61.1	31.7	4.7	853.3	731.5	640.9
L8	3.1	1659.6	2288.0	1421.0	1615.4	953.5	1081.1	1298.3	1217.6
MW	37.1	23.9	55.2	16.5	45.4	59.8	583.2	3286.8	130.0
Sum	16950	36986	36065	14619	14041	9846	8654	18616	7684

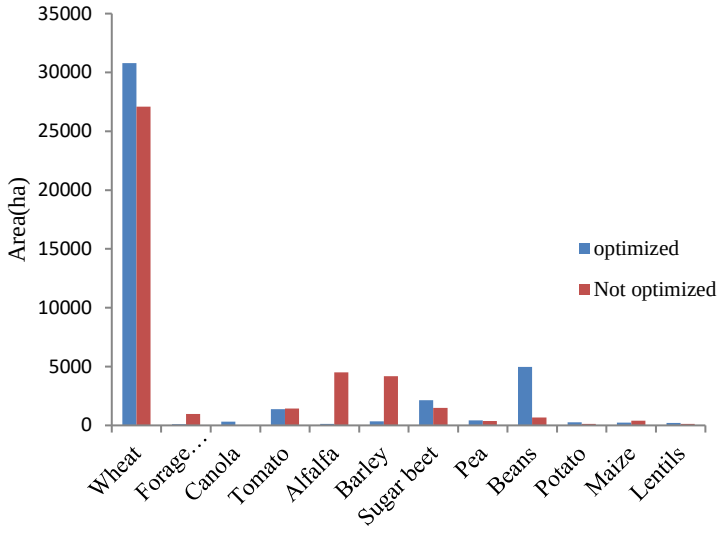

Fig. 4- Comparison diagram of crop area before and after complete optimization
شکل 4- نمودار مقایسه سطح زیر کشت محصولات قبل و بعد از بهینه‌سازی کامل

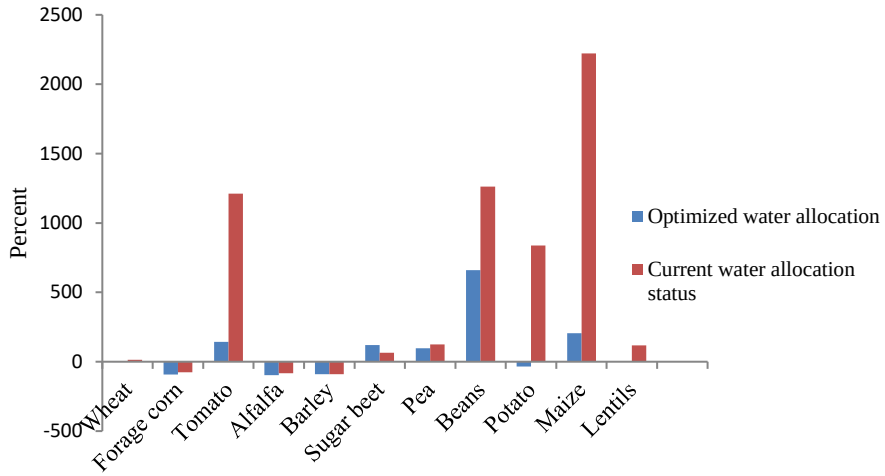

Fig. 5- Comparison diagram of production output of full optimization model with current situation and optimization model of water distribution pattern
شکل ۵- نمودار مقایسه مقدار تولید محصولات مدل بهینه‌سازی کامل با وضعیت فعلی و مدل بهینه‌سازی الگوی توزیع آب

نتیجه‌گیری

یکی از راهکارهای اساسی برای سازگاری با بحران‌های آب استفاده از بهینه‌سازی است. در این مطالعه با استفاده از تابع عملکرد و الگوریتم ژنتیک به بهینه‌سازی توزیع آب و الگوی کشت در شبکه آبیاری و زهکشی قزوین پرداخته شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد الگوی فعلی توزیع آب و کشت در منطقه بهینه نبوده و در صورت استفاده از الگوی بهینه توزیع آب و کشت علاوه بر حفظ منابع آب زیرزمینی می‌توان قابلیت تولید را ارتقاء و به دنبال آن درآمد کلی شبکه را افزایش داد. به‌طوری‌که در صورت استفاده از الگوی بهینه توزیع آب درآمد شبکه در حدود ۳۰ درصد و استفاده از الگوی بهینه توزیع آب و کشت درآمد شبکه در حدود ۸۵ درصد نسبت به وضعیت فعلی افزایش می‌یابد. این امر سبب افزایش درآمد کشاورزان و عدم تمایل ایشان به تخلیه منابع آب زیرزمینی می‌شود. لازم به ذکر است که با استفاده از الگوی کشت بهینه‌سازی شده، مناسب‌ترین محصول برای کشت در شرایط موجود در اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری قزوین گندم است.

تشکر و قدردانی

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

References

1- Barikani, A., Ahmadian, M., Khalilian, S. and Chizari, A., 2011. Optimal sustainable use of groundwater resources in agriculture: Case study subsector in Qazvin Plain. *Journal of Agricultural Economics and Development*, *25*(2), pp.253-262. (In Persian).

2- Kashefinezhad, P., Hooshmand, A.and Boroomandnasab, S., 2019. Optimal allocation of water resources using non-dominated sorting genetic algorithm (case study: Hamidiya irrigation network). *Journal of Water and Soil Conservation*, *25(6)*, pp. 239-253. (In Persian).

3- Khodadadi, S., Yasi, M. and Monem, M., 2017. Performance evaluation and optimization of water delivery schedule in the Zarinehroud irrigation network. *Water and Irrigation Management*, *7(1)*, pp.105-120. (In Persian).

4- Majidi Khalilabad, M., Majidi Khalilabad, N. and Davari, K., 2020. Economic impact of the groundwater overdraft on agriculture: A case study of the Neishaboor plain. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, *7*(4), pp.21-30. (In Persian).

5- Moghaddasi, M., Morid, S. AND Araghinejad, S., 2009. Optimization of water allocation during water scarcity condition using Non-Linear Programming, Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization (Case Study). *Iran Water Resources Research, 4(3)*, pp. 1-13. (In Persian).

6- Mohammad khani,M., Karimi,M. and Gomrokchi,A.,2016. Optimization of water allocation between different crops in water stress conditions in Qazvin irrigation network. *Journal of Water and Soil, 31*(1), pp.1-10. (In Persian).

7- Organization of Agricultural- Jihad Qazvin .https://qazvin-ajo.ir/. (In Persian).

8- Organization of Agricultural- Jihad Qazvin. 2018. Minimum, average and potential crop yield information. (In Persian).

9- Qazvin Regional Water Authority. 2014. Province water resources management reports. (In Persian).

10- Qazvin Regional Water Company. http://www.qzrw.ir/. (In Persian).

11- 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.

12- Rath, A., Samantaray, S. and Swain, P. C., 2019. *Optimization of the Cropping Pattern Using Cuckoo Search Technique*. Springer.

13- Siasser, H. and Honar, T., 2017. Optimization of water allocation and cropping pattern of dominant agricultural crops using Genetic Algorithm. In *3th International Conference on Agricultural Engineering and Natural Resources*. (In Persian).

14- Simiari, F. and Mazandarani Zadeh, H., 2017. Optimal redistribution of agricultural water based on Nash collaboration theory. *16th Iranian Hydraulic Conference, Mohaghegh Ardabil University of Ardabil, Ardabil, Iran.* (In Persian).

15- Singh, A., 2015. Land and water management planning for increasing farm income in irrigated dry areas. *Land Use Policy*, *42*, pp.244-250.

16- Sohrabi, T. and Javadpour Berojini, A.,2006.Convayence and distribution efficiencies of Qazvin irrigation network. *Agricultural Research, 5(2)*,pp.68-79. (In Persian).

17- Statistical Center of Iran. https://www.amar.org.ir/. (In Persian).

18- Yao, W., Ma, X. and Chen, Y., 2019. Optimization of Canal Water in an Irrigation Network Based on a Genetic Algorithm: A Case Study of the North China Plain Canal System. *Irrigation and Drainage*, *67(4)*, pp.629-636.

19- Yousefdoost,A. and Mohammadrezapour A.M., 2015. Genetic Algorithm optimization model for water resources allocation in agriculture. In *1th International Conference on Environment and Natural Resources, Kharazmi Institute of Higher Science and Technology, Shiraz, Iran*. (In Persian).