

Multi-objective optimization of cropping patterns with emphasis on economic benefits and ensuring food supply chain security (A case study: Gonbad-e Kavus - Golestan Dam)

Shahin Amin¹, Mousa Hesam^{*2}, Azadeh Jabbari³,
Mohammad Abdolhosseini⁴

1. Ph.D. Student of Irrigation and Drainage, Dept. of Water Science and Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: shaaahin.amin@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Water Science and Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: mhesam@yahoo.com
3. Lecturer, Dept. of Civil Engineering and Surveying, Faculty of Technical and Engineering, Yadegar-e Imam Khomeini (RAH) Shahre Rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: jabary.az@gmail.com
4. Associate Prof., Dept. of Water Sciences and Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: abdphd@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 03.17.2023
Revised: 05.29.2023
Accepted: 07.01.2023

Keywords:
Net economic profit,
Non-dominated sorting
genetic algorithm,
Strategic cultivation,
Water consumption

ABSTRACT

Background and Objectives: One of the main factors in the economic and social development of any country is water reserves and potential. Comprehensive and comprehensive knowledge of water resources is a prerequisite for optimal and sustainable use of these resources. In Iran, due to the lack of rainfall in most of the watersheds and the limited water resources, codified planning to know the possibilities and limitations of water resources with the aim of optimal utilization is very necessary and inevitable. Today, one of the basic strategies for managing water resources in the agricultural sector is to choose the appropriate cultivation pattern and determine the strategies for the optimal allocation of agricultural water. In the conditions of limited water resources and abundance of cultivable land, the goal should be to increase the efficiency of water consumption and optimal use of limited water resources and obtain the greatest economic benefit.

Materials and Methods: This research was conducted on the cropping pattern of the Gonbad-e Kavus region in Golestan province, using the irrigation network of the Golestan Dam for four major autumn crops (wheat, canola, barley, and triticale) in the agricultural years of 2017-2018 to 2020-2021. A multi-objective optimization was performed using the non-dominate sorting genetic algorithm (NSGA-II) with the objectives of maximizing net economic profit and reducing water consumption. Initially, by considering the minimum values of the cropping pattern and using various computational steps, the maximum net economic profit and the amount of stored water were calculated through a bi-objective optimization method. In the next step, the net economic profit obtained from the stored water was optimized using a single-objective optimization method. Finally, the best computational step was selected by combining the values of bi-objective and single-objective net economic profit.

Results: The results showed that the computational steps for each year were not the same, and the maximum net economic profit obtained by observing the minimum allowable cropping pattern and stored water

(bi-objective optimization) and the maximum net economic profit obtained by optimizing stored water in the previous step (single-objective optimization) were calculated with different computational steps, considering the calculated annual profit. The results obtained from the maximum net economic profit and stored water based on the minimum allowable cropping pattern, bi-objective optimization (maximum net economic profit and maximum stored water), and the results obtained from single-objective optimization of stored water were accumulated. By considering the accumulated net economic profit from bi-objective and single-objective computational steps, the best net economic profit was achieved. Furthermore, despite the reduction in cultivated area and allocated water in the agricultural years of 2019-2020 and 2020-2021, an increase in net economic profit was observed compared to previous years. In the year 2020-2021, due to the lower allocated water compared to previous years and the optimal cropping pattern being on a negligible area of the target year's cultivated area (83.85 hectares), the highest net economic profit was achieved with a 138% increase in profit. This was due to the increase in product prices compared to the costs, increasing income greater than the increase in costs.

Conclusion: The results of the present research showed that the use of multi-objective optimization methods has a good performance to obtain more economic profit by managing optimal allocated water consumption. Also, taking calculated steps by the officials and organizations of water users to manage the allocated water reserve and achieve the maximum net economic benefit will increase employment, reverse migration, and achieve a higher level of social welfare. According to the observance of the minimum strategic cultivation of wheat and the increase of rapeseed and triticale fodder crops, the current model has an optimal and appropriate performance in terms of ensuring food supply chain security and the point of view of non-agent defense.

Cite this article: Amin, Shahin, Hesam, Mousa, Jabbari, Azadeh, Abdolhosseini, Mohammad. 2023. Multi-objective optimization of cropping patterns with emphasis on economic benefits and ensuring food supply chain security (A case study: Gonbad-e Kavus - Golestan Dam). *Journal of Water and Soil Conservation*, 30 (2), 119-139.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2023.21203.3637

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

بهینه‌سازی چندهدفه الگوی کشت با تأکید بر منافع اقتصادی و تأمین امنیت زنجیره غذایی (مطالعه موردی: گنبد کاووس - سد گلستان)

شاهین امین^۱، موسی حسام^{۲*}، آزاده جباری^۳، محمد عبدالحسینی^۴

۱. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه علوم منابع طبیعی و کشاورزی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: shaaahin.amin@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه علوم منابع طبیعی و کشاورزی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: mhesam@yahoo.com
۳. مدرس گروه مهندسی عمران و نقشه‌برداری، دانشکده فنی و مهندسی، واحد یادگار امام خمینی (ره) شهر ری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: jabary.az@gmail.com
۴. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه علوم منابع طبیعی و کشاورزی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: abdphd@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: یکی از عوامل اصلی توسعه اقتصادی و اجتماعی هر کشوری، ذخایر و پتانسیل‌های آبی است. شناخت همه‌جانبه و جامع منابع آب پیش‌نیاز بهره‌برداری بهینه و پایدار از این منابع محسوب می‌شود. در کشور ایران به علت کمبود بارندگی در اکثر حوضه‌های آبریز و محدود بودن منابع آب، برنامه‌ریزی مدون به‌منظور شناخت امکانات و محدودیت‌های منابع آب باهدف بهره‌برداری بهینه بسیار ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. امروزه یکی از راهکارهای اساسی جهت مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی، انتخاب الگوی کشت مناسب و تعیین استراتژی‌های تخصیص بهینه آب کشاورزی است که در شرایط محدود بودن منابع آب و فراوانی اراضی قابل‌کشت، هدف باید افزایش کارایی مصرف آب، استفاده بهینه از منابع آب محدود و حصول بیش‌ترین سود اقتصادی باشد.
تاریخ دریافت: ۰۱/۱۲/۲۶ تاریخ ویرایش: ۰۲/۰۳/۰۸ تاریخ پذیرش: ۰۲/۰۴/۱۰	
واژه‌های کلیدی: آب مصرفی، الگوریتم ژنتیک نامغلوب، سود خالص، کشت استراتژیک	مواد و روش‌ها: این پژوهش بر روی الگوی کشت منطقه گنبدکاووس استان گلستان؛ شبکه آبیاری سدگلستان برای کشت محصولات پاییزه (چهار محصول عمده گندم، کلزا، جو و تریتیکاله) در سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ الی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ انجام شد. بهینه‌سازی چندهدفه با اهداف افزایش سود خالص اقتصادی و کاهش آب مصرفی با روش الگوریتم ژنتیک نامغلوب (NSGA-II) انجام شد. ابتدا با روش بهینه‌سازی دوهدفه و در نظر گرفتن حداقل مقادیر الگوی کشت با گام‌های محاسباتی مختلف حداکثر سود خالص و هم‌چنین میزان آب ذخیره‌شده محاسبه شد. در مرحله بعد با روش بهینه‌سازی تک‌هدفه سود خالص حاصل از آب ذخیره‌شده

بهینه‌سازی شد. در نهایت از طریق تجمیع مقادیر سود خالص اقتصادی دوهدفه و تک‌هدفه بهترین گام محاسباتی انتخاب شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مقادیر گام محاسباتی برای هر سال یکسان نیست و مقادیر حداکثر سود خالص حاصل از رعایت حداقل مقدار مجاز الگوی کشت و آب ذخیره‌شده (بهینه‌سازی دوهدفه) و مقادیر حداکثر سود خالص حاصل از بهینه‌سازی آب ذخیره‌شده در مرحله قبل (بهینه‌سازی تک‌هدفه) با گام‌های محاسباتی مختلف با سود هر سال محاسباتی در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از حداکثر سود خالص و آب ذخیره‌شده براساس مقدار مجاز حداقل الگوی کشت، بهینه‌سازی دوهدفه (سود خالص ماکزیمم و آب ذخیره‌شده ماکزیمم) و نتایج حاصل از بهینه‌سازی تک‌هدفه مقادیر آب ذخیره‌شده تجمیع شد. با توجه به تجمیع سود خالص از بهینه‌سازی گام‌های محاسباتی دوهدفه و تک‌هدفه بهترین سود خالص اقتصادی به دست آمد. هم‌چنین با وجود کم‌تر شدن سطح زیرکشت و آب تخصیصی در سال‌های زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۳۹۹-۱۴۰۰ مشاهده می‌شود سود خالص نسبت به سال‌های قبل افزایش یافته است. در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰ با توجه به این‌که آب کم‌تری نسبت به سال‌های قبل تخصیص داده شده و سطح زیرکشت الگوی کشت بهینه به مقدار ناچیز از سطح زیرکشت سال هدف کم‌تر شد (۸۳/۸۵ هکتار) بالاترین سود خالص با اختلاف ۱۳۸ درصد افزایش سود به دست آمد، که این مسأله به دلیل میزان افزایش قیمت محصولات نسبت به هزینه‌ها هست که افزایش درآمد بیش از افزایش هزینه‌ها بود.

نتیجه‌گیری: نتایج پژوهش حاضر نشان داد برای حصول سود اقتصادی بیش‌تر با مدیریت مصرف آب تخصیصی بهینه استفاده از روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه نسبت به روش‌های تک‌هدفه عملکرد بهتری دارد. هم‌چنین در نظر گرفتن گام‌های محاسباتی توسط مسئولان و شکل‌های آب‌بران برای مدیریت ذخیره آب تخصیصی و دستیابی به حداکثر سود خالص اقتصادی باعث افزایش اشتغال، مهاجرت معکوس و دستیابی به سطح رفاه اجتماعی بالاتر خواهد شد. با توجه به رعایت حداقل کشت استراتژیک گندم و افزایش کشت‌های دانه روغنی کلزا و علوفه‌ای گیاه تریپیکاله مدل حاضر از لحاظ تأمین امنیت زنجیره غذایی و دیدگاه پدافند غیرعامل عملکرد بهینه و مناسب دارد.

استناد: امین، شاهین، حسام، موسی، جباری، آزاده، عبدالحسینی، محمد (۱۴۰۲). بهینه‌سازی چندهدفه الگوی کشت با تأکید بر منافع اقتصادی و تأمین امنیت زنجیره غذایی (مطالعه موردی: گنبدکاووس - سدگلستان). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۳۰ (۲)، ۱۱۹-۱۳۹.

DOI: 10.22069/jwsc.2023.21203.3637



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

یکی از عوامل اصلی توسعه اقتصادی و اجتماعی هر کشوری، ذخایر و پتانسیل‌های آبی هست؛ شناخت همه‌جانبه و جامع منابع آب پیش‌نیاز بهره‌برداری بهینه و پایدار از این منابع محسوب می‌شود. در کشور ایران به علت کمبود بارندگی در اکثر حوضه‌های آبریز و محدود بودن منابع آب، برنامه‌ریزی مدون به منظور شناخت امکانات و محدودیت‌های منابع آب با هدف بهره‌برداری بهینه بسیار ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد (۱).

تخصیص آب عبارت از میزان آبی است که در هر یک از محدوده‌های مطالعاتی و حوضه‌های آبریز و همچنین آب‌های ورودی به کشور از منابع عمومی آب با توجه به توانایی‌ها و امکانات منابع آب هر یک از آنها و با لحاظ حقوق مصرف‌کنندگان قبلی، برای مصارف مختلف به‌وسیله وزارت نیرو مشخص و به شرکت‌ها ابلاغ می‌شود تا پروانه‌های بهره‌برداری برای متقاضیان مصارف مختلف صادر شود. تعیین میزان آب قابل تخصیص از منابع آب سطحی و زیرزمینی به نیازها و مصارف گوناگون در حوضه‌های آبریز براساس اولویت و با توجه به محدودیت‌های کیفی و امکان‌جایابی تخصیص از یک مصرف به مصارف دیگر صورت می‌پذیرد (۱). علاوه بر این، به دلیل رشد سریع اقتصاد و جامعه، تقاضا برای منابع آب به‌سرعت در حال رشد است (۲ و ۳). بدین ترتیب، بین تقاضای فزاینده منابع آب و منابع آب محدود تضاد زیادی وجود دارد. باین‌حال، آبیاری تقریباً ۷۰ درصد از منابع آب شیرین جهان را مصرف می‌کند (۴). خصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مشخص شده است که با تبخیر زیاد و بارندگی کم، تقریباً ۹۰ درصد از منابع آب شیرین برای آبیاری استفاده می‌شود (۵). بنابراین، مدیریت آب و استفاده درست از منابع آبی تأثیر مثبت و حساسی که در

توسعه پایدار دارد، باید با برنامه‌ریزی اصولی انجام شود (۶). با نگاهی سیستمی به بخش کشاورزی لزوم استفاده از روش‌های مدرن و کارای برنامه‌ریزی، به‌طوری‌که بتوانند همه عوامل اثرگذار بر سیاست‌ها و آثار اقتصادی آنها را در مدل‌های مجزا برای بخش‌های مختلف زراعت، باغبانی، دام، طیور، مرتع و جنگل بسنجند، مشخص می‌شود. با تلفیق این مدل‌ها و ارجاع به آنها می‌توان برای حل مسائل بخش کشاورزی شبیه‌سازی کرد تا تصمیم‌گیری در زمان‌های بحرانی مثل خشک‌سالی، سیل، شوک‌های بازار، واکنش تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان و سایر مسائل تسهیل گردد (۷). امروزه یکی از راهکارهای اساسی جهت مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی، انتخاب الگوی کشت مناسب و تعیین استراتژی‌های تخصیص بهینه‌ی آب کشاورزی می‌باشد که در شرایط محدود بودن منابع آب و فراوانی اراضی قابل‌کشت، هدف باید افزایش کارایی مصرف آب، استفاده بهینه از منابع آب محدود و حصول بیش‌ترین سود اقتصادی باشد (۸). هم‌چنین محدودیت منابع آب موجود از یک‌سو و اهمیت تأمین نیاز غذایی به‌ویژه در کشورهای خشک و نیمه‌خشک مانند ایران از سوی دیگر، لزوم توجه به مبحث مصرف بهینه آب در کنار الگوی مناسب کشت محصولات کشاورزی را بیش‌ازپیش ضروری ساخته است. با توجه به این‌که سهم عمده‌ای از مصرف آب در کشور به بخش کشاورزی تعلق داشته و از طرف دیگر پراکنش نامناسب مکانی و زمانی بارندگی و شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک حاکم که منجر به وابستگی تولید محصولات کشاورزی به زراعت آبی گردیده، اهمیت برنامه‌ریزی بهینه الگوی کشت و تخصیص آب آبیاری را بیش‌ازپیش نمایان نموده است. واضح است که مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی منجر به برطرف شدن بخش عمده‌ای از مشکلات و محدودیت‌های

منابع آب در کشور خواهد شد. در این راستا، استفاده از مدل‌های پشتیبان در تصمیم‌گیری برای شبیه‌سازی رفتار آب، خاک و گیاه و برآورد میزان تولید محصولات کشاورزی و یا بهینه‌سازی الگوی کشت گیاهان و برنامه‌ریزی آبیاری در سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته است (۹). با کمک بهینه‌سازی می‌توان مناسب‌ترین الگوی کشت زراعی را پیش‌بینی کرد تا بازده یک سال و یا یک‌فصل زراعی بیشینه شود (۱۰). بهینه‌سازی الگوی کشت، دارای اهداف مختلفی از جمله اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است که می‌تواند براساس الگوهای برنامه‌ریزی تک‌هدفه و چندهدفه بررسی شود که براساس نوع معادلات، الگوریتم‌های مختلفی برای یافتن جواب بهینه وجود دارد (۱۱).

تهیه، تدوین و اجرای الگوی کشت یکی از فعالیت‌های مهم در بخش کشاورزی و نظام تولید مواد غذایی است. با توجه به اهمیت و نقش الگوی کشت در تولید پایدار محصولات زراعی و باغی، تعیین الگوی بهینه کشت در شبکه‌های آبیاری امری ضروری است (۱۲). بهینه‌سازی در مفهوم کلی، به معنای رسیدن به هدف مطلوب براساس محدودیت‌ها و قیدهای در نظر گرفته‌شده برای آن است (۸). زمانی که اصطلاح بهترین به کار می‌رود بدین معنی است که مسأله مورد نظر بیش از یک جواب دارد و بهترین جواب، ارضاء تابع هدف و رعایت محدودیت‌های مسأله را نشان می‌دهد (۱۳). بهینه‌سازی تخصیص آب آبیاری، تأثیر مثبت زیادی بر توسعه پایدار یک منطقه دارد (۱۴). استفاده از روش‌های هوشمند تکاملی برای بهینه‌سازی تخصیص آب در دهه‌های اخیر بیش‌تر مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته است (۱۵).

مطالعاتی در داخل و خارج از ایران در زمینه تعیین الگوی زراعی بهینه انجام شده است روش‌های مورد استفاده آن‌ها برای بهینه‌سازی الگوی زراعی

کشت شامل استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک، روش‌های برنامه‌ریزی خطی و تصادفی هست که از جمله آن می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد:

عوض‌یار و همکاران (۲۰۱۸) به بهینه‌سازی الگوی کشت در منطقه اراضی پایاب ملاصدرا استان فارس با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی خطی پرداختند نتایج نشان داد بازده آبیاری ۳۰ درصد بهبود، سود ناخالص کل کشاورزی بیش از ۶۰ درصد افزایش یافت و بیش از یک میلیون مترمکعب در مصرف آب‌های سطحی و زیرزمینی صرفه‌جویی شد (۱۶). اسعدی‌مهربانی و همکاران (۲۰۱۸) برای بهینه‌سازی الگوی کشت در حوضه زربینه رود از برنامه‌ریزی خطی فازی در تدوین بهترین الگوی کشت استفاده کردند. نتایج نشان داد به‌کارگیری بهینه‌سازی تمام فازی منجر به ایجاد کاهش بیش‌تری در سطح زیرکشت محصولات با درآمد پایین‌تر نسبت به بهینه‌سازی قطعی شده است (۱۷). یوسف‌دوست و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از الگوریتم ژنتیک با هدف حداکثرسازی سود حاصل از کشت محصولات مختلف زراعی، الگوی بهینه کشت را در دشت قزوین ارائه دادند. نتایج نشان داد در تمام شرایط آب و هوایی، سود حاصل از الگوی کشت زراعی ارائه شده، از الگوی کشت پیشین بیش‌تر بود و الگوی بهینه کشت جدید باعث کاهش میزان مصرف آب شد (۱۸). عبدی‌رکنی و همکاران (۲۰۲۱) در منطقه گهرباران ساری با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک به تعیین الگوی بهینه بهره‌برداری اراضی زراعی پرداختند. نتایج نشان داد که الگوی بهینه الگوریتم ژنتیک غیرخطی نسبت به مدل غیرخطی معمولی برتری دارد و سود الگوریتم ژنتیک نسبت به برنامه‌ریزی غیرخطی معمولی حدود ۰/۲ درصد افزایش داشته و ریسک حدود ۶ درصد کم شد. استفاده از الگوی کشت پیشنهادی الگوریتم ژنتیک

کاهش درآمد کشاورزان مدنظر می‌باشد. از جمله مسائلی که متخصصین حوزه علم مهندسی آب و اقتصاد را به چالش وامی‌دارد، ارائه راهکار مناسب برای کاهش آب مصرفی و افزایش سود اقتصادی است. هدف از پژوهش حاضر، این است که با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده از بهینه‌سازی دوهدفه (افزایش سود خالص همراه با رعایت حداقل مقادیر الگوی کشت و مصرف آب کم‌تر) و تجمیع آن با حداکثر سود خالص محاسبه‌شده از آب ذخیره‌شده در مرحله قبل (بهینه‌سازی تک‌هدفه)، با استفاده از گام‌های محاسباتی مختلف به الگوی کشت جدید و بهینه در جهت مدیریت پایدار منابع آب و اقتصاد کشاورزی گام برداشت. در این پژوهش برای دستیابی به بهترین الگوی کشت برای اراضی شبکه آبیاری و زهکشی سد گلستان از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک نامغلوب (NSGA-II) و تک‌هدفه به‌صورت تکمیلی با گام‌های محاسباتی مختلف استفاده شده است تا در مقدار آب مصرفی صرفه‌جویی شده و افزایش سود خالص اقتصادی کشاورزان منطقه را به همراه داشته باشد.

مواد و روش‌ها

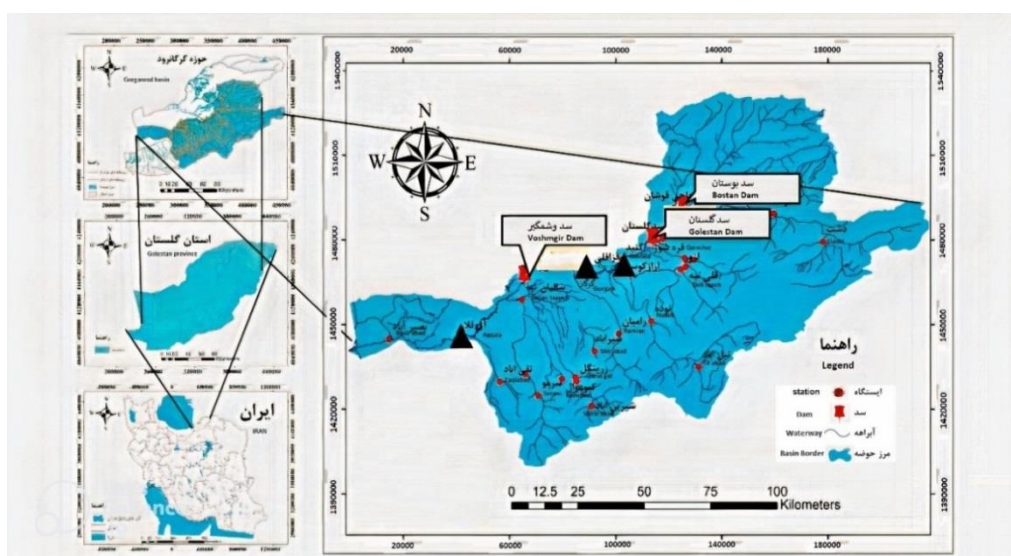
حوزه آبخیز سد گلستان با مساحت ۴۸۰۲ کیلومتر مربع بین عرض‌های جغرافیایی $30^{\circ} 57' 36''$ تا $37^{\circ} 46' 37''$ شمالی و طول‌های جغرافیایی $59^{\circ} 13' 59''$ تا $56^{\circ} 28' 00''$ شرقی واقع شده است. حوضه سد گلستان از سه زیر حوضه اصلی مادرسو، حاجی‌قوشان و اوغان تشکیل می‌شود به نحوی که رودخانه‌های اصلی این سه زیر حوضه قبل از ورود به سد گلستان به یکدیگر می‌پیوندند. بهره‌برداری از سد گلستان واقع در ۱۳ کیلومتری شرق شهرستان گنبد در سال ۱۳۷۹ آغاز شده است. در این حوضه، بارندگی سالانه از غرب به شرق کاهش می‌یابد؛

موجب دستیابی بهتری به اهداف بهره‌برداران نسبت به الگوی برنامه‌ریزی غیرخطی معمولی شد (۱۹). جهانتیغ (۲۰۲۲) با استفاده از الگوریتم ژنتیک با هدف حداکثرسازی بازده اقتصادی و حداکثرسازی تولید، الگوی بهینه کشت را در گرگان ارائه داد. نتایج نشان داد که محصولات با ارزش اقتصادی کم مانند جو از الگوی زراعی حذف شده و سطح زیرکشت محصولات با سود اقتصادی بیش‌تر مانند سویا افزایش یافت (۲۰). پانده و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از الگوریتم ژنتیک به بهینه‌سازی الگوی کشت در هندوستان پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد باوجود افزایش سود خالص و بازده با افزایش عرضه آب، اما افزایش حاصل اختلاف زیادی با شرایط موجود نداشت. بنابراین با کم‌آبایی می‌توان در مصرف آب صرفه‌جویی کرد و از آب صرفه‌جویی شده برای اهداف مولدتر دیگر استفاده کرد (۲۱). ناس و همکاران (۲۰۲۲) یک برنامه کشت بهینه با هدف حداکثر کردن سود و کاهش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی به‌وسیله بهینه‌سازی چندهدفه ارائه دادند. نتایج نشان داد بین استفاده از آب‌زیرزمینی و سود رابطه مستقیم وجود دارد؛ سطوح با بهینه استفاده از آب‌زیرزمینی منجر به سطوح بیش‌تری از سود خالص شد و الگوریتم ژنتیک سه‌هدفه از نظر تولید جبهه جواب‌های بهینه از الگوریتم تک‌هدفه عملکرد بهتری داشت (۲۲).

با توجه به محدودیت منابع آب و کاهش آن در سال‌های اخیر استفاده از مدلی که بتواند توأمان میزان و مقدار آب مصرفی را شبیه‌سازی و آب تخصیص‌یافته را با الگوی بهینه، در اختیار بهره‌بردار قرار دهد ضرورت دارد. بررسی منابع نشان می‌دهد که در اکثر پژوهش‌های انجام‌شده مربوط به بهینه‌سازی الگوی کشت جنبه‌های مالی کشاورزی، اقتصادی در تخصیص آب و یا بهینه‌سازی مصرف آب با رویکرد

زیرکشت زراعی محدوده شرکت‌های تعاونی سد گلستان از روستاهای دهستان آق‌آباد از بخش مرکزی شهرستان گنبدکاووس در استان گلستان می‌باشد. منطقه مورد مطالعه شامل قسمت‌هایی از دشت شمالی گرگانرود بوده که در محدوده تقریبی ۵۵ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی جغرافیایی و ۳۷ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۲).

به طوری که مقدار بارش متوسط سالانه در بخش غربی حوضه حدود ۴۵۰ میلی‌متر و در مناطق شرقی حوضه در حدود ۱۸۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد. در مجموع با توجه به شرایط توپوگرافی، اقلیم‌های متفاوتی در حوضه حاکم است. در غرب، اقلیم‌های نیمه خشک تا نیمه مرطوب معتدل و در شرق اقلیم‌های خشک تا نیمه خشک سرد وجود دارد (۲۳)، (شکل ۱). محدوده مطالعاتی با وسعت ناخالص ۱۴۰۰۰ هکتار در اراضی



شکل ۱- موقعیت حوضه گرگانرود و سد گلستان (منبع: دایچینی و همکاران (۲۴)).

Figure 1. The location of the Gorganrud River basin and the Golestan Dam.



شکل ۲- سیمای طرح شبکه آبیاری و زهکشی سد گلستان (منبع: شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان گلستان).

Figure 2. Golestan dam irrigation and drainage network design.

انتخاب محصول: جهت انجام پژوهش، چهار محصول عمده کشت پاییزه شامل گندم، کلزا، جو و تریتیکاله در محدوده مطالعاتی انتخاب شدند. سال‌های مورد مطالعه، چهار سال آبی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹-۱۴۰۰ بود. اطلاعات سطح زیرکشت هر محصول، کل آب تخصیص یافته به منطقه، آب تخصیصی هر محصول، متوسط عملکرد، محدودیت کشت، قیمت هر محصول و هزینه‌ها در جدول‌های ۱ تا ۳ ارائه شده است. اطلاعات ذکر شده از جهاد کشاورزی استان گلستان (گنبدکاووس، مرکز آق‌آباد)، اداره آب منطقه‌ای استان گلستان، آمارنامه‌های جهاد کشاورزی و سازمان آمار کشور تهیه شد.

جدول ۱- سطح زیرکشت محصولات پاییزه (هکتار) و آب تخصیص یافته (میلیون مترمکعب) به هر محصول در سال‌های آبی مورد مطالعه (منبع: اداره جهاد کشاورزی گنبدکاووس، مرکز آق‌آباد).

Table 1. The area under cultivation of autumn crops (hectares) and allocated water for crops at different water year (million cubic meters).

سال	گندم	کلزا	جو	تریکیاله	مجموع	کل آب تخصیص یافته
Year	Wheat	Canola	Barley	Triticale	Total	Total allocated water
1396-97	7362	254	266	42	7924	31696000
1397-98	6785	380	227	57	7449	29796000
1398-99	6600	267	206	95	7167	28672000
1399-1400	6452	271	215	155	7093	28372000

جدول ۲- میزان عملکرد محصولات پاییزه (تن بر هکتار)، میزان آب تخصیصی محصولات پاییزه (مترمکعب بر هکتار) و سطح حداقل کشت محصولات پاییزه (هکتار) (منبع: اداره جهاد کشاورزی گنبدکاووس، مرکز آق‌آباد).

Table 2. The amount of yield of autumn crops (tons per hectare), the amount of allocated water for autumn crops (cubic meters per hectare) and the limitation of cultivation of autumn crops (hectare).

محصول	عملکرد	آب تخصیصی	محدودیت کشت
Crop	Yields	allocated water	Cultivation restrictions
گندم Wheat	4	4000	5000
کلزا Canola	2	4000	200
جو Barley	4	4000	150
تریکیاله Triticale	35	4000	30

جدول ۳- قیمت فروش محصولات پاییزه (کیلوگرم ریال)، هزینه هر هکتار تولید محصولات (منبع: وزارت جهاد کشاورزی و مرکز آمار کشور).

Table 3. The selling price of fall crops (kg Rials), the cost of producing crops per hectare (Rials per hectare).

هزینه (ریال بر هکتار) Cost (Rials per hectare)				محصول Crop	قیمت فروش (کیلوگرم ریال) Selling price (kg Rials)				محصول Crop
1399-1400	1398-99	1397-98	1396-97		1399-1400	1398-99	1397-98	1396-97	
00۰166960	68640000	45840000	40560000	گندم Wheat	50000	22000	14700	13000	گندم Wheat
78000000	46602000	32391000	28665000	کلزا Canola	78000	4660	32391	28665	کلزا Canola
74250000	50856000	36316000	32136000	جو Barley	23798	16300	11639	10300	جو Barley

یک روش آماری برای بهینه‌سازی است (۱۱). در پژوهش حاضر، با توجه به پیچیدگی موضوع، تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری و ابعاد مسأله، از روش الگوریتم ژنتیک که کارایی بیش‌تر نسبت به سایر روش‌ها دارد استفاده شد. که بر اساس آن الگو و تراکم کشت بهینه محصولات زراعی منطقه تعیین شد.

جان هنری هالند^۱ برای اولین بار در سال ۱۹۶۰ میلادی، بهینه‌سازی توسط الگوریتم ژنتیک را مطرح کرد و در سال‌های بین ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ توسط وی و همکارانش در دانشگاه میشیگان توسعه داده شد. الگوریتم ژنتیک یک روش آماری برای بهینه‌سازی است. این الگوریتم جزئی از محاسبات تکامل است که خود جزئی از هوش مصنوعی می‌باشد. الگوریتم ژنتیک، روشی است که با تقلید از بقای نسل در طبیعت کار می‌کند. این روش که جز نوین‌ترین روش‌های برنامه‌ریزی است، با بهره‌گیری از نظریه تکامل و بقا صلح در علم زیست‌شناسی و استفاده از اصول علم ژنتیک به‌عنوان روشی مؤثر برای

یکی از راه‌حل‌ها برای بهبود بخشیدن به طرح‌های کشاورزی، بهینه‌سازی است (۱۲). بهینه‌سازی در مفهوم کلی، به معنای رسیدن به هدف مطلوب براساس محدودیت‌ها و قیدهای در نظر گرفته شده می‌باشد. زمانی که اصطلاح بهترین به کار می‌رود بدین معنی است که مسأله مورد نظر بیش از یک جواب دارد و بهترین جواب، ارضاء تابع هدف و رعایت محدودیت‌های مسأله را نشان می‌دهد (۱۳). با کمک بهینه‌سازی می‌توان مناسب‌ترین الگوی کشت زراعی را پیش‌بینی کرد تا بازده یک سال و یا یک فصل زراعی بیشینه شود (۱۰). بهینه‌سازی الگوی کشت، دارای اهداف مختلفی از جمله اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است که می‌تواند بر اساس الگوهای برنامه‌ریزی تک‌هدفه و چندهدفه بررسی شود که بر اساس نوع معادلات، الگوریتم‌های مختلفی برای یافتن جواب بهینه وجود دارد (۱۱). مطابق مطالعات انجام شده، کاربرد الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی مسائل پیچیده و غیرخطی در موضوعات گوناگون در سال‌های اخیر بیش‌تر مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته است (۲۵). الگوریتم ژنتیک

1- John Henry Holland

به‌عنوان ورودی یک کروموزوم را دریافت می‌کند (یک جواب مسأله) و به عنوان خروجی عددی را مبتنی بر میزان بودن کروموزوم نسبت به جواب نهایی برمی‌گرداند (۲۵). انتخاب: این عملگر از بین کروموزوم‌های موجود در یک جمعیت، تعدادی کروموزوم را با هم ترکیب می‌کند تا شاید کروموزوم‌های فرزند حاصل از ترکیب، از کروموزوم‌های والد بهتر باشند. به طور معمول عملگر ترکیب روی یک جفت از کروموزوم‌ها عمل می‌کند و یک یا دو فرزند برای هر جفت تولید می‌شود. عملگرهای ژنتیک: که برای تولید اعضای جدید و تکامل تدریجی به کار می‌روند (۲۵). مطابق مطالعات انجام شده، کاربرد الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی مسائل پیچیده و غیرخطی در موضوعات گوناگون در سال‌های اخیر بیش‌تر مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته است (۲۵).

با توجه به قابلیت‌های ذکر شده در خصوص الگوریتم ژنتیک و پیچیدگی موضوع، تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری و ابعاد مسأله در این مطالعه برای تعیین الگوی بهینه کشت، از الگوریتم ژنتیک استفاده شد. پارامترهای مورد استفاده به منظور بهینه‌سازی سطح زیرکشت توسط الگوریتم ژنتیک در جدول ۴ ارائه شده است.

بهینه‌سازی که محدودیت روش‌های کلاسیک را ندارد ابداع شده است (۲۰).

این الگوریتم راه‌های جست‌وجوی کاملاً موازی را برای مسائل پیچیده بهینه‌سازی پیشنهاد می‌دهد. این روش جست‌وجوی مؤثر در فضاها عریض و پهناور بر اساس ژن‌ها و کروموزوم‌ها است که در نتیجه باعث هدایت کردن برای یافتن جواب بهینه در میان دیگر جواب‌های قابل قبول می‌شود (۲۵). مدل‌های مبتنی بر الگوریتم ژنتیک، برای تحقق به عناصر اصلی زیر نیازمندند: ژن: هر کدام از پارامترهای تصمیم (یعنی پارامترهایی که انتخاب و تعیین مقدار آن‌ها نقشی در تابع بهینه‌گی دارند) تحت عنوان ژن معرفی می‌شوند. کروموزوم: در دانش بیولوژی، ساخت نسل (مجموعه جواب‌ها) به وسیله یک سری کروموزوم انجام می‌شود که در قالب رشته‌ای کدگذاری می‌شوند (۲۶). برای شروع الگوریتم‌های ژنتیکی، جمعیتی از کروموزوم‌ها به صورت تصادفی مورد نیاز است (۲۷) مجموعه‌ای شامل تمام ژن‌ها و یک راه‌حل شدنی برای مسأله مورد نظر است (۲۶). جمعیت: یک جمعیت به واسطه مجموعه از کروموزوم‌ها ایجاد می‌شود. تابع برازندگی: برای حل هر مسأله با بهره‌گیری از الگوریتم‌های ژنتیکی، در وهله اول باید یک تابع برازندگی برای آن مسأله ایجاد شود (۲۶). این تابع

جدول ۴- پارامترهای الگوریتم ژنتیک نامغلوب.

Table 4. Parameters of non-dominate genetic algorithm.

احتمال جهش Mutation possibility	احتمال ترکیب Crossover possibility	تکرار Iterations	جمعیت Population
0.4	0.7	150	50

بود (رابطه‌های ۱ و ۲).

مدل بهینه‌سازی این پژوهش شامل بیشینه‌سازی سود اقتصادی و کمینه‌سازی آب مصرفی الگوی کشت

$$Maxf_1(x) = \sum_{j=1}^n (P_{cj}Y_j - C_j)A_j \quad (1)$$

Subject to:

$$\sum_{j=1}^n A_j \leq A_{Total}$$

$$0.5A_j \leq A_j \leq \beta A_j$$

$$Minf_2(x) = 10 \frac{IN_j}{E_a} A_j \quad (2)$$

برای سطح زیرکشت آن‌ها در نظر گرفته شد. به عنوان مثال، گندم محصول استراتژیک بوده و حداقل سطح زیرکشت آن در سال‌های خشک ۵۰ درصد کل سطح زیرکشت لحاظ می‌گردد و در سال‌های غیرخشک حداقل سطح زیرکشت گندم ۵۰۰۰ هکتار است.

نتایج و بحث

در جدول ۵ مقادیر سود خالص کشت پاییزه در سال‌های متفاوت با توجه به نتایج حاصل از محاسبه مقادیر سود خالص حاصل از کشت محصولات پاییزه براساس اطلاعات (جدول ۱ الی ۳) ارائه شده است. مشاهده می‌شود بیش‌ترین مقدار سود خالص اقتصادی در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ به دست آمد؛ که مقدار سود خالص ۳۴۳ درصد با توجه به کاهش سطح زیرکشت طبق داده‌های اخذشده (جدول ۱) به مقدار ۸۳۱ هکتار و کاهش آب تخصیصی به مقدار ۳۳۲۴۰۰۰ مترمکعب نسبت به سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷، افزایش یافت که ناشی از افزایش مقدار قیمت فروش محصولات نسبت به هزینه بود.

که در آن، $f_1(x)$ مقدار سود خالص (ریال)، $f_2(x)$ مقدار آب مصرفی برای هر محصول (مترمکعب بر هکتار)، E_a بازده آبیاری بر حسب اعشار و برابر ۰/۴۷، Y_j متوسط عملکرد هر محصول (تن بر هکتار)، A_j سطح زیر کشت هر محصول (هکتار)، A_{Total} کل سطح زیر کشت (هکتار)، IN_j مقدار آب مورد نیاز گیاه (mm/day)، P_{cj} قیمت گیاه j ام (ریال بر تن)، C_j هزینه تولید گیاه j ام (ریال بر هکتار).

به منظور تعیین حداکثر سود، ابتدا مقدار β با گام‌های محاسباتی ۰/۵ و در نظرگرفتن محدودیت‌های کشت منطقه تغییر یافته و حداکثر سود خالص حاصل استخراج شد. در مرحله بعدی مقادیر β حاصل از مرحله قبل بهینه‌سازی شد، بدین صورت که ذخیره آب معادل با سود سال هدف استخراج شد و ذخیره آب مجدداً بهینه‌سازی شده و سود آن محاسبه گشت و به سود معادل با سود سال هدف افزوده شد و سود حاصل در مرحله دوم با سود حاصل از مرحله اول مقایسه گشته و β بهینه نهایی انتخاب شد. در محاسبات با توجه به نوع گیاه، محدودیت‌های لازم

جدول ۵- سود خالص کشت پاییزه به تفکیک هر سال زراعی (میلیارد ریال).

Table 5. The net profit of autumn crops separately for each year (billion Rials).

1399-1400	1398-1399	1397-1398	1396-1397
327.68	152.87	106.0	95.53

جدول ۶ نتایج حاصل از بهینه‌سازی تک‌هدفه که در آن فقط سود خالص ملاک بود را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۶ مشاهده می‌شود که بیش‌ترین سود خالص در این سال زراعی (۱۳۹۶-۱۳۹۷) در گام محاسباتی ۶ به دست آمد. هم‌چنین براساس نتایج (جدول ۶) در گام ششم نکته قابل‌توجه این بود که با وجود افزایش سود خالص اقتصادی حاصل از محاسبات به میزان ۲۸ درصد؛ مقدار ۲۵۳۱۳ مترمکعب آب نیز ذخیره شد.

جدول ۷ نتایج حاصل از حداکثر سود خالص و آب ذخیره‌شده براساس حداقل مقدار مجاز الگوی کشت، بهینه‌سازی دوهدفه (سود خالص ماکزیمم و آب ذخیره‌شده ماکزیمم) را نشان می‌دهد. با توجه به جدول مشاهده می‌شود که در این حالت گام محاسباتی ششم با وجود رعایت حداقل‌های مجاز سطح زیرکشت محصولات سود خالص اقتصادی ۱۱۳/۰۱ میلیارد ریال شد که به نسبت به سود سال ۱۳۹۶-۱۳۹۷ (جدول ۵) ۱۷/۴۸ میلیارد ریال بیش‌تر شد. درعین‌حال در این شرایط مقدار ۳/۱۸ میلیون مترمکعب آب نیز ذخیره شد که نسبت به مقادیر شرایط تک‌هدفه آب ذخیره‌شده ۳/۱۵ میلیون مترمکعب بیش‌تر بود اما مقدار سود خالص ۸/۹۸ میلیارد ریال کم‌تر بود. در ادامه نتایج حاصل از بهینه‌سازی مقادیر آب ذخیره‌شده در گام‌های محاسباتی تک‌هدفه در جدول ۸ آورده شده است. مشاهده می‌شود که در این حالت بیش‌ترین سود خالص در گام محاسباتی ۴/۵ بود. با توجه به سود خالص از بهینه‌سازی گام‌های محاسباتی دوهدفه (جدول ۷) و تک‌هدفه (جدول ۸) و تجمیع سودهای خالص برای هر گام محاسباتی نتایج در جدول ۹ آورده شده است. مشاهده می‌شود که در این شرایط

که بیش‌ترین سود خالص نسبت به سود خالص حاصل در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ (۹۵/۰۳ میلیارد ریال) در گام محاسباتی ۵ حاصل شد. بنابراین این گام محاسباتی برای سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ به‌عنوان بهترین گام محاسباتی انتخاب شد. مشاهده می‌شود مقدار سود خالص محاسبه‌شده (۱۴۰/۶۲ میلیارد ریال) در جدول ۹ مقدار ۴۷/۲ درصد از سود محاسبه‌شده سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ بیش‌تر شد. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد که سود خالص تجمیع شده از گام‌های محاسباتی دوهدفه (جدول ۷) و تک‌هدفه (جدول ۸) در جدول ۹ به مقدار ۱۹ درصد از سود خالص حداکثر حساب‌شده حاصل از بهینه‌سازی تک‌هدفه (جدول ۶) بیش‌تر است. بنابراین نتایج نشان می‌دهد که با بهینه‌سازی دوهدفه سود خالص نسبت به شرایط تک‌هدفه بیش‌تر شد که اهمیت عدم لحاظ کردن فقط سود خالص اقتصادی را نشان می‌دهد.

هم‌چنین مقادیر بهینه‌سازی دوهدفه برای بهترین گام‌های محاسباتی در جدول ۱۰ آورده شده است. با توجه به جدول ۱۰ مشاهده می‌شود که بیش‌ترین مقدار ذخیره آب در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ (۵/۱۲ میلیون مترمکعب) به‌دست آمد که بیش‌ترین مقدار توزیع آب بود. هم‌چنین با توجه به نتایج جدول ۱۰ بیش‌ترین مقدار سود خالص حاصل از بهینه‌سازی دوهدفه در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰ به مقدار ۵۵۲/۵۷ میلیارد ریال به علت افزایش نسبت قیمت به هزینه بود. مقادیر سود خالص حاصل از بهینه‌سازی تک‌هدفه با آب ذخیره‌شده، ناشی از بهینه‌سازی دوهدفه برای بهترین گام‌های محاسباتی برای سال‌های زراعی مختلف در جدول ۱۱ آورده شده است؛ که مشاهده می‌شود، بیش‌ترین سود خالص در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ (۲۲۶/۳۵ میلیارد ریال) بود.

بهینه‌سازی دوهدفه و تک‌هدفه) گام‌های محاسباتی یکسان نشد.

نتایج این پژوهش با پژوهش، یوسف‌دوست و همکاران (۱۸)، میرزایی و همکاران (۱۲)، عوض‌یار و همکاران (۱۶) عبدی‌رکنی و همکاران (۱۹) و جهانیغ (۲۰) مقایسه شد. مشاهده شد که با بهره‌گیری از بهینه‌سازی دوهدفه و رعایت حداقل مقادیر مجاز سطح زیرکشت سال‌های هدف در مدل و حداقل سطح زیرکشت محصول گندم که کشت استراتژیک می‌باشد، پژوهش حاضر نتایج بهتری از لحاظ افزایش سود خالص اقتصادی و رعایت کشت استراتژیک نشان داد و با پژوهش ناس و همکاران (۲۲) در جهت رویکرد استفاده از بهینه‌سازی با الگوریتم‌های چندهدفه نسبت به بهینه‌سازی با الگوریتم‌های تک‌هدفه مطابقت دارد. همچنین مقایسه نتایج نشان داد که الگوی کشت فعلی منطقه مورد مطالعه بهینه نبوده و با استفاده از مدل بهینه‌سازی دوهدفه و اجرای گام‌های محاسباتی در این پژوهش با توجه به منابع محدود آبی و رعایت حداقل سطح زیرکشت محصولات استراتژیک، سود خالص اقتصادی را می‌توان افزایش داد. در مدل حاضر پس از کشت گندم، کشت گیاهان کلزا و تربیتکاله در منطقه مورد مطالعه نسبت به الگوی کشت فعلی در سال‌های زراعی مورد بررسی به دلیل اهمیت دانه‌های روغنی از نظر اقتصادی و مصرف جامعه و اهمیت کشت‌های علوفه‌ای برای تغذیه دام افزایش یافته است.

با توجه به جدول ۱۲ بیش‌ترین سود خالص برای منطقه مورد مطالعه براساس داده‌های اخذشده در منطقه در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ برابر ۳۲۷/۶۸ میلیارد ریال بود که مشاهده می‌شود نسبت به سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۷، ۱۳۹۷-۱۳۹۸ و ۱۳۹۸-۱۳۹۹ به ترتیب، ۲۳۲/۱۵، ۲۲۱/۶۸ و ۱۷۴/۸۱ میلیارد ریال بیش‌تر شد. همچنین مشاهده می‌شود که در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ میزان سطح زیرکشت محصولات ۷۰۹۳ هکتار بود که نسبت به سال ۱۳۹۶-۱۳۹۷، ۱۳۹۷-۱۳۹۸ و ۱۳۹۸-۱۳۹۹ به ترتیب ۸۳۱، ۳۵۶ و ۷۴ هکتار کم‌تر بود. با توجه به نتایج علت افزایش سود خالص در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ نسبت به دیگر سال‌های مورد مطالعه افزایش قیمت فروش محصول نسبت به هزینه‌ها بود. همچنین مجموع سطح زیرکشت پس از بهینه‌سازی دوهدفه و بهینه‌سازی تک‌هدفه حاصل از آب ذخیره‌شده در جدول ۱۲ مشاهده می‌شود، با وجود این‌که مجموع سطح زیرکشت بهینه در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷، مقدار ۱/۱ هکتار کاهش یافت، میزان سود خالص بهینه ۴۷ درصد افزایش داشت که برای سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸، ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۳۹۹-۱۴۰۰ به ترتیب با کاهش میزان سطح زیرکشت، ۳/۴۶، ۲/۹۴ و ۸۳/۸۵ (هکتار) مقدار سود خالص بهینه به ترتیب ۴۲، ۵۵ و ۱۳۸ در بیش‌تر شد. همچنین مشاهده شد که در هیچ‌یک از مراحل بهینه‌سازی الگوی کشت (سود خالص حاصل از جمع

جدول ۶- گام محاسباتی، سطح زیرکشت محصولات پاییزه (هکتار)، آب مصرفی، ذخیره آب، سود بهینه حداکثر، اختلاف سود خالص.

Table 6. Computational step, the area under cultivation of autumn crops (hectares), water consumption, water storage, maximum optimal profit, net profit difference.

گام محاسباتی Computational step	گندم Wheat	کلزا Canola	جو Barley	تریتیکاله Triticale	جمع Sum	آب مصرفی (میلیون مترمکعب) Consuming water (MCM)	ذخیره آب (مترمکعب) Water saving (CM)	سود بهینه حداکثر (میلیارد ریال) Maximum optimal profit (billions of Rials)	اختلاف سود خالص (میلیارد ریال) Net profit difference (billions of Rials)	اختلاف سود خالص (درصد) Net profit difference (percentage)
1.50	7310.51	362.48	191.49	34.11	7898.60	31.59	101608.72	97.07	1.54	2
2.00	7090.85	485.39	224.19	66.78	7867.20	31.47	227182.90	99.64	4.11	4
2.50	6946.69	624.26	247.42	89.34	7907.71	31.63	65165.61	103.05	7.52	8
3.00	6811.83	752.12	215.32	116.53	7895.81	31.58	112765.06	105.93	10.39	11
3.50	6711.75	866.66	197.71	129.22	7905.33	31.62	74665.47	108.39	12.86	13
4.00	6458.00	991.69	290.87	153.78	7894.35	31.58	118616.84	110.86	15.33	16
4.50	6400.12	1114.67	200.33	159.68	7874.79	31.50	196823.26	113.13	17.60	18
5.00	6278.35	1255.64	185.27	192.78	7912.04	31.65	47833.134	116.92	21.39	22
5.50	6123.56	1354.82	209.27	223.68	7911.33	31.65	50690.195	119.40	23.87	25
6.00	5791.55	1510.41	382.68	233.03	7917.67	31.67	25313.11	121.99	26.46	28

جدول ۷- گام محاسباتی، سطح زیرکشت محصولات پاییزه (هکتار)، آب مصرفی، ذخیره آب، سود خالص بهینه تقریباً معادل.

Table 7. Computational step the area under cultivation of autumn crops (hectares), water consumption, water saving, Optimum net profit is almost equivalent.

گام محاسباتی Computational step	گندم Wheat	کلزا Canola	جو Barley	تریتیکاله Triticale	جمع Sum	آب مصرفی (میلیون مترمکعب) Consuming water (MCM)	ذخیره آب (مترمکعب) water saving (MCM)	سود خالص بهینه تقریباً معادل (میلیارد ریال) Optimum net profit is almost equivalent to (billion Rials)
1.50	7203.65	354.07	214.63	34.50	7806.84	31.23	0.47	95.83
2.00	6827.33	481.06	229.11	66.72	7604.22	30.42	1.28	96.54
2.50	6343.68	623.81	231.10	89.12	7287.71	29.15	2.55	95.98
3.00	6025.63	747.71	150.53	117.55	7041.41	28.17	3.53	96.26
3.50	5582.35	875.32	180.34	130.64	6768.65	27.07	4.62	95.62
4.00	5217.49	990.68	274.33	152.83	6635.33	26.54	5.15	96.46
4.50	5015.43	1124.12	190.64	160.65	6490.83	25.96	5.73	97.51
5.00	5014.88	1257.59	186.96	185.27	6644.70	26.58	5.12	102.25
5.50	5060.50	1375.65	225.15	225.38	6886.67	27.55	4.15	108.04
6.00	5020.55	1509.93	366.34	232.98	7129.79	28.52	3.18	113.01

جدول ۸- گام محاسباتی، سطح زیرکشت محصولات پاییزه (هکتار)، سود خالص بهینه آب ذخیره (میلیارد ریال).

Table 8. Computational step, the area under cultivation of autumn crops (hectares), Optimum net profit of saving water.

گام محاسباتی Computational step	گندم Wheat	کلزا Canola	جو Barley	تریتیکاله Triticale	جمع Sum	سود خالص بهینه آب ذخیره (میلیارد ریال) Optimum net profit of storage water (billions of Rials)
1.50	0.02	61.24	0.00	54.88	116.15	3.87
2.00	0.32	237.55	0.78	77.16	315.81	9.79
2.50	0.10	533.14	0.00	99.54	632.77	19.12
3.00	0.00	759.75	0.95	106.24	866.94	25.88
3.50	149.77	867.90	0.70	132.71	1151.09	31.71
4.00	89.56	995.69	1.55	157.84	1244.64	35.66
4.50	0.91	1117.63	109.00	165.65	1393.19	39.41
5.00	1.759041	1093.737	0.910182	181.7945	1278.20	38.38
5.50	0.537657	813.1373	0.146325	218.5016	1032.32	31.73
6.00	0.199484	541.4296	0.032346	236.1942	777.86	24.62

جدول ۹- گام محاسباتی، اختلاف مجموع سطح زیرکشت، سود خالص بهینه تقریباً معادل، سود خالص بهینه آب ذخیره،

مجموع سود خالص، اختلاف سود خالص.

Table 9. Computational step, the difference in the total area under cultivation, optimum net profit is almost equivalent to, optimum net profit of saving water, total net profit Net profit difference.

گام محاسباتی Computational step	اختلاف مجموع سطح زیرکشت (درصد) The difference in the total area under cultivation (Percentage)	سود خالص بهینه تقریباً معادل (میلیارد ریال) Optimum net profit is almost equivalent to (billion Rials)	سود خالص بهینه آب ذخیره (میلیارد ریال) Optimum net profit of storage water (billions of Rials)	مجموع سود خالص (میلیارد ریال) Total net profit (billions of Rials)	اختلاف سود خالص (میلیارد ریال) Net profit difference (billions of Rials)	اختلاف سود خالص (درصد) Net profit difference (percentage)
1.50	-0.01	95.8326493	3.868633	99.70128	4.171068	4.366229
2.00	-0.05	96.53974494	9.790547	106.3303	10.80008	11.30541
2.50	-0.04	95.97903169	19.11578	115.0948	19.5646	20.48001
3.00	-0.20	96.2562999	25.87713	122.1334	26.60321	27.84796
3.50	-0.05	95.61729238	31.70748	127.3248	31.79456	33.2822
4.00	-0.56	96.45650142	35.65686	132.1134	36.58315	38.29485
4.50	-0.50	97.51214517	39.41276	136.9249	41.39469	43.33152
5.00	-0.01	102.2465434	38.37943	140.626	45.09575	47.20575
5.50	-0.06	108.0428395	31.72837	139.7712	44.24099	46.311
6.00	-0.21	113.007434	24.61613	137.6236	42.09335	44.06287

جدول ۱۰- سال زراعی، گام محاسباتی نهایی، سطح زیرکشت محصولات پاییزه (هکتار)، آب ذخیره شده، سود خالص بهینه تقریباً معادل.

Table 10. Crop year, final computational step, the area under cultivation of autumn crops (hectares), water saving, optimum net profit is almost equivalent.

سال زراعی Crop year	گام محاسباتی نهایی Final Computational step	گندم Wheat	کلزا Canola	جو Barley	تریتیکاله Triticale	مجموع Sum	ذخیره آب (میلیون مترمکعب) water saving (MCM)	ذخیره آب (درصد) water saving (percentage)	سود خالص بهینه تقریباً معادل (میلیارد ریال) Optimum net profit is almost equivalent to (billion Rials)
1396-1397	5	5014.88	1257.59	186.96	185.27	6644.70	5.12	16.14	102.25
1397-1398	4.50	5087.08	1690.92	203.51	249.34	7230.85	0.87	8.75	137.81
1398-1399	4.5	5002.78	1158.21	162.67	402.38	6726.04	1.77	15.12	194.22
1399-1400	3.5	5095.88	925.49	134.69	539.32	6695.38	1.59	15.50	552.57

جدول ۱۱- سال زراعی، گام محاسباتی نهایی، سطح زیرکشت محصولات پاییزه (هکتار)، سود خالص بهینه آب ذخیره (میلیارد ریال).

Table 11. Crop year, final computational step, the area under cultivation of autumn crops (hectares), optimum net profit of saving water.

سال زراعی Crop year	گام محاسباتی نهایی Final Computational step	گندم Wheat	کلزا Canola	جو Barley	تریتیکاله Triticale	مجموع Sum	سود خالص بهینه آب ذخیره (میلیارد ریال) Optimum net profit of saving water
1396-1397	5	1.759040504	1093.736687	0.91018221	181.7945473	1278.20	38.38
1397-1398	4.50	0.02	0.13	0.01	214.53	214.69	12.93
1398-1399	4.5	16.34010525	0.166489819	0.06106465	421.4497069	438.02	43.32
1399-1400	3.5	0.00	0.06	0.01	313.69	313.76	226.35

جدول ۱۲- سال زراعی، سود خالص سال هدف، سطح زیرکشت سال هدف، نگام محاسباتی نهایی، مجموع سطح زیرکشت بهینه، سود خالص بهینه‌سازی نهایی، اختلاف سود خالص.

Table 12. Crop year, net profit for the target year, the cultivated area of the target year, final computational step, total optimal cultivated area, net profit of final optimization, net profit difference.

سال زراعی Crop year	سود خالص سال هدف (میلیارد ریال) Net profit for the target year (billion Rials)	سطح زیرکشت سال هدف (هکتار) The cultivated area of the target year (ha)	نگام محاسباتی نهایی Final Computational step	مجموع سطح زیرکشت بهینه (هکتار) Total optimal cultivated area (hectare)	سود خالص بهینه‌سازی نهایی (میلیارد ریال) Net profit of final optimization (billion Rials)	اختلاف سود خالص (میلیارد ریال) Net profit difference (billions of Rials)	اختلاف سود خالص (درصد) Net profit difference (percentage)
1396-97	95.530214	7924	5	7922.9	140.63	45.10	47
1397-98	106.00	7449.00	4.50	7445.54	150.74	44.74	42
1398-99	152.87	7167.00	4.5	7164.06	237.54	84.67	55
1399-1400	327.68	7093.00	3.5	7009.15	778.92	451.25	138

نتیجه‌گیری کلی

خالص شرایط موجود الگوی کشت در ۴ سال زراعی موردپژوهش به ترتیب ۴۷، ۴۲، ۵۵ و ۱۳۸ درصد افزایش داشت. بنابراین براساس نتایج پژوهش حاصل می‌توان چنین استنتاج کرد که استفاده از روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه باعث افزایش سود خالص نهایی الگوی کشت خواهد شد که دستیابی به حداکثر سود خالص اقتصادی می‌تواند باعث افزایش اشتغال در بخش کشاورزی، مهاجرت معکوس به روستاها و هم‌چنین دستیابی به سطح رفاه اجتماعی بالاتر در این بخش گردد. از اهداف دیگر این پژوهش می‌توان به این مسأله اشاره کرد که با رعایت حداقل سطح کشت گندم به لحاظ استراتژیک و نیز افزایش سطح کشت‌های گیاهان دانه روغنی مانند کلزا و علوفه‌ای مانند تریکاله، علاوه بر تأمین امنیت و استقلال زنجیره غذایی، از دیدگاه پدافند غیرعامل نیز، عملکرد مناسبی حاصل خواهد شد.

در پژوهش حاضر تأثیر بهینه‌سازی دوهدفه (افزایش سود خالص و کاهش مصرف آب) با الگوریتم ژنتیک نامغلوب بر الگوی کشت پائیزه سدگلستان در ۴ سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹-۱۴۰۰ موردبررسی قرار گرفت. براساس نتایج میزان آب ذخیره‌شده حاصل از بهینه‌سازی دوهدفه که در آن میزان سود خالص تقریباً معادل با سود خالص الگوی کشت سال‌های زراعی بود به ترتیب ۵/۱۲ (۱۳۹۶-۱۳۹۷)، ۰/۸۷ (۱۳۹۷-۱۳۹۸)، ۱/۷۷ (۱۳۹۸-۱۳۹۹) و ۱/۵۹ (۱۳۹۹-۱۴۰۰) میلیون مترمکعب حاصل شد که با بهینه‌سازی تک‌هدفه (افزایش سود خالص) مقادیر آب ذخیره‌شده برای کشت جدید براساس الگوی کشت منطقه و تجمیع سودهای خالص حاصل از بهینه‌سازی مرحله اول (دوهدفه) و بهینه‌سازی مرحله دوم (تک‌هدفه)، مقادیر سود خالص نهایی نسبت به سود

تقدیر و تشکر

نویسندگان از اداره جهاد کشاورزی گنبدکاووس و هم‌چنین جناب آقای مهندس حاجی نظر شیرمحمدلی ریاست مرکز جهاد کشاورزی آق‌آباد گنبدکاووس جهت مشورت، تسهیل دسترسی به بازدیدهای میدانی و داده‌ها در مورد اجرای پژوهش تقدیر و تشکر می‌نمایند. نویسندگان از داوران این مقاله که با نظرات خود موجب بهبود متن حاضر شده‌اند تشکر می‌نمایند.

داده‌ها، اطلاعات و دسترسی

تمامی داده‌های این پژوهش مربوط به پایان‌نامه دکتری نویسنده اول بوده که با مکاتبه با جهاد کشاورزی شهر گنبدکاووس، مرکز تحقیقات کشاورزی آق‌آباد و اداره آب منطقه‌ای گلستان به دست آمده است، هم‌چنین قسمتی از داده‌ها از آمارنامه‌های جهاد کشاورزی و مرکز آمار کشور به دست آمد.

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در این متن به شکل ذیل است: نویسنده اول: آماده‌سازی داده‌ها، کدنویسی مسأله در محیط برنامه متلب، انجام محاسبات، تهیه پیش‌نویس مقاله، نویسنده دوم: طرح تحقیق و روش‌شناسی، نظارت تحقیق و بازبینی مقاله، نویسنده سوم: بازبینی مقاله، نویسنده چهارم: بازبینی مقاله، مشارکت در طرح و روش تحقیق.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها می‌باشد.

حمایت مالی

این پژوهش از حمایت مستقیم مالی برخوردار نبوده است.

منابع

1. Karamouz, M., Szidarovszky, F., & Zahraie, B. (2003). Water resources systems analysis. CRC press.
2. Nouri, H., Stokvis, B., Galindo, A., Blatchford, M., & Hoekstra, A. Y. (2019). Water scarcity alleviation through water footprint reduction in agriculture: the effect of soil mulching and drip irrigation. *Science of the total environment*, 653, 241-252.
3. Zhang, H., Singh, V. P., Wang, B., & Yu, Y. (2016). CEREF: A hybrid data-driven model for forecasting annual streamflow from a socio-hydrological system. *Journal of hydrology*, 540, 246-256.
4. Li, M., Guo, P., Singh, V. P., & Yang, G. (2016). An uncertainty-based framework for agricultural water-land resources allocation and risk evaluation. *Agricultural water management*, 177, 10-23.
5. Ren, C., Li, Z., & Zhang, H. (2019). Integrated multi-objective stochastic fuzzy programming and AHP method for agricultural water and land optimization allocation under multiple uncertainties. *Journal of cleaner production*, 210, 12-24.
6. Chang, J., Guo, A., Wang, Y., Ha, Y., Zhang, R., Xue, L., & Tu, Z. (2019). Reservoir operations to mitigate drought effects with a hedging policy triggered by the drought prevention limiting water level. *Water Resources Research*, 55 (2), 904-922.
7. Asadpoor, H., Khalilian, S., & Peikani, Gh. (2005). Theory and application of linear-idealistic fuzzy planning model in

- optimizing cultivation pattern, serial of agricultural economics and development, special edition of productivity and efficiency, 13, 307-338. [In Persian]
8. Sepaskhah, A. R., & Ghahraman, B. (2004). The effects of irrigation efficiency and uniformity coefficient on relative yield and profit for deficit irrigation. *Biosystems engineering*, 87 (4), 495-507.
 9. Rafiei, V., Shurian, M., & Attari, J. (2016). Planning the optimal cultivation pattern of agricultural products using the combination of SWAT simulation model and harmony search optimization algorithm. *J. of Iran's water resources research*, 13 (3), 73-88. [In Persian]
 10. Khasheie-Siuki, A., Ghahreman, B., & Kuchekzadeh, M. (2013). Application of agricultural water allocation and management using PSO optimization technique (case study: Neishabour plain). *Soil and Water Journal*, 27 (2), 292-303. [In Persian]
 11. Rao, S. S. (1984). Optimization Theory and Application", Second edition, John Wiley and Sons: 1247 p.
 12. Mirzaee, S., Shahabi Far, M., & Sharifan, H. (2017). Determining the Optimum Cropping Pattern in Golestan Dam Irrigation and Drainage Network using Genetic Algorithm. *Irrigation Sciences and Engineering*, 40 (3), 181-190. doi: 10.22055/jise.2017.13261. [In Persian]
 13. Godarzi, A. (2009). Optimization of water absorption cycle and solar bromide lithium using genetic algorithm. [In Persian]
 14. Li, J., Song, J., Li, M., Shang, S., Mao, X., Yang, J., & Adeloje, A. J. [2018]. Optimization of irrigation scheduling for spring wheat based on simulation-optimization model under uncertainty. *Agricultural water management*, 208, 245-260.
 15. Kiafar, H., Sadradaldini, S. A. A., Nazimi, A. H., & Sani Khani, H. [2010]. Optimal allocation of water in Sufi Chai irrigation and drainage network in East Azerbaijan province using genetic algorithm. *J. of Irrigation and water engineering scientific research quarterly*. 2 (5), 52-62. [In Persian]
 16. Avaz Yar, M., Ahmadpour Borazjani, M., & Zyaei, S. (2018). Determine optimal crop pattern with an emphasis on increasing the irrigation efficiency in lands of Mollasadra Dam in Fars province. *Water Resources Engineering*, 11 (36), 21-32. [In Persian]
 17. Asaadi Mehrabani, M., Banihabib, M. E., & Roozbahany, A. [2018]. Fuzzy linear programming model for the optimization of cropping pattern in Zarrinehroud basin. *Iran-Water Resources Research*, 14 (1), 13-24. [In Persian]
 18. Y, I., M, O., & E, M. (2016). Applying Genetic Algorithms in Determining Optimal Cropping Pattern in Different Weather Conditions in Qazvin Plain. *Journal of Water Research in Agriculture*, 30 (3), 317-331. [In Persian]
 19. Abdi Rokni, K., Hosseini-Yekani, S. A., Abedi, S., & Kashiri Kolaei, F. (2021). Application of Genetic Algorithm in Determination of Optimal Land use Pattern Corresponding with Sustainable Agriculture: A Case Study of Sari Goharbaran. *Agricultural Economics Research*, 13 (3), 85-96. [In Persian]
 20. Jahantigh, H. (2022). Optimization of Agricultural Cropping Pattern in order to Water Use Management in Gorgan. *Irrigation and Water Engineering*, 12 (3), 369-385. [In Persian]
 21. Gauri Pande, N., & Umamahesh, V. (2022). Optimal Cropping Pattern and Water Allocation Using Ga under Deficit Irrigation Conditions. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1873146/v1>.
 22. Nath, K., Jain, R., Arora, A., Shekhar Roy, H., & Marwaha, S. (2022). Multi-objective optimal crop plan for optimum groundwater utilization considering profit maximization: A case study. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1194487/v1>.
 23. Saghafian, B., Farazjoo, H., Sepehry, A., & Najafinejad, A. (2006). Effects of land use change on floods in Golestan dam drainage basin. *Iran-Water Resources Research*, 2 (1), 18-28. [In Persian]

24. Daechini, F., Vafakhah, M., Moosavi, V., & Zabihi Silabi, M. (2021). Estimation of Environmental Flow Indicators in the Downstream of Golestan and Voshmgir Dams. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 8 (3), 677-690. [In Persian]
25. Rezaee, Z., Dourandish, A., & Nobahar, A. (2012). Determination of Cultivation pattern Under Three strategies of economic, social, environmental with application of genetic algorithms: (Case Study of Mashhad). *In Biennial Conference of Agricultural Economics* (pp. 1607-1615). [In Persian]
26. Doust, Y. (2016). Optimizing the cultivation pattern and agricultural water allocation of Qazvin plain using cuckoo algorithm and genetics. Master's thesis. University of Zabol. [In Persian]
27. Taj Aldini, R. (2013). Modeling and optimal allocation of water resources using genetic algorithm and interval uncertainty conditions (case study: Bandar Abbas city). Master's thesis. Kerman Shahid Bahonar University. [In Persian]

