Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 49, No. 2, Summer 2026, p. 15-32

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

Research Paper

EXTENDED ABSTRACT

Investigating the effect of changing the cropping pattern on Water Resources in Molla Sadra Dam Basin using the System Dynamics method

A. Laghbdost arani[1], H. Zarei[2], F. Radmanesh[3*], A. Solgi[4] and M. Zarghami[5]

1-Ph.D. Student, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
2- Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
3- corresponding author, Associate Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. (Feridon_radmanesh@yahoo.com.)*
4-Postdoctoral Researcher, Department of Water Science Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
5-Professor, Department of Civil Engineering (Water), Faculty of Civil Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:
Received: 14 March 2023
Revised: 29 February 2024
Accepted: 7 April 2024
Available online: 05 August 2026

Keywords: System dynamics, VENSIM model, Changing the cropping pattern, Molla Sadra Dam.

TO CITE THIS ARTICLE:

Laghbdost arani, A., Zarei, H., Radmanesh, F., Solgi, A., Zarghami, M. 2026. 'Investigating the effect of changing the cropping pattern on Water Resources in Molla Sadra Dam Basin using the System Dynamics method', *Irrigation Sciences and Engineering*, 49(2), pp. 15-32. doi: 10.22055/jise.2024.43286.2062.

Abstract

System dynamics is a management approach that has been used in recent years for simulating water resources systems. In this study, an attempt was made to simulate the water resources status of the Molla Sadra Dam basin (located in the north of Fars Province, southern Iran) using the system dynamics approach. For this purpose, the economic subsystem, groundwater level fluctuations, groundwater volume changes, surface water, and the overall system were examined using VENSIM software. The performance of the upstream and downstream aquifers of the Molla Sadra Dam and the Molla Sadra Dam reservoir was simulated for the years 2009 to 2020. Accordingly, twelve different scenarios (management options) were proposed. The results of evaluating the different management options showed that if rice cultivation is eliminated and replaced with sesame cultivation, the income of farmers in the downstream area of the Molla Sadra Dam would increase by 54% (Management Option 11). Under this management option, the average annual income of farmers downstream of the dam would be 114 million Tomans. With this management option, it is possible to cultivate the same cultivated areas currently under cultivation in the downstream regions of the dam while consuming less water.

Introduction

In recent years, the system dynamics method has been used to simulate complex water resources systems. In this method, attention is paid to the dynamic relationships between the quantitative and qualitative features of water and even socio-economic issues, and the desired system can be easily simulated without the need for complex mathematics. The system dynamics method is an object-oriented and feedback-based simulation method that, in addition to describing complex systems based on reality, can provide the possibility of effective user involvement in model development and gaining his confidence during the modeling process. System dynamics models have the ability to accurately recognize the events that happen in the outside world and simulate them, and then identify and present effective policies, as well as examine and observe the effects of these policies in the model. to eliminate the lack of effect of the policies that have been implemented in the country so far. Therefore, it is useful to use a systemic approach in the field of understanding the reasons for the ineffectiveness of the policies applied to the control groundwater level. The main goal of this study

is the integrated modeling of water resources in the upstream basin of Mulla Sadra Dam. In this regard, the effects of different scenarios on the status of water resources in the catchment area were investigated. Choosing the best scenario in order to reduce the excessive drop of the groundwater level in the short term and in the direction of the balance and stability of the water resources of the region was another objective of the study.

Methodology

Area of study

Tashk-Bakhtegan and Maharlu watersheds with an area of 31451.8 square kilometers are located in Fars province. The catchment area of Mulla Sadra Dam, a part of Tashk-Bakhtegan and Maharlu basins, is located in the north of Fars province with an area of 2254 square kilometers. The catchment area of Molla Sadra Dam is located in two subbasin, Aspas and Khosro-Shirin. In the studied area, there are two aquifers, Khosroshirin and Aspas. In terms of altitude, the highest point of the basin is 3495 meters high and the lowest point of the basin is 2061 meters above sea level.

Data preparation

The data of this study, including precipitation data, temperature and observation well data, were obtained from Fars Province Regional Water Company. The data of the cultivated area, the dominant crop of the region, were obtained from the Agricultural Jihad Organization of Fars Province. The GIS software and kriging method were used to draw the maps. Monthly rainfall and isotemperature maps were drawn for the study area.

Modeling

In this section, economic subsystems, groundwater level changes, groundwater storage changes, surface water, and the whole system (which includes all the components related to Mulla Sadra Dam) are presented. These subsystems are connected in VENSIM software as a cause-and-effect relationship.

Results and Discussion

The simulation of the performance of upstream and downstream aquifers of Molla Sadra Dam and the reservoir of Molla Sadra Dam during the years 2008 to 2019 was investigated. The model was then evaluated for a ten-year horizon. For this purpose, twelve different scenarios were presented. Economically, different scenarios based on the income of all farmers are presented in Table (1). Based on this table, scenario 11 is the best scenario because it is expected to have more income for all the farmers downstream of Mulla Sadra Dam.

Table 1- Income of farmers of each region (in billion Tomans per year) in different scenarios

	Different scenarios											
Area	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Aspas	245	245	129	21	129	245	245	245	245	245	245	129
	5.0	5.0	0.7	6.2	0.7	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	0.7
Khosro-shirin	263	263	132	26.	132	263	263	263	263	263	263	132
	.9	.9	.6	4	.6	.9	.9	.9	.9	.9	.9	.6
Downstream	594	298	578	48	289	381	679	659	594	627	916	890
Molla Sadra dam	.9	.7	.0	6.1	.3	.8	.3	.1	.9	.0	.4	.5

Conclusions

Among the scenarios of changing the cultivation pattern, scenario number 7 has more income, but because planting apple trees consumes more water, scenario number 8, which is changing the pattern of rice cultivation with sesame, is known as the best scenario related to changing the pattern of cultivation. The results of the investigation of different scenarios showed that if rice is not cultivated completely, and is replaced with sesame, the income of the farmers in the downstream area of Molla Sadra dam can be increased by 54% (scenario 11). In this scenario, the income of farmers downstream of Mulla Sadra dam will be 114 million per year on average. The results showed that changing the cropping pattern with apple, sesame, rapeseed, and sunflower crops respectively have more income. So that among them, sunflower has the lowest income for farmers. Therefore, according to these scenarios, it is recommended to change the cultivation pattern of sesame instead of rice.

Conflict of Interest

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article. Confirmation

Funding

The financial support of this research has been provided by Grant number SCU.WH1401.589

Data Availability Statements

Data Availability Statement: All information and results are presented in the text of the article.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

Declaration of Generative AI and AI-assisted technologies in the writing process

The authors state that they have not used generative AI or AI-assisted technologies in their manuscript.

Author Contributions

First author: Abolfazl Loghdoost, Investigation, Writing – original draft, Writing – review & editing.
Second author: Heidar Zarei, Conceptualization, Methodology, Writing – original draft, Writing – review & editing.
Third author: Fereydoun Radmanesh, Writing – review & editing.
Fourth author: Abazar Solgi, Software, Writing, and preparation of the initial draft.
Fifth author: Mehdi Zarghami, Methodology, Writing, and preparation of the initial draft.

Acknowledgments

The authors are grateful to the Research Council of the Shahid Chamran University of Ahvaz for financial support. Also great thanks to the Fars Regional Water Authority for sharing the required data.

© 2026 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۹، شماره‌ی۲، تابستان ۱۴۰۵، مقاله پژوهشی، ص. ۳۲-۱۵

بررسی اثر تغییر الگوی کشت بر منابع آب حوضه آبریز سد ملاصدرا با استفاده از روش پویایی سیستم

ابوالفضل لقب‌دوست‌آرانی[۱]، حیدر زارعی[۲]، فریدون رادمنش[۳*]، اباذر سلگی[۴] و مهدی ضرغامی[۵]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- استاد گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳*- نویسنده مسئول، استاد گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، feridon_radmanesh@yahoo.com

۴- پژوهشگر پسا دکتری، گروه مهندسی علوم آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

۵- استاد گروه مهندسی عمران آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.

دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۳ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۱۰ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۹ انتشار: ۱۴۰۵/۰۵/۱۴

چکیده

یکی از نگرش‌های مدیریتی، که در سال‌های اخیر برای شبیه‌سازی سامانه‌های منابع آب، استفاده شده، پویایی سیستم است. در این تحقیق تلاش شده است با استفاده از پویایی سیستم، اقدام به شبیه‌سازی وضعیت منابع آبی حوضه سد ملاصدرا (در شمال استان فارس و جنوب کشور ایران) گردد. برای این منظور زیرسیستم‌های اقتصادی، تغییرات سطح آب زیرزمینی، تغییرات حجم آب زیرزمینی، آب سطحی و کل سامانه در محیط نرم افزار VENSIM مورد بررسی قرار گرفت. شبیه‌سازی عملکرد آبخوان‌های بالادست و پایین دست سد ملاصدرا و مخزن سد ملاصدرا طی سال‌های ۱۳۸۸ الی ۱۳۹۹ بررسی شد. برای این منظور دوازده سناریو (گزینه مدیریتی) مختلف ارائه شد. نتایج بررسی گزینه‌های مدیریتی مختلف نشان داد در صورت عدم کشت برنج به طور کامل، و جایگزینی آن با محصول کنجد، درآمد کشاورزان منطقه پایین دست سد ملاصدرا به میزان ٥٤ درصد افزایش می‌یابد (گزینه مدیریتی ۱۱). در این گزینه مدیریتی درآمد کشاورزان در پایین دست سد ملاصدرا به‌طور متوسط ١١٤ میلیون در سال خواهد بود. با این گزینه مدیریتی می‌توان، ضمن مصرف آب کمتر، همان سطوح زیرکشتی که در شرایط فعلی در مناطق پایین سد ملاصدرا کشت می‌شود، را کشت نمود.

کلیدواژه‌ها: پویایی سیستم، مدل VENSIM، تغییر الگوی کشت، سد ملاصدرا.

مقدمه

ایران از جمله کشورهایی است که با میزان متوسط بارندگی ۲۵۰ میلی‌متر در سال، در مقابل ۷۵۰ میلی‌متر میانگین جهانی سالانه باران، نزولات جوی آن از یک سوم متوسط نزولات جهان کمتر بوده و جزء کشورهای خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود (Alizadeh, 2004). همچنین توزیع زمانی و مکانی بارندگی در کشور بسیار نامناسب است و به‌دلیل شرایط خاص جوی، در بیشتر سال‌های گذشته با خشکسالی مواجه بوده است. به گونه‌ای که بیشتر استان‌های کشور در معرض بی‌آبی شدید قرار دارند که این امر لزوم توجه بیشتر به موضوع مدیریت آب و استفاده بهتر از ذخایر آبی را می‌طلبد. در ایران مصرف غیرمعقولانه و بی‌رویه‌ی منابع آبی باعث شده است که این منبع ارزشمند به سرعت به سمت نابودی حرکت کند. بخش خانگی شش درصد از آب موجود در کل کشور را استفاده می‌کند. بخش صنعت نیز مصرف بسیار ناچیز و معادل دو درصد از منابع آبی کشور را داشته و در این میان بخش کشاورزی مسئول مصرف عمده‌ی آب کشور است. این بخش به تنهایی ۹۲ درصد از منابع آب شیرین ایران را مصرف می‌کند. ادامه‌ی روند کنونی در بخش کشاورزی، باعث تشدید هر چه بیشتر بحران آب می‌شود (Madani, 2014). به‌عنوان نمونه حوضه بختگان، با معضلاتی مانند کاهش شدید سطح آب زیرزمینی، تشدید روند نزولی سطح آبخوان، نشست زمین و خشک شدن رودخانه کر مواجه است که نشان از اهمیت توجه به مدیریت منابع آب منطقه مذکور را دارد. همچنین بر اساس تحقیقات صورت گرفته در حوضه آبریز بختگان، اثبات شده که در غالب دشت‌های حوضه آبریز بختگان سهم بخش کشاورزی بسیار بیش از سایر بخش‌ها می‌باشد (Hedayat, 2016). همچنین با توجه به اقلیم خشک منطقه و نبود جریان‌های سطحی در بخش‌های زیادی از حوضه آبریز، استفاده از منابع آب زیرزمینی به‌خصوص منابع آب زیرزمینی آبرفتی با حفر چاه و قنات‌ها در این منطقه آغاز گردیده است. در دهه‌های اخیر با توجه به افزایش نیاز آب برای مصارف مختلف، علاوه بر منابع آبرفتی استفاده از آب منابع سازند سخت نیز رایج گردیده است، به‌گونه‌ای که آب آشامیدنی اغلب شهرهای این حوضه از مخازن سازند سخت تأمین

می‌گردد (Hedayat, 2016).

در سالیان اخیر از روش پویایی سیستم برای شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده منابع آب استفاده شده است. در این روش به روابط دینامیکی بین خصوصیات کمی و کیفی آب و حتی مسائل اجتماعی اقتصادی توجه می‌شود و سیستم مورد نظر بدون نیاز به ریاضیات پیچیده به سهولت قابل شبیه‌سازی است. روش پویایی سیستم، روش شبیه‌سازی شیءگرا و بر پایه بازخورد بوده که می‌تواند علاوه بر تشریح سیستم‌های پیچیده براساس واقعیت، امکان دخالت مؤثر کاربر در توسعه مدل و جلب اطمینان وی در طول فرایند مدل‌سازی را فراهم نماید. مدل‌های پویایی سیستم این قابلیت را دارند که با شناخت دقیق وقایعی که در جهان بیرون اتفاق می‌افتند و شبیه‌سازی آن‌ها و سپس شناخت و ارائه سیاست‌های مؤثر و همچنین بررسی و مشاهده تأثیر این سیاست‌ها در مدل، کاستی ناشی از عدم تأثیر سیاست‌هایی که تاکنون در کشور اجرا شده‌اند را برطرف نماید. ازین رو استفاده از رویکرد سیستمی در زمینه شناخت دلایل اثرگذار نبودن سیاست‌های اعمال شده برای کنترل سطح آب‌های زیرزمینی مفید می‌باشد.

در سال‌های اخیر مطالعه‌های زیادی در زمینه پویایی سیستم از جمله در زمینه مدیریت یکپارچه منابع آب Zarghami و Akbariyeh، (2012))، مدیریت عرضه و تقاضای منابع آب Goldani et al (2012)؛ Adeniran و Bamiro (2010) و تخصیص منابع آب Luo et al (2009) انجام شده است.

Simonovic و Rajasekaram (2004)، مدل "water canada"، که یک مدل مدیریت یکپارچه‌ی آب در کشور کانادا است را توسعه دادند. آن‌ها ۱۲ گزینه مدیریتی ارائه و تأثیر این گزینه‌های مدیریتی را بر میزان در دسترس بودن آب شیرین، رشد اقتصادی، رشد جمعیت، تولید انرژی و تولید غذا بررسی کردند. نتایج، وابستگی بسیار شدید پیشرفت آینده‌ی کانادا را به کیفیت قابل قبول منابع آب و کنترل مقدار آب مصرفی در بخش‌های مختلف، نشان داد.

Ahmad و Simonovic (2004) روش مکانی پویایی سیستم‌ها را که به اختصار SSD نامیده شده است را برای مدیریت منابع آب معرفی کردند. این روش با کوپل کردن روش پویایی سیستم‌ها و سیستم اطلاعات جغرافیای (GIS) توسعه داده شده است. این مدل در پروسه‌هایی که برهم کنش زمانی مکانی در آن‌ها اهمیت دارد نظیر پروسه‌های منابع طبیعی، زیست محیطی، مدیریت منابع طبیعی، تغییر اقلیم و مدیریت سوانح طبیعی می‌تواند استفاده شود. محققین ارائه کننده این روش، قابلیت مدل را در مدیریت سیلاب حوضه رودخانه سرخ مانیتوبا کانادا نشان داده‌اند.

Winz et al., (2009) با استفاده از شبیه‌سازی پویایی سیستم به بررسی مدیریت تجمیعی منابع آب پرداختند. در این مدل سیستم آب‌های سطحی برای دوره‌ای ۴۰ ساله توسط مدل روابط علت و معلولی و انباره و جریان شبیه‌سازی شد. این مدل برای نشان دادن ارزش و اهمیت به‌کار بردن پویایی سیستم برای مدل‌سازی سیستم‌هایی با پیچیدگی بالا ارائه شد و نتایج نشان داد که استفاده از این مدل برای شبیه‌سازی و شناخت این گونه سیستم‌ها و همچنین استفاده از این رویکرد جهت سیاست گذاری بسیار کارا می باشد.

Giordano et al., (2012) سیستم مدل‌سازی پویا را برای تجزیه و تحلیل تعارضات موجود در مدیریت آب های زیرزمینی به‌کار گرفتند. نتایج نشان داد هر چند طراحی و پیاده‌سازی سیاست‌های حفاظت از آب‌های زیرزمینی بسیار با اهمیت هستند، اما در بسیاری از موارد تلاش برای حل مشکل مدیریت آب به علت عوارض پیش بینی نشده، آن را بدتر می‌کند.

Koti et al., (2016) در تحقیقی مدل شبیه سازی پویایی سیستم برای مدیریت منابع آب پایدار و توسعه کشاورزی در حوضه رودخانه ولتا در کشور غنا را انجام دادند. نتایج نشان داد که خروجی‌های شبیه‌سازی شده با واقعیت مشاهده شده سیستم هم‌خوانی دارد.

Aram (2014) با استفاده از رویکرد پویایی شناسی سیستم، مدلی شبیه به واقعیت از سیستم آب زیرزمینی آبخوان دشت فیروزآباد در استان فارس، ارائه کرد. با استفاده از این مدل می‌توان سیاست‌های مختلف در افق ۴۰ ساله را پیش‌بینی نمود. پس از آن، مدل اعتبارسنجی شد و نتایج، نشان دهنده‌ی کارایی قابل قبول مدل در پیش‌بینی رفتار سیستم مورد مطالعه بود.

Hedayat (2016) به‌منظور دست‌یابی به یک دیدگاه کلان نسبت به حوضه آبریز بختگان-مهارلو و مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی آن، وضعیت منابع آب زیرزمینی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که از بین دشت‌های مورد بررسی، همه دشت‌ها بجز دشت خرامه و شیراز (۹۰ درصد از دشت‌ها)، دارای افت سالیانه بیش از ۲۵ سانتی‌متر می‌باشند. با توجه به نتایج می‌توان عنوان کرد که صرفاً استفاده از سیستم‌های آبیاری نوین به جای سیستم-های سنتی در تمام یا بخشی از سطح زیرکشت محصول غالب، به تنهایی برای کاهش افت موجود کافی نیست و باید طرح تغییر الگوی کشت غالب به محصولات با نیاز آبی پایین مد نظر قرار گیرد.

Sahin et al., (2016) یک مدل مدیریت منابع آب را تحت گزینه‌های مدیریتی تغییر اقلیم و رشد جمعیت با استفاده از رویکرد پویایی سیستم مدل کردند. آن‌ها دوره‌ی شبیه‌سازی را ۱۰۰ سال در نظر گرفتند تا نتایج سیاست‌هایی از قبیل افزایش قیمت آب در مدل شبیه‌سازی به خوبی نمایان شود.

Zhilia et al., (2018) با روش پویایی سیستم، برای بهینه‌سازی برنامه‌ریزی منابع آب شهر زنگورو چین یک مدل را با استفاده از نرم‌افزار استلا توسعه دادند. این مدل که شامل چهار زیر سیستم جمعیت، اقتصادی، تأمین آب و تقاضای آب بود با استفاده از داده‌های سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ صحت‌سنجی شد. نتایج استفاده از مدل رضایت بخش بود.

Soleimani Sardoo et al., (2021) مدیریت یکپارچه

 DOI: 10.22055/jise.2024.43286.2062

منابع آب جنوب استان کرمان را با استفاده از مدل پویایی سیستم مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که چارچوب علت و معلولی DOSIR و رویکرد مبتنی بر پویایی سیستم در ارزیابی و شبیه‌سازی سیاست‌های مختلف منطقه مورد مطالعه کارآمد است. علاوه بر این در سناریو ادامه وضع موجود، نسبت کفایت آب برای کشاورزی ۰/۵۵ در سال ۱۳۸۵ به ۰/۲ در سال ۱۴۱۰ کاهش ولی در سناریو افزایش منابع تامین آب این نسبت به ۰/۹ تا سال ۱۴۱۰ افزایش می‌یابد.

Shahrokhi Sardo و Jalal Kamali (2021) مدل پویایی سیستم مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و عملکرد تغذیه مصنوعی دشت نسا در بم را مورد بررسی قرار دادند. نتایج مدل پویایی سیستم نشان داد ادامهٔ روند برداشت کنونی از منابع زیرزمینی دشت، در سال‌های آینده، افت تراز سطح آب معادل ۸/۳ متر نسبت به وضع موجود. همچنین، نتایج نشان داد پخش حدود ۶۰ درصد آب مازاد سد نسا براساس برنامهٔ بهره‌برداری از مخزن، در بیست سال به کاهش روند افت تراز آب زیرزمینی منطقه منجر می‌شود و کسری بودجه زیرزمینی را از ۶۵/۴۸ میلیون مترمکعب به حدود ۳۵/۱۷ میلیون مترمکعب می‌رساند.

Phan et al., (2021) کاربردهای مدل‌سازی دینامیک سیستم را برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب مورد بررسی قرار دادند. این مطالعه به طور سیستماتیک کاربردهای دینامیک سیستم در مدیریت منابع آب را با توجه به عوامل مکانی، اهداف تحقیق، مدل‌سازی زیرسیستم‌ها و روش‌های کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل بررسی کردند. نتایج نشان داد که اکثر مطالعات بررسی شده از رویکردهای مبتنی بر سناریو (۸۲ درصد) برای ارزیابی اثربخشی اقدامات مدیریتی استفاده کردند، در حالی که اقلیتی از مطالعه‌ها (۱/۸درصد) بهینه‌سازی مدیریت آب را در نظر گرفتند. در نهایت، یک چارچوب مدل‌سازی دینامیک سیستم یکپارچه پیشنهاد شد که فرصت‌هایی را برای ادغام دینامیک سیستم با سایر ابزارهای مدل‌سازی بر اساس نقاط قوت و محدودیت‌های مدل‌سازی دینامیک سیستم بررسی می‌کند.

Guemouria et al., (2023) رویکرد دینامیک سیستمی را برای مدیریت منابع آب حوضه سوس-ماسا (Souss-Massa) ارائه دادند. شاخص عملکرد انتخاب شده بر اساس دستیابی به یک شاخص پایداری پایه (SI ،baseline sustainability index) می‌باشد که به‌عنوان نسبت آب موجود به آب تأمین شده است. برای جلوگیری از وضعیت تنش آبی این شاخص باید بالاتر از ۲۰ درصد باشد. داده‌های منابع مختلف برای دوره زمانی بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۰ اخذ شد. نتایج نشان داد که سیاست‌های فعلی منجر به مدیریت پایدار آب نمی‌شود. برداشت از آب‌های زیرزمینی به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است و از ۷۴۷ میلی‌متر مکعب در سال ۲۰۰۷ به ۴۸۸۴ میلی‌متر مکعب در سال ۲۰۲۰ رسیده است. تعادل بین عرضه و تقاضا تنها برای سه سال، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۸ به‌دست آمده است، بدون اینکه هرگز به شاخص پایداری پایه ۲۰ درصد برسد.

با بررسی مطالعه‌های پیشین می‌توان موارد زیر را بیان نمود : ۱- در زمینه مدل‌سازی منابع آب با روش جامع‌نگری سیستم‌های پویا وجود دارد . ۲-در اکثر تحقیقات انجام یافته صرفاً یک منبع آبی را لحاظ شده و شبیه‌سازی صورت گرفته است. ۳-تحقیقات صورت گرفته محدود به یک دشت کوچک بوده و اثرات پارامترها و گزینه های مدیریتی در کل حوضه دیده نشده است. ازین رو پژوهش صورت گرفته در اینجا می تواند بسیار مؤثر واقع شود و نیز مجالی مناسب و کارا برای تحقیق و پژوهش باشد. هدف اصلی این مطالعه مدل‌سازی یکپارچه منابع آب حوضه بالادست سد ملاصدرا می‌باشد. در این راستا بررسی اثرات گزینه‌های مدیریتی مختلف بر وضعیت منابع آب حوضه آبریز بررسی شد. انتخاب بهترین گزینه مدیریتی در راستای کاهش افت بی رویه سطح آب زیرزمینی در کوتاه مدت و برای تعادل و پایداری منابع آب منطقه نیز یکی دیگر از اهداف مطالعه بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز طشک-بختگان و مهارلو با مساحت ۳۱۴۵۱/۸ کیلومتر مربع در استان فارس واقع شده است. حوضه آبریز سد ملاصدرا، جزئی از حوضه طشک-بختگان و مهارلو، به وسعت ۲۲۵۴ کیلومترمربع در شمال استان فارس واقع گردیده است. حوضه آبریز سد ملاصدرا در دو محدوده مطالعاتی آسپاس و خسرو-شیرین واقع شده است. در منطقه مورد مطالعه دو آبخوان خسروشیرین و آسپاس وجود دارد. از لحاظ ارتفاعی بلندترین نقطه حوضه به ارتفاع ۳۴۹۵ متر و پست‌ترین نقطه حوضه دارای ارتفاع ۲۰۶۱ متر از سطح دریا می باشد. متوسط بارندگی منطقه ۴۶۰ میلی‌متر و متوسط دمای آن ۱۳/۰۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. رودخانه کر یکی از رودخانه‌های مهم حوضه آبریز بختگان می‌باشد. روی این رودخانه، سد ملاصدرا در محلی به نام تنگ براق احداث گردیده است. این رودخانه دارای آب دائم بوده و رژیم آن برفی-بارانی است و بخش عمده‌ای از آب آن به مصرف کشاورزی رسیده و به همین علت در فصل تابستان و در پایاب گاهی فاقد آب می‌باشد. در جدول (۱) مشخصات محدوده‌های مطالعاتی ارائه شده است. در شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری در حوضه آبریز طشک-بختگان و مهارلو، استان فارس و کشور ایران نشان داده شده است. به‌دلیل بررسی وضعیت آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه، مجبور به بررسی وضعیت آب در پایین دست سد ملاصدرا نیز بوده تا بتوان میزان رهاسازی از آب سد را نیز مورد بررسی قرار داد، لذا وضعیت آب سطحی و زیرزمینی در پایین دست سد ملاصدرا و آبخوان دزکرد-کامفیروز نیز مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱-محدوده‌های مطالعاتی و آبخوان‌های موجود در منطقه مورد مطالعه

Table 1- Sub-basins and aquifers in the study area

Sub-basins	Sub-basin code	Aquifer	Area of sub-basin (square kilometers)	Area of aquifer (square kilometer)
Aspas	4321	Aspas	1628.72	747.31
Khosro-shirin	4320	Khosro-shirin	618.68	189.38
Dezkord-Kamfirooz	4319	Dezkord-Kamfirooz	2092.91	187.36

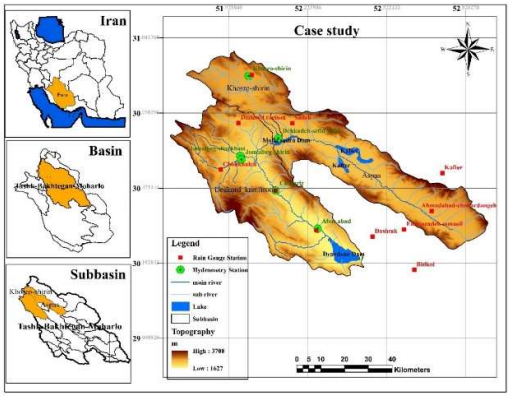


Fig. 1- The location of the studied area and the stations used in Fars province and Iran

شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های استفاده شده در استان فارس و کشور ایران

آماده سازی داده‌ها

داده‌های این مطالعه، شامل داده‌های بارش، دمای ایستگاه‌های هواشناسی و داده‌های چاه‌های مشاهده‌ای، از شرکت آب منطقه‌ای استان فارس اخذ شد. داده‌های سطح زیرکشت، کشت غالب منطقه از سازمان جهاد کشاورزی استان فارس اخذ گردید. بررسی و تطویل داده‌های بارش با نرم افزار HEC-4 صورت گرفت. سپس به‌منظور بررسی داده‌های پرت، از روش نمودار جعبه‌ای (Box Plot) در نرم‌افزار Excel استفاده شد. در صورت مواجهه با داده‌های پرت، آن داده‌ها حذف و دوباره با نرم افزار HEC-4 بازسازی صورت گرفت. برای ترسیم نقشه‌ها از نرم‌افزار GIS و روش کریجینگ استفاده شد. نقشه‌های هم‌بارش ماهانه برای منطقه مورد مطالعه ترسیم شد. سپس مقادیر بارش ماهانه برای محدوده‌های مطالعاتی و حوضه بالادست ایستگاه‌های هیدرومتری استخراج گردید. برای بررسی داده‌های دما و تطویل آن‌ها از روش تفاضلات استفاده شد. بعد از بررسی داده‌های پرت، نقشه‌های هم‌دمای ماهانه برای منطقه مورد مطالعه ترسیم شد. سپس مقادیر دمای ماهانه برای محدوده‌های مطالعاتی و حوضه بالادست ایستگاه‌های هیدرومتری استخراج گردید.

محاسبه نیاز کشاورزی

اطلاعات دریافتی از سازمان جهاد کشاورزی به‌صورت شهرستانی بود، ولی در این مطالعه نیاز به اطلاعات سطح زیرکشت به‌صورت محدوده مطالعاتی و آبخوانی بود ، لذا برای این منظور، ابتدا در نرم‌افزار گوگل ارث، سطوح زیرکشت برای هر محدوده مطالعاتی ترسیم و محاسبه شد، سپس با توجه به مساحت هر شهرستان در محدوده، سطوح زیرکشت و کل سطح زیرکشت شهرستان، محصولات کشت شده در هر سال، نوع کشت و نیاز آبی آنها محاسبه شد. در شکل (۲) سطوح زیرکشت در منطقه مورد مطالعه که در نرم‌افزار گوگل ارث ترسیم شده است نمایش داده شده است. برای بررسی وضعیت سطح زیرکشت از اطلاعات افراد بومی نیز استفاده شد.

مدل‌سازی

در این بخش به‌ترتیب زیرسیستم‌های اقتصادی، تغییرات سطح آب زیرزمینی، تغییرات حجم آب زیرزمینی، آب سطحی و کل سیستم (که شامل همه مولفه‌های مربوط به سد ملاصدرا می‌باشد) ارائه شده است. این زیرسیستم‌ها در نرم‌افزار ونسیم به‌صورت رابطه علل و معلولی به هم مرتبط شده‌اند.

زیرسیستم اقتصادی

زیرسیستم اقتصادی بیان‌گر سود کشاورزان از فروش محصولات خود است. در جدول (۲) محصولات اصلی، فرعی و جایگزین در مناطق مختلف ارائه شده است. در محدوده مطالعاتی آسپاس محصول گندم و جو به عنوان محصولات اصلی هستند و انواع لوبیا به‌عنوان محصولات فرعی کشت می‌شوند. برای محاسبه درآمد کشاورزان در این منطقه، محصول گندم به‌عنوان کشت اصلی

DOI: 10.22055/jise.2024.43286.2062

و انواع لوبیا به‌عنوان کشت فرعی لحاظ می‌شود. در محدوده مطالعاتی خسروشیرین، محصولات گندم، جو و سیب درختی به‌عنوان محصولات اصلی و انواع لوبیا به‌عنوان محصول فرعی کشت می شود. با توجه به اینکه سطح زیرکشت محصول سیب درختی در مقابل گندم و جو در این محدوده بسیار ناچیز است (حدود ۱۰۰ هکتار باغ سیب وجود دارد) در محاسبات درآمد کشاورزان این منطقه محصول سیب به‌عنوان محصول اصلی لحاظ نمی‌شود. در پایین دست سد ملاصدرا، محصول اصلی برنج، و محصول فرعی گندم می‌باشد. همچنین در جدول (۳) هزینه‌های هر هکتار زمین در طول یکسال ارائه شده است. در این جدول، هزینه‌های مربوط به اجاره زمین درنظر گرفته نشده است یعنی فرض شده است که کشاورز مالک زمین می‌باشد. در جدول (۴) نیاز آبی، زمان کاشت و برداشت محصولات کشت شده در منطقه ارائه شده است. در بالادست سد ملاصدرا، آبخوان‌های آسپاس و خسرو–شیرین وجود دارند که بیشتر از آب‌های زیرزمینی و چشمه‌ها استفاده می‌کنند، زیرسیستم اقتصادی برای آبخوان آسپاس به‌عنوان نمونه در شکل (۳) ارائه شده است.

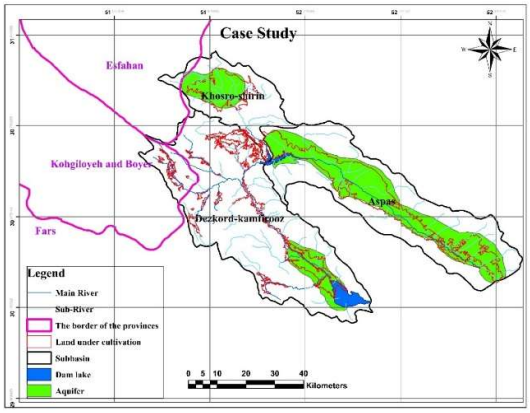


Fig. 2- Land under cultivation in the study area
شکل ۲–سطوح زیرکشت در منطقه مورد مطالعه

جدول ۲- قیمت و تولید محصولات مختلف
Table 2- Prices and production of different products

Area	Products	Crop production (tons per hectare)			Price production (million Tomans per hectare)		
		Main	By-product	Alternative	Main	By-product	Alternative
Aspas	Wheat	5.0	--------	--------	11.5	--------	--------
	Types of beans	--------	3.0	--------	----------	40.0	--------
Khosro-shirin	Wheat and Barley	4.0	--------	--------	11.05	--------	--------
	Apple	20.0	--------	--------	10.0	--------	--------
	Types of Beans	--------	3.0	--------	----------	40.0	--------
Downstream of Molla Sadra Dam	Rice	3.0	--------	--------	60.0	--------	--------
	Wheat	--------	5.0	--------	----------	11.05	--------
	Apple	--------	--------	20.0	----------	--------	10.0
	Sesame	--------	--------	1.0	----------	--------	130.0
	Sunflower	--------	--------	1.5	----------	--------	60.0
	Canola	--------	--------	5.0	----------	--------	22.0

جدول ۳-هزینه‌های مختلف برای یک هکتار زمین در طول یکسال

Table 3-Various costs for one hectare of land during one year

Costs	Different situations	Price (million Tomans per hectare per year)
The cost of seeds, fertilizers, and fertilizers	Wheat	3.0+2.0+1.0
	Rice	10.0+3.0+2.0
The cost of land preparation (land bed and plowing)	Wheat	5.0+5.0
	Rice	5.0+5.0
The cost of harvesting machinery	Wheat	1.5
	Rice	7.0
Labor cost	Wheat	5.0
	Rice	15.0
Cost per MCM unit of water	Groundwater	0.5
	From the Dam	1.0
Additional costs	Wheat	2.0
	Rice	2.0
Total costs	Wheat	25.0
	Rice	50.0

جدول ٤- نیاز آبی، زمان کاشت و برداشت محصولات کشت شده در منطقه

Table 4- Water requirement, time of planting and harvesting crops grown in the region

Product	Water requirements (m^3/year)	Planting time	Harvest time	Duration (months)
Rice	25000	July	October	4
Wheat	7000	November	June	8
Barley	6500	November	June	8
Apple	11500	April	November	8
Sunflower	6200	June	October	5
Sesame	3900	July	November	5
Beans	5400	June	October	5
Canola	4500	March	October	8

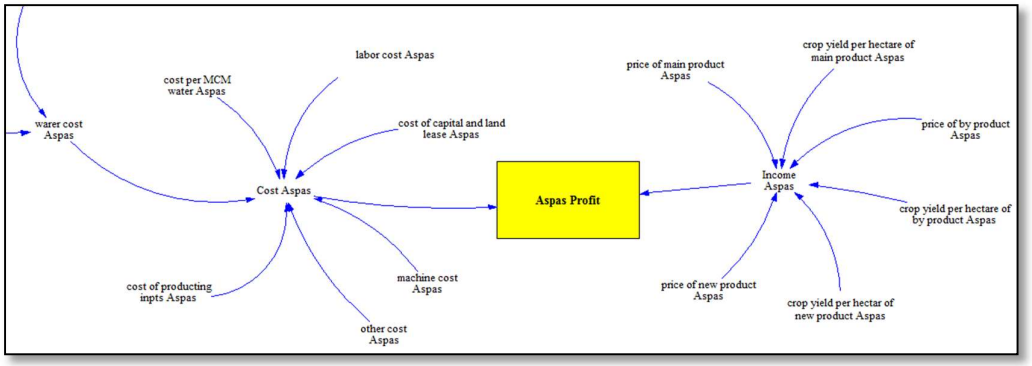


Fig. 3- Economisc ub-system for Aspas aquifer

شکل ۳- زیرسیستم اقتصادی برای آبخوان آسپاس

 DOI: 10.22055/jise.2024.43286.2062

زیرسیستم تغییرات سطح آب زیرزمینی

در شکل (۴) زیرسیستم تغییرات سطح آب زیرزمینی به‌عنوان نمونه برای آبخوان خسرو-شیرین که در بالادست سد ملاصدرا قرار دارد، ارائه شده است. زیرسیستم تغییرات سطح آب زیرزمینی برای آبخوان‌های آسپاس و خسرو-شیرین در بالادست سد ملاصدرا و زیرسیستم تغییرات سطح آب زیرزمینی دزکرد-کامفیروز که در پایین دست سد ملاصدرا واقع شده است در نظر گرفته شده است.

زیرسیستم تغییرات حجم آب زیرزمینی

زیرسیستم تغییرات حجم آب زیرزمینی آبخوان‌های بالادست سد ملاصدرا یعنی دو آبخوان آسپاس و خسروشیرین در نظر گرفته شده است. برای این زیرسیستم مؤلفه‌های مختلف بیلان آب زیرزمینی شامل، مولفه‌های نفوذی، نفوذ از بارش، نفوذ از آب سطحی، نفوذ از شرب و صنعت، نفوذ از آب کشاورزی و نفوذ از آب زیرزمینی در نظر گرفته شده است. برای مؤلفه‌های تخلیه هم پارامترهای تبخیر از آب زیرزمینی، زهکشی و تخلیه آب چاه‌ها، چشمه و قنات در نظر گرفته شده است. در شکل (۵) زیرسیستم آب زیرزمینی برای آبخوان دزکرد-کامفیروز در پایین‌دست سد ملاصدرا به‌عنوان نمونه ارائه شده است.

زیرسیستم آب سطحی

در این زیرسیستم به بررسی وضعیت بیلان آب در سد ملاصدرا پرداخته می‌شود. مولفه‌های مختلفی شامل آب ورودی، تبخیر، سریز، نشت و خروجی (که شامل پارامترهای مختلف تأمین آب شرب، محیط زیست، صنعت و کشاورزی، پارامترهای تقاضای آب شامل تقاضای آب شرب، محیط زیست، صنعت و کشاورزی، مولفه کمبود آب و آب مازاد بر نیاز) با در نظر گرفتن حداقل و حداکثر ظرفیت مخزن می‌باشد. در شکل (۶) زیرسیستم آب سطحی برای سدملاصدرا به همراه مولفه‌های آن ارائه شده است.

کل سیستم

در این بخش کل سیستم مورد بررسی قرار می‌گیرد. همانطوری‌که در شکل (۷) نشان داده شده است زیر سیستم‌های مختلف براساس روابط علت و معلولی به هم مرتبط شده‌اند تا بتوان سیستم جامعی را برای بررسی و مدیریت منابع آب در منطقه در نظر گرفت.

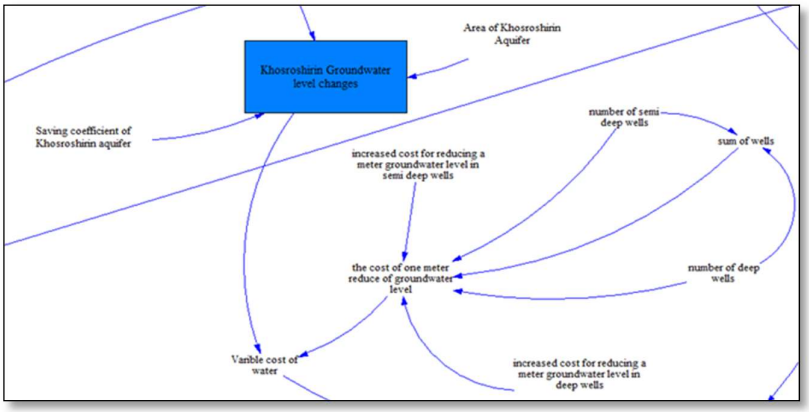


Fig. 4- Sub-system of groundwater level changes for Khosr-oshirin aquifer
شکل ٤- زیرسیستم تغییرات سطح آب زیرزمینی برای آبخوان خسرو-شیرین

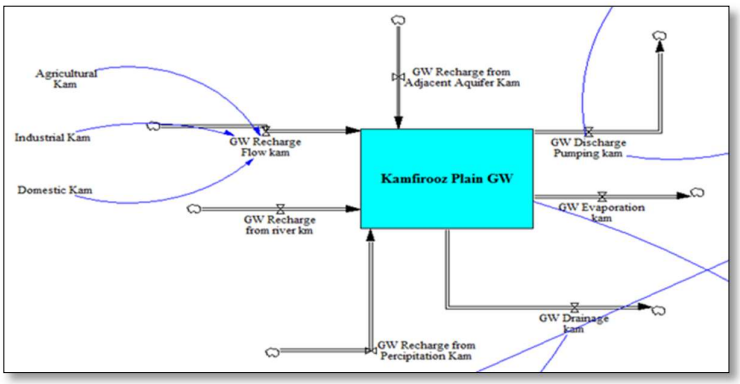


Fig. 5- Sub-system of groundwater changes for Dezkord-Kamfirouz aquifer
شکل ٥- زیرسیستم تغییرات آب زیرزمینی برای آبخوان دزکرد-کامفیروز

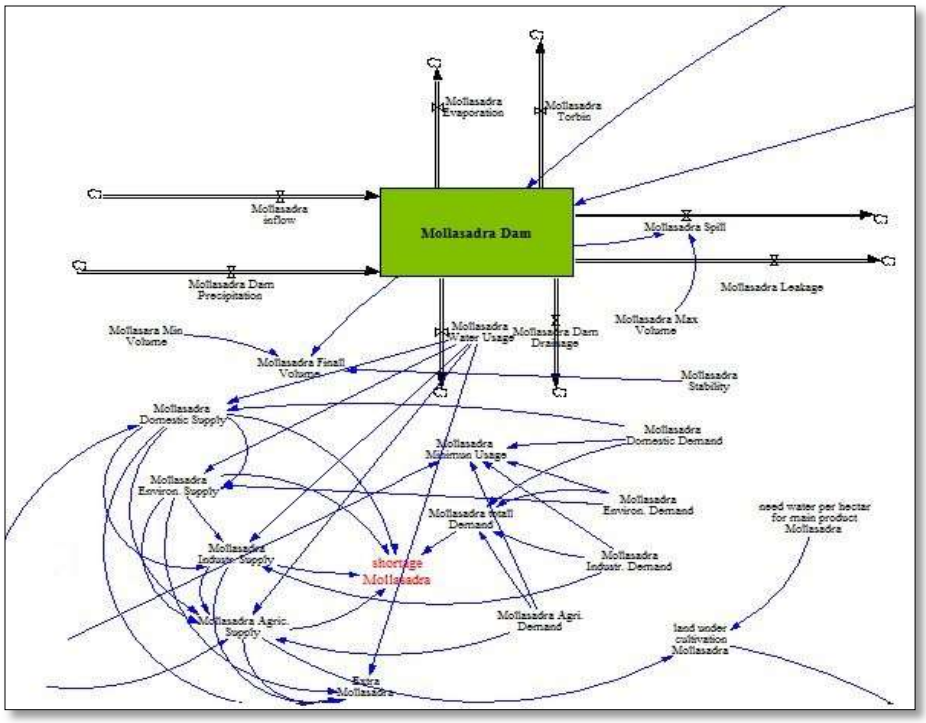


Fig. 6- Sub-system of surface water in Molla Sadra Dam
شکل ٦- زیرسیستم آب سطحی در سد ملاصدرا

نتایج و بحث

نتایج مدل‌سازی

در این بخش به بررسی گزینه‌های مدیریتی مختلف برای بررسی وضعیت منابع آب در منطقه پرداخته می‌شود. برای این منظور ۱۲ گزینه مدیریتی مختلف مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور ابتدا داده‌های مورد نظر برای پارامترهای مختلف در سال‌های آبی ۸۹-۱۳۸۸ تا ۹۹-۱۳۹۸ محاسبه شد. سپس با استفاده از گزینه‌های مدیریتی مختلف به بررسی وضعیت منابع آب در منطقه برای دوره آتی ده ساله ۱۴۰۰-۱۳۹۹ تا ۱۴۰۹-۱۴۰۸ پرداخته شد. در گزینه مدیریتی شماره یک، فرض شده که دوره ده ساله مطابق با شرایط فعلی باشد. در گزینه مدیریتی شماره دو، سطح زیرکشت برای همه محصولات ۲۰ درصد کاهش پیدا می‌کند، این گزینه مدیریتی برای پایین دست سد ملاصدرا اعمال می‌شود. در گزینه مدیریتی شماره سه، مقدار آب برداشتی از آب زیرزمینی (شامل چاه، چشمه و قنات) به میزان ۲۰ درصد کاهش پیدا می‌کند. در گزینه مدیریتی شماره چهار، آب برداشتی از آب زیرزمینی به میزانی کاهش می‌یابد که تغییرات حجم آب زیرزمینی در سه آبخوان منطقه در دوره ده ساله صفر باشد. در گزینه مدیریتی شماره پنج، سطح زیرکشت محصولات پایین دست سد ملاصدرا به میزان ۲۰ درصد کاهش پیدا می‌کند و همزمان برداشت از آب زیرزمینی به میزان ۲۰ درصد کاهش پیدا می‌کند. در گزینه مدیریتی شماره شش، سطح زیرکشت محصول برنج به میزان ۲۰ درصد کاهش پیدا می‌کند. گزینه‌های مدیریتی شماره هفت تا یازده، به‌صورت تغییر الگوی کشت می‌باشد به‌طوری‌که در گزینه مدیریتی شماره هفت، سطح زیرکشت محصول برنج به میزان ۲۰ درصد کاهش پیدا کرده و به جای آن درخت سیب کاشته شود. در گزینه مدیریتی شماره هشت، سطح زیرکشت محصول برنج به میزان ۲۰ درصد کاهش پیدا کرده و به جای آن محصول کنجد کاشته شود. در گزینه مدیریتی شماره نه، سطح زیرکشت محصول برنج به میزان ۲۰ درصد کاهش پیدا کرده و به جای آن محصول آفتابگردان کاشته شود. در گزینه مدیریتی شماره ده، سطح زیرکشت محصول برنج به میزان ۲۰ درصد کاهش پیدا کرده و به جای آن محصول کلزا کاشته شود. در گزینه مدیریتی شماره یازده، کلاً اجازه کشت برنج داده نشده و به جای آن محصول کنجد کشت شود. در گزینه مدیریتی شماره دوازده، کلاً اجازه کشت برنج داده نشود و به جای آن محصول کنجد کشت شود و به‌طور همزمان ۲۰ درصد از برداشت از آب‌های زیرزمینی در سه آبخوان منطقه کاسته شود.

DOI: 10.22055/jise.2024.43286.2062

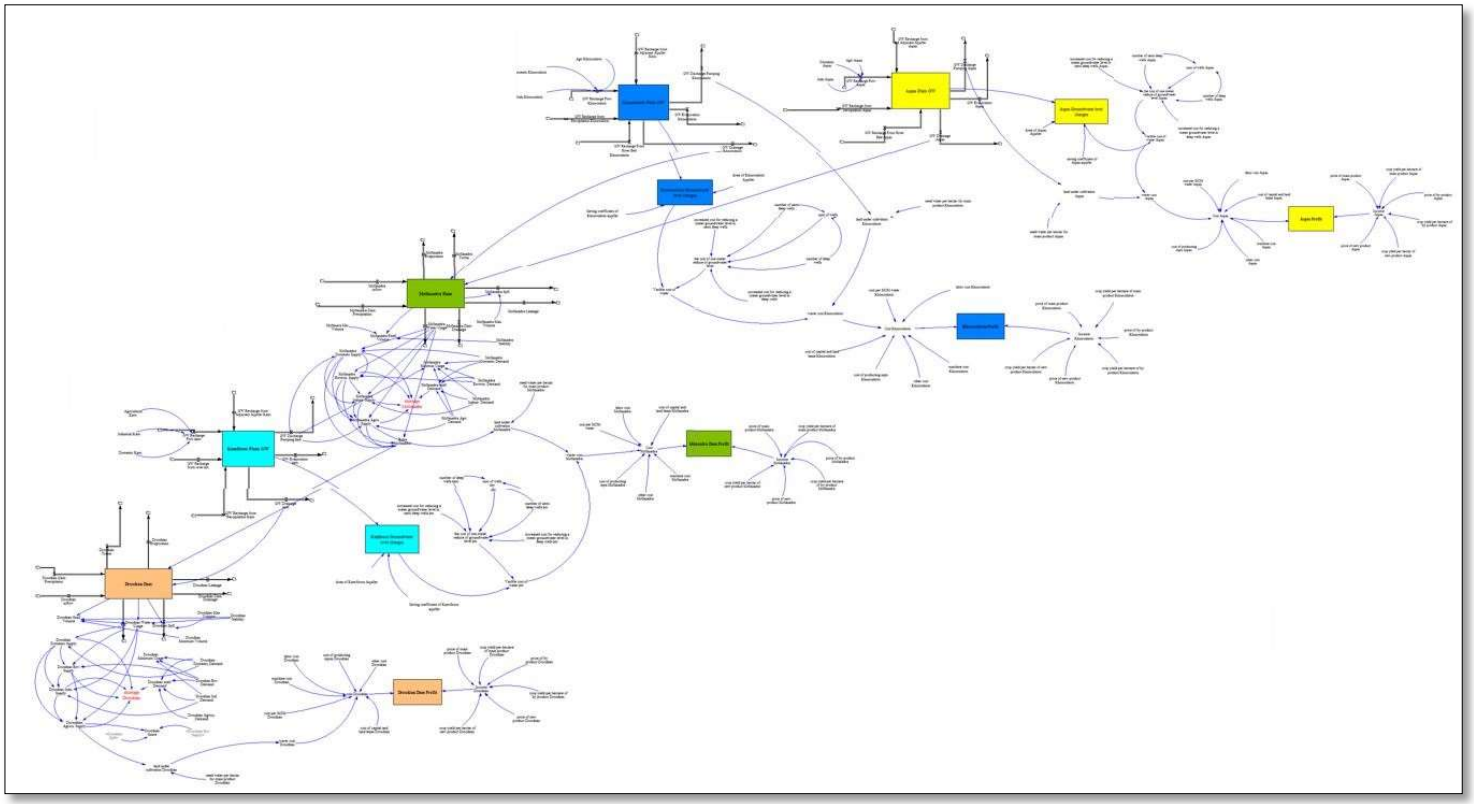


Fig. 7- The whole system
شکل ۷-کل سیستم

نتایج گزینه مدیریتی شماره یک

این گزینه مدیریتی مطابق وضع موجود می‌باشد. نتایج این گزینه مدیریتی به صورت زیر ارائه شده است. در شکل (۸) مؤلفه‌های مختلف در محاسبه مقدار آب مخزن سد ملاصدرا نشان داده شده است. مقدار آب تأمین شده برای کشاورزی در سد ملاصدرا در شکل (۹) نشان داده شده است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که میانگین میزان درآمد سالانه حاصل از اجرای این گزینه مدیریتی برای کشاورزان منطقه آسپاس، خسروشیرین و پایین دست سد ملاصدرا در هر هکتار به ترتیب برابر با ۶۸/۴۷، ۵۷/۰۰ و ۷۴/۰۰ میلیون تومان است. تغییرات حجم ذخیره آب زیرزمینی در آبخوان آسپاس ۱۳/۳۶- میلیون مترمکعب، برای آبخوان خسروشیرین ۱/۱۵ میلیون مترمکعب و برای آبخوان دزکرد-کامفیروز ۷/۲۴ میلیون مترمکعب می‌باشد. با این گزینه مدیریتی، تغییرات سطح آب زیرزمینی در آبخوان آسپاس ۰/۳۶- متر، در آبخوان خسروشیرین ۰/۱۲ متر و در آبخوان دزکرد-کامفیروز ۰/۷۷ متر می‌باشد. میانگین حداقل آب تأمین شده ماهانه برای کشاورزی در این گزینه مدیریتی برای پایین‌دست سد ملاصدرا ۲۸/۵۶ میلیون مترمکعب است. همچنین میانگین سطح زیرکشت در محدوده آسپاس، ۳۵۸۵۶ هکتار می‌باشد. میانگین سطح زیرکشت در محدوده خسروشیرین، ۴۶۳۲ هکتار است. میانگین سطح زیرکشت در پایین‌دست سد ملاصدرا ۸۰۳۹ هکتار می‌باشد. با توجه به تعداد زیاد شکل‌ها، و نتایج گزینه‌های مدیریتی مختلف، در بخش بعد به ارائه نتایج کلی از هر گزینه مدیریتی پرداخته می‌شود.

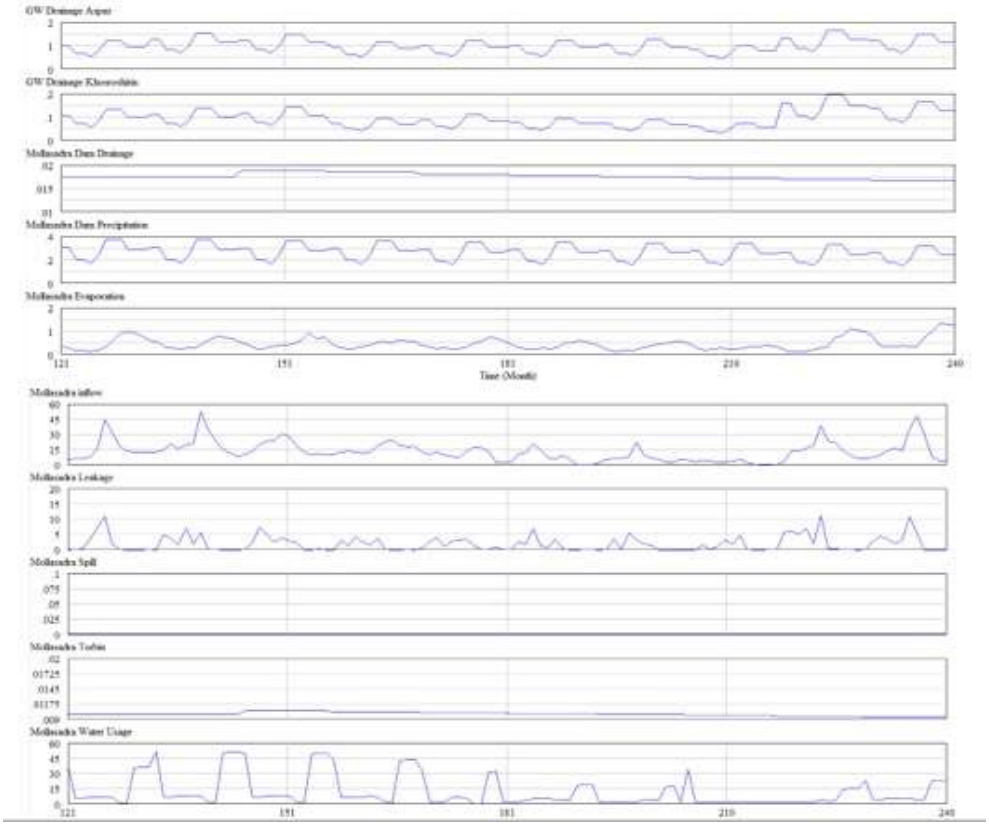


Fig. 8- Different components in the reservoir of the Molla Sadra Dam (MCM)
شکل ۸- مؤلفه‌های مختلف در مخزن سد ملاصدرا (MCM)

 DOI: 10.22055/jise.2024.43286.2062

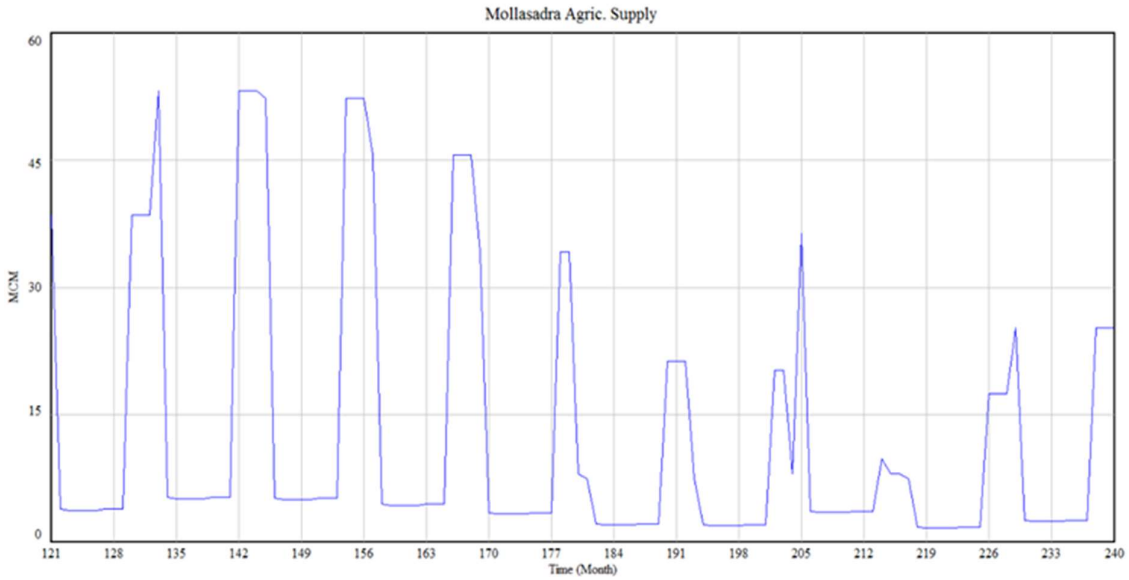


Fig. 9- Amount of water provided for agriculture in Molla Sadra Dam (MCM)

شکل ۹- مقدار آب تأمین شده برای کشاورزی در سد ملاصدرا (MCM)

مقایسه نتایج گزینه‌های مدیریتی مختلف

در جدول (۵) پارامترهای مختلف مربوط به اجرای گزینه‌های مدیریتی مختلف ارائه شده است، براساس این جدول می‌توان قضاوت مناسب‌تری بین اجرای گزینه‌های مدیریتی مختلف داشت. با توجه به نتایج این جدول، گزینه‌های مدیریتی ۱۲ و ۱۱ بهترین گزینه‌های مدیریتی هستند ولی اجرای کامل آن‌ها سخت می‌باشد و ممکن است با مخالفت کشاورزان همراه شود. با توجه به درآمد کشاورزان در پایین دست سد ملاصدرا، گزینه مدیریتی ۱۱ به‌عنوان بهترین گزینه مدیریتی شناخته می‌شود. در این گزینه مدیریتی با تغییر الگوی کشت، کنجد به جای برنج، می‌توان ضمن تأمین آب بیشتر برای پایین دست، درآمد قابل قبولی برای کشاورزان در پی داشته باشد. از بین گزینه‌های مدیریتی تغییر الگوی کشت (گزینه‌های مدیریتی هفت تا ۱۰)، گزینه مدیریتی شماره هفت دارای درآمد بیشتری می‌باشد ولی چون کاشت درخت سیب آب بیشتری مصرف می‌کند، گزینه‌های مدیریتی شماره هشت که تغییر الگوی کشت برنج با کنجد می‌باشد، به‌عنوان بهترین گزینه مدیریتی مربوط به تغییر الگوی کشت شناخته می‌شود.

نتایج نشان داد که تغییر الگو کشت با محصولات سیب، کنجد، کلزا و آفتابگردان به ترتیب دارای درآمد بیشتری هستند. به‌طوری‌که از بین آن‌ها آفتابگردان کمترین درآمد را برای کشاورزان دارد. لذا با توجه به این گزینه‌های مدیریتی، تغییر الگوی کشت کنجد به جای برنج توصیه می‌شود. علاوه بر این جدول، از نظر اقتصادی نیز گزینه‌های مدیریتی مختلف براساس درآمد همه کشاورزان در جدول (۶) ارائه شده است. براساس این جدول سناریو ۱۱ بهترین سناریو می‌باشد چون دارای درآمد بیشتری برای همه کشاورزهای پایین دست سد ملاصدرا متصور شده است. براساس نتایج دوره شبیه‌سازی می‌توان بیان نمود که با متوسط برداشت ۱۲۱/۳۷ میلیون مترمکعب در سال از آب زیرزمینی آبخوان آسپاس می‌توان در طی ده سال تغییرات حجم ذخیره این آبخوان را صفر نمود. همچنین با متوسط برداشت ۷/۶۰ میلیون مترمکعب در سال از آب زیرزمینی آبخوان خسرو-شیرین می‌توان در طی ده سال تغییرات حجم ذخیره این آبخوان را صفر نمود. با متوسط برداشت ۲۶/۵۱ میلیون مترمکعب در سال از آب زیرزمینی آبخوان دزکرد-کامفیروز می‌توان در طی ده سال تغییرات حجم ذخیره این آبخوان را صفر نمود.

جدول ۵- مقایسه نتایج گزینه‌های مدیریتی مختلف

Table 5- Comparison of the results of different scenarios

Various parameters	Area	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
Farmer's annual income (million tomans)	Aspas	68.5	68.5	45.0	15.6	45.0	68.5	68.5	68.5	68.5	68.5	68.5	45.0
	Khosro-shirin	57.0	57.0	35.8	30.5	35.8	57.0	57.0	57.0	57.0	57.0	57.0	35.8
	Downstream of Molla Sadra Dam	74.0	44.5	74.0	74.0	44.5	56.0	84.5	82.0	74.0	78.0	114.0	114.0
Groundwater level changes	Aspas	-0.357	-0.357	0.183	1.077	0.183	-0.357	-0.357	-0.357	-0.357	-0.357	-0.357	0.183
	Khosro-shirin	0.121	0.121	0.395	1.196	0.395	0.121	0.121	0.121	0.121	0.121	0.121	0.395
	Dezkord-Kamfirooz	0.773	0.773	1.539	3.565	1.539	0.773	0.773	0.773	0.773	0.773	0.773	1.539
Groundwater storage changes (MCM)	Aspas	-13.36	-13.36	6.84	40.23	6.84	-13.36	-13.36	-13.36	-13.36	-13.36	-13.36	6.84
	Khosro-shirin	1.15	1.15	3.74	11.33	3.74	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	3.74
	Dezkord-Kamfirooz	7.24	7.24	14.42	33.40	14.42	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	14.42
Land under cultivation (hectares)	Aspas	35856	35856	28684	13840	28684	35856	35856	35856	35856	35856	35856	28684
	Khosro-shirin	4630	4630	3704	866	3704	4630	4630	4630	4630	4630	4630	3704
	Downstream of Molla Sadra Dam	8039	6713	7811	6569	6502	6817	8039	8039	8039	8039	8039	7811
Average minimum monthly water supply for agriculture (MCM)	Molla Sadra Dam	28.56	23.85	27.75	23.34	23.10	24.22	25.20	24.76	25.07	24.61	7.69	7.70
Average monthly minimum water shortage for agriculture (MCM)	Molla Sadra Dam	-0.88	-0.88	-0.88	-3.49	-1.69	-1.69	-1.69	-1.69	-1.69	-0.88	-2.56	-0.88

 DOI: 10.22055/jise.2024.43286.2062

جدول ٦- درآمد کشاورزان هر منطقه (بر حسب میلیارد تومان در سال) در سناریوهای مختلف
Table 6- Income of farmers of each region (in billion Tomans per year) in different scenarios

	Different scenarios											
Area	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Aspas	2455.0	2455.0	1290.7	216.2	1290.7	2455.0	2455.0	2455.0	2455.0	2455.0	2455.0	1290.7
Khosro-shirin	263.9	263.9	132.6	26.4	132.6	263.9	263.9	263.9	263.9	263.9	263.9	132.6
Downstream Molla Sadra dam	594.9	298.7	578.0	486.1	289.3	381.8	679.3	659.1	594.9	627.0	916.4	890.5

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به‌منظور بررسی وضعیت منابع و مصارف آب سطحی و زیرزمینی سد ملاصدرا از اطلاعات و آمار ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری موجود در داخل و اطراف حوضه استفاده شد. با ترسیم نقشه‌های هم بارش و هم‌دمای ماهانه در سال‌های مختلف برای آبخوان‌ها و محدوده‌های مطالعاتی، مقادیر بارش و دما برای هر یک از آن‌ها، استخراج شد. در این مطالعه با بررسی وضعیت منابع و مصارف در بالادست و پایین دست سد ملاصدرا، و برقراری ارتباط بین آب‌های سطحی و زیرزمینی با استفاده از نرم‌افزار ونسیم، پویایی سیستم مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور زیر سیستم‌های اقتصادی، تغییرات سطح آب زیرزمینی، تغییرات حجم آب زیرزمینی، آب سطحی و کل سیستم در محیط نرم‌افزار بررسی شد. شبیه‌سازی عملکرد آبخوان‌های بالادست و پایین دست سد ملاصدرا و مخزن سد ملاصدرا طی سال‌های ۱۳۸۸ الی ۱۳۹۹ بررسی شد. سپس مدل برای یک افق ده ساله مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور دوازده گزینه مدیریتی مختلف ارائه شد. از بین گزینه‌های مدیریتی تغییر الگوی کشت، گزینه مدیریتی شماره هفت دارای درآمد بیشتری می‌باشد ولی چون کاشت درخت سیب آب بیشتری مصرف می کند گزینه مدیریتی شماره هشت که تغییر الگوی کشت برنج با کنجد می‌باشد، به‌عنوان بهترین گزینه مدیریتی مربوط به تغییر الگوی کشت شناخته می‌شود. نتایج بررسی گزینه‌های مدیریتی مختلف نشان داد که اگر کشت برنج به طور کامل صورت نگیرد و محصول کنجد به جای آن کاشته شود، می‌توان درآمد قابل قبولی داشت (گزینه مدیریتی ۱۱). نتایج نشان داد که تغییر الگو کشت با محصولات سیب، کنجد، کلزا و آفتابگردان به‌ترتیب دارای درآمد بیشتری هستند. به‌طوری‌که از بین آن‌ها آفتابگردان کمترین درآمد را برای کشاورزان دارد. لذا با توجه به این گزینه‌های مدیریتی، تغییر الگوی کشت کنجد به جای برنج توصیه می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع مالی

حمایت های مالی این تحقیق از محل اعتبار پژوهشی شماره پژوهانه SCU.WH1401.589 صورت گرفته است

دسترسی به داده‌ها

مجموعه داده‌های تولید شده و یا تحلیل شده در طول مطالعه حاضر، در صورت درخواست معقول، از نویسنده مسئول در دسترس هستند.

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

اصول اخلاقی در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت شده و این موضوع مورد تأیید همه نویسندگان می‌باشد.

اعلامیه هوش مصنوعی مولد و فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در فرایند نگارش

نویسندگان در مقاله خود از هوش مصنوعی مولد و فناوری‌های کمکی هوش مصنوعی استفاده نکرده‌اند.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: ابوالفضل لقب‌دوست: بررسی و تحقیق، نگارش، بازبینی و ویرایش

نویسنده دوم: حیدر زارعی: مفهوم‌سازی، روش‌شناسی، نگارش، پیش‌نویس اولیه، نگارش، بازبینی و ویرایش.

نویسنده سوم: فریدون رادمنش: نگارش، بازبینی و ویرایش.

نویسنده چهارم: اباذر سلگی: نرم‌افزار، نگارش، تهیه پیش‌نویس اولیه.

نویسنده پنجم: مهدی ضرغامی: روش‌شناسی، نگارش، تهیه پیش‌نویس اولیه.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این تحقیق، از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز صمیمانه قدردانی و همچنین از شرکت آب منطقه‌ای استان فارس به‌دلیل همکاری‌های لازم و در اختیار قرار دادن اطلاعات مورد نیاز این مطالعه، کمال تقدیر و تشکر را به‌عمل می‌آورند.

References

1- Adeniran, A.E. and Bamiro, O.A., 2010. Application of System Dynamics Model to the Strategic Planning of a Municipal Water Supply Scheme. *Application of System Dynamics methods*, *Water Resources Engineering*, pp.1-14.

2- Ahmad, S. and Simonovic, S.P., 2004. Spatial system dynamics: a new approach for simulation of water resources systems. *ASCE Journal of Computing in Civil Engineering*, 18(4), pp. 331-340. Doi: 10.1061/(ASCE)0887-3801(2004)18:4(331).

3- Alizadeh, A., 2004, Principles of Applied Hydrology, *Imam Reza University Publications*, 14th edition, 816 pages.

4- Aram, P., 2014. Systematic analysis of groundwater level changes with the aim of policy making in the agricultural sector (Case study: Firozabad Plain). Master's thesis, *Shiraz University of Technology*. (In Persian).

5- Giordano, R., Brugnach, M. and Vurro, M., 2012. System dynamic modelling for conflicts analysis in groundwater management. In *9th International Congress on Environmental Modelling and Software, Leipzig, Germany*.

6- Goldani, S.R, Rajabi Mashhadi, H. and Ghazi, R., 2012. An Analytical Model for Generation Expansion Planning in Competitive Environment based on Dynamic Balance between Energy Supply and Demand. *Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers*, 8 (1), pp. 57-66. (In Persian).

7- Guemouria, A., Chehbouni, A., Belaqziz, S., Epule, T., Ait Brahim, Y.A., El Khalki, E.M., Dhiba, D. and Bouchaou, L., 2023. System dynamics approach for water resources management: a case study from the Souss-Massa basin. *Water*, 15(8), pp. 1-29. Doi: 10.3390/w15081506.

8- Hedayat, S., 2016. *Assessment and optimal management of groundwater resources* (Bakhtegan-Maharlo watershed). Master's thesis, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. (In Persian).

9- Koti, J.H., Smith, C., Brown, G., Marshall, N. and Johnstone, R., 2016. A system dynamics simulation model for sustainable water resources management and agricultural development in the Volta River Basin, Ghana. *Science of the Total Environment*, 573, pp. 444-457. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.08.081.

10- Luo, Y., Khan, S., Cui, Y. and Peng, S.H., 2009. Application of system dynamics approach for time varying water balance in aerobic paddy fields. *Paddy Water Environ,* 7, pp.1-9.

11- Madani, K., 2014. Water management in Iran: what is causing the looming crisis?. *Journal of Environmental Studies and Sciences,* 4(4), pp. 315-328.

12- Phan, T.D., Bertone, E. and Stewart, R.A., 2021. Critical review of system dynamics modelling applications for water resources planning and management. *Cleaner Environmental Systems*, 2(100031), pp. 1-15. Doi: 10.1016/j.cesys.2021.100031.

13- Sahin, O., Siems, R.S., Stewart, R.A. and Porter, M.G., 2016. Paradigm shift to enhanced water supply planning through augmented grids, scarcity pricing and adaptive factory water: A system dynamics approach. *Environmental Modelling & Software*, 75, pp. 348-361. Doi: 10.1016/j.envsoft.2014.05.018.

14- Shahrokhi Sardo, M. and Jalal Kamali, N., 2021. System Dynamic Model of Groundwater Exploitation Management and Artificial Recharging Performance (Case Study of Nessa Plain, Bam, Kerman). *Iranian Water Research Journal*, 15(2), pp.109-118. (In Persian).

15- Simonovic, S.P. and Rajasekaram, V., 2004. Integrated analyses of Canada's Water resources: A system dynamics approach. *Canadian Water Resources Journal/Revue canadienne Des Ressources Hydriques*, 29 (4), pp. 223-250. Doi: 10.4296/cwrj223.

16- Soleimani Sardoo, F., Vakili Tajareh, F. and Rostami Khalaj, M., 2021. Water Resources Management in the South of Kerman Province Using the System Dynamics Model. *Iranian Journal of Watershed Management Science*, 15 (55), pp.11-21. Dor: 20.1001.1.20089554.1400.15.55.3.1. (In Persian).

17- Winz, I., Brierley, G. and Trowsdale, S., 2009. The use of system dynamics simulation in water resources management. *Water Resources Managment*, 23(7), pp. 1301-1323.

18- Zarghami, M. and Akbariyeh, S., 2012. System dynamics modeling for complex urban water systems: Application to the city of Tabriz, Iran. *Resources, Conservation and Recycling*, 60, pp. 99-106. Doi: 10.1016/j.resconrec.2011.11.008.

19- Zhilia, C., Xuan, W., Cong, P., Yan, C. and Weichen, H., 2018. A hybrid system dynamics and optimization approach for supporting sustainable water resources planning in Zhengzhou City, China. *Journal of Hydrology*, 556, pp. 50-60. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2017.11.007.