

EXTENDED ABSTRACT

Investigating the management of distribution and allocation of irrigation water in two optimal and traditional modes, Case Study: Irrigation and drainage networks of Marun

L. Amanat behbahani^{1*}, A. Saki² and M. Esmaili³

1- *Corresponding Author, Graduated with a PhD in irrigation and drainage, Department of Water Sciences and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. (Leilaamanat@yahoo.com).

2- Graduated with a PhD in hydraulic structures, Department of Water Sciences and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

3- Graduated with a Master of agricultural economics, Department of Water Sciences and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 15 May 2023

Revised: 09 December 2023

Accepted: 11 December 2023

Keywords:

Optimization; Irrigation water allocation; Uncertainty; Water Use Efficiency; Multi-stage stochastic programming.

TO CITE THIS ARTICLE:

Amanat behbahani, L., Saki, A., Esmaili, M. (2024). 'Investigating the management of distribution and allocation of irrigation water in two optimal and traditional modes, Case Study: Irrigation and drainage networks of Marun', *Irrigation Sciences and Engineering*, 47(3), pp. 37-56. doi: 10.22055/jise.2023.43836.2079.

Introduction

Moghaddasi *et al.* (2010a,b) did a research on optimization of water allocation and distribution in irrigation network of Zayandeh Rud catchment by the use of non-linear methods of collective intelligence and genetic algorithm. In the above mentioned study, optimization has done by 4 sub-models of water distribution optimization during crop growth periods, water allocation optimization among network crops, water distribution optimization among different networks, and annual optimization of agricultural water proportion of Zayandeh Rud. Comparing the results, it can be assumed that nonlinear programming (NLP) and consequently particle swarm optimization (PSO) methods have priority to the others. In addition the study confirmed that the optimization method associates 36% more income. 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. The aim of this study was to allocation irrigation water and cropping area under uncertainty with emphasis on water use efficiency (WUE) and relative irrigation supply (RIS) indices and the results were compared to the actual management in Marun Irrigation Network.

Materials and Methods

At first, by using the Monte Carlo simulation method, 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 Monte Carlo simulation method 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 and the volume of consumed water were obtained. Finally, the comparative analysis water use efficiency (WUE) and relative irrigation supply (RIS) indices were calculated for the upper and lower limits and compared with the actual management.

model 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 purpose, first hydrometric data were obtained from Marun Network Station during 2006-2016. Then based on the results Monte Carlo Simulation model, 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 indicate that Marun Dam had 60% of normal year, 20% of wet year and 20% of draught continuously, to calculate the stochastic amount of input water to irrigation networks, the Monte Carlo Simulation model, and to produce random numbers EASY FIT software can be used (Table 1). (Karamouz *et al.*, 2003). In this project, agricultural water demand was calculated by REF-ET software, FAO-Penman_Monteith method, and the case study meteorological data (Allen *et al.*, 1999-2000). considering high and low irrigation efficiency of the region in Tables (2) and (3) water demand was determined based on intervals. 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. 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 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 more optimal water consumption due to the increase of the cropping areas were increased by respectively 26 and 2%, and of course the benefit amount had an increase of 92 and 25% and also the increase of the WUE index in the developed model compared to the actual management. In the actual management the RIS index of irrigation water is close to one. In the optimization model, the difference between the supply and allocation of irrigation due to the estimation of the actual water requirement of the plant, the optimal cropping area and water storage is more than the traditional management.

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.

Table 1- The stochastic input inflow to the networks for irrigation under 3 scenarios of inflow intensity in 4 seasons of crop growth (MM³)

		Available Water											
t		Fall			Winter			Spring			Summer		
Scenario	P%	North	South	Jayzan	North	South	Jayzan	North	South	Jayzan	North	South	Jayzan
Low	20	(0.02-0.03)	(1.5-3)	(0.02-0.03)	(4-10)	(3-9)	(1.3-2.4)	(4-9)	(1.4-3)	0	0	0	0
moderate	60	(10-16)	(13-21)	(7-14)	(10-16.5)	(13-21)	(8-19)	(10-16)	(14-24)	(2-3)	(7-8)	(18.5-28)	0
High	20	(14-21)	(32.5-54)	(23-41)	(13-23)	(16-25)	(20.5-27)	(10-19)	(19-49.5)	(5.4-10.3)	(12-20)	(24-35)	(14-20)

* P=Probability

Source: Research Findings

Table 2- Water requirement of products during different seasons of growth in North and South networks (M³)

Crop	t	Fall	Winter	Spring	Summer
Wheat		33-69	221 - 4623	1060-2208	0
Colza		118-246	2244.5-4676	591-1230	0
Alfalfa		2759-5744	394-821	6699-13957	9852-20525

Table 3- Water requirements during different seasons of growth in the Jayzan network (M³)

Crop	t	Fall	Winter	Spring	Summer
Wheat		278-313	7508-8447	6117-6889	0
Colza		602-677	7822-8799	3610-4061	0
Alfalfa		0	0	0	0

Acknowledgements

Hereby, the authors of the article appreciate company of maroon irrigation networks for providing the required data and information.

References

- 1- Karamouz M, Szidarovszky F, Zahraie B., 2003. *Water resources systems analysis*. Lewis Publishers, CRC Press, pp.1-22. <https://dx.doi.org/10.1201/b11874-6>.
- 2- Allen R. 1999-2000. *Evapotranspiration of grass and alfalfa software*. Idaho university. Idaho, USA.

- 3- Moghaddasi ,M., Morid ,S., Araghinejad ,S and Agha Alikhni ,M., 2010a. Assessment of irrigation water allocation based on optimization and equitable water reduction approaches to reduced agricultural drought losses; the 1999 drought in the Zayandehrud Irrigation System (IRAN). *Irrigation and Drainage*, 59,pp. 377-387.<http://dx.doi.org/10.1002/ird.499>.
- 4- Moghaddasi ,M., Araghnejad ,S and Morid ,S., 2010b. Long-term operation of irrigation dams considering variable demands: case study of Zayandeh-rud reservoir. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136(5),pp. 309-316.



© 2024 Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



بررسی مدیریت آبیاری دو حالت بهینه و سنتی توزیع و تخصیص آب آبیاری (مطالعه موردی: شبکه‌های آبیاری و زهکشی مارون)

لیلا امانت بهبهانی^{۱*}، عباس ساکی^۲ و مصطفی اسماعیلی^۳

^۱ - نویسنده مسئول، دکتری تخصصی آبیاری زهکشی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
(Leilaamanat@yahoo.com)

^۲ - دکتری تخصصی سازه های آبی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

^۳ - کارشناس ارشد اقتصاد کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۰

بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸

دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۵

چکیده

هدف این تحقیق تهیه مدل بهینه‌سازی تخصیص آب آبیاری و الگوی کشت در شرایط عدم قطعیت با تأکید بر بررسی شاخص‌های کارایی مصرف آب و عرضه نسبی آب و مقایسه با مدیریت سنتی در شبکه آبیاری مارون می‌باشد. داده‌های هیدرومتری از ایستگاه شبکه مارون و داده‌های هواشناسی از ایستگاه ایدنک بهبهان برای سال‌های ۸۵ الی ۹۵ تهیه گردید. بدین منظور مدلی با هدف ماکزیمم کردن کل سود ناخالص شبکه‌های آبیاری و زهکشی مارون توسعه داده شده است. این مدل قادر است توزیع بهینه آب بین شبکه‌ها، محصولات و مراحل مختلف رشد، میزان کمبود آب، مازاد آب تخصیص داده شده، و مقدار سود ناخالص سیستم در طی چهار فصل رشد تحت سه سناریو خشکسالی، نرمال و ترسالی با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای در شرایط عدم قطعیت را تعیین نماید. نتایج نشان دهنده مصرف بهینه‌تر آب با توجه به افزایش سطح کشت بین (۲۶-۲) درصد و به تبع آن افزایش سود بین (۹۲-۲۵) درصد و همچنین افزایش شاخص کارایی مصرف آب در مدل توسعه یافته نسبت به مدیریت سنتی می‌باشد. در مدیریت سنتی، میزان شاخص عرضه نسبی آب آبیاری نزدیک به یک می‌باشد. در مدل بهینه‌سازی اختلاف بین عرضه و تخصیص آبیاری به علت برآورد نیاز آبی واقعی گیاه، سطح کشت بهینه و ذخیره‌سازی آب نسبت به مدیریت سنتی زیادتر می‌گردد (در اکثر حالات کمتر از یک می‌باشد).

کلید واژه‌ها: بهینه‌سازی، تخصیص آب آبیاری، عدم قطعیت، کارایی مصرف آب، برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای.

مقدمه

۳۶ درصد امکان افزایش درآمد را نسبت به مدیریت‌های سنتی در حوضه دارد. Li و Zehao (2018) با توجه به فرایند چرخه آب، یک مدل برنامه‌ریزی شانس محدود دو مرحله‌ای را با پارامترهای تصادفی در دو طرف چپ و راست محدودیت‌ها، برای تخصیص آب آبیاری کشاورزی در منطقه آبیاری Yinghe در وسط حوزه رودخانه Hehe شمال غربی چین توسعه داده‌اند. این مدل قادر به تولید استراتژی‌های تخصیص آبیاری مناسب با توجه به تغییر شکل آب از جمله تبخیر و تعرق گیاه-بارندگی-آبیاری-رطوبت خاک-نفوذ عمیق است. در تحقیق Mo et al (2016) یک مدل خطی بازه‌ای کوچک تخصیص آب آبیاری (ILFIWA) را توسعه داده‌اند. با استفاده از یک مطالعه موردی در شمال غربی چین، پتانسیل مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد این مدل می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مربوط به تخصیص آب آبیاری برای دوره‌های زمانی مختلف در مقادیر مختلف جریان کمک نماید. در ادامه مقایسه مدل (ILFIWA) و مدل برنامه‌ریزی خطی- معمولی نشان داد که مدل توسعه یافته برای بهبود

مدیریت منابع آب آبیاری در بخش کشاورزی به‌عنوان مهم‌ترین منبع تجدیدپذیر اما محدود، یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن حاضر بوده و نگرانی‌های عمده‌ای در سرتاسر جهان به‌وجود آورده است. در این راستا تحقیقات متعددی انجام شده است که در ادامه به تعدادی از آن‌ها پرداخته می‌شود. در تحقیق Moghaddasi et al (2010 a,b) به بهینه‌سازی تخصیص و توزیع آب در شبکه‌های آبیاری حوضه آبریز زاینده‌رود با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی غیر خطی، هوش جمعی و الگوریتم ژنتیک پرداختند. در این مطالعه بهینه‌سازی تخصیص آب با استفاده از چهار زیر مدل به‌منظور بهینه‌سازی توزیع آب در طول فصل رشد گیاهان، بهینه‌سازی تخصیص آب بین محصولات شبکه‌ها، بهینه‌سازی توزیع آب بین شبکه‌های مختلف و بهینه-سازی سالانه سهم آب کشاورزی زاینده‌رود صورت گرفت. مقایسه نتایج برتری روش NLP و سپس PSO را نشان داد. ضمن اینکه نشان داده شد که بهینه‌سازی تخصیص و توزیع آب در شبکه‌ها تا

تفاوت این مطالعه با مطالعه‌های گذشته در این است که مطالعه‌ی حاضر شاخص کارایی مصرف آب و شاخص عرضه نسبی آب آبیاری را به‌عنوان معیاری برای تخصیص بهینه در نظر گرفته است. در این راستا از روش برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای با پارامترهای بازه‌ای استفاده شده است. در بین مطالعه‌های مروری تنها مطالعه Li و Dai (2013) به این موضوع توجه داشته است. اما وجه تمایز این مطالعه با مطالعه‌ی Li و Dai (2013) در این است که مطالعه‌ی تخصیص بهینه آب آبیاری تحت سناریوهای مختلف جریان با تأکید بر کارایی مصرف آب می‌باشد. قابل ذکر است چنین مطالعه‌ای تاکنون در ایران صورت نگرفته است. بنابراین هدف تحقیق حاضر مدیریت و تخصیص بهینه آب آبیاری تحت سناریوهای مختلف جریان با تأکید بر کارایی مصرف آب می‌باشد ضمن اینکه مقایسه کارایی مصرف آب و شاخص عرضه نسبی آب در شرایط بهینه با مدیریت سنتی شبکه آبیاری و زهکشی مارون صورت می‌گیرد.

منطقه مطالعاتی و داده‌ها

سد مخزنی مارون در جنوب غربی ایران، در استان خوزستان و روی رودخانه مارون، در ۱۹ کیلومتری شمال شرقی بهبهان و ۲۲۰ کیلومتری مرکز استان (اهواز) واقع گردیده است. "در دشت بهبهان شبکه‌های آبیاری و زهکشی شمال و جنوب به وسعت ۱۳۵۰۰ هکتار و در دشت جایزان شبکه جایزان به وسعت ۳۰۰۰ هکتار قرار دارد شکل (۱) راندمان آبیاری در دوشبکه شمال و جنوب بین (۳۶-۷۵) درصد و در شبکه جایزان بین (۳۶-۳۲) درصد می‌باشد (Based on technical report of Exploitation Company of Marun irrigation network, 2016). "الگوی کشت غالب در این مناطق گندم، کلزا و یونجه است که حداکثر عملکرد آن‌ها به ترتیب برابر با ۲۲۰۰۰، ۲۳۰۰۰، ۴۷۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. بازه تغییرات سطح زیرکشت آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است. میزان سود و هزینه محصولات مذکور هم در جدول (۲) قابل مشاهده است. لازم به ذکر است ایستگاه‌های باران سنجی ایدنک، پاقله و الکن که حوزه آبریزشان مارون می‌باشد به‌عنوان مبنا برای دریافت آمار بارندگی در نظر گرفته شده اند.

بهره‌وری آب آبیاری و کمک به تصمیم گیرندگان در مدیریت منابع آب آبیاری مورد نظر تحت شرایط عدم اطمینان است. Ortega Alvarez et al (2004) 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. Fatemi et al (2011) با توجه به محدود بودن منابع آب برای برنامه‌ریزی آبیاری کشاورزی، گزینه‌های مطلوبی برای تخصیص بهینه آب از طریق افزایش بهره‌وری آبیاری و بهینه‌سازی الگوی کشت شناسایی کردند. Heydari و Akbari (2015) بیان کردند که شاخص عرضه نسبی آب در همه سال‌های بررسی به‌جز خشکسالی‌های اخیر در اکثر شبکه‌های حوضه زاینده‌رود بیش از یک و متوسط سودمندی آب برای شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه بین ۰/۷ تا ۰/۹ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه گردید. Li و Dai (2013) مدل تخصیص آب آبیاری چند مرحله‌ای (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. Mo et al. (2016) یک مدل کسری خطی بازه‌ای برای تخصیص آب آبیاری را گسترش دادند. آن‌ها در یک مطالعه موردی، پتانسیل مدل را ارزیابی و نتیجه گرفتند که این مدل می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مربوط به تخصیص آب آبیاری برای دوره‌های زمانی متفاوت و در مقادیر مختلف جریان مؤثر باشد.

Ren et al. (2019) 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. همان‌طور که از این مطالعه‌ها بر می‌آید برای غلبه بر مشکلات محدودیت منابع آب و صرفه‌جویی در مصرف آب، تخصیص بهینه آب آبیاری لازم است.



Fig. 1- Map of the case study areas

شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

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

Table 1- Arable land changing interval for the prominent crops in the networks of Marun catchment in Behbahan city (Ha)

Crop	North	south	Jayzan
	Network		
Wheat	[18-3976]	[0-4802]	[14-2640]
Colza	[10-38]	[5-120]	[0-253]
Alfalfa	[3-461]	[103-2144]	-

جدول ۲- مقادیر سود خالص محصولات کشاورزی و ضرر کرد در یک هکتار (میلیون ریال)

Table 2- Crops net benefit and penalties (IRR/ha)

CROP	Network	NB	C
Wheat	North	$[1.8(10)^4 - 3.4(10)^4]$	$[1.5(10)^7 - 2.6(10)^7]$
Wheat	south	$[1.8(10)^4 - 3.4(10)^4]$	$[1.5(10)^7 - 2.6(10)^7]$
Wheat	Jayzan	$[1.1(10)^4 - 2.5(10)^4]$	$[8.7(10)^6 - 1.8(10)^7]$
Colza	North	$[1.9(10)^3 - 2.9(10)^4]$	$[1.5(10)^7 - 2.6(10)^7]$
Colza	south	$[1.9(10)^3 - 2.9(10)^4]$	$[1.5(10)^7 - 2.6(10)^7]$
Colza	Jayzan	$[4.2(10)^3 - 6.3(10)^4]$	$[8.7(10)^6 - 1.8(10)^7]$
Alfalfa	North	$[9.6(10)^4 - 1.6(10)^5]$	$[2.6(10)^7 - 4.1(10)^7]$
Alfalfa	south	$[9.6(10)^4 - 1.6(10)^5]$	$[2.6(10)^7 - 4.1(10)^7]$
Alfalfa	Jayzan	-----	-----

* NB= net benefit of crop a in network b

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

راهکارهای کاربردی برای بهبود شرایط موجود ضروری می‌باشد. بدین منظور شاخص‌هایی از جمله عرضه نسبی آب آبیاری و کارایی مصرف آب پیشنهاد گردیده است (Molden et al., 1998).

شاخص عرضه نسبی آب آبیاری

نسبت عرضه آب آبیاری (آب سطحی) به تقاضا آب آبیاری (نیاز آبی گیاه با احتساب بارش مؤثر) را شاخص عرضه نسبی آب آبیاری می‌گویند. این شاخص، شرایط تأمین آب را به لحاظ فراوانی یا کمبود عرضه آب و تطابق عرضه و تقاضا را نشان می‌دهد.

شاخص کارایی مصرف آب

از شاخص‌های اساسی در تعیین کارایی استفاده از آب جهت تولید محصولات کشاورزی، شاخص کارایی مصرف آب می‌باشد که بیانگر نسبت میزان محصول تولیدی بر حسب کیلوگرم به آب تعلق شده بر حسب متر مکعب می‌باشد.

مدل سازی

مدل‌سازی طراحی شده برای سیستم آب کشاورزی مارون، که ایده اولیه این پژوهش از کار تحقیقاتی Li و Dai (2013) می‌باشد، با این تفاوت که مدل توسعه یافته و تابع محدودیت سود خالص جاری رابطه (۵) وارد مدل می‌شود و بایستی سود خالص سطح کشت آبیاری شده در شبکه‌ها برای محصولات در همه دوره‌ها و سناریوها در مدل بهینه‌سازی بزرگتر یا مساوی سود خالص مدیریت سنتی در یک سال آبی باشد. که در ادامه به

مواد و روش‌ها

در ابتدا با استفاده از مدل مونت کارلو به شبیه‌سازی جریان‌های آب طی فصول مختلف پرداخته می‌شود سپس با محاسبه احتمال وقوع، جریان‌ها در سه دسته‌ی شدت زیاد، متوسط و کم دسته بندی می‌شوند. با استفاده از داده‌های حاصله از شبیه‌سازی مونت کارلو و داده‌های فنی، هیدرومتری و اقتصادی، مدل تصادفی چند مرحله‌ای با پارامترهای بازه‌ای برای حدود بالا و پایین پارامترها حل می‌گردد. تخصیص بهینه آب آبیاری از طریق تعیین الگوهای کشت بهینه‌ی محصولات کشاورزی محاسبه و با شرایط فعلی مقایسه گردید.

شبیه سازی مونت کارلو

شبیه‌سازی مونت کارلو روشی بر پایه تکرار می‌باشد که یک پروسه عددی برای تولید اعداد تصادفی بر اساس توزیع احتمالاتی آن‌ها می‌باشد. در این روش ابتدا اعدادی به صورت تصادفی بین صفر و یک انتخاب شده متناسب با هر کدام از احتمالات به دست آمده با استفاده از تابع توزیع احتمال (CDF) حجم آب سال مورد نظر انتخاب و حجم آب ورودی آن سال به صورت سالانه به عنوان یک سری داده ذخیره می‌شود. تابع توزیع احتمال $F(x)$ تابعی است که با احتمال P متغیر x را طوری انتخاب می‌کند که کوچک‌تر و یا مساوی x باشد و به صورت زیر تعریف می‌شود. که در آن $F(x)$ بین صفر و یک است (Hardaker et al., 2015).

شاخص‌های ارزیابی مقایسه‌ای مدیریت آب آبیاری

ارزیابی مستمر مدیریت آبیاری در شبکه‌های آبیاری به منظور تعیین وضعیت موجود، شناخت نقاط قوت و ضعف و یافتن

$$\begin{aligned} & \varepsilon_{(t-1)k}^{\pm} \\ & = Q_{(t-1)k}^{\pm} \\ & - \sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j W_{ij(t-1)}^{\pm} (ST_{ij(t-1)}^{\pm} - SD_{ijtk(t-1)}^{\pm}) \\ & + \varepsilon_{(t-2)}^{\pm}, \forall t, k \end{aligned}$$

(۳) محدودیت آب مازاد

رابطه (۴) محدودیت مربوط به میزان سطح کشت است. حداقل سطح کشت آبیاری شده بعلاوه سطح کشتی که با آب سطحی موجود آبیاری نمی‌شود بایستی بزرگتر یا مساوی صفر باشد و سطح کشت بهینه محاسبه شده بایستی بین میزان ماکزیمم و مینیمم سطح کشت بررسی شده در دوره آماری تحقیق حاضر باشد که برای هر محصول، هر شبکه، هر دوره و هر سناریو حساب می‌شود.

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

(۴) محدودیت میزان سطح کشت

(محدودیت سود جاری در رابطه (۵) که نشان می‌دهد سود خالص سطح کشت آبیاری شده در شبکه‌ها برای محصولات در همه دوره‌ها و سناریوها بایستی بزرگتر یا مساوی سود خالص فعلی در یک سال آبی باشد).

$$\begin{aligned} & \sum_a^A \sum_b^B \sum_p^P \sum_s^S NB_{abps}^{\pm} ST_{abp}^{\pm} \geq \\ & \sum_a^A \sum_b^B \sum_p^P ST_{curabp}^{\pm} * NB_{abp}^{\pm} \end{aligned}$$

(۵) محدودیت سود جاری

رابطه (۶) نشان می‌دهد محدودیت یکسان بودن سطح کشت در هر فصل آبیاری با فصل آبیاری قبل می‌باشد که برای هر محصول، هر شبکه و هر دوره حساب می‌شود.

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

(۶) محدودیت برابر بودن سطح کشت در هر فصل با فصل قبلی

محدودیت رابطه (۷) نشان می‌دهد سطح کشتی که با آب سطحی موجود آبیاری نمی‌شود باید بزرگتر یا مساوی صفر باشد. این رابطه برای هر محصول، هر شبکه، هر دوره و هر سناریو حساب می‌شود.

$$SD_{abps}^{\pm} \geq 0, \forall a, b, p, s \quad (7)$$

که در این روابط W_{abp} نیاز آبی ناخالص محصول a در شبکه b در دوره p (متر مکعب) ، ε_{p-1} آب مازاد وقتی در

تشریح مختصر مدل پرداخته می‌شود. (رابطه ۱ تابع هدف این مدل حداکثر سود ناخالص حاصل از انتقال آب به شبکه‌ها و محصولات در افق برنامه‌ریزی برای چهار فصل کشت (پاییز - زمستان - بهار - تابستان) می‌باشد که به صورت زیر فرموله شده است) (Amanat behbahani et al.,2020).

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

در این رابطه \pm بیانگر عدم قطعیت پارامترها می‌باشد و اینکه بصورت بازهای نشان داده می‌شوند، Z کل بازده برنامه‌ای یا سود ناخالص در یک سال آبیاری (ریال)، a انواع محصولات (گندم، $a=1$ ، کز، $a=2$ ، یونجه، $a=3$)، b شبکه‌های آبیاری، (شبکه مال، $b=1$ ؛ شبکه جنوب، $b=2$ ؛ شبکه جایزان، $b=3$)، 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 (ریال). SD_{abps} سطح کشت که با جریان سطحی Q_t آبیاری نمی‌شود (هکتار).

با لحاظ محدودیت‌های ذیل:

رابطه (۲) محدودیت آب موجود است. یعنی اینکه کل آب تخصیص یافته به سطوح کشت آبیاری شده در هر شبکه باید کمتر یا مساوی حجم آب عرضه شده به هر شبکه به علاوه آب مازاد از فصل آبیاری قبل باشد. این رابطه برای هر شبکه، هر دوره و هر سناریو حساب می‌شود.

$$\begin{aligned} & \sum_{a=1}^A \sum_{b=1}^B W_{abp}^{\pm} (ST_{abp}^{\pm} - SD_{abps}^{\pm}) \\ & \leq Q_{ps}^{\pm} + \varepsilon_{(p-1)s}^{\pm}, \forall p, \forall s \end{aligned}$$

(۲) محدودیت عرضه آب

محدودیت رابطه (۳) مربوط به میزان آب مازاد از فصل آبیاری قبل هر شبکه می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود. کل آب تخصیص یافته به سطوح کشت آبیاری شده به علاوه آب مازاد از دو فصل آبیاری قبل محاسبه شده را از حجم آب عرضه شده به هر شبکه کم کنیم. این رابطه برای هر شبکه، هر دوره و هر سناریو حساب می‌شود.

محاسبه حجم آب ورودی به شبکه‌های آبیاری به دلیل ماهیت تصادفی بودن، با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی مونت کارلو و تولید اعداد تصادفی در نرم افزار Easy fit می‌توان حجم آب ورودی به شبکه‌ها را به صورت تصادفی محاسبه نمود (جدول ۳) (Karamouz et al., 2003).

برآورد نیاز آبی کشاورزی

در این تحقیق نیاز آبی محصولات توسط نرم افزار REFET با روش فائو-پنمن-مانیت و داده‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه محاسبه شده است (Allen et al. 1999-2000). قابل ذکر است با در نظر گرفتن حد بالا و پایین راندمان آبیاری منطقه نیاز آبی به صورت بازه‌ای در نظر گرفته شده است (جدول ۴ و ۵).

۳-۵- اجرای مدل بهینه‌سازی

در این قسمت نتایج اجرای مدل مدیریت بهینه حاصل از انتقال آب به شبکه‌ها و محصولات کشاورزی در افق برنامه‌ریزی برای چهار فصل کشت (پاییز- زمستان- بهار- تابستان) تحت سه سناریو شدت جریان (زیاد- نرمال- کم) ارائه می‌گردد. قابل ذکر است پویایی دوره‌های تصمیم‌گیری برای تخصیص آب در کل مراحل تصمیم‌گیری لحاظ شده است. متغیرهای تصمیم برای فصول یک تا چهار به ترتیب برابر است با ۲۴۳-۲۴۳-۸۱-۲۷ که تخصیص بهینه آب برای محصولات مختلف را تحت سناریوهای مختلف جریان حمایت می‌کند. این نتایج در تخصیص آب آبیاری، مدیریت تنظیم سطوح الگوی کشت با شروع سال آبیاری و تخصیص مجدد آب طبق سناریوهای جریان مختلف و الگوی کشت بهینه در هر شبکه آبیاری منطقه مورد مطالعه می‌تواند کارآمد باشد.

سطح الگوی کشت بهینه

(سطح الگوی کشت بهینه مشخص شده که تمامی محصولات در همه شبکه‌ها خود را با حد پایین بهینه تطبیق می‌دهد در رابطه (۱۱) ارائه شده است).

$$ST_{ijtopt}^{\pm} = ST_{ijt}^{-} \quad (11)$$

سطح الگوی کشت بهینه نشان داد که در هر سه شبکه، ابتدا گندم و بعد یونجه بیشترین سطح کشت را نسبت به کلزا دارند (جدول ۶). نتایج ذکر شده با نتایج Dai و Li (2013) در یک راستا قرار می‌گیرد.

لازم به ذکر است، هنگامی که ST_{ijtopt}^{\pm} در پایین‌ترین حد خود قرار دارد اگر آب مورد نیاز تأمین شود کمترین میزان سود و اگر تأمین نشود، کمترین ضرر برای سیستم به دست می‌آید. به عبارت دیگر در این حالت حداقل ریسک در سیستم وجود دارد و

دوره $p-1$ آب تحویل داده می‌شود (میلیون متر مکعب)، ε_{p-2} آب مازاد وقتی در دوره $p-2$ آب تحویل داده می‌شود (میلیون متر مکعب)، ST_{abpmax} حداکثر سطح کشت در طول دوره آماری بررسی شده محصول a در شبکه ST_{abpmin} حداقل سطح کشت در طول دوره آماری بررسی شده محصول a در شبکه b . پارامتر تصادفی آب سطحی موجود برای آبیاری در دوره p (میلیون متر مکعب) Q_p . مقادیری از q_{ps} با سطوح احتمالاتی P_{ps} برای سناریو s در دوره p . (با توجه به حل دو زیر مدل فوق جواب مدل اصلی به صورت دو رابطه (۸) و (۹) بیان می‌شود).

$$z_{opt}^{\pm} = [z_{opt}^{-}, z_{opt}^{+}] \quad (8)$$

$$SD_{abpsopt}^{\pm} = [SD_{abpsopt}^{-}, SD_{abpsopt}^{+}] \quad \forall a, b, p, s \quad (9)$$

که در آن $z_{opt}^{\pm}, ST_{abpop}^{\pm}, SD_{abpsopt}^{\pm}$ به ترتیب حد بالا و پایین سود بهینه، سطح بهینه الگوی کشت برای محصول a در زیرناحیه b ، دوره p و سطح 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 مرحله‌ای از رابطه (۱۰) به دست می‌آید

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

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

نتایج و بحث

برآورد احتمال شدت جریان و سناریوها

برای به دست آوردن احتمال شدت جریان آب (کم، متوسط، زیاد) بر اساس داده‌های بارندگی ۳۰ سال گذشته (۱۳۹۵-۱۳۶۵) در محل سد و با استفاده از نرم افزار Morid et al. (2004) DIP و شاخص بارندگی استاندارد برای ایستگاه‌های منتخب، درصد سال‌های خشک و متوسط و تر محاسبه شد و از این درصدها برای احتمال وقوع سطح جریان کم، متوسط و زیاد خروجی آب سد استفاده شد (Mckee et al, 1993). نتایج نشان داد در حوزه سد مارون به صورت متوسط در ۶۰ درصد حالات دارای سال نرمال، ۲۰ درصد ترسالی و ۲۰ درصد خشکسالی بوده است. در ادامه برای

عبارت دیگر در این حالت حداکثر ریسک در سیستم وجود دارد و زمانی کاربرد دارد که مدیر برای آب در دسترس نگرش خوش بینانه دارد.

زمانی کاربرد دارد که مدیر برای آب در دسترس نگرش محافظه کارانه دارد. در صورتی که ST_{ijtopt}^{\pm} در بالاترین حد خود قرار گیرد اگر آب مورد نیاز تأمین شود بیشترین میزان سود و اگر تأمین نشود، بیشترین ضرر برای سیستم به دست می آید. به

جدول ۳- جریان ورودی آب به شبکه‌ها برای آبیاری تحت سه سناریو شدت جریان در چهار فصل زمانی رشد (میلیون متر مکعب) به صورت تصادفی

Table 3- The stochastic input inflow to the networks for irrigation under 3 scenarios of inflow intensity in 4 seasons of crop growth (MM³)

t	Available Water												
	Fall			Winter			Spring			Summer			
Scenario	P%	North	South	Jayzan	North	South	Jayzan	North	South	Jayzan	North	South	Jayzan
Low	20	(0.02-0.03)	(1.5-3)	(0.02-0.03)	(4-10)	(3-9)	(1.3-2.4)	(4-9)	(1.4-3)	0	0	0	0
moderate	60	(10-16)	(13-21)	(7-14)	(10-16.5)	(13-21)	(8-19)	(10-16)	(14-24)	(2-3)	(7-8)	(18.5-28)	0
High	20	(14-21)	(32.5-54)	(23-41)	(13-23)	(16-25)	(20.5-27)	(10-19)	(19-49.5)	(5.4-10.3)	(12-20)	(24-35)	(14-20)

* P=Probability

Source: Research Findings

جدول ۴- نیاز آبی محصولات با در نظر گرفتن بارش مؤثر در شبکه‌های شمال و جنوب (بر حسب متر مکعب)

Table 4- Water requirement of products during different seasons of growth in North and South networks (M³)

Crop	Fall	Winter	Spring	Summer
Wheat	33-69	221 - 4623	1060-2208	0
Colza	118-246	2244.5-4676	591-1230	0
Alfalfa	2759-5744	394-821	6699-13957	9852-20525

جدول ۵- نیاز آبی محصولات با در نظر گرفتن بارش مؤثر در شبکه جایزان (بر حسب متر مکعب)

Table 5- Water requirements during different seasons of growth in the Jayzan network (M³)

Crop	Fall	Winter	Spring	Summer
Wheat	278-313	7508-8447	6117-6889	0
Colza	602-677	7822-8799	3610-4061	0
Alfalfa	0	0	0	0

جدول ۶- سطح کشت بهینه (هکتار)

Table 6 - Optimized irrigation area in networks(Ha)

Network	ST_{abp}^{\pm}		
	Wheat	Colza	Alfalfa
North	4570-2400	51-10	539-291
south	6563-2582	128-4.5	2620-2022
Jayzan	3433-1891	362-0	-

تخصیص آب آبیاری

در این قسمت با استفاده از رابطه (۱۰) سطح کشت محصولات آبیاری که با آب سطحی آبیاری شده‌اند (SA_{abps}^{\pm}) طی سناریوهای مختلف جریان در چهار فصل رشد در شبکه‌ها برای حد پایین و بالای مدل تعیین می‌شود.

حل مدل

نتایج سطح کشت (هکتار) واقعی آبیاری SA_{abps}^{\pm} محصولات در شبکه‌های مختلف برای سه حالت در فصل پاییز ارائه شده است (جدول ۷). همانطور که قابل مشاهده است محصول گندم تحت هر سه سناریو جریان بیشترین رقابت را نسبت به سایر محصولات دارد. در مقایسه سناریوهای کم و متوسط نسبت به سناریو زیاد جریان هر محصول، گندم شبکه شمال و جنوب و جایزان در سناریو کم به ترتیب از راست به چپ (۰-۶۱)، (۰-۱۰۰) (۹۹-۴۴)، کلزا شبکه شمال و جنوب در سناریو کم به ترتیب (۰-۸۶) و (۰-۳۴)، یونجه شبکه جنوب در سناریو کم (۸۴-۷۸)

و در سناریو متوسط (۶۹-۶۷) درصد کاهش سطح دارند. اما یونجه شبکه شمال در سناریو متوسط (۹۸-۰) درصد نسبت به سناریو زیاد افزایش سطح دارد. در مدل حد بالا، گندم در هر سه سناریو به صورت کامل آبیاری می‌شود به جز سناریو کم در ناحیه جایزان ($SA_{131L}^{\pm} = [18,1884]ha$). کلزا در دو سناریو زیاد و متوسط تأمین آب و در سناریو کم، شبکه شمال و جنوب دچار کمبود آب و در شبکه جایزان تأمین آب نمی‌شود. یونجه شبکه شمال به جز سناریو متوسط در دو سناریو دیگر با کمبود آب مواجه می‌گردد و یونجه شبکه جنوب در هر سه سناریو تا حدی آبیاری می‌شود.

در مدل حدپایین، گندم در دو سناریو زیاد و متوسط، کلزا در هر سه سناریو به جز شبکه جایزان بصورت کامل تأمین آب می‌شود. یونجه شبکه شمال در هر سه سناریو تقریباً تأمین آب نمی‌شود و در شبکه جنوب در هر سه سناریو با کمبود آب مواجه می‌شود.

جدول ۷- حل مدل تصادفی برنامه‌ریزی چند مرحله‌ای توسعه یافته در فصل پاییز

Table 7- Solution of the optimization model developed in fall

Symbol	Senario	Period	Subarea	Crop	ST	SD	SA
1111	H	autumn	North	Wheat	2569-4570	0	2569-4570
2111	H	autumn	North	Colza	1-51	0	1-51
3111	H	autumn	North	alfaalfa	291-535	288-0	3-535
1211	H	autumn	South	Wheat	2582-6563	0	2582-6563
2211	H	autumn	South	Colza	4.4-128	0	4.4-128
3211	H	autumn	South	alfaalfa	2022-2620	238-0	1784-2620
1311	H	autumn	Jayzan	Wheat	1891-3423	0	1891-3423
2311	H	autumn	Jayzan	Colza	0-322	0	0-322
3311	H	autumn	Jayzan	alfaalfa	0	0	0-0
1112	M	autumn	North	Wheat	2569-4570	0	2569-4570
2112	M	autumn	North	Colza	1-51	0	1-51
3112	M	autumn	North	alfaalfa	291-535	0	291-535
1212	M	autumn	South	Wheat	2582-6563	0	2582-6563
2212	M	autumn	South	Colza	4.4-128	0	4.4-128
3212	M	autumn	South	alfaalfa	2022-2620	1443-0	579-2620
1312	M	autumn	Jayzan	Wheat	1891-3423	0	1891-109
2312	M	autumn	Jayzan	Colza	0-322	0	0-322
3312	M	autumn	Jayzan	alfaalfa	0	0	0-0
1113	L	autumn	North	Wheat	2569-4570	1591-0	978-4570
2113	L	autumn	North	Colza	1-51	0	1-1.5
3113	L	autumn	North	alfaalfa	291-535	28-3.5	3-531.5
1213	L	autumn	South	Wheat	2582-6563	2582-0	0-6563
2213	L	autumn	South	Colza	4.4-128	0-38.5	4.4-89.5
3213	L	autumn	South	alfaalfa	2022-2620	1738-1868	284-752
1313	L	autumn	Jayzan	Wheat	1891-3423	7-3405	1884-18
2313	L	autumn	Jayzan	Colza	0-322	0-322	0-0
3313	L	autumn	Jayzan	alfaalfa	0	0	0

جدول ۸- حل مدل تصادفی برنامه‌ریزی چند مرحله‌ای توسعه یافته در فصل زمستان

Table 8 - Solution of the optimization model developed in winter

Symbol	Senario	Period	Subarea	Crop	ST	SD	SA
1121	HH	winter	North	Wheat	2569-4570	0	2569-4570
2121	HH	winter	North	Colza	1-51	0	1-51
3121	HH	winter	North	alfaalfa	291-535	288-182	3-535
1221	HH	winter	South	Wheat	2582-6563	0	2582-6563
2221	HH	winter	South	Colza	4.4-128	0	4.4-128
3221	HH	winter	South	alfaalfa	2022-2620	238-0	1784-2620
1321	HH	winter	Jayzan	Wheat	1891-3423	0	1891-3403
2321	HH	winter	Jayzan	Colza	0-322	0	0-322
3321	HH	winter	Jayzan	alfaalfa	0	0	0-0
1125	MM	winter	North	Wheat	2569-4570	0	2569-4570
2125	MM	winter	North	Colza	1-51	0	1-51
3125	MM	winter	North	alfaalfa	291-535	0	291-535
1225	MM	winter	South	Wheat	2582-6563	0	2582-6563
2225	MM	winter	South	Colza	4.4-128	0	4.4-128
3225	MM	winter	South	alfaalfa	2022-2620	1443-0	579-2620
1325	MM	winter	Jayzan	Wheat	1891-3423	0	1891-3403
2325	MM	winter	Jayzan	Colza	0-322	0	0-322
3325	MM	winter	Jayzan	alfaalfa	0	0	0-0
1129	LL	winter	North	Wheat	2569-4570	1591-0	978-4570
2129	LL	winter	North	Colza	1-51	1-49.5	1-1.5
3129	LL	winter	North	alfaalfa	291-535	288-0	3-0
1229	LL	winter	South	Wheat	2582-6563	2582-0	0-6563
2229	LL	winter	South	Colza	4.4-128	0-38.5	4.4-89.5
3229	LL	winter	South	alfaalfa	2022-2620	1739-2620	283-0
1329	LL	winter	Jayzan	Wheat	1891-3423	7-3423	1884-0
2329	LL	winter	Jayzan	Colza	0-322	0-322	0-0
3329	LL	winter	Jayzan	alfaalfa	0	0	0-0

هر محصول، گندم شبکه شمال در سناریو کم (۱۰۰-۸۷) و در شبکه جایزان با سناریو متوسط (۴۰-۳۶) و در سناریو کم ۱۰۰، کلزا شبکه شمال و جنوب در سناریو کم به ترتیب (۹۷-۰) و (۹۹-۰)، یونجه شبکه شمال در دو سناریو کم و متوسط (۹۹-۰) و (۵۴-۰) یونجه شبکه جنوب در دو سناریو کم و متوسط (۹۸-۰) و (۵۰-۰) درصد کاهش سطح دارند. در مدل حد بالا، سطح کشت محصولات تحت دو سناریو زیاد و متوسط به جز SA_{133M} همه تأمین آب می‌شوند. تحت سناریو جریان کم به جز SA_{123L} تمامی محصولات در شبکه‌های شمال و جنوب با کمبود آب مواجه می‌شوند و تحت این سناریو هیچ محصولی در شبکه جایزان تأمین آب نمی‌شود. تحت سناریو (کم-کم-کم) به‌طور مثال جریان‌ها در سه دوره پیشین همگی کم هستند فقط گندم شبکه جنوب به‌صورت کامل آبیاری می‌شود اما در مدل حد پایین، سطح کشت گندم تحت سناریو زیاد و متوسط به جز SA_{133M} تأمین آب می‌شوند. کلزا در هر سه سناریو در شبکه‌های شمال و جنوب تأمین آب می‌شود اما در شبکه جایزان تحت هر سه سناریو تأمین آب نمی‌شود. یونجه در دو سناریو زیاد و متوسط در دو شبکه شمال و جنوب با کمبود آب مواجه می‌شود و در سناریو کم در هر دو شبکه تأمین آب نمی‌شود.

در فصل زمستان نتایج براساس نه حالت ارائه شده‌اند (جدول ۸). همان‌طور که قابل مشاهده است محصول گندم در هر سه سناریو جریان بیشترین رقابت را نسبت به سایر محصولات دارد. در مقایسه سناریوهای کم و متوسط نسبت به سناریو زیاد جریان هر محصول، گندم شبکه شمال در سناریو کم (۱۰۰-۸۷) و در شبکه جایزان با سناریو متوسط (۴۰-۳۶)، کلزا شبکه شمال در سناریو کم (۹۷-۰)، یونجه شبکه شمال در دو سناریو کم و متوسط (۱۰۰-۹۹) و (۵۴-۰)، یونجه شبکه جنوب در سناریو کم (۷۴-۳۷) و در سناریو متوسط (۵۰-۰) درصد کاهش سطح دارند. در مدل حد بالا، تمامی محصولات تحت دو سناریو زیاد و متوسط به‌جز گندم شبکه جایزان، تأمین آب می‌شوند (یعنی با آب سطحی موجود آبیاری می‌شوند). تحت سناریو جریان کم، دو محصول گندم و کلزا به‌جز شبکه جنوب در بقیه شبکه‌ها با کمبود آب مواجه می‌شوند و یونجه در هر دو شبکه با کمبود آب مواجه می‌شود. در مدل حد پایین سطح کشت گندم در دو سناریو زیاد و متوسط و کلزا در هر سه سناریو به‌جز شبکه جایزان تأمین آب می‌شوند. در این مدل یونجه در هر سه سناریو با کمبود آب مواجه شده و در سناریو کم، شبکه شمال تأمین آب نمی‌شود. در فصل بهار نتایج براساس ۲۷ حالت ارائه شده‌اند (جدول ۹). در مقایسه سناریوهای کم و متوسط نسبت به سناریو زیاد جریان

جدول ۹- حل مدل تصادفی برنامه‌ریزی چند مرحله‌ای توسعه یافته در فصل بهار

Table 9-Solution of the optimization model developed in spring

Symbol	Senario	Period	Subarea	Crop	ST	SD	SA
1131	HHH	spring	North	Wheat	2569-4570	0	2569-4570
2131	HHH	spring	North	Colza	1-51	0	1-51
3131	HHH	spring	North	alfaalfa	291-535	288-0	3-535
1231	HHH	spring	South	Wheat	2582-6563	0	2582-6563
2231	HHH	spring	South	Colza	4.4-128	0	4.4-128
3231	HHH	spring	South	alfaalfa	2022-2620	238-0	1784-2620
1331	HHH	spring	Jayzan	Wheat	1891-3423	0-18	1891-3405
2331	HHH	spring	Jayzan	Colza	0-322	0	0-322
3331	HHH	spring	Jayzan	alfaalfa	0	0	0
11314	MMM	spring	North	Wheat	2569-4570	0	2569-4570
21314	MMM	spring	North	Colza	1-51	0	1-51
31314	MMM	spring	North	alfaalfa	291-535	0	291-535
12314	MMM	spring	South	Wheat	2582-6563	0	2582-6563
22314	MMM	spring	South	Colza	4.4-128	0	4.4-128
32314	MMM	spring	South	alfaalfa	2022-2620	1443-0	579-2620
13314	MMM	spring	Jayzan	Wheat	1891-3423	0-2535	1891-1070
23314	MMM	spring	Jayzan	Colza	0-322	0	0-322
33314	MMM	spring	Jayzan	alfaalfa	0	0	0-0
11327	LLL	spring	North	Wheat	2569-4570	1591-0	562-4570
21327	LLL	spring	North	Colza	1-51	0-49.5	1-1.5
31327	LLL	spring	North	alfaalfa	291-535	291-535	0-0
12327	LLL	spring	South	Wheat	2582-6563	2582-.0	0-6563
22327	LLL	spring	South	Colza	4.4-128	0-38.5	4.4-89.5
32327	LLL	spring	South	alfaalfa	2022-2620	2022-2620	0-0
13327	LLL	spring	Jayzan	Wheat	1891-3423	1891-3423	0-0
23327	LLL	spring	Jayzan	Colza	0-322	0-322	0-0
33327	LLL	spring	Jayzan	alfaalfa	0	0	0-0

جدول ۱۰- حل مدل تصادفی برنامه‌ریزی چند مرحله‌ای توسعه یافته در فصل تابستان

Table 10-Solution of the optimization model developed in summer

Symbol	Senario	Period	Subarea	Crop	ST	SD	SA
3141	HHHH	summer	North	alfaalfa	291-535	288-0	3-535
3241	HHHH	summer	South	alfaalfa	2022-2620	238-0	1784-2620
31441	MMMM	summer	North	alfaalfa	291-535	0	291-535
32441	MMMM	summer	South	alfaalfa	2022-2620	1443-0	579-2620
31481	LLLL	summer	North	alfaalfa	291-535	291-535	0
32481	LLLL	summer	South	alfaalfa	2022-2620	2022-2620	0

می‌شود. در مدل حد پایین، در دو سناریو زیاد و متوسط با کمبود آب مواجه می‌شود و در سناریو کم تأمین آب نمی‌شود.

مقایسه سطح کشت بهینه شده نسبت به مدیریت سنتی

کل سطح قابل کشت برای کلزا و گندم و یونجه با آب موجود در مدیریت سنتی (۵۰-۱۴۴۳۴) هکتار در سه شبکه می‌باشد. نتایج ارائه شده نشان دادند در مدل توسعه یافته سطح کشت بین (۲-۲۶) درصد با افزایش نسبت به سطح کشت مدیریت سنتی روبرو شده که به تبع آن سود نیز {۹۲-۲۵} درصد افزایش یافته است.

در فصل تابستان با توجه به اینکه گندم و کلزا برداشت شده‌اند و فقط یونجه کشت شده نیاز به آبیاری دارد، این فصل با آب در دسترس بیشتر و تقاضای کمتر نسبت به فصول قبلی دارای شرایط آبیاری بهینه‌تر می‌باشد (جدول ۱۰).

درمقایسه سناریوهای کم و متوسط نسبت به سناریو زیاد جریان محصول یونجه، شبکه شمال در سناریو کم (۹۹-۱۰۰) و در سناریو متوسط (۰-۵۴) و شبکه جنوب در سناریو کم (۹۹-۱۰۰) درصد کاهش سطح دارند.

در مدل حد بالا، آبیاری تحت دو سناریو زیاد و متوسط یونجه به صورت کامل آبیاری و در سناریو کم با کمبود آب مواجه

کم در فصول مختلف نشان می‌دهد که بیشترین کارایی مصرف در فصل بهار و کمترین در فصل تابستان اتفاق می‌افتد.

شکل (۳) میانگین شاخص کارایی مصرف آب تحت سناریو متوسط در هر سه شبکه شمال و جنوب و جایزان در چهار فصل رشد را نشان می‌دهد. در مدل حد بالا بیشترین کارایی مصرف آب برای شبکه شمال به میزان ۰/۷ کیلوگرم بر مترمکعب در فصول پاییز و زمستان و بهار برای شبکه جنوب به میزان ۰/۷ کیلوگرم بر متر مکعب در فصل زمستان و بهار برای شبکه جایزان به میزان ۰/۳ کیلوگرم بر مترمکعب برای فصول پاییز و زمستان و بهار اتفاق می‌افتد. در مدل حد پایین بیشترین کارایی مصرف آب برای شبکه شمال و جنوب به میزان ۰/۸ کیلوگرم بر مترمکعب در فصل تابستان برای شبکه جایزان به میزان صفر اتفاق می‌افتد. مقایسه سناریو متوسط در فصول مختلف نشان می‌دهد که بیشترین کارایی مصرف در فصل زمستان و بهار و کمترین در فصل تابستان اتفاق می‌افتد.

مقایسه کارایی مصرف آب بین محصولات در سناریوهای مختلف در مدل توسعه یافته

در شکل (۲) میانگین شاخص کارایی مصرف آب تحت سناریو کم در هر سه شبکه شمال و جنوب و جایزان در چهار فصل رشد را نشان می‌دهد. در مدل حد بالا بیشترین کارایی مصرف آب برای شبکه شمال به میزان ۰/۷۴ کیلوگرم بر مترمکعب در فصل زمستان و بهار برای شبکه جنوب به میزان ۰/۷۴ کیلوگرم بر متر مکعب در فصل بهار و شبکه جایزان به میزان ۰/۱ کیلوگرم بر مترمکعب برای فصل پاییز اتفاق می‌افتد. در مدل حد پایین بیشترین کارایی مصرف آب برای شبکه شمال به میزان ۰/۲ کیلوگرم بر مترمکعب در فصل زمستان برای شبکه جنوب به میزان ۰/۸۶ کیلوگرم بر متر مکعب در فصل زمستان و بهار و شبکه جایزان به میزان صفر اتفاق می‌افتد. مقایسه سناریو

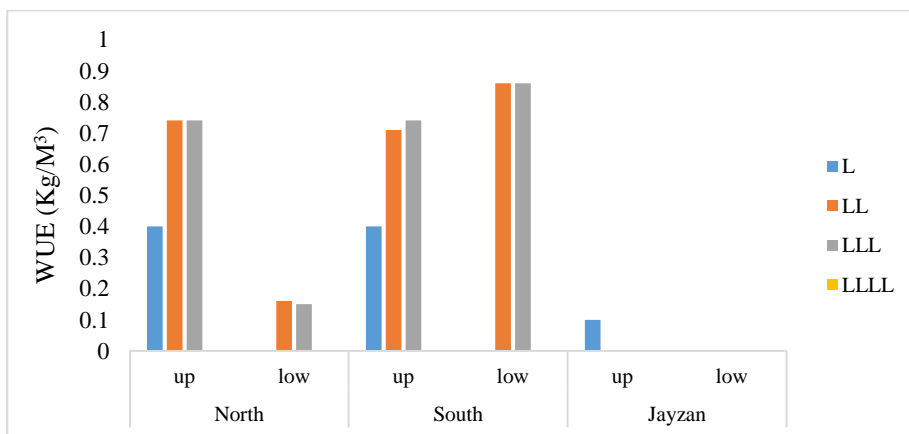


Fig. 2- Comparison of WUE index in four seasons under the low scenario in networks
شکل ۲- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب در شبکه‌های مختلف تحت سناریو کم در چهار فصل رشد

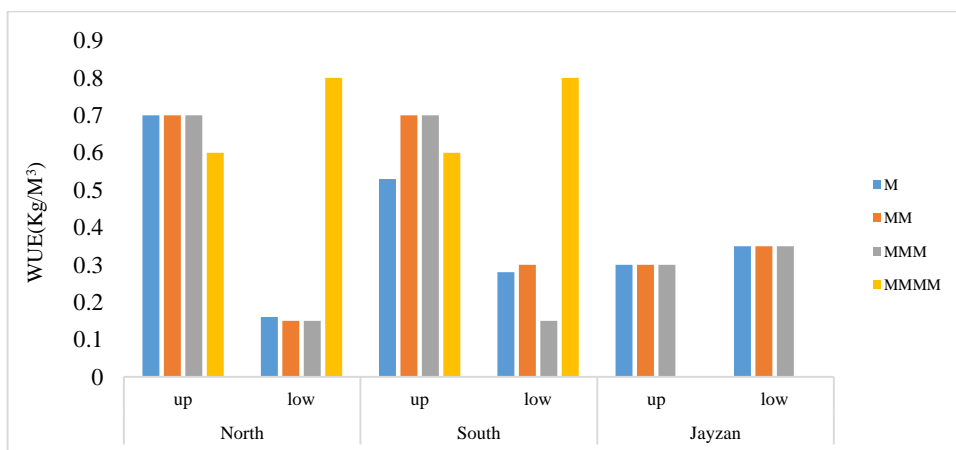


Fig. 3- Comparison of WUE index in four seasons under the moderate scenario in networks
شکل ۳- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب در شبکه‌های مختلف تحت سناریو متوسط در چهار فصل رشد

میانگین کارایی مصرف آب در شبکه‌ها در مدیریت سنتی مورد مقایسه قرار گرفته است (شکل ۵ و ۶). در شبکه شمال و جنوب حد بالا مدل بهینه سازی نسبت به مدیریت سنتی به ترتیب ۲۴ و ۲۱ درصد افزایش و در شبکه جازان با ۳۶ درصد کاهش میزان بهره‌وری مواجه خواهد شد. در شبکه شمال و جنوب حد پایین مدل بهینه سازی نسبت به مدیریت سنتی به ترتیب ۴۴ و ۴۰ درصد افزایش و در شبکه جازان با ۲۰ درصد کاهش میزان کارایی مصرف آب مواجه خواهد شد. (لازم به توضیح است به دلیل عملکرد پایین محصولات، سطح کشت در شبکه جازان در اجرای مدل بهینه کاهش یافته است که متعاقباً باعث کاهش میزان کارایی مصرف آب شده است). قابل ذکر است شاخص کارایی مصرف آب در تحقیق Ren et al (2019) که برای مدل برنامه‌ریزی پیچیده‌ای برای بهینه‌سازی تخصیص منابع آب آبیاری ارائه داده بودند نیز بهبود یافته است. قابل ذکر است که مقایسه شاخص کارایی مصرف آب در سناریوهای مختلف مدل توسعه یافته نشان داد که میزان بیشتر حجم آب رها شده در سناریو زیاد نسبت به سناریو متوسط اثری در بهبود کارایی مصرف آب نداشته اما در سناریو متوسط نسبت به سناریو کم با افزایش روبرو شده است.

در شکل (۴) میانگین شاخص کارایی مصرف آب تحت سناریو زیاد در هر سه شبکه شمال و جنوب و جازان در چهار فصل رشد را نشان می‌دهد. در مدل حد بالا بیشترین کارایی مصرف آب برای شبکه شمال به میزان ۰/۷۴ کیلوگرم بر مترمکعب در فصل زمستان برای شبکه جنوب به میزان ۰/۷ کیلوگرم بر متر مکعب در فصل بهار برای شبکه جازان به میزان ۰/۳ کیلوگرم بر مترمکعب برای فصول پاییز و زمستان اتفاق می‌افتد. در مدل حد پایین بیشترین کارایی مصرف آب برای شبکه شمال و جنوب به میزان ۰/۸ کیلوگرم بر مترمکعب در فصل تابستان برای شبکه جازان به میزان صفر به میزان صفر اتفاق می‌افتد. مقایسه سناریو زیاد در فصول مختلف نشان می‌دهد که بیشترین کارایی مصرف در فصل زمستان و بهار و کمترین در فصل تابستان اتفاق می‌افتد.

مقایسه شاخص کارایی مصرف آب شبکه‌ها در مدل بهینه سازی با مدیریت سنتی

به منظور بررسی اثر تغییر مدیریت توزیع و تخصیص آب بر میزان شاخص کارایی مصرف آب، نتایج میانگین شاخص کارایی مصرف آب در شبکه‌ها در دو حد بالا و پایین مدل بهینه‌سازی با

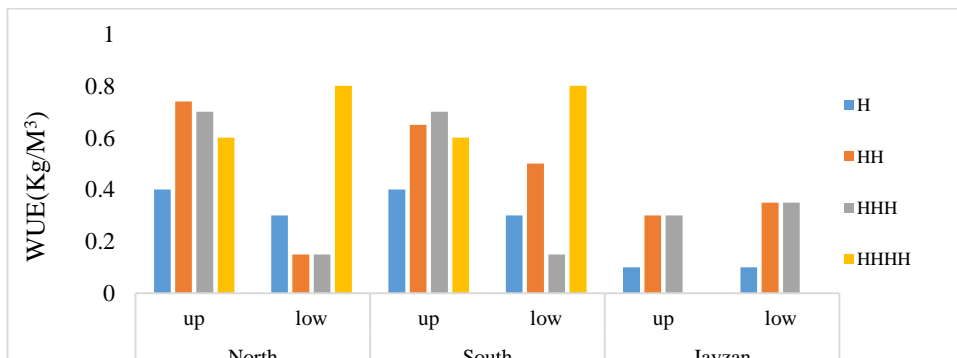


Fig. 4- Comparison of WUE index in four seasons under the high scenario in networks

شکل ۴- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب در شبکه‌های مختلف تحت سناریو زیاد در چهار فصل رشد

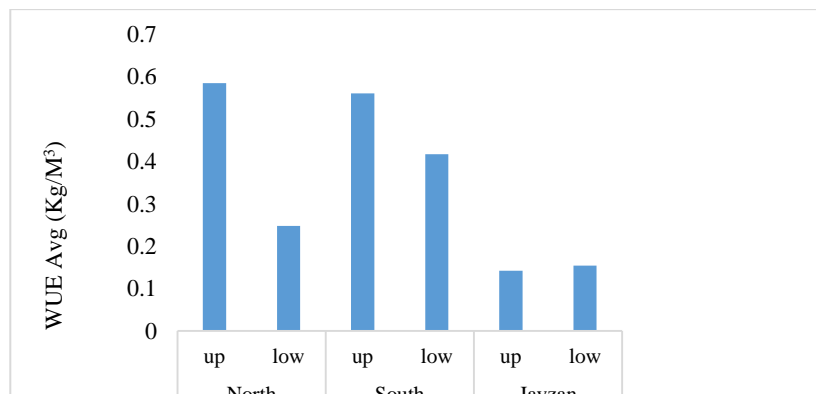


Fig. 5 - Average WUE index in networks in two optimization sub-models

شکل ۵- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب در شبکه‌های مختلف در دو حد مدل توسعه یافته

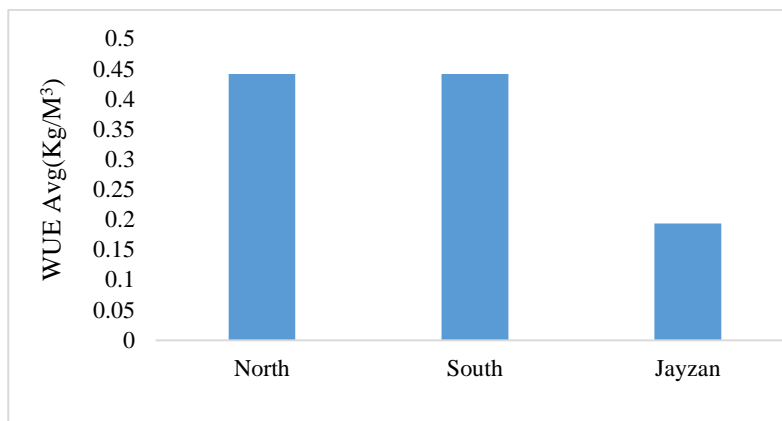
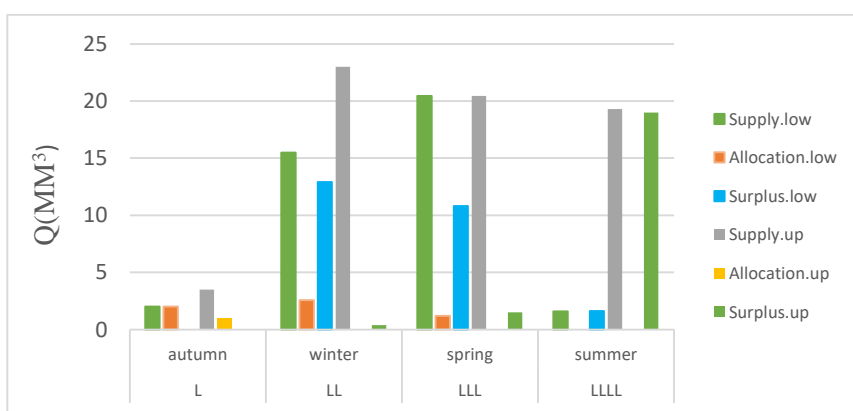


Fig. 6 - Comparison of Average WUE index in networks in the actual management

شکل ۶- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب در شبکه‌های مختلف در مدیریت سستی



شکل ۷- مقایسه شاخص عرضه نسبی آب آبیاری در چهار فصل تحت سناریو کم

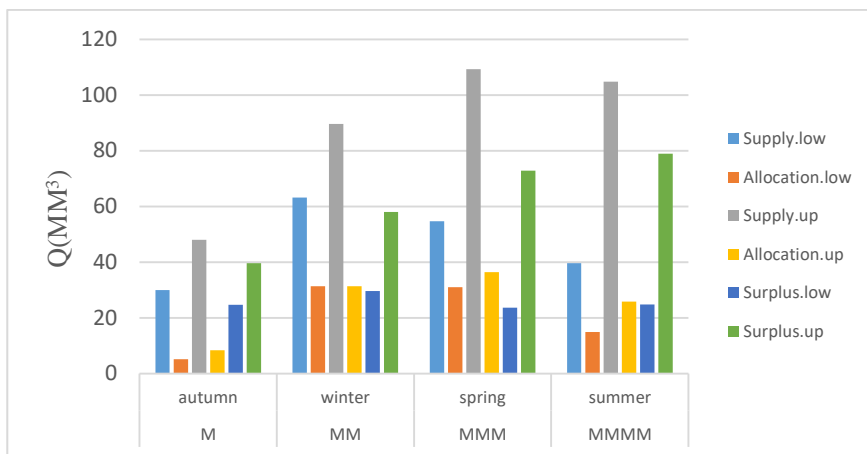
Fig. 7 - Comparison of Relative Irrigation Supply index in four seasons under the low scenario in networks

فصل پاییز اتفاق می‌افتد. در این سناریو بیشترین و کمترین آب مازاد به ترتیب در فصل زمستان و پاییز می‌باشد.

شکل (۸) نشان می‌دهد که در مدل حد پایین تحت سناریو متوسط شاخص عرضه نسبی آب آبیاری به ترتیب در فصل پاییز ۸۲ درصد، در فصل زمستان ۴۷ درصد فصل بهار ۴۳ درصد و در فصل تابستان ۶۲ درصد می‌باشد. کمترین اختلاف بین عرضه و تخصیص آبیاری در فصل بهار اتفاق می‌افتد. در این سناریو بیشترین و کمترین آب مازاد به ترتیب در فصل زمستان و بهار می‌باشد. در مدل حد بالا تحت سناریو متوسط شاخص عرضه نسبی آب آبیاری به ترتیب در فصل پاییز ۸۲ درصد، در فصل زمستان ۶۵ درصد در فصل بهار ۷۰ درصد و در فصل تابستان ۷۵ درصد می‌باشد. کمترین اختلاف بین عرضه و تخصیص آبیاری در فصل بهار اتفاق می‌افتد. در این سناریو بیشترین و کمترین آب مازاد به ترتیب در فصل تابستان و پاییز می‌باشد.

مقایسه شاخص عرضه نسبی آب آبیاری تحت سناریوهای مختلف جریان

شاخص عرضه نسبی آب آبیاری برای حد پایین مدل طی فصول مختلف رشد محصولات در شبکه‌ها، تحت سه سناریو در اشکال (۷) الی (۹) ارائه شده است. شکل (۷) نشان می‌دهد که در مدل حد پایین تحت سناریو کم شاخص عرضه نسبی آبیاری به ترتیب در فصل پاییز صفر در فصل زمستان ۸۳ درصد در فصل بهار ۵۲ درصد و در فصل تابستان ۱۰۰ درصد می‌باشد. کمترین اختلاف بین عرضه تخصیص آبیاری در فصل پاییز اتفاق می‌افتد. در این سناریو بیشترین و کمترین آب مازاد به ترتیب در فصل زمستان و پاییز می‌باشد. در مدل حد بالا مدل تحت سناریو کم شاخص عرضه نسبی آبیاری به ترتیب در فصل پاییز صفر در فصل زمستان یک در فصل بهار هفت درصد و در فصل تابستان ۹۸ درصد می‌باشد. کمترین اختلاف بین عرضه و تخصیص آبیاری در



شکل ۸- مقایسه شاخص عرضه نسبی آب آبیاری در چهار فصل تحت سناریو متوسط

Fig. 8 - Comparison of Relative Irrigation Supply index in four seasons under the moderate scenario in networks

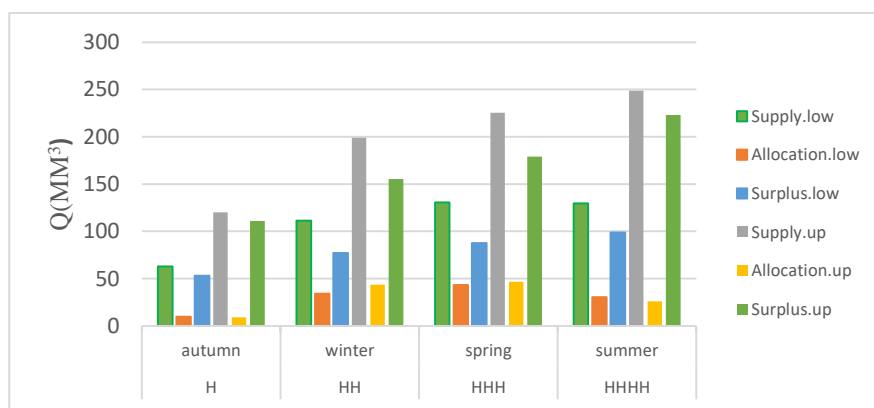


Fig. 9- Comparison of Relative Irrigation Supply index in four seasons under the high scenario in networks

شکل ۹- مقایسه شاخص عرضه نسبی آب آبیاری در چهار فصل تحت سناریو زیاد

مقایسه شاخص عرضه نسبی در مدیریت سنتی

مقایسه شاخص عرضه نسبی آب آبیاری در هر سه شبکه در فصل‌های پاییز، زمستان، بهار، تابستان ارائه شده است (شکل ۱۰). میزان عرضه در شبکه‌های شمال، جنوب و جایزان در فصل پاییز (۸۳-۳۸-۵۶)، زمستان (۵۵-۲۷-۱۲)، بهار (۷۷-۴-۵۱) و تابستان (۰-۲۲-۷۵) درصد بیشتر از میزان تقاضا بوده است. کم‌ترین اختلاف بین عرضه و تخصیص آبیاری که منجر به بهره‌وری بیشتر از آب می‌شود در شبکه‌های شمال و جنوب و جایزان به- ترتیب فصل زمستان، بهار، تابستان می‌باشد.

شکل (۹) نشان می‌دهد که در مدل حد پایین تحت سناریو زیاد شاخص عرضه نسبی آب آبیاری به ترتیب در فصل پاییز ۰/۸ درصد، در فصل زمستان ۰/۷ درصد، در فصل بهار ۰/۷ درصد و در فصل تابستان ۰/۸ درصد می‌باشد. کم‌ترین اختلاف بین عرضه و تخصیص آبیاری در فصل پاییز اتفاق می‌افتد. در این سناریو بیشترین و کمترین آب مازاد به ترتیب در فصل تابستان و پاییز می‌باشد. در مدل حد بالا تحت سناریو زیاد شاخص عرضه نسبی آب آبیاری به ترتیب در فصل پاییز ۹۰ درصد، در فصل زمستان ۸۰ درصد، در فصل بهار ۸۰ درصد و در فصل تابستان ۹۰ درصد می‌باشد. کم‌ترین اختلاف بین عرضه و تخصیص آبیاری در فصل پاییز اتفاق می‌افتد. در این سناریو بیشترین و کمترین آب مازاد به ترتیب در فصل تابستان و پاییز می‌باشد.

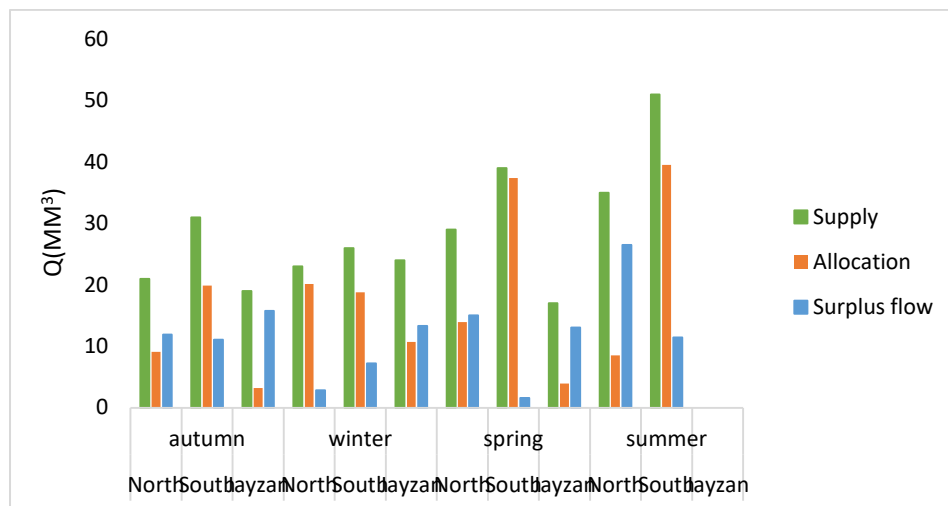


Fig. 10 - Comparison of Relative Irrigation Supply index in the actual management in four seasons
شکل ۱۰- مقایسه شاخص عرضه نسبی آب در مدیریت سنتی برای چهار فصل

سنتی دارد و در نتیجه مدیریت مصرف آب بهتر صورت گرفته است.

نتیجه گیری

این تحقیق، اثر تغییر مدیریت توزیع و تخصیص آب بهینه را بر شاخص عرضه نسبی آب و کارایی مصرف آب با مدیریت سنتی مقایسه می‌کند. با توجه به افزایش میزان کارایی مصرف آب در مدل بهینه‌سازی و صرفه‌جویی در مصرف آب و ذخیره آب، مدل به خوبی توانسته نتایج مثبت را نشان دهد. همچنین نتایج توزیع و تخصیص بهینه آب، نشان‌دهنده قابل استفاده بودن این مدل توسعه یافته در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. یافته‌های کلی به شرح ذیل می‌باشد:

۱- مقایسه سطح کشت نشان داد که سطح کشت بهینه شده نسبت به مدیریت سنتی بین (۲۶-۲) درصد با افزایش روبه‌رو شده که به تبع آن سود نیز {۹۲-۲۵} درصد افزایش می‌یابد.

۲- مقایسه شاخص کارایی مصرف آب در سناریوهای مختلف مدل توسعه یافته نشان داد که میزان بیشتر حجم آب رها شده در سناریو زیاد نسبت به سناریو متوسط، اثری در بهبود کارایی مصرف آب نداشته، اما در سناریو متوسط نسبت به سناریو کم با افزایش روبه‌رو شده است.

۳- با توجه به میزان تقاضا آب آبیاری، مصرف آب در حد پایین و بالا مدل بهینه‌سازی (۶۴-۷۲) درصد کاهش نسبت به مدیریت سنتی دارد در نتیجه مدیریت مصرف آب بهتر صورت گرفته است.

۴- مدیریت رهاسازی آب در شبکه‌های آبیاری مطابق با نیاز آبی محصولات با توجه به تأثیر نداشتن حجم زیاد آب در افزایش عملکرد محصولات صورت گیرد.

۵- نتایج مدل توسعه یافته در تخصیص آب آبیاری، مدیریت تنظیم سطوح الگوی کشت با شروع سال آبیاری و تخصیص

مقایسه شاخص عرضه نسبی آب در مدل بهینه‌سازی با مدیریت سنتی

نتایج شاخص عرضه نسبی آب در شبکه‌های شمال، جنوب و جایزان در اجرای دو حد بالا و پایین مدل بهینه‌سازی نسبت به مدیریت سنتی به این صورت است که برای سناریو L در فصل پاییز صفر درصد، برای سناریو L-L در فصل زمستان (۱۰۰-۶۱) درصد و برای سناریو L-L-L در فصل بهار (۱۰۰-۵۳) درصد و برای سناریو L-L-L-L در فصل تابستان (۱۰۰-۶۸) درصد افزایش داشته است. برای سناریو M در فصل پاییز (۷۵-۷۴) درصد، برای سناریو M-M در فصل بهار (۳۲-۰) درصد و برای سناریو M-M-M-M در فصل تابستان (۴۸-۵۶) درصد افزایش داشته است. برای سناریو H در فصل پاییز (۷۸-۷۳) درصد، برای سناریو H-H در فصل زمستان (۵۹-۵۳) درصد و برای سناریو H-H-H در فصل بهار (۴۴-۳۴) درصد و برای سناریو H-H-H-H در فصل تابستان (۶۴-۵۸) درصد افزایش داشته است. در مدیریت سنتی با توجه به این که مدیر سیستم بدون در نظر گرفتن نیاز آبی محصولات آب را رها می‌کند، در اکثر اوقات آب عرضه شده مصرف شده است و اختلاف بین عرضه و تخصیص آبیاری کم می‌باشد و میزان شاخص عرضه نسبی آب آبیاری نزدیک به یک می‌باشد. در مدل بهینه‌سازی اختلاف بین عرضه و تخصیص آبیاری به علت برآورد نیاز آبی واقعی گیاه، سطح کشت بهینه و ذخیره سازی آب نسبت به مدیریت سنتی زیادتر می‌گردد. (در اکثر حالات کمتر از یک می‌باشد). این شاخص در تحقیق Akbari و Heydari (2015) در همه سال‌های بررسی به جز خشک‌سالی‌های اخیر در اکثر شبکه‌های حوضه زاینده‌رود بیش از یک برآورد شده است. با توجه به میزان تقاضا آب آبیاری، مصرف آب در حد پایین و بالا مدل بهینه سازی (۶۴-۷۲) درصد کاهش نسبت به مدیریت

۲- توسعه تابع هدف مدل، مانند توابع هدف چند منظوره با اهدافی مثل پایداری کشاورزی با پیوند (آب- انرژی- محصول- محیط زیست).

تقدیر و تشکر

بدینوسیله نویسندگان مقاله از شرکت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری مارون بابت در اختیار قرار دادن آمار و اطلاعات مورد نیاز تقدیر به عمل می‌آورند.

مجدد آب طبق سناریوهای جریان مختلف و الگوی کشت بهینه، در هر شبکه آبیاری منطقه مورد مطالعه می‌تواند کارآمد باشد.
۶- به کار بردن مدل بهینه سازی برای تخصیص منابع آب با توجه به بهبود مدیریت مصرف آب و افزایش کارایی مصرف آب که در این مدل‌ها انجام می‌شود.

پیشنهادات

۱- بررسی چرخه هیدرولوژیکی آب (تبخیر و تعرق گیاهان، بارندگی، آبیاری، رطوبت خاک و نفوذ عمقی) برای تعیین آب مورد تقاضا (نیاز آبی گیاهان).

References

- 1- Akbari .M and Heydari .N., 2015. Estimation of consumption demand and water consumption efficiency of Zayandeh Rood basin using satellite information. In *Iran Water Resources Management Conference. Isfahan University of Technology, Isfahan.Iran.* (In Persian)
- 2- Allen R. 1999-2000. *Evapotranspiration of grass and alfalfa software.* Idaho university. Idaho, USA.
- 3- Amanat Behbahani ,I., Moghaddasi ,M., Ebrahimi ,H and Babazadeh ,H ., 2020. Optimal water allocation and distribution management in irrigation networks under uncertainty by multi-stage stochastic case study: Irrigation and drainage networks of Marun. *Irrig and Drain* . 69,pp. 531-545. <https://doi.org/10.1002/ird.2476>.
- 4- Dai, Z.Y. and Li, Y.P., 2013. A multistage irrigation water allocation model for agricultural land-use planning under uncertainty. *Agricultural Water Management*, 129, pp. 69-79. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.07.013>
- 5- Fatemi, S.M., Mohammed, T.A. and Soom, M.A.B.M., 2011. Proposed model for efficient water management at Razmagan irrigation project, a semi-arid region in Khorasan, Iran. *African Journal of Agricultural Research*, 6(13), pp.3203-3216. Doi: 10.5897/AJAR10.1041
- 6- Hardaker JB, Huine BM, Anderson R, Line G., 2015. Coping with risk in agriculture, 3rd edition; Applied Decision Analysis. CABI publishing. Wallingford, United Kingdom .
- 7- Karamouz M, Szidarovszky F, Zahraie B., 2003. *Water resources systems analysis*. Lewis Publishers, CRC Press, pp.1-22. <https://dx.doi.org/10.1201/b11874-6>.
- 8- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J., 1993, January. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* 17(22), pp. 179-183.
- 10- Moghaddasi ,M., Morid ,S., Araghinejad ,S and Agha Alikhni ,M., 2010a. Assessment of irrigation water allocation based on optimization and equitable water reduction approaches to reduced agricultural drought losses; the 1999 drought in the Zayandehrud Irrigation System (IRAN). *Irrigation and Drainage*, 59,pp. 377-387. <http://dx.doi.org/10.1002/ird.499>.
- 11- Moghaddasi ,M., Araghnejad ,S and Morid ,S., 2010b. Long-term operation of irrigation dams considering variable demands: case study of Zayandeh-rud reservoir. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136(5),pp. 309-316. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000128](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000128).
- 12- Molden, D.J., Sakthivadivel, R., Perry, C.J. and De Fraiture, C., 1998. *Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems* (Vol. 20). Iwmi.
- 13- Mo,L.,Ping,G and Vijay,P., 2016. An efficient irrigation water allocation model under uncertainty. *Agricultural systems*,144, pp.46-57.

-
- 14- Morid ,S., Moghddasi ,M., Arshad ,S and Omid ,M., 2004. Application of drought indices package. *Water Resources Management*.
- 16- Ortega Alvarez , J.F. J. A., de Juan Valero, J.A., Tarjuelo Martin-Benito, J.A and Lo pezMata, E ., 2004. MOPECO: an economic optimization model for irrigation water management, *Irrigation Science*, 23, pp. 61–75 . <https://doi.org/10.1007/s00271-004-0094-x>.
- 15- Ren, C., Yang, J. and Zhang, H., 2019. An inexact fractional programming model for irrigation water resources optimal allocation under multiple uncertainties. *Plos one*, 14(6), p.e0217783. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217783>
- 16- Zehao,Y and Li. M., 2018.A stochastic optimization model for agricultural irrigation water allocation based on the field water cycle. *water*, 1031, pp. 1-19.