

Research Paper

Application of Genetic Algorithm in Determination of Optimal Land use Pattern Corresponding with Sustainable Agriculture: A Case Study of Sari Goharbaran

Khadijeh Abdi Rokni ¹, Seyedali Hoseini yekani ^{2*}, Samaneh Abedi ³, Fatemeh Kashiri Kolaei ⁴

1. Phd Student in Agricultural Economics, Sari University of Agricultural Science and Natural Resources, Sari, Iran.

2. Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Sari University of Agricultural Science and Natural Resources, Sari, Iran.

3. Faculty of Economics, Allameh Tabatabai University, Tehran, Iran.

4. Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Sari University of Agricultural Science and Natural Resources, Sari, Iran.

Received: 27 March 2018

Accepted: 25 November 2020

Use your device to scan and read the article online



DOI:

10.30495/JAE.2021.17344.1857

Keywords:

Genetic Algorithm, Non-Linear Programming, Sustainable agriculture, Cropping pattern, Sari Goharbaran.

Abstract

Introduction: Agriculture as one of the basic pillars of development, has an important role in economic development. Accordingly, using cropping pattern optimization is a proper way for agricultural development. Therefore, in the present study, optimal cropping pattern in Goharbaran region of Sari city has been evaluated in terms of multi-objective planning has been done using non-linear programming and genetic algorithm and finally compared each other.

Materials and Methods: Required data for this study has been collected with interview 250 of farmers during the 2014-2015.

Findings: Comparison The results of this study showed that the optimal pattern of non-linear genetic algorithm is superior compared to ordinary non-linear programming model. Because increasing the profit of the genetic algorithm is about 0.2% higher than normal nonlinear planning, while reduced risk the by about 6 percent. Also, the amount of production increases by about 18 percent in the genetic algorithm and the consumption of chemical fertilizer is 7 percent lower than normal nonlinear programming. Based on the results, all four sustainable farming objectives in the framework of multi-objective model in the model obtained from the genetic model have a superiority to the typical nonlinear planning model.

Conclusion: Since the proposed cropping pattern of genetic algorithm causes to increase farmers' gross margin compared to the ordinary nonlinear programming, therefore, the government's encouragement and support is mandatory of the farmers in applying the results of such models.

Citation: Khadijeh Abdi Rokni, Seyedali Hoseini yekani, Samaneh Abedi, Fatemeh Kashiri Kolaei . Application of Genetic Algorithm in determination of optimal land use pattern corresponding with sustainable agriculture: A case study of Sari Goharbaran. Journal of Agricultural Economics Research. 2021; 13 (3):85-96

***Corresponding author:** Seyed-Ali Hosseini-Yekani

Address: Department of Agricultural Economics, Sari University of Agricultural Science and Natural Resources, Sari, Iran

Email: hosseiniyekani@gmail.com

Extended Abstract

Introduction

The importance of the agricultural sector in generating food needs and job creation has caused the vulnerability of the activists of this sector. In recent decades, due to excessive attention to goals such as maximizing the economic well-being of farmers, experts have not been aware of environmental damage. Therefore, in addition to the economic and social goals, it is necessary to consider the environmental issues of agricultural activity. Therefore, determination of the optimal cultivating model for sustainable agriculture is one of the most important decisions of the farmers.

Materials and Methods

The aim of this study was to determine and compare the optimal composition of products, risk, profit, fertilizer production and use in the form of multi-objective model in terms of conventional solving methods and genetic algorithm for nonlinear patterns in the Gharbaran region that is a city of Sari. Sustainable agriculture means economically justified, socially acceptable and environmentally sustainable. In this regard, in the present study, the economic, social and environmental objectives are considered for determining the pattern of cultivation of sustainable agriculture, which will be further discussed.

-Economic strategy: Generally, the goal of this strategy is profit maximization. This goal is expressed in terms of:

$$\max Z_1 = \sum_{c=1}^C TGM_c * [h]_c$$

Where $[h]_c$ represents the vector of the cropping area, TGM_c is the gross profit of each hectare of product c and Z_1 of gross profit. Due to the risk characterization of agricultural activities, the calculated benefit can not be definitively taken into account. For this reason, it is essential to use an approach that simultaneously presents a ship's pattern that minimizes the risk of profits. One of the risk measurement methods is the variance-covariance approach in which the variance-covariance of the whole model is minimized as an

indicator of risk. This goal, along with the goal of maximizing profit, is considered as an economic goal. The objective of minimizing risk is:

$$\min Z_2 = \sum_{c=1}^C var_c [h]_c^2 + \sum_{c=1}^C \sum_{c'=1}^{c'} 2cov_{cc'} [h]_c * [h]_{c'}$$

In this regard, var_c , $cov_{cc'}$ and Z_2 represent the variance of product c , the covariance between product c, c' and the pattern of profit risk, respectively.

- Social strategy: The social goal of this study is to achieve maximum production. This objective can be expressed in relation:

$$\max Z_3 = \sum_{c=1}^C [h]_c * [PR]_c$$

$[PR]_c$ represents the amount of production from a hectare of different products, and Z_3 represents the total production.

Environmental strategy: Since fertilizer application leads to soil degradation and environmental contamination, in the framework of this strategy, the minimization of fertilizer use as an environmental target has been considered.

$$\min Z_4 = \sum_{c=1}^C [h]_c * [N + P + K]_c$$

$[N + P + K]_c$ represents the sum of nitrogen, phosphorus and potassium needed to cultivate one hectare of c product.

These goals are subject to their own constraints which include:

In order to achieve simultaneously the three economic, social and environmental strategies, the multi-objective programming model used in relation:

$$\left(\sum_{c=1}^C var_c [h]_c^2 + \sum_{c=1}^C \sum_{c'=1}^{c'} 2cov_{cc'} [h]_c * [h]_{c'} \right) + \sum_{c=1}^C [PR]_c * [h]_c - \sum_{c=1}^C [N + P + K]_c * [h]_c$$

Because the risk models require a minimum gain, the profitability limitation is considered as the relation:

$$\sum_{c=1}^C [gm]_c * [h]_c \leq gm^*$$

Where $[gm]_c$ is the profit per hectare of the product c and gm^* % of the amount of profit (95%) calculated by solving linear programming with the goal of profit maximization. The statistical population of this study is farmers in Goharbaran region located in Sari city. Data needed for this

research were collected by completing a questionnaire and interviewing with 250 farmers that cultivated wheat, barley, rapeseed, garlic, soybean, tomato, watermelon, rice Tarom and Shiroud in the area. MATLAB software has been used to determine the crop pattern based on sustainable agricultural strategy.

Findings

In this study, nonlinear programming model and genetic algorithm, optimal cropping pattern was determined in the form of sustainable agricultural strategies and compared with the current situation in the

region. Since one of the objectives is minimization of risk, a minimum profit or income limitation is taken into account as a result of preventing a lower profitability of the model from a minimum threshold level. Also, 95% of the maximum profit from the economic strategy was considered as the minimum profit level. Multi-objective optimal cropping pattern was first solved in the form of nonlinear programming and then using the genetic algorithm, the results of which are shown in Table 2.

Table 2. Comparison of Optimum Cropping Pattern Using Regular Linear and Nonlinear Modeling and Multi-Objective Genetic

	Multi-objective pattern with genetic algorithm	Multi-objective pattern with typical nonlinear programming
Wheat	0	0
barley	0	0
Rapeseed	0.0499	0
Garlic	0	0
Soybean	0	0
Tomatoes	0.0454	0.021
Watermelon	0.0253	0.015
Tarom rice	0.5102	0.653
shirodi rice	0	0
Standard deviation (10 Rials)	3717283	3956296
Total produced product (kg)	4895	4143
Total fertilizer (kg)	189	204
Profit (10 Rials)	10779088	10755643

Source: Research Finding

As shown in Table 2, the multi-objective model with non-linear programming suggests only three tomato, watermelon and Tarom rice and the rest of the products be removed from the crop pattern. Because the other products are more risky and probably low-yielding and contradictory to environmental and social goals. According to the model outputs in optimal conditions, 34% of the total cultivated land were allocated to Tarom rice and only 0.01% of the remaining crop area for tomato and watermelon production.

Comparison of two columns of table (2) shows that in the method of genetic algorithm, the risk is less than the nonlinear programming ratio. One of the reasons is that in the genetic algorithm, more products are included in the crop pattern, while nonlinear programming involves fewer products. In other words, the more diverse the cropping patterns cause to the lower the risk. The results show that the genetic algorithm chooses more diverse products as an optimal model, so it is more realistic than conventional nonlinear programming and can be more consistent with the decisions of farmers to cultivate different products. As a results, all four objectives of minimizing risk, maximizing production, minimizing the use of fertilizer and maximizing profit in the pattern obtained from the genetic model

have a superiority than the nonlinear planning model.

Discussion

: Today, unsustainable agriculture is a threat to ecosystems. For this reason, at the last two decades, planners' attention has increased in sustainable agriculture. This study was designed to optimize cropping pattern with four objectives of risk minimization, profit maximization, maximization of production and minimization of natural resources pollution in the framework of multi-objective model using genetic algorithm and ordinary nonlinear planning. The results show that the solution method with genetic algorithm will have a more diverse cultivation pattern than conventional nonlinear programming. Accordingly, in both cases, Tarom rice has the highest level of cultivation. The reason for this could be a higher profitability of this product than other products. Regarding the relationship between profit and risk, it was observed that in both cases, while the profit in the nonlinear solving mode of the genetic algorithm increased slightly compared with the ordinary nonlinear programming solution, the risk was less significant. Also, the amount of product produced increases and fertilizer decreases. Therefore, the optimum cropping pattern in the study area shows that using the results of the genetic

algorithm approach was caused to increasing diversity and reducing the risk. Therefore, it is recommended that the government should be applied optimum model by providing supportive policies and establishing the relationship between government agencies such as agricultural Jihad with research centers.

Conclusion

Therefore, the optimum cropping pattern in the study area shows that using the results of the genetic algorithm approach was caused to increasing diversity and reducing the risk. Therefore, it is recommended that the government should be applied optimum model by providing supportive policies and establishing the relationship between government agencies such as agricultural Jihad with research centers.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All subjects full fill the informed consent.

Funding

No funding

Authors' contributions

Design and conceptualization: Abdi Rokni KH, Hosseini-Yekani S.A, Kashiri Kolaei F.; Methodology and data analysis: Abdi Rokni KH, Hosseini-Yekani S.A, Kashiri Kolaei F.; Supervision and final writing: Hosseini-Yekani S.A.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

بکارگیری الگوریتم ژنتیک در تعیین الگوی بهینه بهره‌برداری اراضی زراعی همسو

با کشاورزی پایدار: مطالعه موردی گهرباران ساری

خدیجه عبدی رکنی^۱، سید علی حسینی یکانی^{۲*}، سمانه عابدی^۳ و فاطمه کشیری کلانی^۴

۱. دانشجوی دکتری گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

۲. دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

۳. دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی، ایران.

۴. استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

چکیده

مقدمه و هدف: کشاورزی به عنوان یکی از محورهای اساسی رشد و توسعه، نقش مهمی در توسعه اقتصادی کشورها دارد. بر همین اساس بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات زراعی، یک راهکار مناسب جهت توسعه بخش کشاورزی است. به همین جهت در این مطالعه، الگوی کشت بهینه در منطقه گهرباران شهرستان ساری در قالب برنامه ریزی ریاضی چندهدفه پایدار شامل هدف بیش‌ترین بازدهی ناخالص و تولید محصولات، کم‌ترین ریسک و کم‌ترین مصرف کود، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی معمولی و الگوریتم ژنتیک تعیین و با یکدیگر مقایسه شده است.

مواد و روش‌ها: داده‌های این مطالعه از راه تکمیل پرسش‌نامه و مصاحبه حضوری با ۲۵۰ کشاورز منطقه گهرباران ساری در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ گردآوری شده است.

یافته‌ها: مقایسه نتایج این مطالعه نشان دادند که الگوی بهینه الگوریتم ژنتیک غیرخطی نسبت به مدل غیرخطی معمولی برتری دارد. چرا که سود الگوریتم ژنتیک نسبت به برنامه‌ریزی غیرخطی معمولی حدود ۰/۲ درصد افزایش داشته و ریسک حدود ۶ درصد کم شده است. همچنین، مقدار تولید در الگوریتم ژنتیک حدود ۱۸ درصد افزایش و مصرف کود شیمیایی ۷ درصد کاهش را نسبت به برنامه‌ریزی غیرخطی معمولی نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری: با توجه به این‌که استفاده از الگوی کشت پیشنهادی الگوریتم ژنتیک موجب دستیابی بهتری به اهداف بهره‌برداران نسبت به الگوی برنامه‌ریزی غیرخطی معمولی می‌شود، لذا تشویق و حمایت دولت از کشاورزان در زمینه بکارگیری نتایج چنین الگوهایی می‌تواند موجب ارتقاء بهره‌وری اراضی زراعی شود.

تاریخ دریافت: ۷ فروردین ۱۳۹۷

تاریخ پذیرش: ۵ آذر ۱۳۹۹

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

10.30495/JAE.2021.17344.1857

واژه‌های کلیدی:

الگوریتم ژنتیک، برنامه‌ریزی غیرخطی، کشاورزی پایدار، الگوی کشت، گهرباران ساری.

* نویسنده مسئول: سید علی حسینی یکانی

نشانی: گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

تلفن: -

پست الکترونیکی: hosseniyekani@gmail.com

مقدمه

بخش کشاورزی به دلیل تأمین نیازهای غذایی و اشتغال‌زایی، در سراسر دنیا از اهمیتی ویژه برخوردار است. تقاضای روز افزون به مواد غذایی و کمبود منابع تولید از یک سوی و لزوم کاهش مصرف مواد شیمیایی و افزایش سودآوری و رفاه برای کشاورزان از سوی دیگر، استفاده بهینه از منابع و ابزارهای تولید را در این بخش ضروری است. همین مسئله موجب شده است روش‌های تخصیص بهینه منابع کمیاب بین فعالیت‌های گوناگون، روز به روز گسترش یابد (۱).

در این راستا، از جمله مسائلی که در اقتصاد کشاورزی مورد توجه فراوان قرار گرفته است تعیین الگوی بهینه‌ی کشت می‌باشد. هدف از تعیین الگوی بهینه کشت، انتخاب ترکیبی از محصولات برای کشت در یک واحد زراعی مشخص با توجه به خصوصیات کشت محصولات گوناگون، حجم تقاضا، منابع آب و خاک در دسترس، نیروی انسانی، سرمایه، تجهیزات کشاورزی و موارد مشابه دیگر به منظور بیشینه کردن تولید، سود و یا درجهت حفظ محیط‌زیست می‌باشد (۲).

از آنجایی که هدف اصلی علم اقتصاد، تخصیص منابع کمیاب بین فعالیت‌های رقیب است، لذا استفاده از روش‌هایی که بتواند به اهداف یاد شده تحقق بخشد، ضروری می‌باشد (۳). یکی از روش‌هایی که در زمینه تخصیص بهینه منابع کمیاب کاربرد فراوان دارد، استفاده از الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی است. الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی از دهه‌های گذشته و بویژه در این عصر برای نیل به اهدافی از قبیل سیاست‌گذاری در بخش کشاورزی، تعیین الگوی بهینه کشت و ترکیب نهاده‌های کشاورزی و بررسی الگوهای گوناگون کشت کاربرد فراوانی یافته است (۴).

روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی کلاسیک روش‌های قطعی هستند، یعنی به محض رسیدن به نخستین نقطه بهینه موضعی متوقف می‌شوند و توانایی خروج از این نقطه و حرکت به سوی نقطه بهینه بهتری را ندارند. بدین منظور برای رفع این مشکل محققان به روش‌های هوش مصنوعی روی آورده‌اند. از جمله این روش‌ها می‌توان به شبکه‌های عصبی، منطق فازی و الگوریتم‌های تصادفی مانند الگوریتم ژنتیک، الگوریتم جامعه مورچه‌گان، الگوریتم بهینه‌سازی مجموعه ذرات اشاره کرد. روش‌های یاد شده مجموعه‌ای از نقاط را در فضای تصمیم در نظر گرفته و در جهات گوناگون برای پیدا کردن جواب بهینه مدل حرکت می‌کنند (۵). در این مطالعه از روش الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌یابی استفاده شده است. الگوریتم ژنتیک یک روش آماری برای بهینه‌سازی و جستجو است. این الگوریتم زیرمجموعه‌ای از روش‌های مبتنی بر محاسبات تکامل است که خود جزئی از هوش مصنوعی می‌باشد. این روش با بهره‌گیری از نظریه تکامل و بقاء صلح در علم زیست‌شناسی و استفاده از اصول علم ژنتیک به‌عنوان روشی مؤثر برای بهینه‌سازی که محدودیت‌های روش‌های کلاسیک را ندارد ابداع شده است. الگوریتم ژنتیک، از تئوری‌های تکامل بیولوژیکی، از قبیل وراثت ژنتیک و اصل تناظر بقای داروین بهره می‌برد و روش‌های جستجوی کاملاً موازی را

برای مسائل پیچیده بهینه‌سازی ارائه می‌کند (۱). در زمینه تعیین الگوی کشت بهینه و الگوریتم ژنتیک مطالعات فراوانی انجام گرفته است و با توجه به تعدد و شباهتی که بین اغلب مطالعات وجود دارد در این بخش به چند مطالعه‌ای که در سال‌های اخیر انجام گرفته اشاره می‌شود. در مطالعه‌ای بمنظور بهینه کردن الگوی کشت و مدیریت آبیاری در کانال اردیبهشت در شبکه اصلی سد درودزن (استان فارس) برای نیل به اهداف یاد شده از برنامه‌ریزی خطی و الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. مقایسه الگوی بهینه کشت حاصل از مدل با الگوی کشت کنونی کشاورزان (بهره بردار نماینده) نشان داد که مدل ارائه شده با تصمیم‌های کشاورزان برای کشت گیاهان گوناگون به خوبی انطباق دارد. همچنین، نتایج نشان دادند الگوریتم ژنتیک به دلیل اینکه گیاهان بیش‌تری را به عنوان الگوی بهینه انتخاب می‌کند حالت واقعی‌تری دارد (۶). در پژوهش دیگر بمنظور بهینه‌سازی تخصیص آب از روش الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. محدوده مطالعاتی، سد علویان و شبکه آبیاری و زهکشی صوفی چای در پایین‌دست آن در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آن است که اختلاف مقدار آب تخصیص یافته واقعی و مقدار بهینه در مناطق گوناگون به‌طور میانگین برابر ۲/۱ میلیون مترمکعب است. همچنین، میانگین سطح کل زیرکشت حاصل از مقادیر واقعی، سه درصد بیش‌تر از سطح کشت حاصل از مقادیر پیش‌بینی منابع آب است. بر مبنای سطح زیرکشت بهینه، مقدار سود حاصله از فروش محصولات در منطقه نوسان داشته و روند خاصی را نشان نمی‌دهد (۷).

محققان دیگر در پژوهش خود به تعیین الگوی بهینه کشت در استان خراسان رضوی با استفاده از الگوی الگوریتم ژنتیک، با هدف بیشینه کردن سود و تولید و کمینه کردن مصرف کود پرداختند. به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهند که استراتژی‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی تأثیر چندانی بر الگوی کشت محصولات نداشته و محصولاتی که باید تولید شوند تا اهداف فوق تأمین شود، تغییر چندانی نمی‌کنند (۲).

در مطالعه‌ای با در نظر گرفتن اهداف زیست‌محیطی و اقتصادی در قالب الگوی چندهدفه به تعیین ارزش اقتصادی آب منطقه لیستر پرداخت. اهداف مورد انتظار مطالعه شامل هدف افزایش بازدهی ناخالص، کاهش ریسک، کاهش مصرف کودهای شیمیایی و کاهش مصرف آب بوده است. وی با بکارگیری الگوی چندهدفه یاد شده، با تغییر محدودیت منابع آب در سطوح ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصدی، ارزش اقتصادی آب را در این سطوح به ترتیب برابر با ۲۵۰ ریال، ۱۵۰۰ ریال و ۳۰۵۰ ریال محاسبه کرد (۸).

در مطالعات خارجی نیز به تعیین الگوی کشت با بهینه‌سازی آبیاری با استفاده از الگوریتم ژنتیک در منطقه آندرا هند پرداختند. آن‌ها در پژوهش خود روش الگوریتم ژنتیک را با روش برنامه‌ریزی ریاضی معمولی مقایسه کردند. نتایج نشان دادند راه‌حل‌های روش خطی و ژنتیک بسیار به یکدیگر نزدیک می‌باشند. بیش‌ترین منافع بدست آمده از روش خطی و ژنتیک به ترتیب ۲/۴۸۹ و ۲/۳۹۰ می‌باشد. منافع

است. کشاورزی پایدار یعنی از لحاظ اقتصادی موجه، از دیدگاه اجتماعی پذیرفتنی و به لحاظ محیطی سازگار باشد (۲).
- استراتژی اقتصادی: اصولاً هدف در این استراتژی بدست آوردن بیش‌ترین سود است. این هدف به‌صورت رابطه (۱) بیان می‌شود.

$$\max Z_1 = \sum_{c=1}^C TGM_c * [h]_c \quad (1)$$

که در آن $[h]_c$ معرف بردار سطح کشت محصولات، TGM_c سود ناخالص هر هکتار محصول c ام و Z_1 سود ناخالص کل می‌باشد. به-دلیل ویژگی ریسکی بودن فعالیت‌های کشاورزی، مسلماً سود محاسبه شده را نمی‌توان به‌صورت قطعی در نظر گرفت. به همین دلیل استفاده از رهیافتی که به گونه هم‌زمان الگوی کشتی را ارائه دهد که ریسک سود را نیز کمینه کند، ضروری می‌باشد. از جمله روش‌های اندازه‌گیری ریسک، رهیافت واریانس-کواریانس می‌باشد که در آن واریانس-کواریانس کل الگو به‌عنوان شاخصی از ریسک کمینه می‌شود. این هدف نیز در کنار هدف بیشینه‌سازی سود به‌عنوان هدف اقتصادی مدنظر قرار گرفته است. هدف کمینه‌سازی ریسک به‌صورت رابطه (۲) می‌باشد.

$$\min Z_2 = \sum_{c=1}^C var_c[h]_c^2 + \sum_{c=1}^C \sum_{c'=1}^{c'} 2cov_{cc'} [h]_c * [h]_{c'} \quad (2)$$

که در این رابطه var_c واریانس محصول c ام و $cov_{cc'}$ نشان دهنده کواریانس بین محصول c ام و c' ام و Z_2 معرف ریسک سود الگو می‌باشد.

- استراتژی اجتماعی: هدف اجتماعی لحاظ شده در این مطالعه بدست آوردن بیش‌ترین تولید است. این هدف به‌صورت رابطه (۳) قابل بیان است (۵).

$$\max Z_3 = \sum_{c=1}^C [h]_c * [PR]_c \quad (3)$$

$[PR]_c$ معرف مقدار تولید حاصل از کشت یک هکتار از محصولات گوناگون و Z_3 نشان‌دهنده کل تولید می‌باشد (۵).

- استراتژی زیست‌محیطی: از آن‌جا که مصرف کود شیمیایی منجر به تخریب خاک و آلودگی زیست‌محیطی می‌گردد، در چارچوب این استراتژی، در این مطالعه کمینه‌سازی مصرف کود به‌عنوان هدف زیست‌محیطی مدنظر قرار گرفته است.

خالص بدست آمده در روش الگوریتم ژنتیک نسبت به برنامه‌ریزی خطی ۳/۹۷ درصد با یکدیگر اختلاف دارند. همچنین، نتایج نشان دادند الگوریتم ژنتیک الگوی بهینه‌تری را پیشنهاد می‌دهد که برای مسایل پیچیده‌تر قابل استفاده می‌باشد (۹). در مطالعه‌ای دیگر الگوی بهینه کشت را با تاکید بر مصرف متعادل آب در قالب مدل برنامه‌ریزی تصادفی فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک بدست آوردند. نتایج نشان دادند الگوی کشت پیشنهادی افزون بر عملکرد بهتر و استفاده از منبع آب کم‌تر، سود سرمایه‌گذار را نیز افزایش می‌دهد (۱۰). جمع‌بندی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که الگوی کشت مورد استفاده کشاورزان در راستای اهداف کشاورزی پایدار نبوده و کشاورزان نهاده‌ها را به‌صورت غیربهینه استفاده می‌کنند. همچنین در بررسی روش‌های گوناگون بهینه‌سازی نیز این‌گونه استنتاج شده که الگوهای فراترکاری نظیر الگوریتم ژنتیک نسبت به روش‌های بهینه‌سازی کلاسیک برتری داشته است. نکته‌ای دیگر که از مطالعه پژوهش‌های پیشین استنباط می‌شود، این است که گرچه تاکنون مطالعات گوناگونی با به‌کارگیری روش‌های گوناگون، الگوی کشت بهینه را محاسبه کردند، اما با توجه به بررسی‌های انجام گرفته می‌توان اشاره کرد پژوهش‌های اندکی در خصوص بهینه‌سازی الگوی کشت در قالب اهداف کشاورزی پایدار به‌صورت چندهدفه در قالب الگوریتم ژنتیک در ایران انجام گرفته است. با توجه به اهمیت توجه به اهداف کشاورزی پایدار و بمنظور بهبود وضعیت تولید کشاورزی و استفاده صحیح از نهاده‌ها، هدف از انجام مطالعه حاضر، تعیین و مقایسه ترکیب بهینه محصولات زراعی، در قالب الگوی چندهدفه در شرایط بکارگیری روش‌های حل معمولی و الگوریتم ژنتیک برای الگوهای غیرخطی در منطقه گهرباران شهرستان ساری می‌باشد. اهداف مدنظر قرار گرفته شامل بیشینه‌سازی سود و مقدار تولید و حداقل‌سازی ریسک و مصرف کود شیمیایی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

بهینه‌سازی در مفهوم کلی، به‌معنای رسیدن به هدف مطلوب براساس محدودیت‌ها و قیدهای در نظر گرفته شده برای آن است. زمانی که اصطلاح بهترین به‌کار می‌رود بدین معنی است که مسئله مورد نظر بیش از یک جواب دارد و بهترین جواب، ارضاء تابع هدف و رعایت محدودیت‌های مسئله را نشان می‌دهد (۱۱). 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 جزء نوین‌ترین روش‌های برنامه‌ریزی است، با بهره‌گیری از نظریه تکامل و بقاء صلح در علم زیست‌شناسی و استفاده از اصول علم ژنتیک به‌عنوان روشی مؤثر برای بهینه‌سازی که محدودیت‌های روش‌های کلاسیک را ندارد ابداع شده است (۵).

باید توجه داشت دانش کشاورزی امروز، نه تنها اهداف اقتصادی را مدنظر قرار می‌دهد بلکه با توجه به این‌که کشاورزی منبع آسیب به محیط‌طبیعی در مناطق گوناگون است، پرداختن به مسائل زیست‌محیطی نیز از اهمیتی ویژه برخوردار است. به‌همین دلیل در دهه اخیر توجه کارشناسان به پایداری کشاورزی بیش از پیش افزایش یافته

اهداف مذکور مشروط به محدودیت‌های خاص خود، بر مبنای مطالعه (Gopi et al., 2011) بمنظور بهینه‌یابی الگوی کشت تعیین خواهند شد. که این محدودیت‌ها عبارتند از:

- محدودیت نخست: زمین

$$\sum_{c=1}^C [FT]_{cn} * [H]_c \leq [FTT]_n \quad (10)$$

در این رابطه $[FT]_n$ مقدار بهینه کود n مورد نیاز برای یک هکتار محصول C و $[FTT]_n$ کل کود n موجود می‌باشند. برای دست‌یابی هم‌زمان به سه استراتژی اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی از الگوی برنامه‌ریزی چند هدفه که به صورت رابطه (۱۱) می‌باشد استفاده می‌شود:

$$\max Z = \sum_{c=1}^C TGM_c * [h]_c - \quad (11)$$

$$\begin{aligned} & (\sum_{c=1}^C \text{var}_c [h]_c^2 + \\ & \sum_{c=1}^C \sum_{c'=1}^C 2\text{cov}_{cc'} [h]_c * [h]_{c'}) + \\ & \sum_{c=1}^C [PR]_c * [h]_c - \sum_{c=1}^C [N + P + \\ & K]_c * [h]_c \end{aligned}$$

از آن‌جا که مدل‌های ریسکی نیاز به یک محدودیت دست‌یابی به کم‌ترین سود دارند لذا، محدودیت دست‌یابی به سود به صورت رابطه (۱۲) لحاظ گشت:

$$\sum_{c=1}^C [gm]_c * [h]_c \leq gm^* \quad (12)$$

که در آن $[gm]_c$ سود هر هکتار از محصول C و gm^* درصدی از مقدار سود (۹۵٪) محاسبه شده از راه حل برنامه‌ریزی خطی با هدف پیشینه‌سازی سود، می‌باشند.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، هدف کمینه‌سازی ریسک تابعی غیرخطی می‌باشد. استفاده از روش‌های حل معمولی در الگوهای غیرخطی ممکن است منجر به تعیین ترکیبی شود که بهینه موضعی را به جای بهینه فراگیر حاصل کند. از آنجاکه یکی از روش‌های مقابله با چنین رویدادی، استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌باشد، لذا در این مطالعه سعی بر آن است که ترکیب بهینه محصولات، مقدار ریسک، سود، مقدار تولید و مصرف کود در شرایط به کارگیری روش‌های حل معمولی و الگوریتم ژنتیک در قالب برنامه‌ریزی چندهدفه برای الگوهای غیرخطی مورد مقایسه قرار گیرد.

جامعه آماری مورد نظر در این مطالعه، کشاورزان منطقه گهرباران واقع در شهرستان ساری می‌باشند. گهرباران شامل دهستان گهرباران شمالی به مرکزیت روستای طبقده با ۱۱ روستای زیر پوشش و دهستان گهرباران جنوبی به مرکزیت روستای ماکران با ۹ روستای زیر پوشش می‌باشد. داده‌های مورد نیاز برای انجام این پژوهش، از راه تکمیل پرسش‌نامه و مصاحبه حضوری با ۲۵۰ کشاورز که در این منطقه به کشت محصولات

$$\min Z_4 = \sum_{c=1}^C [h]_c * [N + P + K]_c \quad (4)$$

$[N + P + K]_c$ نشان دهنده مجموع نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد نیاز برای کشت یک هکتار از محصول C است (۵).

$$\sum_{c=1}^C [H]_c \leq L \quad (5)$$

که در آن $[H]_c$ مساحت مورد نیاز جهت کشت یک هکتار از محصول C و L مقدار زمین در دسترس کشاورز (۵). این محدودیت بیان می‌دارد که مجموع مساحت اختصاص یافته برای کشت محصول C ام نمی‌تواند از زمین در دسترس کشاورز بیشتر شود.

- محدودیت دوم: نیروی کار

$$\sum_{c=1}^C [md]_c * [H]_c \leq EMD \quad (6)$$

در این جا $[md]_c$ نیروی کار مورد نیاز در واحد سطح از کشت یک هکتار محصول C و EMD تعداد تخمینی نیروی کار در اختیار کشاورزان (نفر روز کار) را نشان می‌دهند.

- محدودیت سوم: ماشین‌آلات کشاورزی

$$\sum_{c=1}^C [mh]_c * [H]_c \leq EMH \quad (7)$$

$[mh]_c$ نشان دهنده ماشین‌آلات مورد نیاز در واحد سطح از کشت یک هکتار محصول C و EMH بیانگر کل ساعت‌های در دسترس ماشین‌آلات می‌باشند.

- محدودیت چهارم: آب

$$\sum_{c=1}^C [WC]_c * [H]_c \leq WA \quad (8)$$

که $[WC]_c$ مقدار آب مصرف شده در هر هکتار از کشت یک هکتار محصول C و WA مقدار آب کل در دسترس است.

- محدودیت پنجم: سرمایه

$$\sum_{c=1}^C [cap]_c * [h]_c \leq [Tcap]_n \quad (9)$$

که در آن $[cap]_c$ سرمایه مورد نیاز برای هر هکتار از محصول C و $[Tcap]_n$ برآوردی از کل سرمایه در اختیار کشاورز می‌باشد.

- محدودیت ششم: کود شیمیایی

نوع برنج و مصرف خانگی این محصول برای کشاورزان منطقی به نظر می‌رسد. همچنین، گندم به دلیل کالای استراتژیکی بودن، رتبه بعدی در کشت محصولات را به خود اختصاص داده است.

از آنجایی که یکی از اهداف مورد نظر کمینه‌سازی ریسک بوده و در مدل‌های کمینه‌سازی ریسک به دلیل جلوگیری از کم‌تر شدن سود الگو از یک سطح آستانه‌ای کمینه، یک محدودیت کمینه سود یا درآمد لحاظ می‌شود، لذا لازم است ابتدا مقدار سود یاد شده مورد محاسبه قرار گیرد. برای محاسبه این سود از یک مدل برنامه‌ریزی خطی با هدف بیشینه‌سازی سود به شرط محدودیت نهاده‌ها استفاده شد. نتایج این مدل در جدول ۱ قابل مشاهده می‌باشد. نتایج الگوی برنامه‌ریزی ریاضی خطی، محصول گوجه‌فرنگی را به علت سود بیش‌تر پیشنهاد می‌دهد. با پیروی از الگوی برنامه‌ریزی خطی معمولی، سود کشاورز حدود ۳۹۰ میلیون ریال خواهد بود که ۹۵ درصد از این سود به عنوان کم‌ترین سطح قابل قبول سود در نظر گرفته شد.

زراعی مشغول می‌باشند، گردآوری شد. حجم نمونه‌های مورد نیاز برای هر روستا با استفاده از فرمول کوکران تعیین گردید (۱۲). برای تعیین الگوی کشت بر مبنای استراتژی کشاورزی پایدار از نرم افزار MATLAB استفاده شده است.

یافته‌ها

در این مطالعه با استفاده از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی معمولی و الگوریتم ژنتیک، الگوی کشت بهینه در قالب استراتژی‌های کشاورزی پایدار تعیین شده و با شرایط کنونی منطقه مورد مقایسه قرار گرفته است. همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، محصولاتی که در منطقه مورد مطالعه کشت می‌شود شامل گندم، جو، کلزا، سیر، سویا، گوجه‌فرنگی، هندوانه، برنج طارم و برنج شیروودی می‌باشد. از میان این محصولات، برنج طارم بیش‌ترین سهم را در الگوی کشت جاری به خود اختصاص داده است. در مقایسه با سایر محصولات و همچنین برنج شیروودی، می‌توان گفت بالا بودن سهم کشت برنج طارم به دلیل کیفیت بیشتر این

جدول ۱. سطح زیر کشت کنونی و الگوی بیشینه‌سازی سود

الگوی کشت مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی (بیشینه‌سازی سود)	الگوی کشت جاری	سطح زیر کشت
۰	۰/۱۳	گندم
۰	۰/۰۸	جو
۰	۰/۱۲	کلزا
۰	۰/۰۹	سیر
۰	۰/۱۱	سویا
۰/۵۲۵	۰/۰۹	گوجه‌فرنگی
۰	۰/۰۴	هندوانه
۰	۱/۰۱	برنج طارم
۰	۰/۷	برنج شیروودی
۳۸۸۲۰۱۰۳	۲۹۸۳۱۵۳۴	سود (ده ریال)
۳۶۷۸۹۰۹۷	-	۹۵ درصد سود (ده ریال)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جایگزین‌های مناسب مدل برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP)، روش الگوریتم ژنتیک می‌باشد. لذا، الگوی کشت بهینه چندهدفه، ابتدا در قالب برنامه‌ریزی غیرخطی معمولی و سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شده که نتایج بدست آمده در جدول ۲ نشان داده شده است.

با توجه به توضیحات مندرج در مواد و روش، گام دوم، تعیین الگوی کشت بهینه چندهدفه با استفاده از روش غیرخطی معمولی و الگوریتم ژنتیک می‌باشد. به این منظور لازم است دو مدل برنامه‌ریزی ریاضی با تابع اهداف ۱ تا ۴ و محدودیت‌های مشترک ۳ تا ۸ حل شود. با توجه به این‌که تابع هدف در این پژوهش غیرخطی می‌باشد، یکی از

جدول ۲. مقایسه الگوی بهینه کشت با استفاده مدل غیرخطی و ژنتیک چندهدفه

الگوی کشت چندهدفه با الگوی کشت چندهدفه	الگوی کشت چندهدفه با الگوریتم ژنتیک	برنامه‌ریزی غیرخطی	برنامه‌ریزی غیرخطی
گندم	۰	۰	۰
جو	۰	۰	۰
کلزا	۰/۰۴۹۹	۰	۰
سیر	۰	۰	۰
سویا	۰	۰	۰
گوجه‌فرنگی	۰/۰۴۵۴	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱
هندوانه	۰/۰۲۵۳	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵
برنج طارم	۰/۵۱۰۲	۰/۶۵۳	۰/۶۵۳
برنج شیروزی	۰	۰	۰
انحراف معیار (ده ریال)	۳۷۱۷۲۸۳	۳۹۵۶۲۹۶	۳۹۵۶۲۹۶
کل محصول تولید شده (کیلوگرم)	۴۸۹۵	۴۱۴۳	۴۱۴۳
کل کود مصرف شده (کیلوگرم)	۱۸۹	۲۰۴	۲۰۴
سوداقتصادی (ده ریال)	۱۰۷۷۹۰۸۸	۱۰۷۵۵۶۴۳	۱۰۷۵۵۶۴۳

مأخذ: یافته‌های پژوهش

* گفتنی است به جای واریانس (شاخص ریسک در این مطالعه)، انحراف معیار که همان جذر واریانس است و مفهوم مناسب‌تری دارد، در جدول نتایج ارائه شده است.

می‌باشد. به بیان دیگر، الگوهای کشتی که تنوعی بیش‌تر دارند ریسک پایین‌تری نیز دارند. نتایج نشان می‌دهند که الگوریتم ژنتیک، محصولات متنوع‌تری را به عنوان الگوی بهینه انتخاب می‌کند بنابراین، حالتی واقعی‌تر نسبت به برنامه‌ریزی غیرخطی معمولی دارد و با تصمیم‌های کشاورزان جهت کشت محصولات گوناگون انطباق بیش‌تری می‌تواند داشته باشد. همچنین، مقایسه نتایج در جدول بالا نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی با الگوریتم ژنتیک و مدل غیرخطی تأثیر زیادی بر الگوی کشت محصولات داشته به گونه‌ای که ترکیب محصولات برای تأمین اهداف، دچار تغییر فراوانی شده است. به گونه‌ای که ریسک و مصرف کود شیمیایی در حالت حل با الگوریتم ژنتیک نسبت به غیرخطی معمولی ۶ و ۷ درصد کاهش می‌یابند، اما مقدار تولید و سود به ترتیب ۱۸ و ۰/۲ درصد افزایش یافته‌اند. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود هر چهار هدف کمیته‌سازی ریسک، بیشینه‌سازی تولید، کمیته‌سازی مصرف کود شیمیایی و بیشینه‌سازی سود در الگوی بدست آمده از مدل ژنتیک دارای برتری نسبت به الگوی برنامه‌ریزی غیرخطی می‌باشند.

راستا، تعیین الگوی بهینه کشت محصولات زراعی به عنوان یکی از مهمترین رسالت‌های برنامه‌ریزان به‌ویژه در مقطع کنونی می‌باشد.

این مطالعه بمنظور الگوی کشت بهینه با چهار هدف سازی ریسک، بیشینه سازی سود، بیشینه‌سازی تولید و کمیته‌سازی آلودگی منابع

همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، مدل چندهدفه با برنامه‌ریزی غیرخطی، پیشنهاد می‌کند تنها سه محصول گوجه فرنگی، هندوانه و برنج طارم کشت شوند و بقیه محصولات از الگوی کشت حذف شوند زیرا سایر محصولات دارای ریسک بالاتر و احتمالاً بازده برنامه‌ای پایینی بوده و کاشت آن‌ها با اهداف زیست‌محیطی و اجتماعی نیز متضاد است. مطابق با خروجی‌های مدل در شرایط بهینه، ۳۴ درصد از کل زمین‌های تحت کشت محصولات، به برنج طارم و تنها ۰/۰۱ درصد سطح زیرکشت باقیمانده به تولید محصول گوجه فرنگی و هندوانه اختصاص داده شده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود در حالت حل مدل چندهدفه با الگوریتم ژنتیک، محصول برنج طارم سهمی بیش‌تر از کل سطح کشت را به‌خود اختصاص داده است. به گونه‌ای که مطابق با نتایج، از کل زمین در اختیار، پیشنهاد به کشت ۲۶ درصد برنج طارم و ۰/۰۶ درصد به سایر محصولات می‌شود. از مقایسه دو ستون جدول ۲ مشاهده می‌شود در روش الگوریتم ژنتیک، ریسک کم‌تری نسبت به برنامه‌ریزی غیرخطی به بدست آمده است. این نتیجه می‌تواند به این دلیل باشد که الگوریتم ژنتیک منجر به گزینش محصولات بیش‌تری در الگوی کشت می‌شود در صورتی که برنامه‌ریزی غیرخطی شامل محصولات کم‌تری

بحث و بررسی

امروزه کشاورزی غیرپایدار به‌عنوان یک تهدید برای زیست‌بوم‌ها مطرح می‌شود. به همین خاطر در دو دهه اخیر توجه برنامه‌ریزان به پایداری کشاورزی افزایش یافته است. یعنی از نظر اقتصادی سودآور، از دیدگاه اجتماعی مناسب و از لحاظ زیست‌محیطی سازگار با طبیعت باشد. در این

نتیجه گیری

در پایان با توجه به اینکه الگوی بهینه کشت در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از نتایج روش الگوریتم ژنتیک با تنوع و کاهش ریسک بیش‌تر همراه است، بنابراین توصیه می‌شود دولت با ارائه سیاست‌های حمایتی و ارتباط بین مراکز اجرایی دولتی مانند جهاد کشاورزی با مراکز پژوهشی، الگوی بهینه در منطقه مورد نظر را به اجرا گذارد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در مطالعه حاضر فرم‌های رضایت نامه آگاهانه توسط تمامی آزمودنی‌ها تکمیل شد.

حامی مالی

هزینه‌های مطالعه حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شد.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده پردازی: خدیجه عبدی، سید علی حسینی یکانی، فاطمه کشیری کلائی؛ روش شناسی و تحلیل داده‌ها: خدیجه عبدی، سید علی حسینی یکانی، فاطمه کشیری کلائی؛ نظارت و نگارش نهایی: سید علی حسینی یکانی.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

طبیعی در قالب الگوی چندهدفه با استفاده از الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی غیرخطی معمولی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که روش حل با الگوریتم ژنتیک، الگوی کشت متنوع‌تری نسبت به برنامه‌ریزی غیرخطی معمولی خواهیم داشت. بر این اساس، مشاهده می‌شود در هر دو حالت، محصول برنج طارم بیش‌ترین سطح کشت را خود اختصاص داده است. دلیل این امر می‌تواند سود بیش‌تر این محصول در مقایسه با سایر محصولات باشد. با توجه به این که در هر دو حالت الگوی چندهدفه برآوردی پیشنهاد می‌کند برنج طارم بیش‌ترین سطح کشت را بخود اختصاص دهد؛ لذا، کشاورزان منطقه بهتر است با توجه به مقدار منابع در اختیارشان، این محصول را جایگزین دیگر محصولات کنند. در خصوص ارتباط سود و ریسک، مشاهده شد که در هر دو حالت، با این که سود در حالت حل الگوی غیرخطی با الگوریتم ژنتیک نسبت به حل برنامه‌ریزی غیرخطی معمولی، مقدار کمی افزایش می‌یابد، ولی ریسک کاهش محسوس‌تری داشته است. هم‌چنین، مقدار محصول تولید شده افزایش و کود مصرفی کاهش می‌یابد. به همین دلیل می‌توان گفت الگوریتم ژنتیک روش بهتری خواهد بود.

References

- Barzgari M, Hajiabadi M, and Ghezel Soflu A. Optimization of urban water distribution network using genetic algorithm (Case study of Salami city). National Conference on Civil Engineering and Needs-Based Research. 2015; 1-11. <https://civilica.com/doc/461182/>
- Rezaee Z, Dourandish A, Nobahar A. Determination of Cultivation pattern Under Three strategies of economic, social, environmental with application of genetic algorithms: (Case Study of Mashhad). Biennial Conference of Agricultural Economics. 2012; 1607- 1615. https://www.wvjournals.ir/article_2464.html
- Kohansal MR, Firooz Zarea A, Determining optimal cultivation model corresponding with organic agriculture Application of Multiple-objective Linear Fuzzy Fractional Programming (Case study: North Khorasan province). Agricultural

Economics and Development. 2008; 16(62):1-32.

<https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=135355>

4. Bagherian A, Saleh I, Paykani Gh, Optimization of Cultivation pattern in Kazeroun region using of linear programming. Sixth Iranian Agricultural Economics Conference. 2007; November 8 and 9. . <https://civilica.com/doc/46812/>

5. Gopi A, Venkata S, Kandukuri N. Land allocation strategies through genetic algorithm approach-A case study. Global journal of research in engineering. Global Journal of Research in Engineering. 2011; 11(4): 6-14. <https://www.semanticscholar.org/paper/L-AND-ALLOCATION-STRATEGIES-THROUGH-GENETIC-CASE-Annepu-Subbaiah/d1453686c2679db8f338348f92fca302a4583014#citing-papers>

6. Shabani M, Honar T. Determination of optimal cropping pattern in irrigation canals using IPM model. Water and Soil

- Journal .2008; 22(2): 95-106.
<https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=141462>
7. Kiafar H, Sadradini AA. Optimal water allocation for Sufi-Chay Irrigation and Drainage network in East Azarbaijan province of Iran using genetic algorithm. *Fourth Conference on Water Resources Management* .2011; 5: 52-61.
<https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=387490>
8. Zraatkish Y. Water Economical Valuation in Agriculture with Environmental Approach. *Agricultural Economic and Development*. 2016; 47-2(1): 269-295.
https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_12312.html
9. Raju K S, & Kumar D.N. Irrigation planning using genetic algorithms. *Water Resour Manage*. 2004; 18(2): 163-176.
<https://doi.org/10.1023/B:WARM.0000024738.72486.b>
10. Dutta S, Sahoo B, Mishra R, & Acharya S.. Fuzzy stochastic genetic algorithm forobtaining optimum crops pattern and water balance in a farm. *Water Resources Management*. 2016; 30:4097-4123.
<https://doi.org/10.1007/s11269-016-1406-7>
11. Godarzi A. Optimization of water absorption cycle and solar bromide lithium using genetic algorithm. 2009.
<http://library.sharif.ir/parvan/search/>
12. Cochran CB. *Sampeling Techniques*, John Wiley, New York. 1977.
<https://www.wiley.com/en-us/Sampling+Techniques%2C+3rd+Edition-p-9780471162407>