Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 46, No. 1, Spring 2023, p. 77-93

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

Research Paper

EXTENDED ABSTRACT

Optimal Redistribution of Water among Agricultural Sector Operators Using a Fuzzy Multi-objective Optimization Model

Sh. Kakavand [1], H. Mazandaranizade[2*] and H. Etedali Ramezani [3]

1- M.Sc. in Water Resource Management, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
2- Corresponding Author, Associate Professor, Water Sciences and Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran (mazandaranizadeh@eng.ikiu.ac.ir)*
3- Associate Professor, Water Science and Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 8 May 2021
Revised: 11 September 2021
Accepted: 14 September 2021

Keywords:
Optimal water distribution, Fairness, genetic algorithm, linguistic fuzzy variable.

TO CITE THIS ARTICLE:

Kakavand, S., Mazandarani zadeh, H., Ramezani Etedali, H. (2023). 'Optimal Redistribution of Water among Agricultural Sector Operators Using a Fuzzy Multi-objective Optimization Model', Irrigation Sciences and Engineering, 46(1), pp. 77-93. doi: 10.22055/jise.2021.37122.1966.

Introduction

Limited water resources in many arid and semiarid regions of the world pose a serious threat to land reclamation and sustainable development. Therefore, it is necessary to review past policies and formulate new policies in this area. In Iran, with mostly arid and semiarid climatic conditions, water scarcity has become a great concern affecting not only the agricultural sector but also the industrial sector and even the drinking water supply in some parts of the country. In recent years, due to climate change, population growth and increasing water requirements, it is expected that the method of water distribution will change and the optimal redistribution of resources will be seriously considered (Mazandarani Zadeh and Hosseini, 2021; Misaghi et. al., 2020; Hosseiniasl et al., 2018).

A review of past research shows that although many studies have been conducted on how to redistribute water optimally among retailers, each has sought to provide and optimize water resources by defining a specific objective function. Since most objective functions do not show the ability to describe mathematics accurately, it is better to use linguistic descriptions to model them.

In this research, the objective function has been defined using fuzzy capabilities to describe peripheral phenomena. The irrigation network of Qazvin plain was equal to 255 million cubic meters per year in the past, but in recent years due to various reasons such as climate change and increased harvest for drinking water supply in Tehran, the allocated amount has decreased to about 120 million cubic meters per year. The network consists of 11 subnets, each of which acts as an operator. Due to the reduction of allocated water in the irrigation network of Qazvin plain and the lack of reform of the irrigation program to this plain, in this study, an attempt has been made to reallocate water to maximize utility, including increasing the total network revenue and observing justice using fuzzy inference system.

Materials and Methods

In the present study, in order to redistribute water optimally among the operators of Qazvin plain network in order to increase revenue and observe the distribution justice, the fuzzy multi-objective nonlinear optimization method has been used.

Study area

To transfer water from the Taleghan River through the Ziaran diversion dam to the Qazvin plain, this irrigation network covering about 58,000 hectares of land in this plain has been constructed. The network has a main channel with a length of 94 km, 12-degree channels with a total length of 214 km and a third-degree channel with a length of 232 km. The project site has a semi-arid climate with relatively hot summers and cold winters. The study area, approximately 20 km long, includes an area of the Qazvin plain that is covered by a modern irrigation network.

Yield function

To estimate the amount of crop produced based on the amount of water consumed, the water-production relationship has been used.

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

where Ya and Ym are actual yield and crop potential in ton per hectare, respectively; AET_i and PET_i are real evapotranspiration and potential in growth period i in mm, respectively; and Ky_i shows crop susceptibility coefficient in growth period i.

Proposed optimization model

The following figure shows the conceptual representation of the proposed optimization model. As can be seen, after estimating the values of the variables by the GA algorithm, FIS is used to evaluate the suitability of the objective functions.

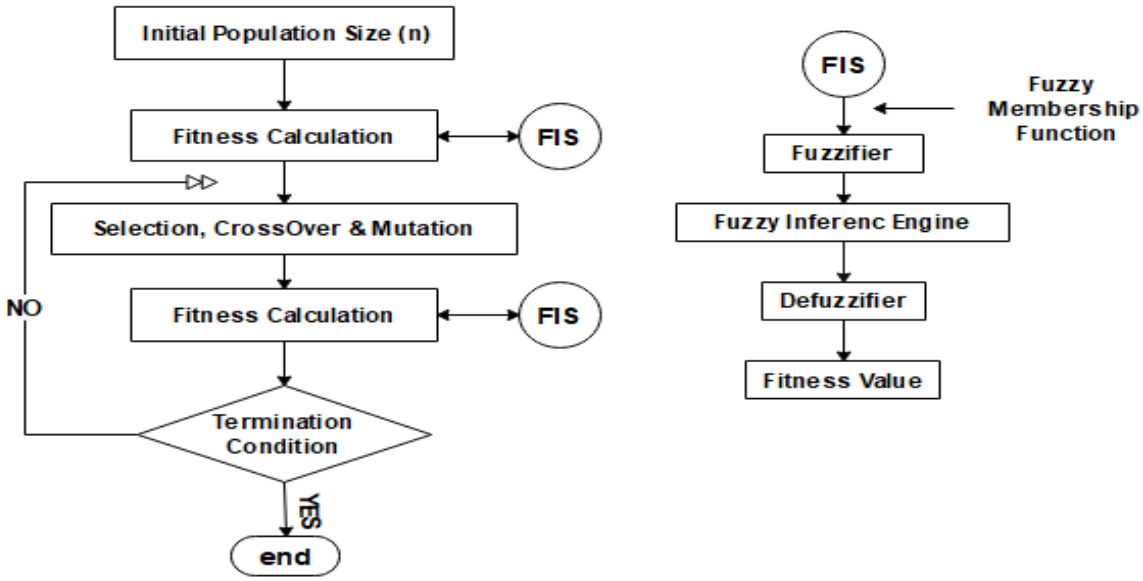


Fig. 1- Fuzzy Genetic algorithm flowchart

The purpose of this study is the optimal monthly redistribution of water with the aim of increasing utility, including the revenue of the entire network and observance of justice in water redistribution. The reason for choosing to increase the revenue of the entire network is to increase the efficiency of water distribution so that the amount of water distributed leads to the highest possible revenue. Besides, the reason for choosing the goal of ensuring justice in water redistribution is to prevent dissatisfaction and increase the participation of users in the implementation of the water redistribution model. This issue has 122 variables that limit the volume of water consumed per month and the volume of water consumed annually.

Results and discussion

Comparison of crop production under the current conditions and the proposed model according to Fig. 8, shows that the highest production growth occurred in the L1 channel and for forage corn. Considering that fodder corn has the highest yield according to the potential yield table, it should have the highest production in the channel with the largest area. The following figure compares the water allocated to each channel in both pre- and post-optimization situations. As can be seen, 9 channels show an increase in water allocation as compared to before. As can be seen, only two channels, L3 and L8, have reduced water levels.

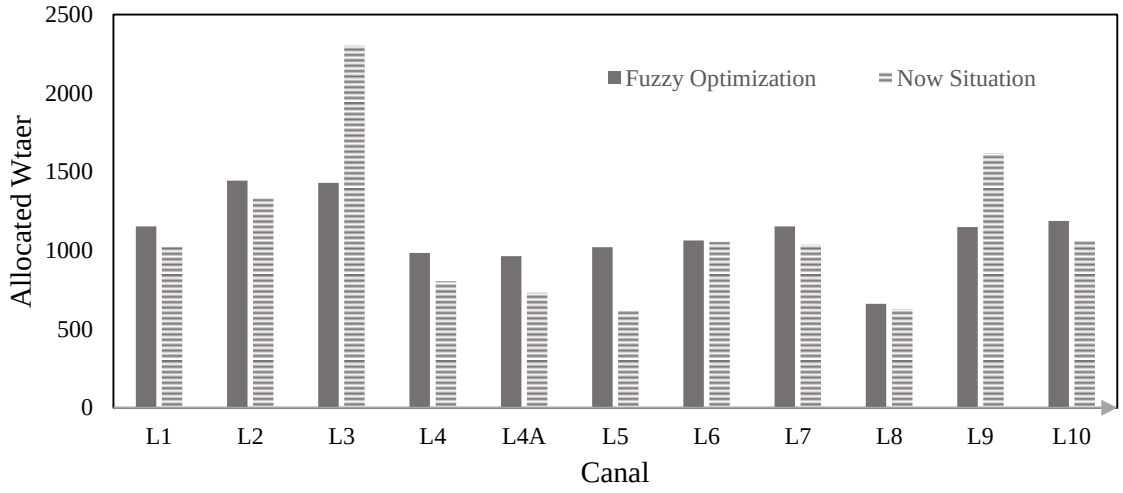


Fig. 2- Comparison of allocated water in current and fuzzy situations ($m^3 \times 10^4$)

The largest increase in the revenue is related to the L1 channel, which has increased about 4.5 times. The reason for this is that in the L1 channel, compared to the other channels, the highest area under forage corn cultivation is observed, which also shows the highest increase in forage corn yield according to the results of the optimal redistribution of water. This has led to the largest revenue increase for the L1 channel among all channels.

Acknowledgment

The current study was conducted at the Imam Khomeini International University and the authors of this paper express their gratitude and appreciation to the university.

References

1- Hosseiniasl, A., Mesgari, MS., and Mutkan, AA. (2018). "Conceptual Development of the Basis Factor and Optimization Based on Genetic Algorithm in the Allocation of Water Resources." *Environmental Sciences*, 2, pp.165-184.

2- Mazandarani Zadeh, H., and Hosseini, S. (2021). "Optimal Water Allocation among Agricultural Consumers Using Crop Pattern Change Approach to Improve Farmers' Livelihood." *Irrigation Sciences and Engineering*. doi: 10.22055/jise.2021.32941.1915

3- Misaghi, F., Amani, A., and Seddigh, A. (2020). "Comparison of the Efficiency of Gray Wolf Optimizer and Imperialist Competitive Algorithms in an Optimal Allocation of Water in Irrigation and Drainage Networks (Case Study: Sofi-Chay Network)." *Environmental Sciences,* 18(2), pp. 203-218.

© 2023 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 ٤٦، شماره‌ی ۱، بهار ۱٤۰۲، مقاله پژوهشی، ص. ۹۳-۷۷

بازتخصیص بهینه‌ی آب در میان مصرف‌کنندگان بخش کشاورزی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی چندهدفه ژنتیک- فازی با هدف افزایش درآمد و عدالت در توزیع (مطالعه موردی: شبکه آبیاری دشت قزوین)

شیدا کاکاوند[۱]، حامد مازندرانی زاده[۲*] و هادی اعتدالی رمضانی[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت منابع 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)
۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران.

دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۸ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۶/۲۰ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۳

چکیده

امروزه کم‌آبی به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های بخش کشاورزی کشور تبدیل شده است، مشکلی که نه‌تنها بخش کشاورزی، بلکه بخش صنعت و حتی بخش شرب برخی مناطق کشور را تحت تأثیر قرار داده است. در سال‌های اخیر در پی بروز تغییر اقلیم، افزایش جمعیت و افزایش نیازها انتظار می‌رود شیوه توزیع آب دچار تغییر شود و بازتخصیص بهینه منابع به‌طور جدی مورد توجه قرار گیرد. در دهه‌های اخیر استفاده از روش‌های بهینه‌سازی تخصیص آب با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری مورد توجه محققین قرار گرفته است. حقابه شبکه آبیاری دشت قزوین در ابتدای تأسیس در حدود ۲۵۵ میلیون مترمکعب در سال بوده است، اما در سال‌های اخیر، آب تخصیص‌یافته به این شبکه به حدود ۱۲۰ میلیون مترمکعب در سال کاهش‌یافته است. با توجه به این کاهش شدید، تغییری در برنامه تخصیص ذی‌النفعان شبکه رخ نداده و نسبت‌های تخصیص‌یافته به آن‌ها هم‌چون گذشته است. در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک به‌منظور بازتخصیص بهینه آب تخصیص یافته به شبکه استفاده شد. هم‌چنین به‌منظور اعمال اهداف متعارض با یکدیگر و با توجه به قابلیت‌های سیستم استنتاج فازی در برآورد عوامل غیر دقیق، از روش بهینه‌سازی چندهدفه فازی با هدف افزایش مطلوبیت کل سیستم، شامل افزایش درآمد بهره‌برداران و هم‌چنین رعایت عدالت در بازتوزیع استفاده شده است. نتایج نشان داد استفاده از روش پیشنهادی باز توزیع آب، باعث افزایش ٤۰/۷ درصد در درآمد کل شبکه و هم‌چنین ٥٤/٥ درصد در عدالت توزیع آب شده است.

کلید واژه‌ها: الگوریتم ژنتیک، متغیر زبانی فازی، بازتوزیع، عدالت.

مقدمه

محدودیت منابع آب در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، تهدیدی جدی برای رفاه و توسعه پایدار است. ازاین‌رو بازنگری در سیاست‌های گذشته و تدوین سیاست‌های جدید در این بخش ضروری است. مدیریت ضعیف منابع آب به‌ویژه در بخش کشاورزی باعث افزایش تقاضای آب و هدر رفت آن شده است. بسیاری از مناطق با موازنه نامتعادل مقدار عرضه و تقاضای آب مواجه شده‌اند. استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی کمک شایانی در توزیع بهینه منابع موجود می‌نماید. لیکن اغلب مسائل واقعی مشتمل بر چندین هدف متضاد با یکدیگر هستند. مدل‌های بهینه‌سازی چندهدفه ابزاری مناسب در حل چنین مسائلی هستند.

Raju و Kamkar (2004) تحقیقی باهدف افزایش سود یک پروژه آبیاری در مورداستفاده از الگوریتم ژنتیک در برنامه‌ریزی آبیاری و توسعه الگوی کشت مؤثر انجام دادند و نشان دادند می‌توان از الگوریتم ژنتیک به‌عنوان یک مدل بهینه‌ساز مؤثر برای برنامه‌ریزی هر سیستم آبیاری استفاده کرد.

Monem et al. (2007) در یک تحقیق برنامه‌ریزی بهینه تحویل آب در کانال‌های آبیاری را بررسی کردند. در این تحقیق روش ریاضی بهینه‌سازی تبرید (SA) و الگوریتم ژنتیک (GA) به کار گرفته شد و در آن حل مسائل توزیع آب در کانال‌های آبیاری را به‌صورت چندهدفه با اهداف متفاوت مدنظر قراردبا استفاده از مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی فازی (Fuzzy Neural Network and Genetic Algorithm)، اقدام به مدل‌سازی و بهینه‌سازی مصرف آب در دشت نجف‌آباد اصفهان نمودند. این مدل از دو بخش شبکه عصبی فازی، مشتمل بر شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی و الگوریتم ژنتیک تشکیل شده است. اهداف مدل بهینه‌سازی شامل کاهش کمبود تأمین آب آبیاری و هم‌چنین کاهش تخلیه آب‌های زیرزمینی در نظر گرفته‌شده است. نتایج نشان از وجود شکاف میان مقدار آب موجود و مقدار آب موردتقاضا در فصل پاییز و زمستان داشت.

DOI: 10.22055/JISE.2021.37122.1966

Misaghi et al. (2020) و Ayoubikia (2019) به مسئله تخصیص بهینه آب با استفاده از الگوریتم‌های فراکاوشی در حوضه‌های مختلف پرداختند و هر دو کارایی بهتر این الگوریتم‌ها در بهینه‌سازی تخصیص آب را تائید کردند.

Xieting et al. (2010) با توجه به اهمیت الگوی کشت و به دلیل عدم قطعیت اطلاعات، به ارائه مدل برنامه‌ریزی خطی فازی چندهدفه با اعداد مثلثی فازی و مسئله برنامه‌ریزی آرمانی متناظر آن برای تعیین الگوی بهینه کشت پرداختند. نتایج نشان داد مدل خطی چند هدفه فازی در مقایسه با مدل خطی معمول اطلاعات مؤثرتری را بیان می‌کند و راه‌حل‌های پیشنهادی آن رضایت‌مندی تصمیم گیران را از اجرا نشان می‌دهد.

به‌طورکلی مسائل بهینه‌سازی پیچیده هستند و نمی‌توان آن‌ها را با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی کلاسیک حل کرد. پیچیدگی‌های مسئله و هم‌چنین توانایی‌های یافتن جواب‌های بهتر در فضای گسسته، سبب استفاده از الگوریتم‌های فراکاوشی شده است (Karamoz and Kerachian, 2011؛ Bozorg Haddad and Seifollahi-Aghmiuni, 2015).

Habibi et al. (2013) با تخصیص بهینه منابع آب در بین بخش‌های کشاورزی، صنعت و خدمات، با اولویت تأمین آب بخش خدمات، با استفاده از الگوریتم تلفیقی ژنتیک- هوش جمعی (Genetic Algorithm-Particle Swarm) ، نشان دادند با تخصیص بهینه منابع آب بین بخش‌ها می‌توان درآمدهای حاصله در منطقه کویر مرکزی ایران را تا ۵۶ درصد نسبت به وضعیت فعلی بهبود بخشید.

Nabinejad و Mousavi (2013) برای مدل‌سازی مسئله تخصیص منابع آب حوضه‌ای از تلفیق الگوریتم بهینه‌ساز ازدحام ذرات (PSO) و مدل تخصیص منابع آب (MODSIM) استفاده کردند. مدل پیشنهادی قادر به ارائه جواب برای یک مسئله بهره‌برداری و تخصیص آب حوضه‌ای، با احتساب معیارهای کارایی (اعتمادپذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری) و عدالت در تخصیص آب، از دسته شاخص‌های پایداری، مستقیماً در تابع هدف مدل است. کاربرد این مدل در مسئله تخصیص منابع آب حوضه رودخانه اترک ارزیابی شد. ملاحظه شد که مدل با تابع هدف شامل تمام معیارها می‌تواند به جوابی منجر شود که در آن گرچه مقادیر هر معیار از بهترین جواب حاصل از مدل‌های تک هدفه شامل فقط یکی از معیارهای اعتمادپذیری، برگشت‌پذیری، عدالت و آسیب‌پذیری به‌ترتیب ۱/۱، ۰/۶، ۶ و ۷ درصد بدتر است. هم‌چنین با توجه به ماهیت چندهدفه چند هدفه بودن مدل ملاحظه گردید که جواب‌های مختلف با تابع هدف وزنی یکسان ولی با مقادیر معیارهای متفاوت موجود است که بسته به ترجیح تصمیم‌گیران و ذی‌نفعان قابل بهره‌برداری خواهند بود.

الگوریتم‌های بهینه‌سازی فرا ابتکاری، روش‌های ابتکاری هستند که می‌تواند با تغییرهای کم برای مسائل مختلف بهینه‌سازی به کار رود. الگوریتم‌های فرا ابتکاری به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای توانایی یافتن جواب‌های باکیفیت بالا را برای مسائل بهینه‌سازی سخت، افزایش می‌دهد (Sardar Shahraki et al., 2016).

در اغلب موارد مطلوبیت و خواسته‌های بهره‌برداران با استفاده از متغیرهای زبانی و به صورتی غیردقیق بیان می‌شود. سیستم استنتاج فازی (Fuzzy Inference System) ابزاری قدرتمند در مواجهه با مسائلی مشتمل بر پارامترهای غیردقیق است.

Omidvar et al. (2016) در پژوهشی یک مدل بهینه‌سازی تخصیص آب و الگوی کشت بر مبنای تئوری بازی‌های همکارانه ارائه دادند. به منظور سنجش کارایی مدل، اراضی تحت پوشش یکی از کانال‌های شبکه آبیاری سد درود زن فارس مورد بررسی قرارگرفته است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد با تخصیص آب بیشتر به بخش‌های با پتانسیل تولید بیشتر سود و بهره‌وری اقتصادی آب افزایش می‌یابد.

Simyari و Mazandarani Zadeh (2017) در خصوص باز تخصیص بهینه آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک در میان بهره‌برداران بخش کشاورزی شبکه قزوین نشان داد درآمد بهره‌برداران در صورت شکل‌گیری همکاری کامل میان ایشان نسبت به وضعیت موجود بیش از ۳۰ درصد قابل‌افزایش است.

مطالعه Li et al. (2017) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی چندهدفه فازی برای تخصیص آب آبیاری سطحی و زیرزمینی در دوره‌های مختلف رشد برنج در زیر حوضه‌های مختلف شهرستان چینگان (Qing'an County) شمال‌شرقی کشور چین، تحت ترکیبی از شرایط خشک و مرطوب، نشان دادند که مدل پیشنهادی برای اکثر مناطق با منابع آب محدود، برای تعیین استراتژی‌های توزیع قابل‌اجرا است و از آنجا که کمبود آب باعث بروز اختلاف میان بخش‌های مختلف در جامعه می‌شود تخصیص بهینه منابع آب امری لازم و ضروری است.

Hosseiniasl et al. (2018) با ارائه چارچوب مفهومی عامل مبنا برای تخصیص بهینه منابع آب به بخش‌های مختلف، نحوه تعاملات بین عامل‌های مختلف را تشریح و قابلیت بهره‌گیری از این روش مدل‌سازی را ارائه کردند. برای بهینه‌سازی تخصیص آب بین بخش‌های مختلف از الگوریتم ژنتیک استفاده شد. نتایج نشان داد این بهینه شدن منجر به کاهش سطح زیر کشت در بخش کشاورزی و کاهش مقدار آب تخصیص‌یافته در مقایسه با وضعیت فعلی شده است. در بخش صنعت نیز به دلیل سودآوری اقتصادی بالاتر این بخش نسبت به بخش کشاورزی، تخصیص بهینه در راستای افزایش سودآوری اقتصادی منجر به تخصیص بیشتر آب در مقایسه با مصرف فعلی شده است.

Xie و Xia (2018) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی تصادفی فازی برای مدیریت تخصیص منابع آب آبیاری و طراحی ساختار مزرعه تحت عدم قطعیت در شهر جینینگ (Jining City) چین نشان دادند که این مدل برای اصلاح تخصیص آب آبیاری موجود

و طرح کشت محصولات برای توسعه اجتماعی اقتصادی تحت عدم قطعیت مطلوب است.

بررسی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که هرچند مطالعه‌های زیادی روی نحوه بازتخصیص بهینه آب در میان بهره‌برداران صورت گرفته است لیکن هریک با تعریف تابع هدفی مشخص در پی تأمین و بهینه‌سازی آن برآمده‌اند. درحالی‌که بسیاری از توابع هدف از قابلیت توصیف دقیق ریاضی برخوردار نیستند و بهتر است از توصیف زبانی برای مدل‌سازی آن‌ها استفاده شود. در این تحقیق با استفاده از قابلیت‌های فازی در توصیف پدیده‌های پیرامونی، نسبت به تعریف تابع هدف اقدام شده است. حقابه شبکه آبیاری دشت قزوین از گذشته برابر ۲۵۵ میلیون مترمکعب در سال بوده است، لیکن در سال‌های اخیر به دلایل گوناگون ازجمله تغییر اقلیم و افزایش برداشت برای تأمین آب شرب شهر تهران، مقدار تخصیص‌یافته به حدود ۱۲۰ میلیون مترمکعب در سال کاهش‌یافته است. شبکه از ۱۱ زیر شبکه تشکیل‌شده است که هر یک به مثابه یک بهره‌بردار است. با توجه به کم شدن آب تخصیصی در شبکه آبیاری دشت قزوین و عدم‌اصلاح برنامه آبیاری به این دشت، در این تحقیق سعی بر تخصیص مجدد آب باهدف بیشینه‌سازی مطلوبیت شامل افزایش درآمد کل شبکه و رعایت عدالت با استفاده از سیستم استنتاج فازی، شده است.

محدوده موردمطالعه

شبکه آبیاری دشت قزوین در غرب کشور و در استان قزوین بین ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۵ دقیقه طول شرقی واقع‌شده است (شکل۱). برای انتقال آب رودخانه طالقان از سد انحرافی زیاران به دشت قزوین احداث‌شده و حدود ۵۸ هزار هکتار اراضی این دشت را تحت پوشش قرار می‌دهد. شبکه دارای یک کانال اصلی به طول ۹۴ کیلومتر، ۱۲ کانال درجه دو که طول آن‌ها درمجموع ۲۱۴ کیلومتر و کانال درجه سه به طول ۲۳۲ کیلومتر است. از لحاظ اقلیمی منطقه طرح دارای اقلیمی نیمه‌خشک، تابستان‌های نسبتاً گرم و زمستان‌های سرد است. منطقه موردمطالعه، به طول حدودی ۲۰ کیلومتر، شامل پهنه‌ای از دشت قزوین است که تحت پوشش شبکه مدرن آبیاری قرارگرفته است. جدول (۱) به نمایش میزان آب اختصاص‌یافته به هر بهره‌بردار در طی سال زراعی ۹۴-۹۵ می‌پردازد.

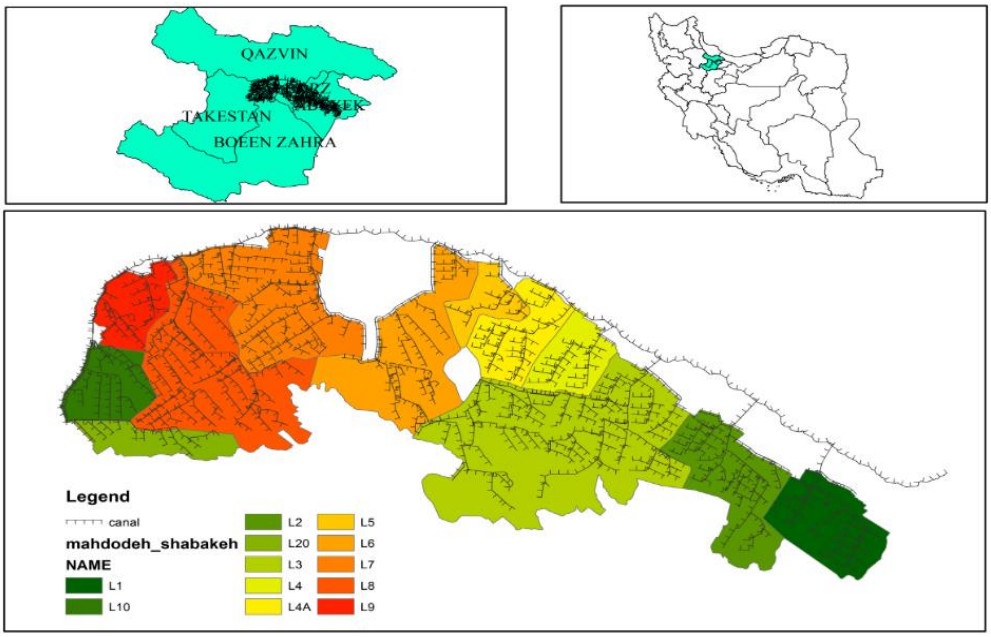


Fig. 1- Irrigation Network of Qazvin Plain

شکل ۱- شبکه آبیاری دشت قزوین

DOI: 10.22055/JISE.2021.37122.1966

جدول ۱- میزان آب توزیع‌شده در هر یک از کانال‌های اصلی شبکه آبیاری دشت قزوین (میلیون متر مکعب)

Table 1- Distributed Water in main channels of Qazvin irrigation network (Mm^3)

canal / month	L1	L2	L3	L4	L4A	L5	L6	L7	L8	L9	L10
Far.	0.35	0.295	0.192	0.098	0.120	0.090	0.134	0.146	0.062	0.102	0.06
Ord.	1.90	3.007	5.054	1.738	1.754	1.624	2.812	2.604	1.449	3.937	2.53
Kho.	2.58	3.420	6.441	1.924	1.838	1.820	3.269	2.978	1.994	5.280	2.67
Tir	1.55	1.689	2.714	1.183	0.957	0.750	1.212	1.051	0.771	2.020	1.59
Mor.	1.87	2.363	4.238	1.654	1.274	0.963	1.430	1.620	1.009	2.492	1.78
Shah.	1.81	2.464	4.303	1.442	1.346	0.870	1.632	1.855	0.992	2.350	1.94
Mehr	0.05	0.020	0.029	0.005	0.006	0.011	0.022	0.035	0	0.003	0.01
Aban	0.05	0.020	0.029	0.005	0.006	0.011	0.022	0.035	0	0.003	0.01
Azar	0.05	0.020	0.029	0.005	0.006	0.011	0.022	0.035	0	0.003	0.01
Dey	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bah.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Esf.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	10.2	13.3	23.03	8.055	7.308	6.151	10.55	10.35	6.276	16.19	10.6
Sum(Mm^3)	122.030										

مدل بهینه‌سازی پیشنهادی

هدف از این مطالعه باز توزیع بهینه ماهانه آب میان ۱۱ بهره‌بردار عمده شبکه آبیاری قزوین برای تولید ۱۱ نوع محصول مختلف با اهداف افزایش مطلوبیت شامل درآمد کل شبکه و رعایت عدالت در باز توزیع آب است. دلیل انتخاب هدف افزایش درآمد کل شبکه افزایش بهره‌وری توزیع آب است به‌گونه‌ای که مقدار آب توزیع‌شده منجر به کسب بیشترین مقدار درآمد ممکن شود. هم‌چنین دلیل انتخاب هدف تأمین عدالت در باز توزیع آب، جلوگیری از ایجاد نارضایتی و افزایش میزان مشارکت بهره‌برداران در اجرای الگوی باز توزیع آب است. این مسئله دارای ۱۲۲ متغیر است که محدودیت‌ها شامل حجم آب مصرفی در ماه و حجم آب مصرفی سالیانه است. شکل (۲) فلوچارت مدل بهینه‌سازی پیشنهادی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود پس از تخمین مقادیر متغیرها توسط الگوریتم GA، به‌منظور ارزیابی مقدار برازندگی توابع هدف از FIS استفاده می‌شود. در ادامه، توابع هدف و سیستم FIS به‌کاررفته در این تحقیق ارائه خواهد شد.

تابع هدف اول

تابع هدف اول عبارت از بیشینه‌سازی درآمد کل شبکه است.

$$\text{Max } P$$
$$\text{S. T:} \qquad (۱)$$

$$P = \sum_{j=1}^{n} Y_{ij} \times A_{ij} \times Pr_j \;\forall i = 1,2,\dots,m \qquad (۲)$$

$$\sum_{i=1}^{11} All_{i,t} \le Re_t \; t = 1,2,\dots,12 \qquad (۳)$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{t=1}^{12} ReAll_{i,t} \le \sum_{t=1}^{12} All_t \qquad (۴)$$

$A_{i,j}$ is Constant $\forall i = 1,2,\dots,m$ and $\forall j = 1,2,\dots,n$

در رابطه بالا P: درآمد کل شبکه، Y_{ij}: عملکرد محصول j در زمین بهره‌بردار i، n: تعداد محصولات شبکه، m: تعداد بهره‌برداران، A_{ij}: مساحت زمین اختصاص‌یافته به محصول j در زمین بهره‌بردار i جدول (۲)، Pr_j: قیمت محصول j جدول (۳)، $ReAll_{it}$: مقدار آب تخصیص‌یافته به بهره‌بردار i در ماه t و All_{it}: مقدار آب آزادشده در ماه t بر مبنای جدول (۱) است. بر اساس رابطه (۲) مجموع آب اختصاص‌یافته به مجموع بهره‌برداران در هرماه باید از مجموع آب قابل تخصیص آن ماه کمتر باشد و بر اساس رابطه (۳) جمع آب اختصاص‌یافته در هرسال از مجموع آب قابل تخصیص سالانه کمتر باشد. هم‌چنین بر اساس رابطه (۴) مساحت زمین در اختیار هر بهره‌بردار و مساحت اختصاص‌یافته به هر کشت عددی ثابت است و تغییر نمی‌کند. ظرفیت کانال‌های انتقال نیز می‌تواند به‌عنوان قید در چنین مسائل بهینه‌سازی مورد توجه طراح قرار گیرد لیکن با بازدید میدانی به‌عمل آمده، ظرفیت کانال‌ها باعث محدودیت ظرفیت انتقال برای حدود احجام آب فعلی نخواهد شد.

تابع هدف دوم

افزایش شاخص عدالت به‌عنوان تابع هدف دوم تعیین شده است. در این تحقیق نسبت تعداد بهره‌بردارانی که پس از باز توزیع با افزایش درآمد مواجه شده‌اند نسبت به تعداد کل بهره‌برداران، به‌عنوان شاخص عدالت تعیین‌شده است.

$$\text{Max Fairness}$$
$$\text{S. T :} \qquad (۵)$$
$$\text{Fairness} = \frac{i^+}{m}$$

$$i^{+} \in \{i \in m / P_i^{ReAll} \geq P_i^{All}\} \quad (۶)$$

که در رابطه بالا Fairness عبارت از عدالت، i^{+} تعداد بهره‌بردارهایی که درآمد آن‌ها نسبت به قبل بیشتر شده است، m تعداد بهره‌برداران و P_i^{All} و P_i^{ReAll} به‌ترتیب درآمد بهره‌بردار i قبل و بعد از باز تخصیص است.

سیستم استنتاج فازی (FIS)

سیستم استنتاج فازی از سه عملگر فازی ساز، موتور فازی و فازی زدا تشکیل‌شده است. در این سیستم ابتدا مقادیر عددی و معین به‌دست آمده برازش توابع هدف اول و دوم، با استفاده از عملگر فازی‌ساز تبدیل به عبارت‌های فازی می‌شوند. به‌عبارت دیگر توسط این عملگر شدت تطابق یک مقدار مشخص با هریک از قوانین فازی سنجیده می‌شود. سپس با استفاده از موتور فازی، قوانین فوق بر اساس میزان صحت، با یکدیگر ترکیب می‌شوند. درنهایت با استفاده از عملگر فازی زدایی، عدد مشخص نهایی برازش به‌دست خواهد آمد. برای نگاشت ورودی به خروجی دو نوع سیستم استنتاج فازی ممدانی و سوگنو وجود دارد که در این تحقیق از سیستم استنتاج ممدانی استفاده‌شده است.

توابع عضویت فازی دارای شکل‌های مختلفی است (Nasirzade et al., 2015). در این تحقیق از توابع مثلثی و ذوزنقه‌ای فازی برای معرفی توابع درآمد و عدالت و مطلوبیت با استفاده از نظر خبرگان سیستم استفاده شده است. شکل‌های (۳) تا (۵) به نمایش تابع عضویت درآمد، عدالت و هم‌چنین مطلوبیت کل سیستم می‌پردازد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود درآمد و عدالت به سه وضعیت کم، متوسط و زیاد تقسیم‌شده است، هم‌چنین مطابق جدول (۲) مطلوبیت کل سیستم به پنج وضعیت خیلی بد، بد، متوسط، خوب و خیلی خوب تقسیم‌شده است.

به‌این‌ترتیب با توجه به وجود سه حالت کم، متوسط و زیاد در دو متغیر درآمد و عدالت، بر اساس جدول (۲) شاهد شکل‌گیری نه قانون ورودی به FIS خواهیم بود، به‌عنوان‌مثال اگر عدالت کم و درآمد متوسط باشد، مطلوبیت کل سیستم کم خواهد بود. مطابق جدول (۲) پس از تخمین ۱۲۲ متغیر مسئله توسط الگوریتم ژنتیک، دو تابع هدف درآمد و عدالت بر مبنای معادله‌های (۱) تا (۵) محاسبه خواهد شد. سپس میزان عضویت اعداد به‌دست‌آمده برای درآمد و عدالت، به دسته‌های کم، متوسط و زیاد سنجیده می‌شود. همان‌گونه که اشاره شد از ترکیب وضعیت‌های مختلف عدالت و درآمد، نه قانون امکان شکل‌گیری دارند که البته با توجه به شکل تابع عضویت مثلثی به‌کاررفته در توابع عضویت، هر عدد هم‌زمان فقط به دو قانون وابستگی خواهد داشت، به‌این‌ترتیب با ترکیب دو متغیر درآمد و عدالت، چهار قانون فعال خواهد شد و با ترکیب چهار قانون به‌دست‌آمده، مقدار مطلوبیت فازی کل سیستم به‌دست می‌آید. درنهایت با استفاده از عملگر فازی زدایی مطلوبیت نهایی سیستم قابل‌محاسبه است.

برای مثال بر اساس شکل (۶) چنانچه شاخص عدالت برابر ۰/۳۶ و مقدار درآمد برابر ۶۸ میلیارد تومان باشد مقدار مطلوبیت نهایی سیستم برابر ۰/۳۸- شده است.

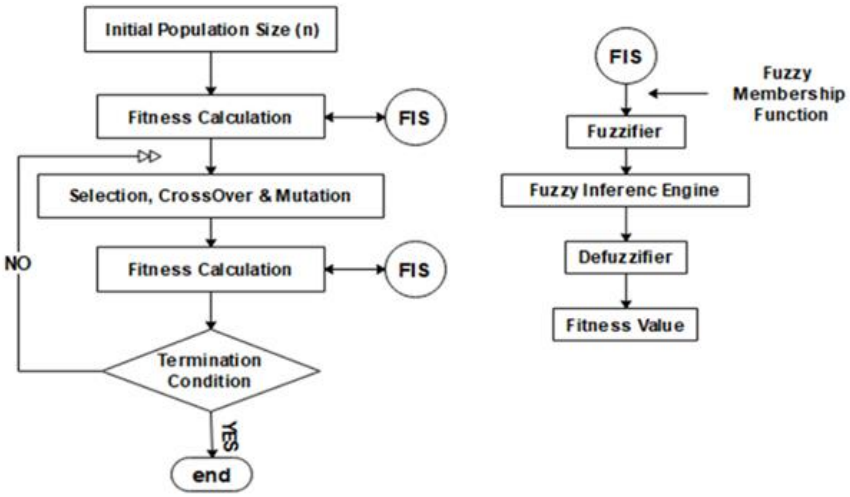


Fig. 2- Fuzzy Genetic algorithm flowchart

شکل ۲- فلوچارت برنامه الگوریتم ژنتیک فازی

DOI: 10.22055/JISE.2021.37122.1966

جدول ۲- مقادیر مطلوبیت به‌دست‌آمده از قوانین اگر-آنگاه
Table 2- Desirability obtained from if-then rules

Income \ Justice	Low	Medium	High
Low	Very Low	Low	Medium
Medium	Low	Medium	High
High	Low	High	Very high

جدول ۳- عملکرد پتانسیل محصولات زراعی کشاورزی دشت قزوین (تن بر هکتار)
Table 3- Potential yield of agriculture crops in Qazvin (Ton/ha)

CROPS	PRODUCTION POTENTIAL
Wheat	8
Forage corn	70
Tomato	45
Alfalfa	15
Barley	6.5
Sugar beet	38
Pea	1.2
Bean	6.8
Potato	10
Corn	13.1
Lentils	1.12

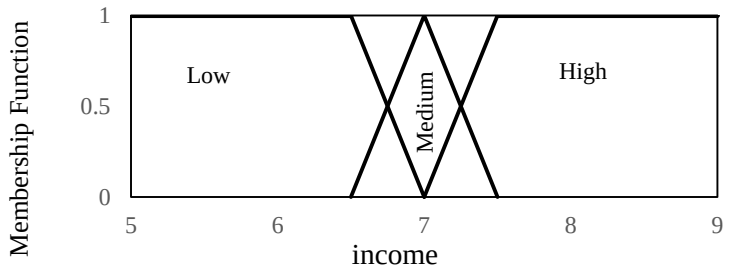


Fig. 3- Income membership function (MToman)
شکل ۳- توابع عضویت درآمد (میلیارد تومان)

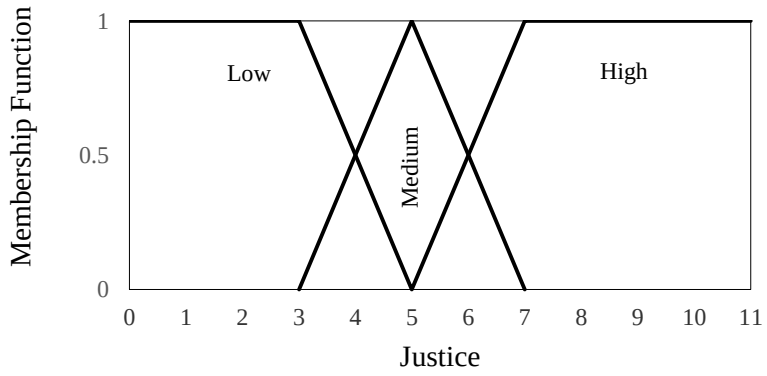


Fig. 4- Justice membership function
شکل ٤- توابع عضویت عدالت

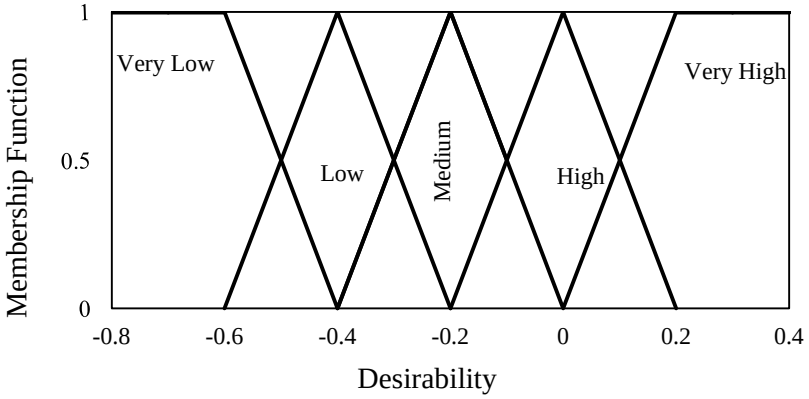


Fig. 5- Final desirability membership function
شکل ۵- توابع عضویت مطلوبیت نهایی

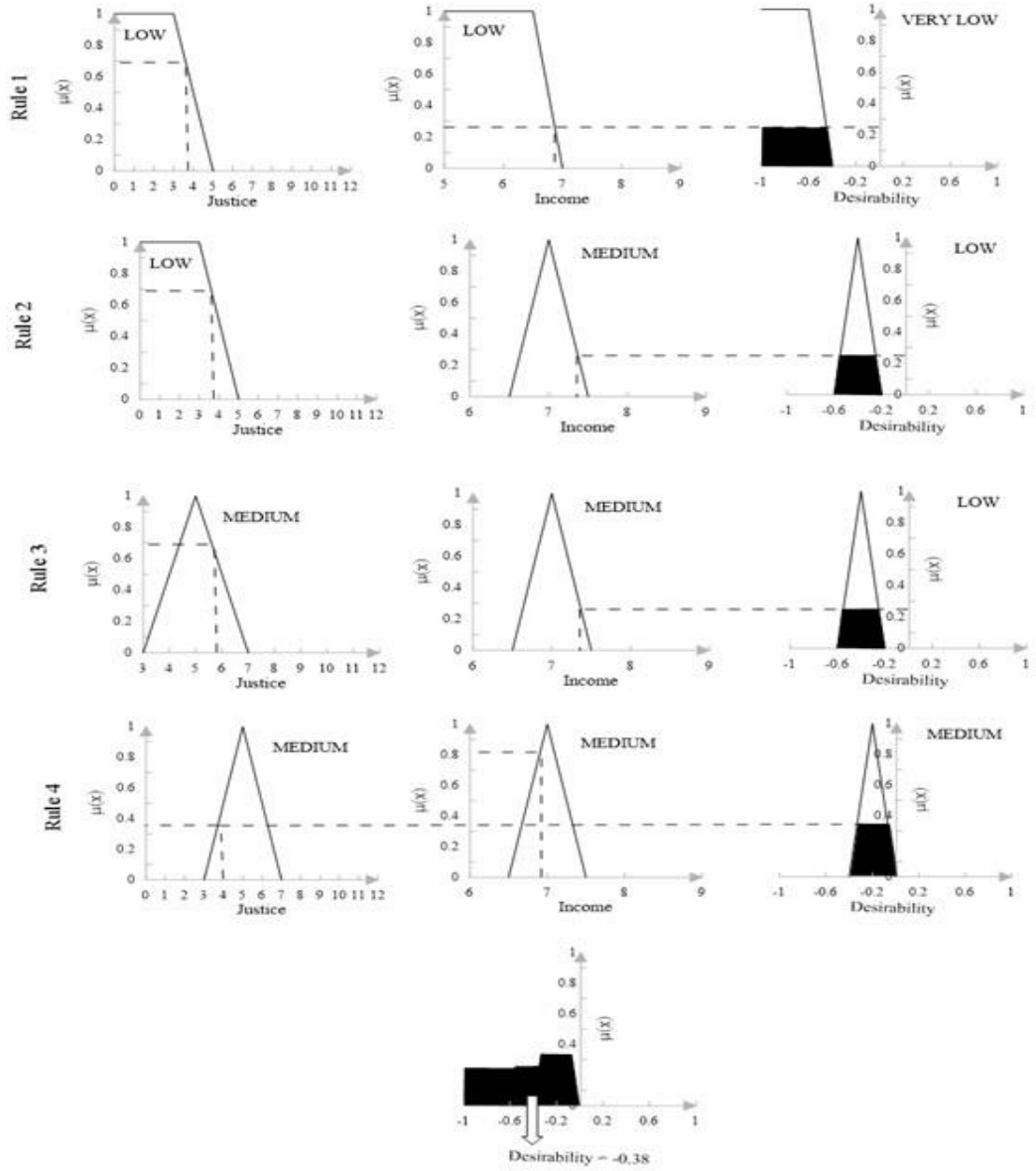


Fig. 6- Fuzzy Inference System
شکل ٦- سیستم استنتاج فازی

DOI: 10.22055/JISE.2021.37122.1966

الگوریتم ژنتیک

در سال‌های اخیر محققین زیادی رو به استفاده از روش‌های بهینه‌سازی تدریجی ازجمله الگوریتم ژنتیک، شبکه‌های عصبی، سرد شدن فلزات مذاب، الگوریتم مورچه آورده‌اند Mazandarani Zadeh et al. (2020) الگوریتم ژنتیک که امروزه در علوم مهندسی کاربرد فراوانی یافته، نخستین بار توسط جان هلند، متخصص علوم کامپیوتر دانشگاه میشیگان در سال ۱۹۷۵ ارائه شد. در حل یک مسئله بهینه‌سازی توسط الگوریتم ژنتیک مجموعه‌ای از جواب‌های مسئله به‌صورت اتفاقی ایجاد می‌گردد و سپس در هر مرحله با اعمال سه عملگر انتخاب، جابجایی و جهش روی جمعیت اولیه، جمعیت‌های بعدی تشکیل‌شده و درنهایت جواب بهینه به‌دست می‌آید.پارامترهای الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله فعلی نرخ ازدواج برابر ۰/۸، نرخ جهش برابر ۰/۱، تعداد اعضای جمعیت برابر ۵۰ عضو و تعداد تکرار برابر ۱۰۰۰ تکرار در نظر گرفته شدند.

تابع تولید آب – عملکرد

برای به‌دست آوردن عملکرد محصول در رابطه‌ی (۱)، با توجه به آبی که به هر بخش تخصیص داده می‌شود از رابطه تولید آب–عملکرد که در نشریه ۳۳ فائو (FAO33) به آن اشاره شده، استفاده‌شده است (Hoseini et al., 2021).

$$\frac{Y_a}{Ymax} = \prod_{i=1}^{n}\left[1 - K_{yi}\left(1 - \frac{AET_i}{PET_i}\right)\right] \qquad (۷)$$

که در این رابطه Y_a میزان عملکرد واقعی محصول (تن بر هکتار)، $Ymax$ عملکرد پتانسیل محصول در شرایط بدون تنش آبی(کیلوگرم بر هکتار) ، K_{yi} ضریب حساسیت محصولات نسبت به کم‌آبی در مراحل مختلف رشد ، AET_i مقدار آب‌داده شده به محصول (تبخیر تعرق واقعی) در مراحل مختلف رشد(میلی‌متر)، PET_i نیاز آبی محصول (تبخیر و تعرق پتانسیل) در دوره‌ی رشد iام، n تعداد دوره‌های رشد برای هر محصول است. مقدار عملکرد به‌دست‌آمده از این رابطه بایستی در رابطه (۱) جای‌گذاری شود.

برای به‌دست آوردن تبخیر تعرق با توجه به رابطه (۸) بایستی مقادیر داده‌های نیاز و بارش خالص باهم جمع شوند که در رابطه زیر PET تبخیرتعرق و P_e بارش خالص است. نیاز خالص آبیاری و بارش خالص محصولات زراعی با استفاده از نرم‌افزار نت وات (NetWat) برای دشت قزوین و گیاهان منطقه به‌دست آمد.

$$I_n = PET - P_e \qquad (۸)$$

جدول ٤- سطح کشت محصولات شبکه به تفکیک نوع محصول و کانال فرعی (هکتار)

Table 7- Area of network products by crops type and sub channel (ha)

crop \ canal	L1	L2	L3	L4	L4A	L5	L6	L7	L8	L9	L10
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	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
Bean	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
Corn	0	5.6	171	5	80	1.5	103	35	0	0	0
Lentils	0	0	7	0	0	0	12	46	20	20	15

جدول ٥- قیمت محصولات زراعی شبکه آبیاری دشت قزوین ١٣٩٤ (تومان بر کیلوگرم)

Table 8- Crops price in Qazvin irrigation plain 1394(Toman/Kg)

CROPS	PRICE
Wheat	705
Forage corn	570
Tomato	300
Alfalfa	450
Barley	520
Sugar beet	120
Pea	700
Bean	900
Potato	450
Corn	410
Lentils	1100

نتایج و بحث

در این پژوهش باز توزیع بهینه آب در شبکه آبیاری دشت قزوین با دو هدف افزایش درآمد و همچنین رعایت عدالت با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک و با استفاده از متغیرهای فازی زبانی در نرم‌افزار متلب (Matlab) پرداخته شد. در شکل (۷) مقایسه آب تخصیص‌یافته به هر کانال در دو وضعیت قبل و بعد از بهینه‌سازی رسم شده است، همان‌گونه که مشاهده می‌شود تعداد نه کانال با افزایش آب تخصیصی نسبت به قبل مواجه شده‌اند. همان‌گونه که جدول (۶)، درصد تغییرات آب تخصیصی را نشان می‌دهد تنها دو کانال L3 و L8 کاهش میزان آب داشتند.

مقایسه تولید محصولات در شرایط فعلی و مدل پیشنهادی طبق شکل (۸)، نشان می‌دهد بیشترین رشد تولید مربوط به کانال L1 و برای محصول ذرت علوفه‌ای شکل (۹) رخ داد. با توجه به اینکه ذرت علوفه‌ای طبق جدول عملکرد پتانسیل جدول (۳)، بیشترین میزان عملکرد را دارد بایستی در کانالی با بیشترین مساحت، بیشترین تولید را داشته باشد. در شکل (۹) مقدار تولید هر محصول در دو وضعیت رسم شده، همان‌طور که مشاهده می‌شود، ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی با افزایش شش و سه برابری دو رتبه نخست تغییر رشد را در بین سایر محصول‌ها دارند.

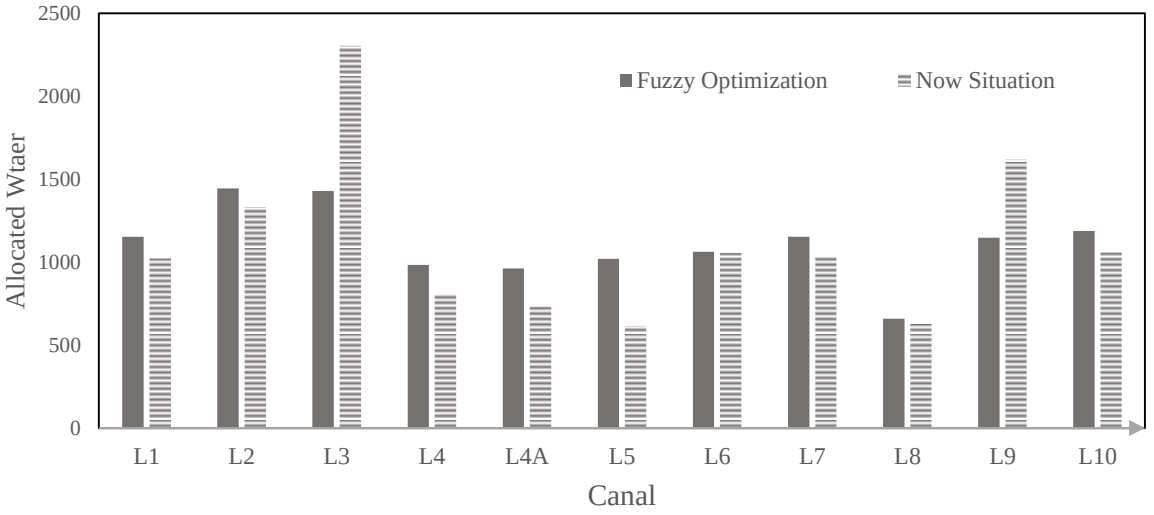


Fig. 7- Comparison allocated water in current and fuzzy situation ($m^3 \times 10^4$)
شکل۷- مقایسه آب تخصیص‌یافته در دو وضعیت کنونی و بهینه‌سازی فازی (ده هزار مترمکعب)

جدول ٦- درصد تغییرات آب تخصیصی
Table6- Percentage of change allocated water

canal	Percentage of change allocated water
L1	12.87
L2	8.6
L3	-37
L4	22.1
L4A	31.7
L5	65.8
L6	0.73
L7	11.3
L8	5.11
L9	-29.1
L10	12.11

DOI: 10.22055/JISE.2021.37122.1966

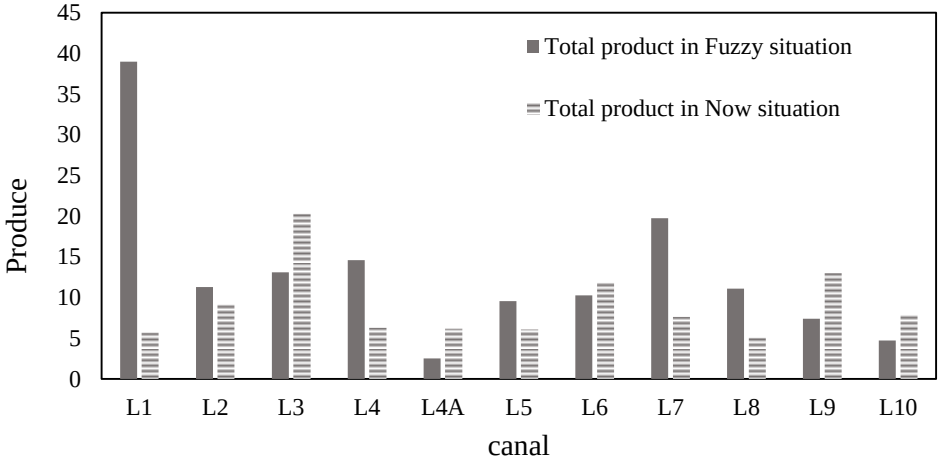


Fig. 8- Comparison of total production of crops for each operator (ton)

شکل۸- مقایسه تولید کل محصولات برای هر بهره‌بردار (تن)

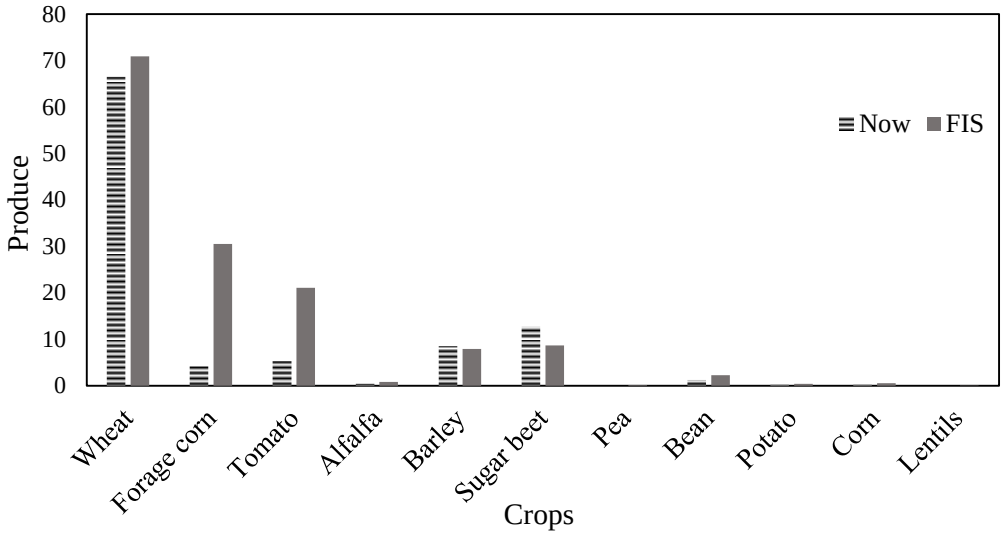


Fig. 9- Compare amount of production of each crops in current and fuzzy optimization situations (ton)

شکل۹- مقایسه مقدار تولید هر محصول در دو وضعیت کنونی و بهینه‌سازی فازی (تن)

در جدول (۷) مقدار درآمد هر کانال و کل شبکه به تفکیک نشان داده‌شده است. بر اساس این جدول، درآمد کل شبکه با رشد ۴۰/۷ درصدی به ۸۱/۸ میلیارد تومان رسید که باعث شد مقدار شاخص عدالت برابر ۵۴/۵ درصد شود. شکل (۱۰) نمودار مقایسه درآمد حاصل از توزیع بهینه فازی و شرایط کنونی در هر کانال اصلی را نشان می‌دهد، همان‌طور که در شکل (۱۰) و جدول (۷) مشاهده می‌شود، بیشترین افزایش درآمد مربوط به کانال L1 است که حدود ۴/۵ برابر شده است. دلیل این موضوع این است که در کانال L1 شاهد بیشترین میزان سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای نسبت به سایر کانال‌ها هستیم و بر اساس شکل (۹) باز توزیع بهینه آب منجر به بیشترین افزایش راندمان در محصول ذرت علوفه‌ای شده است. این موضوع باعث شکل‌گیری بیشترین افزایش درآمد برای کانال L1 در بین همه کانال‌ها شده است.

جدول ۷- درآمد خالص (میلیارد تومان) و درصد تغییرات آن در دو حالت بهینه‌سازی فازی و ساده

Table 10- Net income (Mtoman) and Percentage of changes in current and fuzzy situation

canal	Now income	Fuzzy income	%Income Changes
L1	3.8	21.3	460.52
L2	5.7	7.8	36.84
L3	11.1	7.5	-32.43
L4	4.1	9.2	124.39
L4A	3.1	4.1	-54.83
L5	3.7	5.7	54.054
L6	6.4	5.3	-17.18
L7	4.7	10.2	117.02
L8	3.1	6.1	96.7
L9	7.8	4.4	-43.58
L10	4.6	2.9	-36.95
Sum	58.1	81.8	

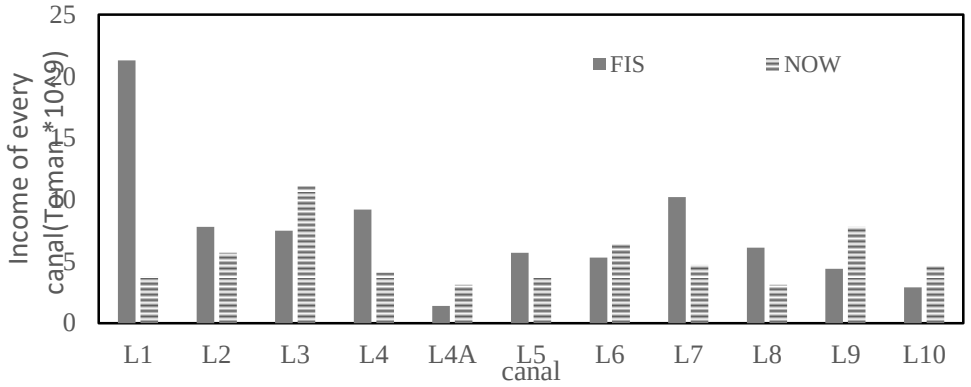


Fig. 10-Revenu comparison in current and fuzzy situation for main channels

شکل ۱۰- مقایسه درآمد حاصل از توزیع بهینه فازی و شرایط کنونی در هر کانال اصلی

نتیجه‌گیری

اکثر روش‌های بهینه‌سازی مانند برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی غیرخطی، برنامه‌ریزی پویا یا دیگر تکنیک های بهینه‌سازی تقاضا را به عنوان مقادیر شناخته‌شده قطعی در نظر گرفته‌اند (Bhave, 2004). افزایش مصرف و کاهش منابع آب در دسترس در سراسر دنیا، باعث شده مسئله تخصیص آب به‌ویژه در بخش کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد. مطالعات بسیاری درزمینه باز توزیع آب با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی ازجمله الگوریتم ژنتیک صورت گرفته است؛ اما با توجه به ماهیت غیرقطعی بودن بسیاری از شرایط در بهینه‌سازی تخصیص آب، سیستم استنتاج فازی در این تحقیق به کار گرفته شد.

برنامه‌ریزی فازی به دلیل اینکه امکان دخالت داده‌های غیردقیق در پارامترها را به تصمیم‌گیرندگان می‌دهد، نسبت به سایر مدل‌های کلاسیک که حتی از روش‌های تکاملی در آن‌ها استفاده‌شده است، در مسائل بهینه‌سازی دارای کاربرد و انعطاف‌پذیری بیشتر است. در این پژوهش با استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی چندهدفه فازی به تخصیص بهینه منابع آب آبیاری در شبکه قزوین پرداخته شد. این مدل شامل دو هدف بیشینه‌سازی درآمد کل شبکه و عدالت است.

اگرچه برای برخی از بهره‌برداران وضعیت توزیع آب شرایط به‌گونه‌ای تغییر یافت که در حالت بهینه سود کمتری نسبت به وضعیت کنونی کسب نمودند و برخی دیگر افزایش سود داشتند، درنهایت درآمد خالص شبکه در وضعیت توزیع بهینه آب با استفاده از سیستم استنتاج فازی، رشد ۴۰/۷ درصدی را در پی داشت و شاخص عدالت نیز به ۵۴/۵ درصد به‌دست آمد. لذا همان‌طور که مشاهده می‌شود، طبق شاخص عدالت، بیش از نیمی از کانال‌ها با افزایش درآمد مواجه شدند. نتایج الگوریتم بهینه‌ساز چند هدفه فازی، نشان داد عامل مساحت دلیل برافزایش آب تخصیصی به بهره‌برداران نیست.

مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق با تحقیق مشابه دیگری که در سال ۱۳۹۹ در شبکه قزوین انجام شده است نشان می‌دهد بر اساس آن تحقیق نیز باز توزیع بهینه آب باعث افزایش ۲۵ درصد در درآمد مجموع بهره‌برداران شده است (Mazandarani Zade and Hosseini., 2021).

تقدیر و تشکر

محققین بر خود لازم می‌دانند از امکاناتی که دانشگاه بین‌المللی امام خمینی در جهت انجام تحقیق در اختیارشان قرار داده است، تقدیر و تشکر نمایند.

Refrences

1- Ayoubikia, R., Janatrostami, S., Ashrafzadeh, A. and Shafiei Sabet, B., 2019. Optimization of Regional Water Resources Allocation in Sefidroud River Basin by Social Equity Approach. *Iran-Water Resources Research*, *14*(5), pp.236-252.

2- Bhave, P. R. 2004. Optimal design of water distribution networks for fuzzy demands. *Civil Engineering and Environmental Systems*. 229-245.

3- Bozorg Haddad O., Seifollahi-Aghmiuni S.,2015. *An introduction to uncertainty analysis in water resources systems*.Tehran; University of Tehran Press:1394. (Persian).

4- Habibi, Davijani.M., Banihabib, M. and Hashemi, S., 2013. Development of Optimization Model for Water Allocation in Agriculture, Industry and Service Sectors by Using Advanced Algorithm, GAPSO. *Journal of Water and Soil*. 27(4), pp.680-691. (In Persian)

5- Hoseini, M., Hamed Mazandaranizadeh, and Bijan Nazari. "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, no. 2 (2021): 563-576.

6- HosseiniAsl, A., Mesgari, MS. and Mutkan, AA., 2018, Conceptual development of the basis factor and optimization based on genetic algorithm in the allocation of water resources. *Environmental sciences*,2. pp,165-184.

7- Karamoz, M., Kerachian, R., 2011. *Planning and Quality Management of Water Resources Systems*. Tehran; Amirkabir University of Technology Press: (Persian).

8- Li, M., Fu, Q., Singh, V.P., Ma, M. and Liu, X., 2017. An intuitionistic fuzzy multi-objective non-linear programming model for sustainable irrigation water allocation under the combination of dry and wet conditions. *Journal of Hydrology*, *555*, pp.80-94.

9- Mazandarani Zadeh, H., Piadeh koohsar J and Sadr S K., 2020. Performance Comparison Of MOPSO And NSGA-II Algorithms In Calculating The Rule Curve Of Multi Reservoir Systems. *Dam and Hydroelectric Powerplant.* 7 (24), pp. 52-62.

10- Mazandarani Zadeh, H., Hosseini, S. 2021. Optimal Water Allocation among Agricultural Consumers Using Crop Pattern Change Approach to Improve Farmers' Livelihood, *Irrigation Sciences and Engineering*. doi: 10.22055/jise.2021.32941.1915

11- Misaghi, F., Amani, A., Seddigh, A. 2020. Comparison of the efficiency of gray wolf optimizer and imperialist competitive algorithms in an optimal allocation of water in irrigation and drainage networks (case study: Sofi-Chay network). *Environmental Sciences*, 18(2), pp. 203-218.

12- Li, M., Fu, Q., Singh, V.P., Ma, M. and Liu, X., 2017. An intuitionistic fuzzy multi-objective non-linear programming model for sustainable irrigation water allocation under the combination of dry and wet conditions. *Journal of Hydrology*, *555*, pp.80-94.

13- Monem, M.J., Najafi, M.R. and Khoshnavaz, S., 2007. Optimal Water Scheduling in Irrigation Networks Using Genetic Algorithm. *Iran-Water Resources Research*. 3(1), pp.1-11.

14- Nasirzade, F., Khanzadi, M. and Alipour, M., 2015. Integrating System Dynamic and Fuzzy Logic for Economic Assessment of BOT Projects.*Journal of Structural and Constraction Engineering*. 2(4).pp,90-103.

15- Nabinejad, SH. and Mousavi, J., 2013. Simulation-optimization for Basin-wide Optimum Water Allocation Considering System's Performance and Equity Measures. *Journal of Water & Wastewater*, 2. , pp.70-79.

15- Omidvar, M., Honar1, T., Nikoo, M.R. and Sepaskhah, A.R., 2016. Developing a Fuzzy Crop Pattern and Water Allocation Optimization Model Based on Cooperative Game Theory: A Case Study, Ordibehesht Canal at the Doroodzan Irrigation Network, Northwest of Fars Province in Iran. *Journal of Water and Soil Science*, 20 (76), pp.1-13.

16- Raju, K.S. and Kamkar, N.D., 2004. Irrigation planning using genetic algorithms. J. *Water Resources Management*. 2. pp,163-176.

17- Sardar Shahraki, A., Shahraki, J., Hashemi Monfared, S. 2016. Investigation of Water Resources Management Approaches of Sistan Region Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP). *Management Researches*, 9(31), pp. 73-98.

18- Simyari, F. and Mazandarani Zadeh, H..2017. The optimal redistribution of water agricultural with Genetic Algorithm. *In 2th National Irainain Conferance on Hydrology*.(In Persian)

19- Xie, Y.L., Xia, D., 2018. An inexact stochastic-fuzzy optimization model for agricultural water allocation and land resources utilization management under considering effective rainfall. *Ecological Indicators*. pp,301-311.

20- Xieting, Z., Shaozhong, K., Fusheng, L., Lu, Zh. and Ping, G., 2010. Fuzzy multi-objective linear programming applying to crop area planning. *Agricultural Water Management*. pp,134-142.