

ISSN (Print): 2008-6407 ISSN (Online): 2423-7248

# Irrigation Water Optimal Management with Emphasis on Water Economic Productivity: Case Study: Irrigation and Drainage Networks of Marun

Leila Amanat Behbahani<sup>1</sup>, Mahnoosh Moghaddasi<sup>\*2</sup>, Hossein Ebrahimi<sup>3</sup>, Hossein Babazadeh<sup>3</sup>

1- Department of Water Sciences and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2- Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran.

3- Research Institute for Water Science and Engineering, Arak University, Arak, Iran.

Received: 2020/06/17

Accepted: 2020/12/10

PP: 100-117

Use your device to scan and read  
the article online



DOI:

10.30495/JAE.2023.25199.2175

## Keywords:

Economic Productivity. Multi-Stage Stochastic Programming Model. Optimal Management and Allocation.

## Abstract

**Introduction:** Management of irrigation water resources in the agricultural sector, as the most important renewable but limited resource, has been the most important challenge of the current century and has resulted in major concerns around the world. Therefore, the aim of this study was to optimal management and allocation irrigation water under different inflow scenarios with emphasis on water economic productivity. In this regard, multi-stage stochastic programming model with interval parameters for optimal water distribution in different growing seasons and under uncertainty has been used.

**Materials and Methods:** for this purpos, first hydrometric data were obtained from Marun Network Station during 2006-2016. Then based the produced discharge data, the probability of occurrence inflow intensity of low, moderate and high is defined and the optimization model has been developed for water allocation and distribution between different growing seasons.

**Findings:** The results showed that the average economic productivity index in the networks for both lower and upper bounds of the optimization model is 19 and 16 percent respectively higher than the current level in the current management, while water consumption management in the lower and upper bounds of the optimization model is better than the current management due to 34% and 3 % reduction in water consumption.

**Conclusion:** Applying optimizing model for allocating water resources as for betterment of water consumption management and enhancing economic water productivity that is attained from running theses models.

**Citation:** Amanat.Behbahani L, Moghaddasi M, Ebrahimi H, Babazadeh H. Irrigation Water Optimal Management with Emphasis on Water Economic Productivity: Case Study: Irrigation and drainage networks of Marun : Journal of Agricultural Economics Research. 2023; 14 (4):100-117

\* **Corresponding Author:** Mahnoosh.Moghaddasi

**Address:** Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran.

**Tell:** 09166653462

**Email:** m-moghaddasi@araku.ac.ir

## Extended Abstract

### Introduction

Ren et al. (2019) used a fully fuzzy fractional programming model for optimal allocation of irrigation water resources, which aimed at not only optimizing irrigation but also improving water use efficiency. The results can be utilized by decision-makers for the optimal use of irrigation water resources under multiple uncertainties. Management of irrigation water resources in the agricultural sector, as the most important renewable but limited resource, has been the most important challenge of the current century and has resulted in major concerns around the world. Therefore, the aim of this study was to optimal management and allocation irrigation water under different inflow scenarios with emphasis on water economic productivity. In this regard, multi-stage stochastic programming model with interval parameters for optimal water distribution in different growing seasons and under uncertainty has been used. This study aimed to bridge existing gaps in the literature by accounting for the economic water productivity (EWP) as optimal allocation indice.

### Materials and Methods

The framework of the model used in this study is presented for a better understanding of the research methodology (Figure 2). At first, by using the Thomas-Fiering model, water flow in different seasons was simulated and the flow probability was calculated in three categories of high, medium, and low intensity. The data obtained from the Thomas-Fiering model as well as technical, hydrometric, and economic data were used to run a multi-stage stochastic model with interval parameters for the upper and lower limits. As a result, solution parameters, the optimal area under cultivation, planned yield variables, and the volume of consumed water were obtained. Finally, the comparative analysis economic water productivity (EWP) Index were calculated for the upper and lower limits and compared with the existing figures. The model for the Marun agricultural water system involved two separated sub-models whose initial idea was from (4). One difference in this paper was that the model was run in

two stages of actual intra-network optimal management and optimal management of the reservoir output to the network, and these two modes were compared with the existing management. Both of the sub-models of multistage irrigation water allocation based on two temporal stages of the interactive algorithm were divided into two certain sub-models to obtain the upper and lower bounds of  $Z^*$  (i.e., the system's total benefit). The upper bound optimization was calculated through NLP with the CONOPT4 solver used for solving the problem. LP was used for lower bound optimization using the same method and based on the target function and its conditions. For this purpos, first hydrometric data were obtained from Marun Network Station during 2006-2016. Then based the produced artificial data, the probability of occurrence inflow intensity of low, moderate and high is defined and the optimization model has been developed for water allocation and distribution between different growing seasons.

### Findings

Based on the mean and the standard deviation of the produced artificial data, the flow intensity to irrigation network channels was divided into three levels of low, moderate, and high. The results showed that in the Marun catchment area, the mean probability of flow intensity to irrigation network channels was moderate in 60%, high in 20%, and low in 20% of the cases (Table 4). In this study, the crop water requirement in optimization models was calculated using net irrigation water requirement data obtained from the NETWA software (tables 5 and 6). By taking into account the upper and lower limits of irrigation efficiency in these tables, the water requirement of the area was considered as intervals. Considering that the Jayzan network's weather conditions are different from those of the North and South networks, the water requirement was estimated for both regions. As shown in Table 5, alfalfa required more water than the other two crop types. The highest water requirement was in summer for alfalfa and in winter for wheat and rapeseed, with wheat requiring more water than rapeseed (Table 6). The decision variables were calculated using the relationship  $a * b *$

$\prod_{s=1}^P S_s$  for seasons 1–4, respectively, at 27-81-243-243. These results support the optimal allocation of water for all crops under different flow scenarios. Considering the multiplicity of decision variables in this study, the results were presented in 4 random states and four growing seasons to better illustrate the changes. These results proved effective for the optimal allocation of irrigation water and the optimal cropping patterns in the irrigation networks under study. As it was mentioned previously when  $ST_{abpopt}^{\pm}$  approaches zero, if the irrigation target is provided, there will be the least benefit, and if not there will be the least penalty too. In the other words, in this situation, there will be a low risk. So the manager will have a conservative view for available water. The results, indicate that the cropping pattern area of all crops in all networks makes itself compatible with the optimization lower bounds.

### Discussion

The results showed that the average economic productivity index in the networks for both lower and upper bounds of the optimization model is 19 and 16 percent respectively higher than the current level in the current management, while water consumption management in the lower and upper bounds of the optimization model is better than the current management due to 34% and 3 % reduction in water consumption.

### Conclusion

- Applying optimizing model for allocating water resources as for betterment of water consumption management and enhancing economic water productivity that is attained from running these models.

-Water releasing management in irrigation networks according to water requirement of crops as for influence of lack of enormous volume of water in increasing function of crops should be applied.

### Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines all subjects full fill the informed consent.

### Funding

No funding.

### Authors' contributions

Design and conceptualization: Leila Amanat Behbahani, Mahnoosh.Moghaddasi; Methodology and data analysis: Leila Amanat Behbahani, Mahnoosh. Moghaddasi Hossein.Ebrahimi, Hossein.Babazadeh; Supervision and final writing: Leila Amanat Behbahani ,Mahnoosh.Moghaddasi,

### Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

## مقاله پژوهشی

مدیریت بهینه آب آبیاری با تاکید بر بهره‌وری اقتصادی:  
مطالعه موردی: شبکه آبیاری و زه‌کشی مارونلیلا امانت بهبهانی<sup>۱</sup>، مه‌نوش مقدسی<sup>۲\*</sup>، حسین ابراهیمی<sup>۳</sup>، حسین بابازاده<sup>۳</sup>

۱- مقطع دکتری رشته مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

## چکیده

**مقدمه و هدف:** مدیریت منابع آب آبیاری در بخش کشاورزی به عنوان مهم‌ترین منبع تجدیدپذیر، اما محدود، یکی از مهم‌ترین چالش‌های این قرن بوده و نگرانی‌هایی عمده در سرتاسر جهان بوجود آورده است. بنابراین، هدف این پژوهش مدیریت و تخصیص بهینه آب آبیاری در سناریوهای گوناگون جریان با تاکید بر بهره‌وری اقتصادی می‌باشد. در این راستا از روش برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای با پارامترهای بازه‌ای برای توزیع بهینه آب در فصول گوناگون رشد و در شرایط عدم قطعیت استفاده شده است. بدین منظور، ابتدا داده‌های هیدرومتری از ایستگاه شبکه مارون در سال‌های ۸۵ تا ۹۵ گردآوری شد.

**مواد و روش‌ها:** سپس بر اساس داده‌های تولیدی دبی، احتمال وقوع شدت جریان کم، متوسط و زیاد تعریف و مدل بهینه‌سازی برای تخصیص و توزیع آب بین فصول گوناگون رشد توسعه داده شده است. **یافته‌ها:** نتایج نشان داد میانگین شاخص بهره‌وری اقتصادی در شبکه‌ها برای دو حد پایین و بالا مدل بهینه‌سازی به ترتیب ۱۶ و ۱۹ درصد بیش‌تر از مقدار این شاخص در مدیریت فعلی ست ضمن اینکه مدیریت مصرف آب با توجه به کاهش ۳ و ۳۴ درصدی مصرف آب در حد پایین و بالا مدل بهینه‌سازی نسبت به مدیریت فعلی بهتر صورت گرفته است.

**بحث و نتیجه‌گیری:** به کارگیری مدل بهینه‌سازی برای تخصیص بهتر منابع آب بمنظور بهبود مدیریت مصرف آب و افزایش بهره‌وری اقتصادی آب که از اجرای این مدل‌ها بدست می‌آیند.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۰

شماره صفحات: ۱۱۷-۱۰۰

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



DOI:

10.30495/JAE.2023.25199.2175

## واژه‌های کلیدی:

بهره‌وری اقتصادی، مدیریت و تخصیص بهینه، مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای.

\* نویسنده مسئول: مه‌نوش مقدسی

نشانی: استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

تلفن: ۰۹۱۶۶۶۵۳۴۶۲

پست الکترونیکی: m-moghaddasi@araku.ac.ir

## مقدمه

تصمیم‌گیری‌های مربوط به تخصیص آب آبیاری برای دوره‌های زمانی متفاوت و در مقادیر گوناگون جریان موثر باشد (۱۱).

بنظر مدیریت بهینه آب آبیاری از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی کسری خطی جهت بیشینه‌سازی بهره‌وری آب در یکی از مناطق چین استفاده کردند. نتایج این مدل نشان داد که می‌توان با اتخاذ الگوی کشت بهینه، مقدار بهره‌وری آب کشاورزی را حدود  $0/3$  کیلوگرم بر مترمکعب نسبت به شرایط موجود منطقه بهبود داد (۲۸). از یک مدل بهینه‌سازی الگوی کشت با هدف بیشینه کردن سود خالص هر واحد آب مصرفی برای کشاورزان در استان گانسو چین تحت شرایط عدم قطعیت در مقدار آب در دسترس بهره‌گرفتند. نتایج مدل بهینه‌سازی نشان می‌دهد که اگر نرخ ذخیره آب آبیاری نسبت به شرایط فعلی منطقه  $20\%$  درصد افزایش یابد، بدین ترتیب مقدار ذخیره خالص آب آبیاری به  $43\%$  تا  $45/1\%$  میلیون مترمکعب و مقدار ذخیره ناخالص به  $33/7\%$  الی  $383/2\%$  میلیون مترمکعب افزایش خواهد یافت (۹). در مطالعه‌ای یک مدل برنامه‌ریزی پیچیده برای بهینه‌سازی تخصیص منابع آب آبیاری ارائه دادند که نه تنها برای بهینه‌سازی آب آبیاری بلکه در جهت بهبود کارایی مصرف آب، مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج نشان داد که خروجی‌های مدل ریاضی مورد استفاده برای تصمیم‌گیری در مورد مصرف بهینه منابع آب آبیاری تحت عدم قطعیت‌های متعدد بسیار کارا می‌باشند. همان‌گونه که از این مطالعات برمی‌آید برای غلبه بر مشکلات محدودیت منابع آب و صرفه‌جویی در مصرف آب، تخصیص بهینه آب آبیاری لازم است (۱۹).

تفاوت این مطالعه با مطالعات گذشته در این است که این مطالعه شاخص بهره‌وری اقتصادی مصرف آب را به عنوان معیاری برای تخصیص بهینه در نظر گرفته است. در این راستا از روش برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای با پارامترهای بازه‌ای استفاده شده است. گفتنی است چنین مطالعه‌ای تاکنون در منطقه مورد مطالعه صورت نگرفته است. بنابراین، هدف این پژوهش مدیریت و تخصیص بهینه آب آبیاری تحت سناریوهای گوناگون جریان با تأکید بر بهره‌وری اقتصادی می‌باشد. ضمن اینکه مقایسه بهره‌وری اقتصادی مصرف آب در شرایط بهینه با شرایط فعلی شبکه آبیاری و زه‌کشی مارون مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

## منطقه مطالعاتی

رودخانه مارون از ارتفاعات  $2300$  متری زاگرس سرچشمه گرفته، و پس از طی مسافتی حدود  $120$  کیلومتر به محل ساختگاه سد مارون می‌رسد سطح حوزه آبریز این رودخانه در ساختگاه سد بالغ بر  $3824$  کیلومتر مربع برآورد شده است. دبی متوسط دراز مدت این رودخانه در ایستگاه بهبهان  $49/8$  متر مکعب در ثانیه بوده که مقدار آورد سالانه آن در ایستگاه یاد شده یک میلیارد و پانصد و هفتاد و دو میلیون متر مکعب برآورد شده است. سد مخزنی مارون بر روی این رودخانه با حجم یک میلیارد و دویست میلیون متر مکعب احداث شده است. این سد به منظور کنترل جریان‌های شدید رودخانه، تأمین آب مورد نیاز آبیاری دشت‌های بهبهان، جایزان، رامشیر و شادگان به مقدار  $55000$  هکتار، استفاده از پتانسیل ذخیره شده جهت تولید انرژی برق آبی و توسعه گردشگری

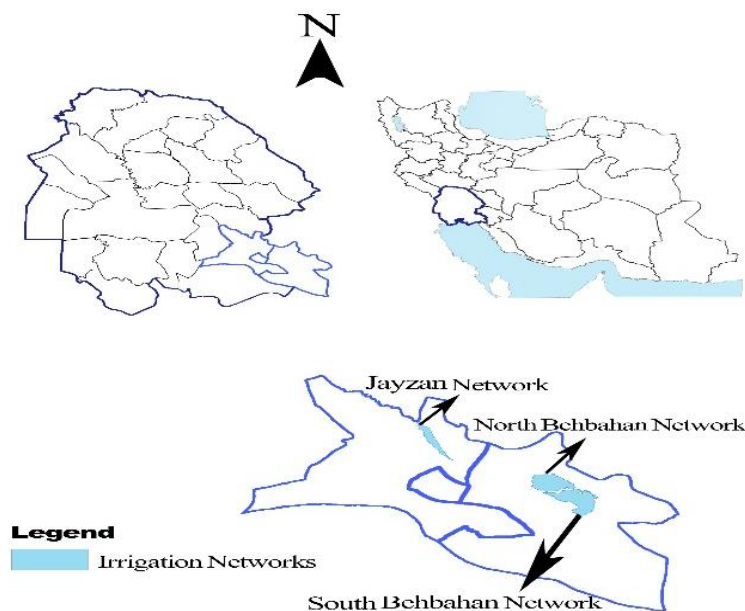
کامبود منابع آب مهم‌ترین مسئله‌ای بشر در قرن  $21$  است (۶) و (۱۲). بخش کشاورزی، به عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آب است که سهم مصرف آب در این بخش در دنیا  $69\%$  درصد، در خاورمیانه  $84\%$  درصد و در ایران  $92\%$  درصد است (۱۴). بنابراین، لزوم استفاده کارا یا به بیان دیگر، مدیریت آب مصرفی در بخش کشاورزی در ایران اجتناب‌ناپذیر است. مطالعاتی که پیرامون موضوع آب به عنوان یکی از محوری‌ترین اجزای توسعه پایدار صورت پذیرفته، مدیریت ضعیف آب در بخش کشاورزی و نه محدودیت‌های واقعی فیزیکی عرضه را مسئول مشکلات یاد شده می‌دانند (۲۲). بیش‌تر مطالعات، مدیریت تقاضای آب را با تأکید بر بهبود مقدار کارایی اقتصادی استفاده از آب در بخش کشاورزی دنبال کرده‌اند (۳ و ۲۵). الگوی کشت بهینه از جمله راهکارهایی است که جهت مدیریت بهینه آب آبیاری با هدف بهبود بهره‌وری اقتصادی مصرف آب مورد توجه بسیاری از کارشناسان در این زمینه است (۸ و ۲). مطالعات داخلی (۱ و ۲۰) نیز نشان دادند که تغییر الگوی کشت در مناطق کشاورزی ایران، از جمله راهکارهای افزایش کارایی اقتصادی مصرف آب است. برخی دیگر از مطالعات صورت گرفته در زمینه مدیریت منابع آب، به تأثیر ابزار قیمت بر افزایش کارایی اقتصادی مصرف منابع آب در بخش کشاورزی پرداختند که نتایج آنها مبین این است که گروه‌های گوناگون کشاورزان در مقابل افزایش بهای آب، واکنش‌هایی متفاوت نسبت به کاهش مصرف آب در هکتار نشان می‌دهند (۲۶ و ۲۱). توسعه سامانه‌های آبیاری آب اندوز به عنوان یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده در مدیریت منابع آب جهت بهبود کارایی اقتصادی مصرف آب مطرح شد (۲۷ و ۱۶). امروزه از میان راهکارهای گوناگون شرح داده شده، بهینه‌سازی الگوی کشت از راه مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی، نقش مهمی در مدیریت کشاورزی با سود بالا و صرفه‌جویی در مصرف آب ایفا می‌کند (۱۷). بنابراین، مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی با هدف بهینه‌سازی الگوی کشت و به دنبال آن بهبود بهره‌وری اقتصادی مصرف آب می‌توانند ابزاری مؤثر برای مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی باشند (۱۰).

در مطالعه‌ای یک مدل برنامه‌ریزی برای آبیاری بهینه از منظر اقتصادی ارائه دادند. در این مطالعه به تعیین الگوی کشت بهینه محصولات و استراتژی‌های مدیریت آب آبیاری پرداخته شد. نتایج این مدل نشان داد که می‌توان بهبود کارایی اقتصادی مصرف آب را تحقق بخشید (۱۸). با توجه به محدود بودن منابع آب برای برنامه‌ریزی آبیاری کشاورزی، گزینه‌های مطلوبی برای تخصیص بهینه آب از راه افزایش بهره‌وری آبیاری و بهینه‌سازی الگوی کشت شناسایی کردند (۷). یک مدل تخصیص آب آبیاری چندمرحله‌ای (MIWA) را برای پاسخ به پیچیدگی‌های مشکلات مدیریت منابع آب توسعه داده‌اند. این مدل برای برنامه‌ریزی مدیریت آب کشاورزی و تعیین الگوی کشت بهینه در یکی از مناطق چین که با مشکل کمبود آب روبه‌روست به‌کاربرده شده است (۴). در مطالعه‌ای دیگر یک مدل کسری خطی بازه‌ای جهت تخصیص آب آبیاری را گسترش دادند. آنها در یک مطالعه موردی، پتانسیل مدل را ارزیابی و نتیجه گرفتند که این مدل می‌تواند در

در هکتار می‌باشد. بازه تغییرات سطح زیر کشت آنها در جدول ۱ ارائه شده است. مقدار سود و هزینه محصولات مذکور هم در جدول ۲ قابل مشاهده است.

بوده است (شکل ۱). در این پژوهش دو دشت بهبهان به وسعت ۱۳۵۰۰ هکتار و جایزان به وسعت ۳۰۰۰ هکتار مطالعه قرار گرفته اند. راندمان آبیاری در دو شبکه شمال و جنوب بین (۳۶-۷۵) درصد و در شبکه جایزان بین (۳۲-۳۶) درصد می باشد (۱۳).

الگوی کشت غالب در این مناطق گندم، کلزا و یونجه است که بیشینه عملکرد آنها به ترتیب برابر با ۲۲۰۰۰، ۲۳۰۰، ۴۷۰۰ کیلوگرم



شکل ۱ - منطقه مورد مطالعه

Fig. 1 -The case study

جدول ۱- بازه تغییرات سطح زیر کشت محصولات غالب شبکه های حوزه مارون بهبهان (هکتار)

محصول	شبکه		
	شمال	جنوب	جایزان
گندم	[۱۸-۳۹۷۶]	[۰-۴۸۰۲]	[۱۴-۲۶۴۰]
کلزا	[۱۰-۳۸]	[۵-۱۲۰]	[۰-۲۵۳]
یونجه	[۳-۴۶۱]	[۱۰۳-۲۱۴۴]	-

جدول ۲ - سطح زیر کشت محصولات در شرایط فعلی (هکتار)

محصول	شبکه		
	شمال	جنوب	جایزان
گندم	۳۶۶۷	۲۶۳۵	۱۸۶۵
کلزا	۳۸	۱۰۹	۲۰۶
یونجه	۴۶۱,۴	۲۱۴۴	-



جدول ۳- مقادیر سود خالص محصولات کشاورزی و ضرر کرد در یک هکتار (میلیون ریال)

محصول	شبکه	NB	C
کندم	شمال	(۱۸۳۶۰-۳۴۱۵۵)	(۱۵۳۴۲۵۱۵-۲۶۲۰۱۱۸۴)
گندم	جنوب	(۱۸۳۶۰-۳۴۱۵۵)	(۱۵۳۴۲۵۱۵-۲۶۲۰۱۱۸۴)
گندم	جایزان	(۱۱۲۹۹-۲۵۴۲۹)	(۸۷۲۲۱۳۶-۱۸۷۳۲۱۳۸)
کلزا	شمال	(۱۹۲۰-۲۹۶۷۳)	(۱۵۳۴۲۵۱۵-۲۶۲۰۱۱۸۴)
کلزا	جنوب	(۱۹۲۰-۲۹۶۷۳)	(۱۵۳۴۲۵۱۵-۲۶۲۰۱۱۸۴)
کلزا	جایزان	(۴۲۶۳-۶۳۲۱۸)	(۸۷۲۲۱۳۶-۱۸۷۳۲۱۳۸)
یونجه	شمال	(۹۶۰۷۶-۱۶۲۷۴۶)	(۲۶۴۶۰۶۳۹-۴۱۹۶۸۸۶۶)
یونجه	جنوب	(۹۶۰۷۶-۱۶۲۷۴۶)	(۲۶۴۶۰۶۳۹-۴۱۹۶۸۸۶۶)
یونجه	جایزان	-----	-----

NB= net benefit of crop a in network b \*

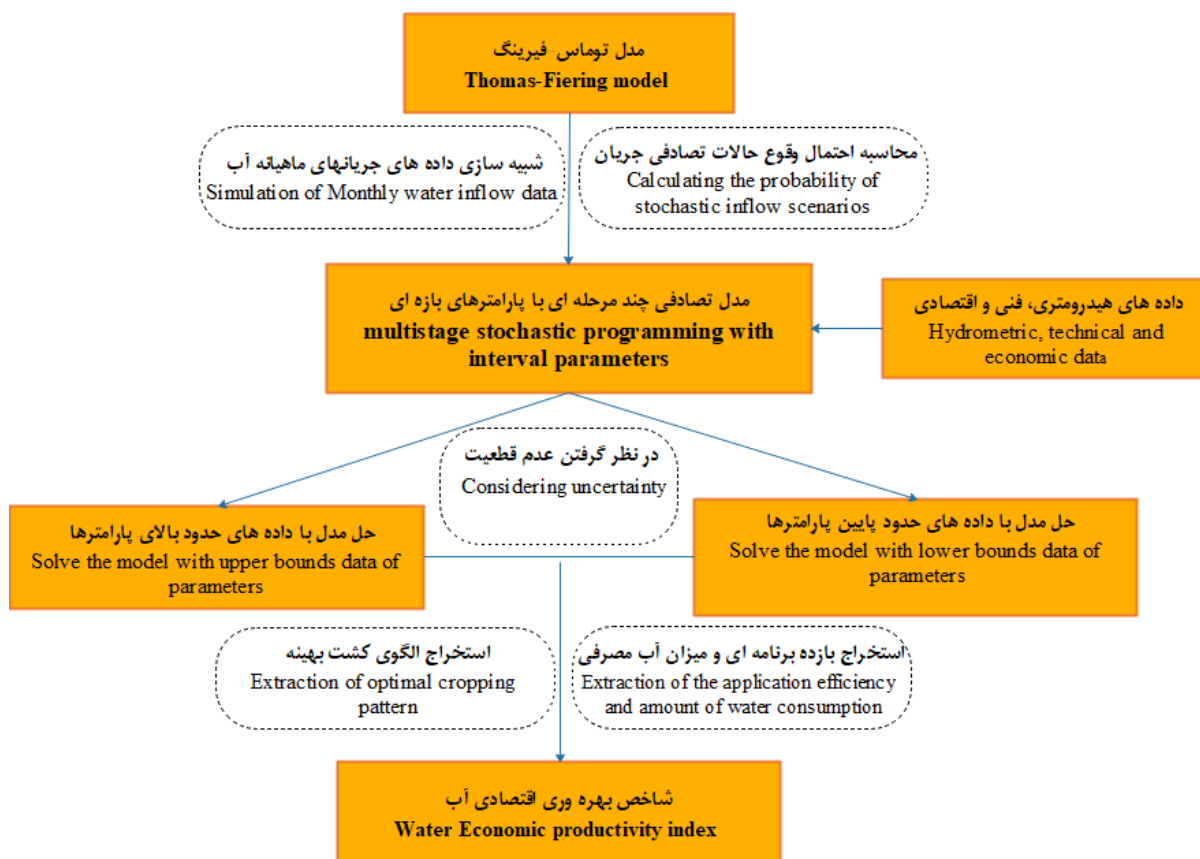
C= cost of an unirrigated rental area per hectare for crop a in network b\*

که در آن NB سود خالص حاصل از عملکرد محصول a در شبکه b و C ضرر به ازای اجاره یک هکتار زمین آبیاری نشده برای محصول a در شبکه b در دوره t است.

پرداخته شد. سپس با کمک داده‌های بدست آمده از مدل توماس- فیرینگ و داده‌های فنی، هیدرومتری و اقتصادی، مدل تصادفی چند مرحله‌ای با پارامترهای بازه‌ای برای حدود بالا و پایین، پارامترها حل و الگوی کشت بهینه و متغیرهای بازده برنامه‌ای و مقدار آب مصرفی بدست آمد. در پایان شاخص بهره‌وری اقتصادی آب مصرفی محاسبه و با شرایط فعلی مقایسه شد.

### مواد و روش‌ها

چارچوب مدل مورد استفاده برای درک بهتر روش پژوهش در مطالعه‌ی حاضر ارائه شده است (شکل ۲). در ابتدا با استفاده از مدل توماس- فیرینگ به شبیه سازی جریان‌های آب در فصول گوناگون و محاسبه احتمال وقوع حالات تصادفی جریان



شکل ۲ - فلوجارت پژوهش

شبکه جنوب،  $b=2$  : شبکه جازان،  $b=3$ ، زمان دوره برنامه‌ریزی (پاییز،  $p=1$ ، زمستان،  $p=2$ ، بهار،  $p=3$ ، تابستان،  $p=4$ )،  $NB_{abp}$  سود خالص حاصل از محصول  $a$  در شبکه  $b$  (ریال/هکتار)،  $ST_{abp}$  سطح کشت محصول  $a$  در یک سال آبیاری ثابت در نظر گرفته می‌شود.  $P_{sp}$ ، احتمال وقوع سناریو  $s$  در دوره  $p$ .  $C_{abp}$ ، اجاره یک هکتار زمین برای محصول  $a$  در شبکه  $b$ .  $SD_{abps}$  سطح کشت که با جریان سطحی  $Q_t$  آبیاری نمی‌شود (هکتار).  $Q_p$  پارامتر تصادفی آب سطحی موجود برای آبیاری در دوره  $p$  (میلیون متر مکعب).  $Q_p$ ، مقادیری از  $q_{ps}$  با سطوح احتمالاتی  $p$  برای سناریو  $s$  در دوره  $p$ .

با لحاظ محدودیت‌های زیر:  
محدودیت عرضه آب:

$$\sum_{a=1}^A W_{abp}^{\pm} (ST_{abp}^{\pm} - SD_{abps}^{\pm}) \leq Q_{bps}^{\pm} + \varepsilon_{b(p-1)k}^{\pm}, \forall b, p, s \quad (4)$$

محدودیت آب مازاد:

$$\varepsilon_{b(p-1)s}^{\pm} = Q_{b(p-1)s}^{\pm} - \sum_{a=1}^A W_{ab(p-1)}^{\pm} (ST_{ab(p-1)}^{\pm} - SD_{ab(p-1)s}^{\pm}) + \varepsilon_{b(p-2)s}^{\pm}, \forall b, p, s \quad (5)$$

محدودیت مقدار سطح کشت:

$$0 \leq SD_{abps}^{\pm} + ST_{abpmin}^{\pm} \leq ST_{abp}^{\pm} \leq ST_{abpmax}^{\pm}, \forall a, b, p, s \quad (6)$$

قبلی:

$$ST_{abp}^{\pm} = ST_{ab(p-1)}^{\pm}, \forall a, b, p = 2, 3, \dots, p \quad (7)$$

محدودیت سطح کشتی که آبیاری نمی‌شود:

$$SD_{abps}^{\pm} \geq 0, \forall a, b, p, s \quad (8)$$

که در این روابط  $W_{abp}$  نیاز آبی ناخالص محصول  $a$  در شبکه  $b$  در دوره  $p$  (متر مکعب)،  $\varepsilon_{p-1}$  آب مازاد وقتی در دوره  $p-1$  آب تحویل داده می‌شود (میلیون متر مکعب)،  $\varepsilon_{p-2}$  آب مازاد وقتی در

### مدل توماس - فیرینگ (تولید داده‌های مصنوعی)

یکی از روش‌های پارامتریک تولید داده مصنوعی، روش توماس - فیرینگ می‌باشد. با استفاده از زنجیره مارکوف فرمولی برای تولید جریان‌های ماهیانه به گونه مستقیم ارائه کردند که رابطه کاربردی آن به صورت زیر می‌باشد (۲۳).

$$Q_{i+1} = Q_{j+1} + b_j(Q_i - Q_j) + e_i S_{j+1} \sqrt{1 - r_j^2} \quad (1)$$

$$b_j = r_j \left[ \frac{S_{j+1}}{S_j} \right] \quad (2)$$

که در آن:

$Q_i$  و  $Q_{i+1}$ : جریان‌های ماهیانه تولید شده در دوره  $i$  و  $i+1$ .  
 $Q_i$  و  $Q_{i+1}$ : متوسط جریان ماهیانه در ماه‌های  $j$  و  $j+1$ .  
 $b_j$ : ضریب همبستگی حداقل مربعات برای محاسبه جریان ماه  $j+1$  از جریان در ماه  $j$  که از رابطه ۲ بدست می‌آید.  
 $r_j$ : ضریب همبستگی بین جریان‌های ماه‌های  $j$  و  $j+1$ .  
 $S_j$  و  $S_{j+1}$ : انحراف معیار برای ماه‌های  $j$  و  $j+1$ .  
 $e_i$ : متغیر تصادفی از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و انحراف معیار یک می‌باشد.

### مدل سازی

مدل سازی طراحی شده برای سیستم آب کشاورزی مارون است که ایده اولیه این پژوهش از کار پژوهشی (۴) می‌باشد، با این تفاوت که در این پژوهش دبی هر شبکه به صورت تفکیکی وارد مدل می‌شود اما در پژوهش ذکر شده دبی همه زیر ناحیه‌های مورد مطالعه به صورت سرجمع وارد مدل شده است که در ادامه به تشریح مختصر مدل پرداخته می‌شود. تابع هدف این مدل بیشینه کردن بازده برنامه‌ای یا سود ناخالص سیستم حاصل از انتقال آب در افق برنامه ریزی برای یک سال آبیاری یا چهار فصل کشت (پاییز - زمستان - بهار - تابستان) می‌باشد که به صورت زیر فرموله شده است (۴).

$$Max z^{\pm} = \sum_{a=1}^A \sum_{b=1}^B \sum_{p=1}^P NB_{abp}^{\pm} ST_{abp}^{\pm} - \sum_{a=1}^A \sum_{b=1}^B \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^{S_t} P_{ps} C_{abp}^{\pm} SD_{abps}^{\pm} \quad (3)$$

در این رابطه  $\pm$  بیانگر عدم قطعیت پارامترها می‌باشد و اینکه به صورت بازه‌ای نشان داده می‌شوند،  $Z$  کل بازده برنامه‌ای یا سود ناخالص در یک سال آبیاری (ریال)،  $a$  انواع محصولات (گندم،  $a=1$ ، کلزا،  $a=2$ ، یونجه،  $a=3$ )،  $b$  شبکه‌های آبیاری، (شبکه شمال،  $b=1$ ،



$$\sum_{i=1}^I (T_{it} - S_{it})(1 + \delta) \leq q_{ht} + \varepsilon_{(t-1)k} \quad \forall t, h=1, 2, \dots, k-1$$

$$\varepsilon_{(t-1)k} + \sum_{i=1}^I (T_{it} - S_{it})(1 + \delta) \leq q_{ht} + \varepsilon_{(t-1)k} \quad \forall t-1, h; k=1, 2, \dots, k-1 \quad (13)$$

$$T_{imax} \geq T_{it} \geq S_{itk} \geq 0 \quad \forall i, t, k \quad (14)$$

### شاخص بهره وری اقتصادی

طبق تعریف، بهره‌وری فیزیکی  $CPD^1$  مصرف آب عبارت از مقدار محصول تولید شده به ازای واحد حجم آب مصرفی است که بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب بیان می‌شود. در بهره‌وری اقتصادی  $BPD^2$  ارزش محصول تولید شده یا مقدار سود مدنظر قرار می‌گیرد. به عبارتی، بهره بردار به ازای مقدار آبی که مصرف می‌کند (۱۵).

$$CPD = Q/W \quad (15)$$

که در رابطه بالا  $Q$ ، مقدار محصول بر حسب کیلوگرم و  $W$ ، مقدار آب مصرفی بر حسب مترمکعب است. بنابراین، این شاخص نشان می‌دهد که با مصرف هر متر مکعب آب، چند کیلوگرم محصول بدست می‌آید.

$$BPD = GR/W \quad (16)$$

که در رابطه بالا  $GR$ ، ارزش ناخالص تولید بر حسب ریال و  $W$ ، مقدار آب مصرفی بر حسب متر مکعب است. بنابراین، این شاخص نشان می‌دهد که با مصرف هر متر مکعب آب، چند ریال محصول به دست می‌آید.

$$NBPD^3 = R/W \quad (17)$$

که در رابطه بالا  $R$  سود خالص تولید بر حسب ریال و  $W$ ، مقدار آب مصرفی بر حسب متر مکعب است. شاخص مذکور یکی از بهترین شاخص‌ها برای سنجش بهره‌وری آب کشاورزی است. در این مطالعه از این شاخص جهت سنجیدن بهره‌وری اقتصادی استفاده گردید.

### نتایج و بحث

#### برآورد احتمال شدت جریان و سناریوها

بر اساس میانگین و انحراف معیار داده‌های مصنوعی تولیدی، احتمال شدت جریان در ورودی کانالهای شبکه‌های آبیاری به سه سطح کم، متوسط و زیاد تقسیم شده است. نتایج نشان داد در حوزه سد مارون به صورت میانگین در ۶۰ درصد جریان‌ها متوسط، ۲۰ درصد زیاد و ۲۰ درصد کم بوده است. (جدول ۴)

دوره  $p-2$  آب تحویل داده می‌شود (میلیون متر مکعب)،  $ST_{abpmax}$  بیشینه سطح کشت در طول دوره آماری بررسی شده محصول  $a$  در شبکه  $b$ ،  $ST_{abpmin}$  حداقل سطح کشت در طول دوره آماری بررسی شده محصول  $a$  در شبکه  $b$ . با توجه به حل دو زیر مدل بالا چوایع مدل اصلی به صورت زیر بیان می‌شود.

$$z_{opt}^{\pm} = [z_{opt}^{-}, z_{opt}^{+}] \quad (9)$$

$$SD_{abpsopt}^{\pm} = [SD_{abpsopt}^{-}, SD_{abpsopt}^{+}] \quad \forall a, b, p, s \quad (10)$$

که در آن  $z_{opt}^{\pm}$ ،  $ST_{abpsopt}^{\pm}$ ،  $SD_{abpsopt}^{\pm}$  به ترتیب حد بالا و پایین سود بهینه، سطح بهینه الگوی کشت برای محصول  $a$  در زیرناحیه  $b$ ، دوره  $p$  و سناریو  $s$  که با جریان سطحی  $Q_t$  آبیاری نمی‌شود (هکتار) بنابراین تخصیص بهینه آب با کاربرد مدل توسعه یافته تخصیص آب آبیاری چند مرحله ای از رابطه شماره ۳-۳۵ به دست می‌آید.

$$SA_{abpsopt}^{\pm} = ST_{abpsopt}^{\pm} - SD_{abpsopt}^{\pm} \quad \forall a, b, p, s \quad (11)$$

$SA_{abpsopt}^{\pm}$  حد بالا و پایین تخصیص بهینه آب برای محصول  $a$  در زیرناحیه  $b$ ، دوره  $p$  و سناریو  $s$  است که از کسر مقدار سطح کشتی که با کمبود آب آبیاری سطحی مواجه شده از سطح بهینه الگوی کشت به دست می‌آید.

### برنامه ریزی

با توجه به اهداف پژوهش، بخش بهینه‌سازی بر اساس روش برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله ای با پارامترهای بازه‌ای در شرایط عدم قطعیت انجام شده، گفتنی است بمنظور حل مدل از نرم افزار GAMS نسخه ۲۴،۱،۲ استفاده شده است.

### برنامه ریزی تصادفی چند مرحله ای

در مواردی که تصمیم گیری برای یک دوره زمانی صورت میگیرد از برنامه ریزی تصادفی چندمرحله ای استفاده می‌شود. این مدل مقادیر کمبود آب در طی دوره برنامه ریزی را ارائه و به مدیر سیستم و مصرف کنندگان فرصت سیاست گذاری برای رویارویی با بحران آب را می‌دهد. از سوی دیگر، تخصیص نهایی آب بین محصولات گوناگون را با توجه به هدف بیشینه‌سازی سود کل سیستم ارائه می‌دهد. این مدل رابطه ای بین اهداف اولیه بهره برداری از سد (تأمین آب آبیاری مورد نیاز شبکه‌های آبیاری تاحد امکان) و اهداف اقتصادی ایجاد می‌کند. این مدل به صورت زیر فرموله می‌شود (۲۴).

$$Maxf = \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T NB_{it} T_{it} - \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K P_{tk} C_{it} S_{itk} \quad (12)$$

Subject to:

<sup>1</sup> Crop Per Drop

<sup>2</sup> Benefit Per Drop

<sup>3</sup> Net Benefit Per Drop

جدول ۴- جریان ورودی آب به شبکه‌ها برای آبیاری تحت سه سناریو شدت جریان در چهار فصل زمانی رشد (میلیون متر مکعب) به صورت تصادفی

فصل	آب موجود											
	تابستان			بهار			زمستان			پاییز		
سنار	جایزا		جایزا		جایزا		جایزا		جایزا		جایزا	
یو	شمال	جنوب	شمال	جنوب	شمال	جنوب	شمال	جنوب	شمال	جنوب	شمال	جنوب
کم	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مت	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
زیاد	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

\* ماخذ: یافته‌های پژوهش

گرفته شده است (جداول ۵ و ۶). گفتنی است به دلیل اینکه شبکه جایزان دارای شرایط آب و هوایی متفاوتی با شبکه شمال و جنوب می باشد بنابراین نیاز آبی در هر دو منطقه برآورد شده است.

#### نیاز آبی محصولات

در این پژوهش نیاز خالص آب آبیاری هر محصول با استفاده از (۵) گزارش شده است و نیاز ناخالص آبی برای هر محصول با در نظر گرفتن حد بالا و پایین راندمان آبیاری شبکه، به صورت بازه‌ای در نظر

جدول ۵- نیاز آبی محصولات طی فصول گوناگون رشد در شبکه های شمال و جنوب (مترمکعب)

محصول	فصل			
	پاییز	زمستان	بهار	تابستان
گندم	۱۲۰-۱۵۰	۱۷۴۰-۳۶۴۰	۳۶۰۰-۷۵۰۰	۰
کلزا	۱۴۱-۲۹۴	۳۱۲-۶۵۱	۱۵۲-۳۱۶	۰
یونجه	۴۶۱۰-۹۶۱۰	۱۱۹۰-۲۴۷۰	۸۸۲۰-۱۸۳۴۰	۱۵۰۹۰-۳۱۴۴۰

نتایج جدول بالا نشان می‌دهد که یونجه نسبت به دو محصول دیگر نیاز آبی بیش‌تری داشته است. بیش‌ترین نیاز آبی یونجه در تابستان، گندم در بهار و کلزا در زمستان است.

## جدول ۶- نیاز آبی محصولات طی فصول گوناگون رشد در شبکه جایزان (مترمکعب)

محصول	پاییز	زمستان	بهار	تابستان
گندم	۳۹۰-۴۳۷	۲۰۲۰-۲۲۸۰	۵۴۷۰-۶۱۶۰	.
کلزا	.	۲۰۳۰-۲۲۸۰	۳۸۹۰-۴۳۸۰	.
پونجه	.	.	.	.

منطقه مورد مطالعه موثر است. گفتنی است، هنگامی که  $ST_{abpopt}^{\pm}$  در پایین ترین حد خود قرار دارد، اگر آب مورد نیاز تأمین شود، کمترین مقدار سود و اگر تأمین نشود، کمترین ضرر برای سیستم بدست می آید. به بیان دیگر، در این حالت حداقل ریسک در سیستم وجود دارد و زمانی کاربرد دارد که مدیر برای آب در دسترس نگرش محافظه کارانه دارد. و در صورتی که  $ST_{abpopt}^{\pm}$  در بالاترین حد خود قرار گیرد، اگر آب مورد نیاز تأمین شود، بیشترین مقدار سود و اگر تأمین نشود، بیشترین ضرر برای سیستم بدست می آید. به بیان دیگر، در این حالت بیشینه ریسک در سیستم وجود دارد و زمانی کاربرد دارد که مدیر برای آب در دسترس نگرش خوش بینانه دارد. در این پژوهش نتایج سطح الگوی کشت بهینه تمامی محصولات در همه شبکه ها خود را با حد پایین بهینه تطبیق می دهند.

نتایج جدول بالا نشان می دهد که گندم نسبت به کلزا نیاز آبی بیش تری دارد هم چنین، گفتنی است بیشترین نیاز آبی گندم و کلزا در بهار است. سپس مدل تصادفی چند مرحله ای با پارامترهای بازه ای حل و نتایج اجرای مدل تحت سه سناریو شدت جریان (زیاد-متوسط-کم) بدست آمده که نتایج سطح زیر کشت بهینه محصولات تحت چهار سناریو کم - متوسط - کم ، کم - متوسط - متوسط ، متوسط ، متوسط - زیاد - متوسط - زیاد ، زیاد - زیاد - زیاد - زیاد در جدول (۷) ارائه شده است. متغیرهای تصمیم برای فصول ۱ تا ۴ به ترتیب برابر با ۲۴۳-۲۴۳-۸۱-۲۷ است که تخصیص بهینه آب برای همه محصولات با سناریوهای گوناگون جریان را حمایت می کند. با توجه به زیاد بودن تعداد متغیرهای تصمیم در این مطالعه نتایج چهار حالت تصادفی خاص که بتواند تغییرات را به خوبی نشان دهد ارائه شده است. این نتایج در تخصیص بهینه آب آبیاری و الگوی کشت بهینه در شبکه های آبیاری

## جدول ۷- سطح کشت محصولاتی که با آب سطحی آبیاری شده اند تحت سناریوهای گوناگون جریان (هکتار)

		سطح کشت آبیاری شده			
		کم - متوسط - کم	متوسط - کم - متوسط	متوسط - زیاد - زیاد	زیاد - زیاد - زیاد
		کم - کم	متوسط - متوسط	متوسط - زیاد	زیاد
شبکه					
سناریو/محصول					
شمال	گندم	۶۲-۵۷۴	۲۳۳۸-۴۵۷۰	۲۴۰۰-۴۵۷۰	۲۴۰۰-۴۵۷۰
جنوب	گندم	۶۶۷-۲۸۸۰	۱۱۸۴-۲۸۸۰	۱۸۵۰-۲۸۸۰	۱۸۵۰-۲۸۸۰
جایزان	گندم	۷۶-۱۲۹	۷۵۰-۱۴۴۶	۸۲۶-۱۵۷۴	۱۳۰۰-۲۴۶۰
شمال	کلزا	۱۰-۱۲	۱۰-۵۱	۱۰-۵۱	۱۰-۵۱
جنوب	کلزا	۴,۵-۱۳۱	۴,۵-۱۳۱	۴,۵-۱۳۱	۴,۵-۱۳۱

جایزان	کلزا	.	.	.	.
شمال	یونجه	۳-۳.۵	۹۱-۵۳۶	۹۴-۵۳۶	۲۰۵-۵۳۶
جنوب	یونجه	۱۸۹-۵۶۷	۳۳۴-۲۰۸۲	۵۲۳-۲۶۲۰	۱۰۶۵-۲۶۲۰
جایزان	یونجه	.	.	.	.

ماخذ: یافته های پژوهش

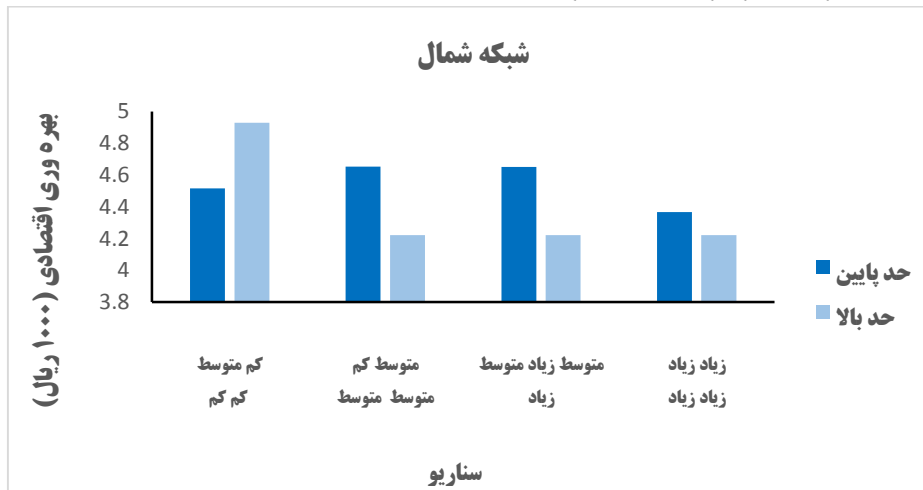
- زیاد یک درصد نسبت به سناریو زیاد- زیاد- زیاد- زیاد کاهش می یابد. در مدل حد بالا برای سناریو کم- متوسط- کم- کم سطح زیر کشت گندم در شبکه شمال و جایزان به ترتیب ۹۵ و ۸۷ درصد، سناریو متوسط- کم- متوسط- متوسط- متوسط ۴۵ و ۴۵ درصد، سناریو متوسط- زیاد- متوسط- زیاد ۴۰ و ۴۰ درصد، سناریو کم- کم- سطح زیر کشت کلزا در شبکه شمال ۷۶ درصد و هم چنین برای سناریو کم- متوسط- کم- کم سطح زیر کشت یونجه در شبکه شمال و جنوب به ترتیب ۸۰ و ۹۹ درصد نسبت به سناریو زیاد- زیاد- زیاد- زیاد کاهش می یابد.

### بهره‌وری اقتصادی آب شبکه‌ها در مدل بهینه‌سازی

در این قسمت نتایج نمودارهای شاخص بهره‌وری اقتصادی آب در شبکه‌ها تحت چهار سناریو کم - متوسط - کم - کم، متوسط - کم - متوسط - متوسط، متوسط - متوسط - زیاد - زیاد، زیاد - زیاد - زیاد - زیاد ابتدا برای حد پایین و سپس و حد بالا ارائه می‌شود و برای هر زیر مدل یک نمودار میانگین بهره‌وری اقتصادی در شبکه‌ها نیز ارائه شده است.

- \*جریان با سناریو کم-متوسط-کم-کم در چهار فصل رشد LMLL در فصل چهارم رشد
- \*جریان با سناریو متوسط - کم- متوسط - متوسط در MLMM چهار فصل رشد
- \*جریان با سناریو متوسط - زیاد- متوسط - زیاد در چهار فصل رشد MHMH
- \*جریان با سناریو زیاد - زیاد- زیاد- زیاد در چهار فصل HHHH رشد

نتایج تخصیص آب آبیاری براساس ۴ حالت تصادفی که در جدول ۷ نشان داده شده اند، بیانگر آن است که با تغییر شدت جریان از کم به زیاد، سطح زیر کشت محصولات در دو حد بالا و پایین مدل افزایش می‌یابد. در مدل حد پایین برای سناریو کم- متوسط - کم - کم سطح زیر کشت گندم در شبکه شمال، جنوب و جایزان به ترتیب ۱/۸-۰/۹-۰/۹ درصد، برای سناریو متوسط- کم- متوسط- متوسط ۰/۶-۰/۶-۰/۶-۰/۶ درصد نسبت به سناریو زیاد- زیاد- زیاد- زیاد کاهش می‌یابد. هم‌چنین، برای سناریو کم- متوسط- کم- کم سطح زیر کشت یونجه در شبکه شمال و جنوب به ترتیب ۴/۶-۶۷ درصد برای سناریو متوسط- کم- متوسط- متوسط ۱/۲-۲ درصد و در سناریو متوسط - زیاد - متوسط



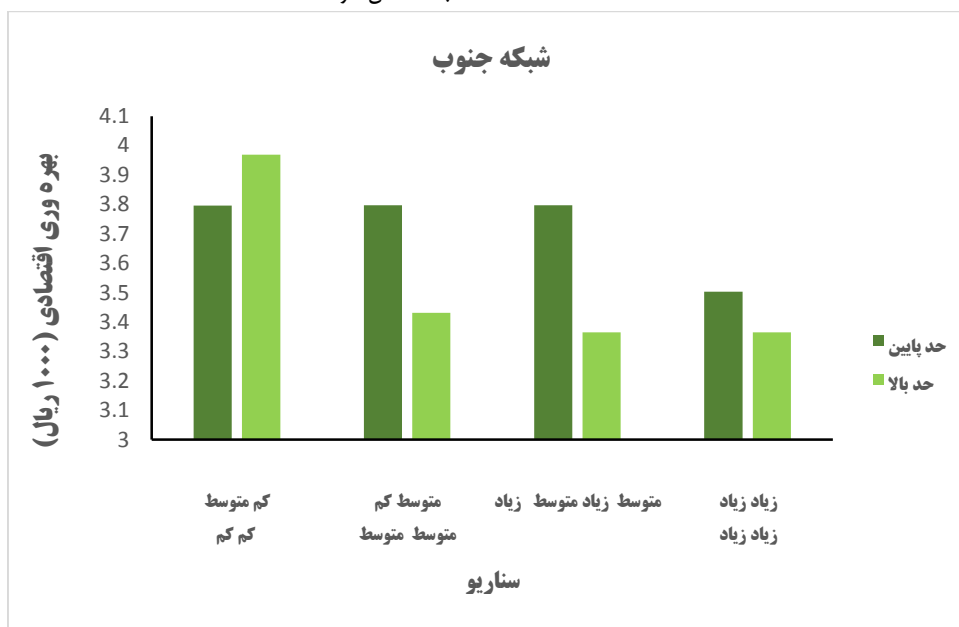
شکل ۳- شاخص بهره‌وری اقتصادی تحت چهار سناریو در شبکه شمال

متوسط، متوسط- زیاد - متوسط - زیاد، به مقدار ۴۶۵۲ ریال به ازای مصرف یک متر مکعب آب اتفاق می‌افتد. در سناریو زیاد - زیاد - زیاد - زیاد - زیاد و سناریو کم - متوسط - کم - کم، نسبت به سناریو یاد شده

در شکل ۳ شاخص بهره‌وری اقتصادی تحت چهار سناریو در شبکه شمال (حد پایین و بالا مدل) را نشان می‌دهد. در مدل حد پایین بیش‌ترین بهره‌وری اقتصادی در دو سناریو متوسط - کم - متوسط -

در مدل حد بالا، بیش‌ترین بهره‌وری اقتصادی در سناریو کم - متوسط - کم - کم به مقدار ۴۹۲۸ ریال به ازای مصرف یک متر مکعب آب اتفاق می‌افتد. در سه سناریو دیگر با ۲۰ درصد کاهش مقدار شاخص بهره‌وری اقتصادی نسبت به سناریو یاد شده مواجه می‌شود. مقایسه سناریوها نشان می‌دهد که مقدار حجم آب رها شده در فصول پاییز، زمستان و بهار نقش موثری در بهبود بهره‌وری اقتصادی آب شبکه شمال دارد.

با ۳ و ۶ درصد کاهش مقدار شاخص بهره‌وری اقتصادی مواجه می‌شوند. مقایسه سناریوها نشان می‌دهد که مقدار حجم آب رها شده در فصل‌های زمستان و تابستان اثری در بهبود بهره‌وری اقتصادی آب شبکه شمال ندارد، اما در دو فصل پاییز و بهار نقشی موثر دارد. قابل ذکر است سناریو زیاد آب در تمامی فصول رویکردی مناسب در راستای بهبود بهره‌وری اقتصادی آب نخواهد داشت.



شکل ۴ - شاخص بهره‌وری اقتصادی تحت چهار سناریو در شبکه جنوب

از سناریو زیاد در شبکه جنوب می‌باشند. در مدل حد بالا، بیش‌ترین بهره‌وری اقتصادی در سناریو کم - متوسط - کم - کم به مقدار ۳۹۶۸ ریال به ازای مصرف یک متر مکعب آب اتفاق می‌افتد. در سه سناریو دیگر با ۲۰ درصد کاهش مقدار شاخص بهره‌وری اقتصادی نسبت به سناریو مذکور مواجه می‌شود. نتایج مقایسه سناریوها مشابه حد پایین مدل می‌باشد.

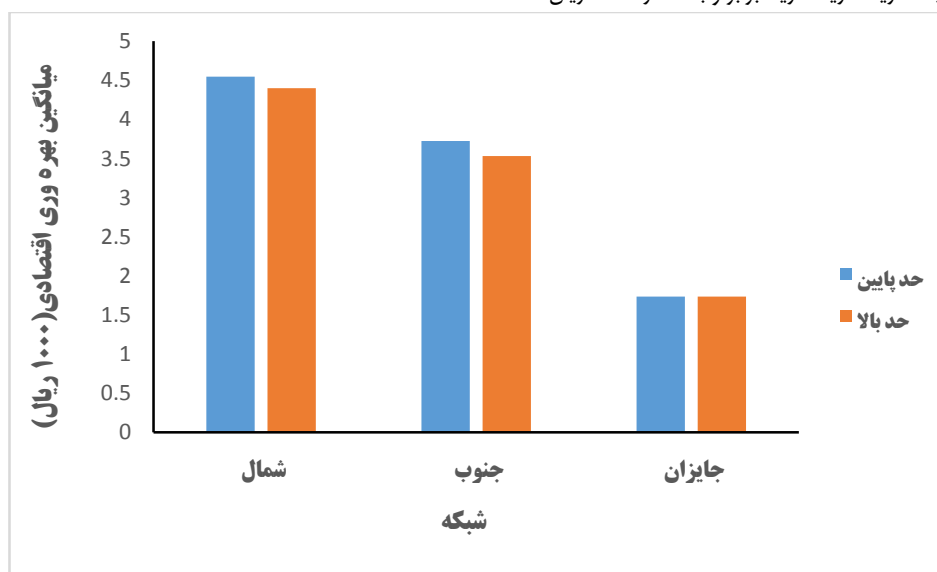
در شکل ۴ برای مدل حد پایین، بیش‌ترین بهره‌وری اقتصادی در سه سناریو کم - متوسط - کم - کم، متوسط - کم - متوسط - کم - متوسط - متوسط، متوسط - زیاد - متوسط - زیاد، به مقدار ۳۷۹۶ ریال به ازای مصرف یک متر مکعب آب اتفاق می‌افتد. در سناریو زیاد - زیاد - زیاد - زیاد - زیاد نسبت به سناریو مذکور مقدار شاخص بهره‌وری اقتصادی با ۸ درصد کاهش مواجه می‌شود. مقایسه سناریوها نشان می‌دهد که مقدار حجم آب رها شده در سناریوهای کم و متوسط در تمامی فصول موثرتر



شکل ۵ - شاخص بهره‌وری اقتصادی تحت چهار سناریو در شبکه جایزان

به ازای مصرف یک متر مکعب آب رخ می‌دهد. مقایسه سناریوها نشان می‌دهد که مقدار حجم آب رها شده در فصول گوناگون، اثری در بهبود بهره‌وری اقتصادی آب شبکه جایزان ندارد.

در شکل ۵ شاخص بهره‌وری اقتصادی تحت چهار سناریو در شبکه جایزان (حد پایین و بالا مدل) را نشان می‌دهد. در هر دو مدل حد پایین و بالا، بهره‌وری اقتصادی در چهار سناریو شدت جریان کم - متوسط - کم، متوسط - کم، متوسط - متوسط، متوسط - زیاد - متوسط - زیاد و زیاد - زیاد - زیاد - زیاد برابر و به مقدار ۱۷۳۶ ریال



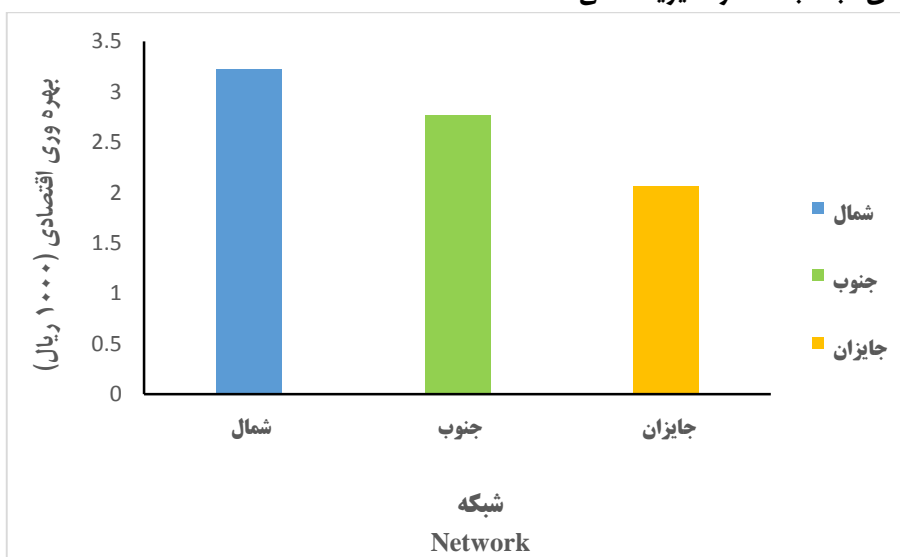
شکل ۶ - میانگین شاخص بهره‌وری اقتصادی در شبکه‌ها

مدل، به مقدار ۱۷۳۶ ریال به ازای یک متر مکعب آب در شبکه جایزان اتفاق می‌افتد. هم چنین، در شبکه شمال افزون بر اینکه بهره‌وری اقتصادی بیش‌تر از دو شبکه دیگر است، مدیریت مصرف آب نیز بهتر انجام گرفته است.

شکل ۶ میانگین شاخص بهره‌وری اقتصادی در شبکه‌ها (حد پایین و بالا مدل) را نشان می‌دهد. همان‌گونه که قابل مشاهده است بیش‌ترین مقدار بهره‌وری اقتصادی در حد پایین مدل به مقدار ۴۵۶۲ ریال و در حد بالا مدل به مقدار ۴۳۹۷ ریال، به ازای یک متر مکعب در شبکه شمال و کم‌ترین مقدار بهره‌وری اقتصادی برای هر دو حد



## بهره‌وری اقتصادی آب شبکه‌ها در مدیریت فعلی



شکل ۷- شاخص بهره‌وری اقتصادی محصولات در شبکه‌ها (مدیریت فعلی)

دای و لی (۲۰۱۳) در یک راستا قرار دارد. یافته‌های کلی به شرح زیر می‌باشد:

نتایج تخصیص آب آبیاری براساس ۴ حالت تصادفی بیانگر آن است که با تغییر شدت جریان از کم به زیاد، سطح زیر کشت محصولات در دو حد بالا و پایین مدل افزایش می‌یابد. بیش‌ترین مقدار بهره‌وری اقتصادی برای هر دو حد مدل در شبکه شمال و کم‌ترین مقدار بهره‌وری اقتصادی در شبکه جایزان اتفاق می‌افتد. هم‌چنین، در شبکه شمال افزون بر اینکه بهره‌وری اقتصادی بیش‌تر از دو شبکه دیگر است مدیریت مصرف آب نیز بهتر صورت گرفته است. میانگین شاخص بهره‌وری اقتصادی در شبکه‌ها برای دو حد پایین و بالای مدل بهینه‌سازی به ترتیب ۱۶ و ۱۹ درصد بیش‌تر از مقدار این شاخص در مدیریت فعلی محاسبه شده است که با نتایج ژائو و همکاران (۲۰۱۷) که نشان دادند با اتخاذ الگوی کشت بهینه، مقدار بهره‌وری آب کشاورزی حدود ۰/۳ کیلوگرم بر مترمکعب نسبت به شرایط موجود منطقه بهبودیافته است، هم‌خوانی دارد. ضمن اینکه مدیریت مصرف آب با توجه به کاهش ۳ و ۳۴ درصدی مصرف آب در حد پایین و بالای مدل بهینه‌سازی نسبت به مدیریت فعلی بهتر صورت گرفته است با نتایج هائو و همکاران (۲۰۱۸) که نشان دادند مدل بهینه‌سازی باعث افزایش ۲۰ درصدی نرخ ذخیره آب نسبت به شرایط فعلی می‌شود، هم‌خوانی دارد. بنابراین، مدل طراحی شده می‌تواند مدیریت اقتصادی مصرف آب در سطح منطقه را ممکن سازد و هم‌چنین، برای سایر شبکه‌های آبیاری مورد استفاده قرار گیرد.

## پیشنهادها

توسعه سیستم آبیاری مورد مطالعه با بهره‌برداری تلفیقی آب سطحی و زیرزمینی.  
گسترش مدل‌سازی این پژوهش برای سیستم‌های چند مخزنی و چند منظوره.

شکل ۷ میانگین شاخص بهره‌وری اقتصادی در شبکه‌ها در مدیریت فعلی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار بهره‌وری اقتصادی به مقدار ۳۲۲۸ ریال به ازای یک متر مکعب در شبکه شمال و ۲۰۶۴ ریال به ازای یک متر مکعب آب در شبکه جایزان اتفاق می‌افتد. هم‌چنین در شبکه شمال افزون بر اینکه بهره‌وری اقتصادی بیش‌تر از دو شبکه دیگر است مدیریت مصرف آب نیز بهتر صورت گرفته است.

## مقایسه بهره‌وری اقتصادی آب شبکه‌ها در مدل

## بهینه‌سازی با مدیریت فعلی

منظور بررسی اثر تغییر مدیریت توزیع و تخصیص آب بر مقدار شاخص بهره‌وری اقتصادی، نتایج میانگین شاخص بهره‌وری اقتصادی در شبکه‌ها در دو حد بالا و پایین مدل بهینه‌سازی با میانگین شاخص بهره‌وری اقتصادی در شبکه‌ها در مدیریت فعلی مورد مقایسه قرار گرفته است. در شبکه شمال حد پایین و بالا مدل بهینه‌سازی نسبت به مدیریت فعلی به ترتیب ۲۶ و ۳۰ درصد و در شبکه جنوب ۲۲ و ۲۶ درصد افزایش و در شبکه جایزان با ۲۰ درصد کاهش مقدار بهره‌وری مواجه خواهد شد. قابل ذکر است میانگین شاخص بهره‌وری اقتصادی در شبکه‌ها در دو حد بالا و پایین مدل بهینه‌سازی به ترتیب ۳۲۲۲ و ۳۳۳۵ ریال و در مدیریت فعلی ۲۶۸۷ ریال به ازای یک متر مکعب می‌باشد که نشان می‌دهد مقدار این شاخص در هر دو حد مدل بهینه‌سازی بیش‌تر از مدیریت فعلی می‌باشد.

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش تخصیص بهینه آب آبیاری از راه تعیین الگوی کشت بهینه محصولات کشاورزی تحت سناریوهای جریان گوناگون مورد ارزیابی قرار گرفته است نتایج نشان دهنده قابل استفاده بودن این مدل توسعه یافته در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. نتایج ذکر شده با نتایج

### مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده پردازی: لیلا امانت بهیمنی، مه نوش مقدسی، روش شناسی و تحلیل دادهها: لیلا امانت بهیمنی، مه نوش مقدسی، حسین ابراهیمی، حسین بابازاده؛ نظارت و نگارش نهایی: لیلا امانت بهیمنی، مه نوش مقدسی.

### تعارض منافع

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

توسعه تابع هدف مدل، مانند توابع هدف چند منظوره با اهدافی غیر از مسائل اقتصادی مثل پایداری محیط زیست و پذیرش اجتماعی با راه حل کارآمدتر.

### ملاحظات اخلاقی

#### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

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

### حامی مالی

هزینه‌های مطالعه توسط نویسندگان مقاله تامین شد.

### References

- Asad Falsafizadeh N, and Sabouhi M. Determining the optimal water harvesting from the regional runoff of the Kor River catchment area, Dorodzan Dam. *Economics and Agricultural Development*.2010; 24 (4): 415- 424. [https://jead.um.ac.ir/article\\_27020\\_079d0d1856537bb9fd4438237b5bc3ff.pdf](https://jead.um.ac.ir/article_27020_079d0d1856537bb9fd4438237b5bc3ff.pdf)
- Bartolini F, Bazzani G. M, Gallerani V, Raggi M, Viaggi D. The impact of water and agriculture policy scenarios on irrigated farming systems in Italy: An analysis based on farm level multi-attribute linear programming models. *Agricultural System*.2007; 93(1-3): 90-114. [DOI:10.1016/j.agsy.2006.04.006]
- Brinegar H. R, Ward F. A. Basin impacts of irrigation water conservation policy. *Ecological Economics*. 2009; 69 (2): 414-426. [DOI:10.1016/j.ECOLECON.2009.07.020].
- Dai Z.Y , Li Y.P.A multistage irrigation water allocation model for agricultural land-use planning under uncertainty. *Agricultural Water Management*.2013;129: 69 -79.[<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.07.013>]
- Department of Agriculture and Meteorological Organization. The application plan of irrigation net demand for cropping and gardening products of Iran. 2000
- Eliasson J. The rising pressure of global water shortages. *Nature*. 2015; 517(7532). [ DOI: 10.1038/517006a] [PMID: 25557695]
- Fatemi S.M, Mohammad T.A, Soom M.A.B. Proposed model for efficient water management at Razmgan irrigation project, a semi-arid region in Khorasan, Iran. *African Journal of Agricultural Research*. 2011; 6(13):3203-3216.[<https://doi.org/10.5897/AJAR.9000573>]
- Esteve P, Varela-Ortega C, Gutierrez I, Downing T. E. A hydro-economic model for the assessment of climate change impacts and adaptation in irrigated agriculture. *Ecological Economics*.2015; 120: 49-58. [ <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.09.017> ]
- Hao L, Su X, Singh P. Cropping pattern optimization considering uncertainty of water availability and water saving potential. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*.2018; 1: 178-186. [DOI: 10.25165/j.ijabe.20181101.3658]
- He H , Chen A, Yin M, Ma Zh, You J, Xie X. Optimal Allocation Model of Water Resources Based on the Prospect Theory, *Water*. 2019; 11(6): 1-17. [<https://doi.org/10.3390/w11061289>]
- Li M, Guo P, Singh V.P. An efficient irrigation water allocation model under uncertainty, *Agricultural systems*.2016; 144:46-57. [ <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.02.003> ]
- Lu H. W, Li J, Ren L. X , Chen Y. Z. Optimal groundwater security management policies by control of inexact health risks under dual uncertainty in slope factors.

- Chemosphere.2018;198: 161-173.[ Doi: [10.1016/j.chemosphere.2018.01.121](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.121)]
13. Ministry of Energy, the exploiting company of maroon irrigation networks. Operation department. Technical report of the exploiting company of maroon irrigation networks.2016.
  14. Mohammad Jani I, and Yazdanian N. The Analysis of water crisis conjecture in Iran and the exigent measures for its management. Trend (Trend of Economic Research) . 2014; 21: 117-144. <https://www.sid.ir/paper/202249/fa>
  15. Molen D. J, Sakthivadivel R, Perrye C. J, Charlotte D.F, Kloezen W.H. Indicators for Comparing Performance of irrigated agricultural systems. Research Report 20 . Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute; 1998, pp: 1-34. [https://www.iwmi.cgiar.org/Publication/s/IWMI\\_Research\\_Reports/PDF/PUB020/REPORT20.PDF](https://www.iwmi.cgiar.org/Publication/s/IWMI_Research_Reports/PDF/PUB020/REPORT20.PDF)
  16. Nikoei A. Integrated economic-hydrological modeling of allocation and use of water in Zayandehrud river basin with emphasis on ecological and drought policies assessment .Ph.D. Thesis of Agricultural Economics. University of Shiraz, Iran.2012
  17. Niu G, Li Y. P, Huang G.H , Liu J, Fan Y. R. Crop planning and water resource allocation for sustainable development of an irrigation region in China under multiple uncertainties. Agricultural Water Management , 2016;166: 53-69. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.12.011>.
  18. Ortega Alvarez J.F, J. A , de Juan Valero J.A , Tarjuelo Martin-Benito J.M , LopezMata E . MOPECO: an economic optimization model for irrigation water management, Irrigation Science.2004;23: 61-75 .[DOI 10.1007/s00271-004-0094-x].
  19. Ren C, Yang J, Zhang H. An inexact fractional programming model for irrigation water resources optimal allocation under multiple uncertainties. PLoS ONE.2019; 14(6): 1-17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217783>
  20. Sabouhi M, and Soltani Gh. Optimization of cropping patterns in the catchment area with emphasis on social interests and net import of virtual water, a case study of Khorasan region. Agricultural Sciences and Technology and Natural Resources.2008;12 (43a): 297-313. (In Persian). <http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-840-en.html>
  21. Shajari Sh , Turkmani J. Suitability of multi-criteria decision making simulations to study irrigation water demand, a case study of Dorodzan river basin, Fars province. Agricultural Economics (Economics and Agriculture). 2007; 1 (3): 331-345. <https://www.sid.ir/paper/124558/fa>
  22. Stratton S. Groundwater management with heterogeneous users: political and economic perspectives. PhD dissertation in agricultural and resource economics, University of California, Berkeley.2008
  23. Thomas H.A , Fiering ,M.B. Mathematical synthesis of stream flow sequences for the analysis of river basins by simulation. In: Maass A et al The design of Water Resource Systems edited, Harvard University. Press, Cambridge, Massachusetts; 1962, pp: 459-493.
  24. Wang S , Huang G.H. Identifying optimal water resources allocation strategies through an interactive multi-stage stochastic fuzzy programming approach .Water Resours Management.2012;26:2015-2038.[DOI: 10.1007/s11269-012-9996-1]
  25. Ward F. A. Economic impacts on irrigated agriculture of water conservation programs in drought. Journal of Hydrology. 2014; 508: 114-127. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.10.024>
  26. Zibaei M , Soltani G.h , Bakhshudeh M. Agricultural water demand management at the farm level, case study, Firoozabad plain .5th Conference of the Iranian Agricultural Economics. Zahedan: Sistan and Baluchestan University. 2005. <https://civilica.com/doc/49796/>
  27. Zibaei M . Factors Affecting Continuity in the Use of Rain Irrigation Systems in Fars Province: Comparison of Logit Analysis and Audit Analysis. Economics and

Agricultural Development (Agricultural Sciences and Industries).2007; 1 (2): 194-183.

<https://www.sid.ir/paper/443775/fa>

28. Zhao J, Li M , Guo P, Zhang C , Tan Q. Agricultural Water Productivity Oriented Water Resources Allocation Based on the Coordination of Multiple Factors, Water.2017; 9 (490): 1-22.<https://doi.org/10.3390/w9070490>