

Original Research Article

Systematic analysis of the factors affecting the water crisis in the Zayandeh Rood watershed

Zakeyeh Aftabi¹, Mohamad Yosefi Shatori¹, Morad Kaviani Rad^{2*}

¹ PhD. student, political geography, Kharazmi University, Tehran, Iran

² Associate professor, political geography, Kharazmi University, Tehran, Iran



10.22034/GRD.2024.20710.1594

Received:

February 6, 2024

Accepted:

October 26, 2024

Keywords:

Systemic thinking, Water harvesting activities, Water resources management, Political-legal component

Abstract

The increasing exploitation and pollution of freshwater resources has reached a level that threatens food production, function of ecosystems, and residential areas in the coming decades more than in the past. This article, which is applied in nature, aims to identify the factors contributing to the critical situation of water resources in the Zayandeh Rood watershed. The identification was through a descriptive-analytical method. The data were collected by library and field work, including interviews and questionnaires, and analyzed using a system thinking approach, the Vensim software, and the FBMW and FARAS models. The research findings indicate that, among the factors affecting the critical situation of water resources in the Zayandeh Rood watershed, the political-legal component, with a final weight of 0.443, is the most influential. Among the identified effective factors, the lack of a proper governance structure and inefficient management of water resources in the watershed with a weight of 0.104, the activities of water-intensive industries in the watershed with a weight of 0.102, and the high volume of virtual water exports with a weight of 0.100 were identified as the most significant contributors to the critical situation of the water resources in that watershed. Although the impact of the factors identified by the opinion of experts is in the final weight range of 0.044 to 0.104, all the factors identified with different intensity and weakness in the form of a coherent system are of effects on the water crisis in the Zayandeh Rood watershed.

E-ISSN: 2588-7009 /© 2023. Published by Yazd University. This is an open access article under the CC BY 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



* Corresponding Author: Morad Kaviani Rad

Address: Kharazmi University, Tehran, Iran

Email: kaviani@khu.ac.ir

Extended Abstract

1. Introduction

The origin, circulation and distribution of water in nature are strongly intertwined with the life and survival of the living beings on the planet and include all the aspects of human life and the ecosystem. The Zayandeh Rood watershed, with its arid and semi-arid climatic range in the central plateau of Iran, has been faced with numerous economic, social, environmental and natural problems and challenges in recent decades such that, today, this basin has been severely affected by the consequences of the water crisis leading to a chaotic situation in the basin and social reactions and protests. In terms of climate and environment, there has been a draught and lack of rainfall. Consecutive events in the basin have increased the scope of the water crisis, which has increased the pressures arising from the lack of water in various sectors and has created threats at the basin level and on a national scale. The water crisis in the Zayandeh Rood watershed is very complex and intertwined. In this regard, systemic thinking is a powerful way to deal with such complex issues. This method reduces the complexity of the problem by modeling a system and showing its components completely, thus helping planners fully understand the problem. The current research aims to investigate and analyze the problem of water crisis in the Zayandeh Rood watershed with the method of systematic analysis. The question to ask is ‘what are the factors affecting the water crisis in the Zayandeh Rood watershed?’ This study has identified the factors affecting the water crisis in the watershed and the corresponding sub-factors. It addresses these factors with a systemic approach and a descriptive-analytical method.

The innovation of the present research is to provide a complete picture of the water crisis in the Zayandeh Rood watershed with all the influencing factors included.

2. Research Methodology

In terms of methodology, the present research is quantitative-qualitative, and, in terms of results, it is applied and exploratory. In order to identify the factors influencing the water resources crisis in the Zayandeh Rood watershed, the approach of systemic thinking is adopted. To carry out this research, a library study was done first of the factors influencing the water resource crisis in the watershed, and then the validity of the identified factors was checked through a survey (interviews with experts). In this stage, some of the identified factors were removed, some were added, and some were combined. Next, to determine the importance of the identified factors, a researcher-made questionnaire was used. This questionnaire was designed as a cross matrix. The validity of the questionnaire was confirmed by an expert panel. A sample of 28 experts in the field was selected by purposive sampling. The completed questionnaires were checked with the FBMW and FARAS models. In the end, system dynamics and system thinking approaches were used to show the relationships between the identified variables. For this purpose, the Vensim software version 6.4 EX32 was used.

3. Results and discussion

A combination of political-legal, social-cultural, natural-environmental, and economic-technical subsystems creates the final system for the formation of the critical situation of water resources in the Zayandeh Rood watershed. These four subsystems can never work separately. The factors of each subsystem can influence each other and be influenced by each other. They also have a mutual and systemic relationship with each other and a mutual relationship with the factors of other systems. Therefore, the factors of each of the subsystems directly and indirectly influence each other and the factors of other subsystems. All the four sub-systems are related to one another in some way, reinforce one another in two or even several ways, and finally create a whole and unified system (structure) for the formation of the critical situation of the water resources in the Zayandeh Rood

watershed. The resulting system is dynamic and open, and, over time, its subsystems and constituents can increase or decrease.

4. Conclusion

The water crisis in the Zayandeh Rood watershed has become a serious issue in the country. The crisis is influenced by economic-technical, natural-environmental, social-cultural, political-legal components and several factors, each of which has a different impact on the crisis. The research results showed that the political-legal component had the most impact and the natural-environmental component had the least impact on the water crisis in the Zayandeh Rood watershed. This shows the role of decisions, laws and human activities in the water crisis. Also, the lack of proper governance, the inefficient management of water resources in the watershed, the activity of water industries in the watershed, and the high volume of virtual water export are the most effective factors in the critical situation of water resources. The role of man and his activities is highlighted in the crisis. Therefore, dealing with the integrated and optimal management of water resources at the national level and correspondingly at the level of the Zayandeh Rood watershed is suggested as the most appropriate scientific solution to prevent the occurrence of a critical situation in this watershed.



مقاله پژوهشی

تحلیل سیستمی عوامل تأثیرگذار بر بحران آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود

زکيه آفتابی^۱، محمد یوسفی شاتوری^۱، مراد کاویانی راد^{۲*}^۱ دانشجوی دکتری جغرافیای سیاسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.^۲ دانشیار جغرافیای سیاسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

doi 10.22034/GRD.2024.20710.1594

چکیده

با برداشت فزاینده انسان و آلودگی منابع آب شیرین به اندازه‌ای رسیده است که تولید غذا، عملکرد زیست‌بوم‌ها و عرصه‌های سکونتگاهی را در دهه‌های پیش‌رو، بیش‌تر از گذشته محدود می‌کند. مقاله حاضر که ماهیتی کاربردی دارد، در پی شناسایی عوامل تأثیرگذار بر وضعیت بحرانی منابع آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود است. روش شناسایی حاکم بر پژوهش توصیفی-تحلیلی است. داده‌های موردنیاز پژوهش با روش کتابخانه‌ای و میدانی (مصاحبه و پرسشنامه) گردآوری و با رویکرد تفکر سیستمی، نرم‌افزار Vensim و مدل‌های FBMW و FARAS بررسی شده است. یافته‌های پژوهش نشان داد از بین مؤلفه‌های تأثیرگذار بر وضعیت بحرانی منابع آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود، مؤلفه سیاسی-حقوقی با وزن نهایی ۰/۴۴۳ بیشترین تأثیرگذاری و از بین عوامل مؤثر شناسایی‌شده، نبود ساختار حکمرانی مناسب و مدیریت ناکارآمد منابع آب در حوضه آبخیز با وزن ۰/۱۰۴، فعالیت صنایع آب‌بر در حوضه آبخیز با وزن ۰/۱۰۲ و سرانجام بالا بودن حجم صادرات آب مجازی با وزن ۰/۱۰۰ به‌عنوان مؤثرترین عوامل تأثیرگذار بر وضعیت بحرانی منابع آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود شناسایی شدند. گرچه تأثیر عوامل شناسایی‌شده با نظر خبرگان طیفی با وزن نهایی ۰/۰۴۴ تا ۰/۱۰۴ را در بر می‌گیرد، اما همه عوامل شناسایی‌شده با شدت و ضعف متفاوت در قالب سیستمی منسجم بر بحران آب حوضه آبخیز زاینده‌رود مؤثر بوده‌اند.

تاریخ دریافت:

۱۷ بهمن ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش:

۰۵ آبان ۱۴۰۳

کلیدواژه‌ها:

تفکر سیستمی،
فعالیت‌های اقتصادی آب‌بر،
مدیریت منابع آب و مؤلفه
سیاسی-حقوقی،

۱ مقدمه

پیدایش، چرخش و پراکنش آب در طبیعت به‌شدت با زیست و بقای زیست‌مندان کره زمین درهم‌تنیده است و همه جنبه‌های زندگی انسان‌ها و اکوسیستم را در بر می‌گیرد. این عنصر حیاتی با تنظیم عملکرد اکوسیستم و حفظ کیفیت محیط در حمایت از سلامت و رفاه انسان نقش بنیادی دارد. امروزه بهره‌مندی پایدار از منابع آبی دچار مشکلات و چالش‌های کلانی مانند رشد جمعیت، بستر اقتصادی شکننده، افزایش تقاضا برای آب، نیاز به تضمین امنیت غذایی، زوال کیفیت و فرسودگی زیرساخت‌هاست که با توزیع نابرابر منابع آب شیرین، بسیاری از مناطق جهان درگیر کمبود منابع آب شده‌اند. با کمبود فزاینده منابع آب درگیری میان بهره‌برداران تشدید شده و باعث شده است که منابع آب در سطوح اجتماعی و مقیاس‌های فضایی، مناسب‌ساز باشند.

Email: kaviani@khu.ac.ir

* نویسنده مسئول: مراد کاویانی راد

آدرس: گروه جغرافیا سیاسی، دانشگاه خوارزمی تهران.

ناکافی بودن منابع آب برای پاسخگویی به افزایش مصرف آب و برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی ناگواری در پی داشته است که این مسئله بر دامنه کمبود آب افزوده و به پیدایش بحران آب انجامیده است. بر این پایه، بحران آب به‌عنوان چالشی بنیادی در نظر گرفته می‌شود که تنگنایهای برخاسته از آن بسیار پیچیده است و روزبه‌روز بر این پیچیدگی افزوده می‌شود.

حوضه آبخیز زاینده‌رود با محدوده اقلیمی خشک و نیمه‌خشک در فلات مرکزی ایران، در دهه‌های اخیر با مشکلات و چالش‌های اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و طبیعی پرشماری روبه‌رو بوده است. به‌گونه‌ای که امروزه این حوضه به‌شدت تحت تأثیر پیامدهای ناشی از بحران آب قرار گرفته و وضعیت نابسامانی را در حوضه پدید آورده است و منجر به واکنش‌ها و اعتراضات اجتماعی شده و از نظر اقلیمی و زیست‌محیطی، کمبود بارش و خشک‌سالی‌های پیاپی در حوضه بر دامنه بحران آب افزوده است که فشارهای برخاسته از کمبود آب در بخش‌های گوناگون، گسترده‌تر شده و تهدیداتی را در سطح حوضه و در مقیاس ملی به وجود آورده است. عدم تعامل و ارتباط زیرسیستم‌های ناشی از بحران آب که از علل مهم در بروز ناپایداری منابع آب در حوضه به شمار می‌رود، به همراه الگوی مدیریت ناکارآمد، شکاف در حکمرانی منابع آب حوضه، توزیع ناعادلانه منابع آب، رشد غیرسیستماتیک جمعیت و غیره، تقاضای آب را در حوضه افزایش داده و پایداری سکونتگاه‌ها و جوامع انسانی را با مشکل مواجه کرده است. با نگرش به این‌که امروزه بحران آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود رو به فزونی است و در این روند عوامل مؤثر گوناگونی دخالت دارند، مسئله بحران آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود بسیار پیچیده‌تر از گذشته شده است. در این زمینه شمار گسترده‌ای از تحقیقات در دهه‌های گذشته بر درک بحران آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود متمرکز شده‌اند که مبنای نظری و عملی سرشاری برای توصیف بحران آب به‌ویژه از دیدگاه هیدروپلیتیک فراهم کرده و هرکدام از این مطالعات عوامل گوناگونی را به‌عنوان عوامل مؤثر بر بحران آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود بیان کرده است. اما مسئله بحران آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود بسیار پیچیده و درهم‌تنیده است. از طرفی تفکر سیستمی روشی قوی برای رویارویی با امور و موضوعات پیچیده است. این روش با مدل کردن سیستم و نشان دادن اجزای آن به‌صورت کامل از پیچیدگی مسئله می‌کاهد و به برنامه‌ریز کمک می‌کند که به مسئله پژوهش اشراف کامل یابد.

به‌منظور بررسی بحران آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود، می‌توان با کمک تحلیل سیستمی به‌عنوان یکی از روش‌های مهم و گسترده، مسائل چالش‌برانگیز و پیچیده پیونددار با بحران آب را در حوضه آبخیز زاینده‌رود موردبررسی و واکاوی قرار داد.

پژوهش حاضر بر آن است که با روش تحلیل سیستمی، مسئله بحران آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود را بررسی و واکاوی کند. دراین‌باره با طرح این پرسش که عوامل مؤثر بر بحران آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود کدام است؟ اقدام به شناسایی مؤلفه‌های مؤثر بر بحران آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود و عوامل تشکیل‌دهنده هرکدام از این مؤلفه‌ها کرده و با روش توصیفی-تحلیلی به واکاوی این مؤلفه‌ها با رویکرد سیستمی پرداخته است.

نوآوری پژوهش حاضر برآوردن درک جامعی از بحران آب حاکم بر حوضه آبخیز زاینده‌رود در قالب یک کلیت منسجم از مجموع عوامل تأثیرگذار و تأثیرپذیر بر یکدیگر و شناسایی مؤثرترین عوامل تأثیرگذار بر وضعیت بحرانی منابع آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود است.

۲ مبانی نظری

۲.۱ رویکرد تفکر سیستمی

بسیاری از کارشناسان بر این باور هستند که درک پیچیدگی سیستم‌ها بسیار ضروری است و برای آینده مهم به نظر می‌رسد. برای نخستین بار، باری ریچموند^۱ در سال ۱۹۸۷ تفکر سیستمی را مطرح کرد و به طرح پویایی سیستم‌ها پرداخت (آرلوند و واده^۲، ۲۰۱۵). تفکر سیستمی ریشه در مدل‌های ذهنی دارد و از دهه ۱۹۶۰ در حال تکامل بوده و به‌طور فزاینده‌ای برای درک سیستم‌های پویا و پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرد. این رویکرد، در تصمیم‌گیری‌ها و بهبود عملکرد مدیران هنگام وقوع بحران مسئله‌ای است که باید مورد توجه اغلب سازمان‌ها قرار بگیرد که امری ضروری در مدیریت بحران تلقی شده و می‌توان به‌منظور بهبود عملکرد آن‌ها و اهداف سازمانی به‌کار گرفته شود (امینی، ۱۴۰۱). همچنین، از آنجاکه این رویکرد برای شناخت یک مسئله است و جنبه‌های تجزیه و تحلیل آن را در بر می‌گیرد؛ امروزه با گسترش این روش در مطالعات علمی و تجزیه و تحلیل ساختاری و کارکردی آن‌ها از روند مطالعه سیستم‌ها، هدف نهایی آن توصیف پیچیدگی‌ها و پویایی سیستم بوده که به‌عنوان رویکرد نوین از پویایی سیستم تلقی شده و برای توضیح و تفسیر سیستم از آن استفاده می‌شود. در این باره، آرلوند و وید تفکر سیستمی را مجموعه‌ای از تجزیه و تحلیل مهارت‌ها به‌منظور هم‌افزایی تعریف می‌کنند که در آن قابلیت شناسایی و درک سیستم‌ها، پیش‌بینی رفتار آن‌ها و تغییرات برای ایجاد تأثیرات مطلوب وجود دارد.

افزون بر این، با استفاده از این رویکرد می‌توان درک بهتری از مسئله نمایان ساخت که امکان مداخلات سیاستی و برنامه‌ریزی برای سیستم‌های پیچیده را فراهم می‌کند (دوستی‌ایرانی و دهقانی‌خاوری، ۱۴۰۰). در این متن، این رویکرد بر آن است که رابطه علی میان متغیرهای کلیدی را در رابطه با آب آشکار کند. به‌گونه‌ای که بتوان از این طریق درک گسترده‌تری از چالش‌های مدیریت آب ایجاد شود. افزون بر این، تفکر سیستمی اساساً جنبه‌های مختلف بحران آب از جمله مدل عرضه و تقاضای آب، مدل حاکمیت آب و همچنین مدل اقتصادی آب و محیط‌زیست را در بر می‌گیرد و به‌عنوان ابزار تصمیم‌گیری، پیشنهادی برای درک چالش‌های مدیریت یکپارچه منابع آب است. بدین ترتیب، تحلیل یا تفکر سیستمی یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین ابزارهای دینامیک سیستم برای درک رابطه میان متغیرهای مختلف است که بر رفتار سیستم تأثیر می‌گذارد. در این‌گونه تحلیل‌ها، به‌صراحت فرایند بازخورد و تأخیرهای زمانی متغیرها در نظر گرفته می‌شوند و اگر متغیری به نسبت مستقیم نسبت به متغیر دیگری تغییر کند، نشان‌دهنده یک فرایند تقویت‌کننده و اگر متغیری به نسبت معکوس نسبت به متغیر دیگری تغییر کند، نشان‌دهنده یک فرایند متعادل‌کننده است (رام و عرفان^۳، ۲۰۲۱؛ فولان^۴، ۲۰۰۵).

۲.۲ بحران آب

بحران آب به‌عنوان یکی از چالش‌های جهانی در دهه‌های آینده فهرست شده که اغلب ساکنان زیست‌کره را در برابر خودش آسیب‌پذیر کرده است که اغلب آن‌ها به آب آشامیدنی تمیز و کافی دسترسی ندارند (تزاناکاکیس^۵ و همکاران، ۲۰۲۰). نزدیک به ۹۹ درصد از آب شیرین موجود در زمین در یخچال‌ها و کلاهک‌های یخی، رطوبت

¹ Barry Richmond

² Arlond & Wade

³ Ram & Irfan

⁴ Fullan

⁵ Tzanakakis

خاک و عمق بسیار زیاد قرار دارد و دسترسی به آن وجود ندارد (سیور و احمد^۱، ۲۰۱۴). بنابراین، فقط نزدیک به یک درصد از منابع آب شیرین و ۰/۰۰۷ درصد از کل منابع آب (وولف^۲، ۲۰۰۷) برای استفاده انسان به راحتی در دسترس است (سلامه و همکاران، ۲۰۲۰). این در حالی است که توزیع مکانی و زمانی مقدار آب تجدیدشونده کاملاً متغیر بوده و متناسب با توزیع جمعیت و نیازهای آبی جوامع بشری نیست (ماکسمه، ۲۰۱۸) و باعث بحران آب در برخی از مناطق جهان شده است. بر این پایه، بحران آب از نگرانی‌های اساسی چند دهه اخیر بوده است (تزانا کاکیس و همکاران، ۲۰۲۰). با توجه به این که امروزه بحران آب تهدیدی علیه جامعه بشری در مقیاس جهانی است. دگرگونی و بقای جوامع انسانی درگرو این کالای راهبردی کمیاب است که برای دسترسی به آن کنش‌ها و واکنش‌های بسیاری از جمله درگیری و جنگ‌هایی رخ داده است. حتی برخی از کشورها دسترسی به آن را به عنوان تضمینی برای بقای خود و نیل به اهداف از پیش تعیین شده خود می‌پندارند.

با افزایش کمبود آب در جهان که زندگی نزدیک به چهار میلیارد نفر دست‌کم برای یک ماه در سال تحت تأثیر قرار داده که عمده‌تاً این مسئله در مناطقی با تراکم جمعیت بالا (کلان‌شهرها) و مناطق خشک با تأثیرگذاری کشاورزی بازتاب بسیاری داشته است؛ پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۵۰ تقاضا برای آب بین ۲۰ تا ۳۰ درصد نسبت به وضعیت کنونی روند افزایشی داشته باشد. بر بنیاد داده‌های سال ۲۰۱۷ در مورد سرانه کل منابع آب تجدیدپذیر، هشت کشور زیر ۱۰۰ مترمکعب به ازای هر نفر در سال بودند که هفت مورد آن مربوط به کشورهای جنوب غرب آسیاست که عوامل متعددی از جمله سطح توسعه‌یافتگی کشورها، سطح صنعتی شدن، شهرنشینی یا فقر در مصرف آب و مصارف آن مؤثر واقع شده‌اند (رودریگز^۳ و همکاران، ۲۰۲۲).

غرب آسیا از آن دست مناطقی است که روی نوار بیابانی زمین قرار دارد و به ذات کم بارش است. طی چند دهه گذشته کشورهای این منطقه به واسطه افزایش جمعیت و تشدید نیازها و تنگناهای فزاینده منابع آب درگیر یک رشته مناسبات تنش آمیز هیدروپلیتیک محور شده‌اند. این منطقه از جهان با تنش شدید آب و به دنبال آن کاهش انعطاف‌پذیری ناشی از چالش‌های سیاسی و اقتصادی همراه است (آفتابی و همکاران، ۱۴۰۲). کشور ایران واقع در غرب آسیا، طی سال‌های اخیر به علت رشد سریع و توزیع نامناسب فضایی جمعیت، رشد شهرنشینی، تغییر اقلیم، بروز خشک‌سالی‌های پی‌پی و مجموعه عوامل دیگر با خشک شدن رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، بیابان‌زایی و آلودگی هوا، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و به‌طورکلی با ورشکستگی آب روبه‌رو است (ساعیان^۴ و همکاران، ۲۰۲۲). در این بین حوضه آبریز مرکزی ایران نسبت به دیگر نقاط کشور با بحران جدی‌تر منابع آب مواجه است. زیرحوضه آبخیز زاینده‌رود واقع در حوضه آبریز مرکزی با تشدید کمبود آب و پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی خود امنیت ملی را به مخاطره انداخته است (گل کرمی و کاویانی، ۱۳۹۶). به گونه‌ای که بحران آب در این حوضه منجر به تنش‌های امنیتی شده است (حاتمی و نوربخش، ۱۳۹۸) و بحران‌های جدی اجتماعی، اقتصادی و سیاسی را در سطح محلی و ملی ایجاد کرده است.

۳ روش تحقیق

حوضه آبخیز زاینده‌رود با میانگین بارش حوضه ۲۷۸ میلی‌متر در بخش میانی فلات ایران و در میانه ارتفاعات زاگرس و بلندی‌های مرکزی ایران قرار دارد. مساحت حوضه آبخیز زاینده‌رود ۲۶۹۷۲ کیلومترمربع است. به گونه‌ای

¹ Siwar and Ahmed

² Wolf

³ Rodríguez

⁴ Saemian

که ۹۳ درصد حوضه در استان اصفهان و هفت درصد آن در استان چهارمحال و بختیاری واقع است. در منطقه چلگرد-کوهرنگ واقع در استان چهارمحال و بختیاری میزان بارش متوسط درازمدت سالانه نزدیک به ۱۴۰۰ میلی‌متر است، درحالی‌که در پایاب حوضه یعنی تالاب گاوخونی، میانگین بارش سالانه کمتر ۸۰ میلی‌متر است. این حوضه از نظر جمعیتی، یکی از متراکم‌ترین حوضه‌های جمعیتی و نخستین حوضه صنعتی کشور شناخته می‌شود (صفوی و راست‌قلم، ۱۳۹۵). حوضه آبخیز زاینده‌رود به دلیل تراکم جمعیتی بالا و اقلیم خشک و نیمه‌خشک، امروزه با مخاطرات جدی مانند فرونشست و فروچاله روبه‌رو است. از طرفی، رشد جمعیت و فعالیت صنایع بزرگی چون ذوب‌آهن و فولاد مبارکه در شهر اصفهان موجب شده تا تقاضا و رقابت برای آب در حوضه رو به فزونی نهد. در این باره بخش کشاورزی منطقه مورد اثرپذیری قرار گرفته و خاک منطقه نیز در اراضی پائین‌دست حوضه شور شده است که در نهایت به کاهش کیفیت آب برگشتی به رودخانه زاینده‌رود انجامیده است. سرازیر شدن فاضلاب‌های شهری و صنعتی از دیگر پیامدهای مدیریت شهری در استان اصفهان بوده که به آلودگی آب رودخانه در بخش‌های پایین‌دست این حوضه انجامیده است (سالمی و موراوی راست، ۱۳۸۶). (شکل ۱).

پژوهش حاضر از نظر روش‌شناختی، کمی-کیفی و از نظر نتیجه در زمره پژوهش‌های کاربردی و اکتشافی است. این پژوهش برای شناسایی عوامل تأثیرگذار بر بحران منابع آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود، رویکرد تفکر سیستمی را برگزیده است. برای انجام این پژوهش، در آغاز با مطالعه کتابخانه‌ای عوامل تأثیرگذار بر بحران منابع آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود استخراج سپس به صورت پیمایشی (مصاحبه با خبرگان) صحت عوامل شناسایی‌شده بررسی شد. در این مرحله شماری از عوامل شناسایی‌شده حذف، تعدادی اضافه و برخی از عوامل در هم ادغام شدند. در ادامه برای تعیین میزان اهمیت عوامل شناسایی‌شده از پرسشنامه پژوهشگر ساخته‌ای استفاده شد. این پرسشنامه به صورت ماتریس متقاطع طراحی شد. روایی پرسشنامه توسط پائل خبرگی تأیید شد. نمونه کمی شامل ۲۸ نفر از کارشناسان خبره مرتبط با موضوع که با نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند، در نظر گرفته شد. پرسشنامه‌های تکمیل‌شده با کمک دو مدل FARAS و FBMW بررسی شد و در پایان، برای نمایش روابط میان متغیرهای شناسایی‌شده از رویکرد پویایی سیستم و تفکر سیستمی بهره‌برده شد. برای این منظور از نرم‌افزار Vensim version ۶.۴ EX۳۲ استفاده شده است. در زیر به بررسی نرم‌افزار و مدل‌های مورد استفاده در پژوهش پرداخته می‌شود.

مدل FARAS: مدل آراس فازی که در سال ۲۰۱۰ برای تصمیم‌گیری استراتژیک ارائه شد، از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که امکان تعیین سطح گزینه‌ها و انتخاب گزینه ایده‌آل را فراهم می‌کند. این مدل داده‌های کیفی را کمی‌سازی می‌کند و ویژگی اصلی آن این است که گزینه‌های جایگزین با توجه به گزینه ایده‌آل تعیین و انتخاب می‌شوند.

مدل FBMW: مدل بهترین و بدترین فازی با بهره‌گیری از منطق فازی و با در نظر گرفتن اصل عدم قطعیت در اطلاعات و ترجیحات تصمیم‌گیرنده به رتبه‌بندی گزینه‌ها و انتخاب بهترین گزینه می‌پردازد.

نرم‌افزار Vensim: نرم‌افزار ونسیم یکی از معتبرترین نرم‌افزارها در زمینه تفکر سیستمی و پویایی سیستم است و شبیه‌سازی سیستم‌های واقعی را به منظور بهینه‌سازی عملکرد این سیستم‌ها انجام می‌دهد. این نرم‌افزار یک شیوه ساده و انعطاف‌پذیر را برای شبیه‌سازی مدل‌های دینامیکی از طریق نمودار علت و معلول و نمودار حالت و جریان فراهم می‌کند.



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه
منبع: صفوی و راست‌قلم، ۱۳۹۵

۴ یافته‌ها و بحث

۴/۱ شناسایی عوامل تأثیرگذار بر وضعیت بحرانی منابع آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود

در این پژوهش، ابتدا از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و تحلیل محتوای مصاحبه با خبرگان، ۲۶ عامل و متغیر مؤثر بر بحران آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود شناسایی شدند. در نهایت، این عوامل در قالب چهار مؤلفه اصلی (سیاسی-حقوقی، اجتماعی-فرهنگی، طبیعی-زیست‌محیطی و اقتصادی-فنی) تقسیم‌بندی شد و در قالب پرسشنامه در اختیار خبرگان قرار گرفت تا صحت آن‌ها بررسی شود. مؤلفه‌های اصلی را با مدل FARAS رتبه‌بندی (جدول ۱) و عوامل تأثیرگذار بر بحران آب حوضه آبخیز زاینده‌رود با مدل FBW رتبه‌بندی (جدول ۲) شد.

جدول ۱. مقدار تابع بهینگی و درجه مطلوبیت هر مؤلفه اصلی با مدل FARAS

	سیاسی- حقوقی			اجتماعی- فرهنگی			طبیعی- زیست‌محیطی			اقتصادی- فنی		
	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ
$\otimes S$	۰/۲۳۴	۰/۲۴۳	۰/۲۱۱	۰/۲۱۳	۰/۲۳۳	۰/۲۰۵	۰/۱۷۸	۰/۱۰۰	۰/۲۰۰	۰/۲۰۰	۰/۱۰۰	۰/۲۱۰
S_j	۰/۲۰۰			۰/۱۷۸			۰/۰۹۰			۰/۲۳۰		
K_j	۰/۴۴۳			۰/۴۱۱			۰/۱۹۰			۰/۳۳۰		

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۳

جدول ۲. رتبه‌بندی هر یک از عوامل تأثیرگذار بر بحران آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود با مدل FBMW

رتبه	وزن نهایی عوامل	وزن عوامل	علامت اختصاری	عوامل تأثیرگذار	وزن مؤلفه اصلی	مؤلفه اصلی
۳	۰/۰۸۴	۰/۲۵۴	X۱	نبود اجماع نظر یا راهکار علمی در حل مسئله بحران آب	۰/۴۴۳	سیاسی- حقوقی
۲	۰/۰۹۶	۰/۲۸۹	X۲	ضعف سیستم حقوقی در حوضه آبخیز		
۶	۰/۰۵۵	۰/۱۶۵	X۳	ضعف برنامه‌ریزی برای تعیین حقابه زیست‌محیطی در حوضه آبخیز		
۵	۰/۰۶۳	۰/۱۹۰	X۴	شفاف نبودن منابع و مصارف آب حوضه آبخیز		
۴	۰/۰۷۱	۰/۲۱۳	X۵	تضعیف رویکرد منافع جمعی در حوضه آبخیز		
۷	۰/۰۴۷	۰/۱۴۳	X۶	تشدید فعالیت‌های غیرقانونی در زمینه بهره‌برداری از منابع آب در حوضه		
۱	۰/۱۰۴	۰/۳۱۴	X۷	نبود ساختار حکمرانی مناسب و مدیریت ناکارآمد منابع آب در حوضه آبخیز		
۸	۰/۰۴۴	۰/۱۳۲	X۸	انتقال منابع آب		
۲	۰/۰۷۹	۰/۲۲۱	X۹	مهاجرت‌های گسترده به استان اصفهان	۰/۴۱۱	اجتماعی- فرهنگی
۵	۰/۰۶۷	۰/۱۸۷	X۱۰	پایین بودن سطح آگاهی اجتماعی ساکنان حوضه		
۱	۰/۰۸۴	۰/۲۳۴	X۱۱	افزایش جمعیت در حوضه آبخیز		
۴	۰/۰۶۸	۰/۱۹۰	X۱۲	ضعف اطلاع‌رسانی در زمینه بحران آب به مردم		
۳	۰/۰۷۶	۰/۲۱۳	X۱۳	کاهش سطح همکاری‌های اجتماعی در حل معضل آب حوضه آبخیز		
۴	۰/۰۷۹	۰/۱۹۳	X۱۴	تشدید آلودگی هوا در حوضه آبخیز	۰/۱۹۰	طبیعی- زیست‌محیطی
۸	۰/۰۶۳	۰/۱۵۴	X۱۵	کاهش کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی		
۳	۰/۰۸۲	۰/۲۰۰	X۱۶	گسترش بیابان‌زایی در حوضه آبخیز		
۵	۰/۰۷۴	۰/۱۸۰	X۱۷	تشدید فرونشست زمین در حوضه		
۶	۰/۰۷۲	۰/۱۷۵	X۱۸	افزایش تعداد دشت‌های ممنوعه		
۷	۰/۰۶۸	۰/۱۶۵	X۱۹	کاهش شدید ذخیره مخازن آب سطحی در حوضه		
۱	۰/۰۹۲	۰/۲۲۳	X۲۰	تغییر اقلیم		
۲	۰/۰۸۸	۰/۲۱۳	X۲۱	پیدایش کانون‌های ریزگردها در حوضه آبخیز		
۱	۰/۱۰۲	۰/۲۳۰	X۲۲	فعالیت صنایع آب بر در حوضه آبخیز	۰/۳۳۰	اقتصادی- فنی
۵	۰/۰۸۹	۰/۲۰۰	X۲۳	افزایش سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی در حوضه آبخیز		
۴	۰/۰۸۶	۰/۱۹۳	X۲۴	نبود الگوی متناسب آبخیزداری در حوضه آبخیز		
۲	۰/۱۰۰	۰/۲۲۴	X۲۵	بالا بودن حجم صادرات آب مجازی در حوضه آبخیز		
۳	۰/۰۹۵	۰/۲۱۴	X۲۶	نبود تکنولوژی پیشرفته در زمینه آب		

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۳

۴/۲ بررسی سیستمی عوامل تأثیرگذار بر وضعیت بحرانی منابع آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود

پژوهش حاضر مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر وضعیت بحرانی منابع آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود را در چهار مؤلفه‌ی سیاسی-حقوقی، اجتماعی-فرهنگی، طبیعی-زیست محیطی و اقتصادی-فنی در قالب رویکرد سیستمی مطالعه کرده است. بر این پایه، هر یک از مؤلفه‌های چهارگانه یادشده در قالب یک زیرسیستم مجزا تعریف و در ادامه، اجزاء این زیرسیستم‌ها تدوین و ارتباط آن‌ها با یکدیگر در قالب مدل و با استفاده از نرم‌افزار ونسیم (Vensim) شبیه‌سازی شده‌اند. در این شبیه‌سازی‌ها ضخامت خطوط میزان تأثیر هر عامل بر مؤلفه اصلی را از دیدگاه خبرگان نشان می‌دهد. سرانجام پس از مشخص شدن عناصر هر زیرسیستم و ارتباط آن‌ها با یکدیگر، ارتباط و تأثیر و تأثر متقابل چهار زیرسیستم و عناصر آن‌ها بر هم در قالب شماتیک نهایی به‌عنوان سیستمی واحد به تصویر کشیده شده است.

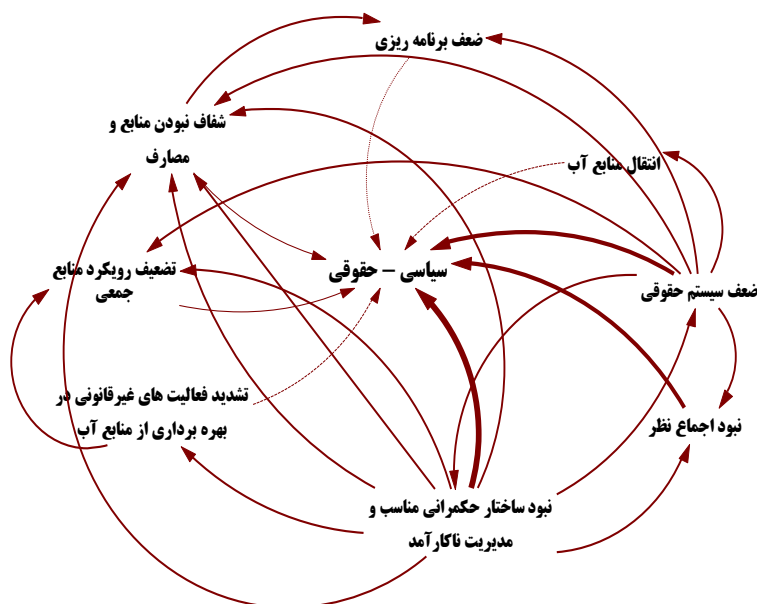
۴/۲/۱ زیرسیستم سیاسی-حقوقی تأثیرگذار بر وضعیت بحرانی منابع آب حوضه زاینده‌رود

سیاست‌های حاکمیتی و حقوقی ازجمله عوامل مؤثر بر بحران آب به شمار می‌روند که دراین‌باره بهره‌برداری از منابع آبی در هر مقیاسی می‌تواند بازتاب‌های مستقیمی بر حوزه‌های سیاسی-حقوقی داشته باشد که چه کسی و در چه مقیاسی (سطحی) بر بحران آب دامن زده است. دراین‌باره، چالش‌های برخاسته از بحران آب، محدودیت‌هایی بر سر راه مدیریت و برنامه‌ریزی آب پدید آورده که باید به‌دوراز ناهم‌سویی قانونی و سیاسی اعم از ناهماهنگی‌های سازمانی و برنامه‌ریزی مدون در این زمینه و با انعطاف‌پذیری حاکمیتی باشد و با نگرش به سیستم‌های مدیریت استفاده و تخصیص منابع آب، اتخاذ تصمیم‌گیری‌های مناسب با توجه به وضعیت محیطی مناطق می‌تواند در کاهش بحران آب نقش مؤثری داشته باشد (رالینز^۱، ۲۰۱۹؛ سوبرامانیام^۲ و همکاران، ۲۰۱۲). به‌طورکلی، در حوضه آبخیز زاینده‌رود، ضعف اقتدار سیاسی-حقوقی باعث ضعف در تصمیم‌گیری جامع در خصوص مدیریت منابع آب‌شده و درنهایت به بحران آب منجر شده است که این مسئله نشان‌دهنده شکاف و ضعف در ساخت‌های سیاسی و حقوقی منطقه و جلوگیری از تصمیمات سیاسی است (حاتمی و نوربخش، ۱۳۹۸).

در شکل ۲ عوامل سیاسی-حقوقی تأثیرگذار بر وضعیت بحرانی منابع آب حوضه آبخیز زاینده‌رود شبیه‌سازی شده است. در این شماتیک و دیگر شماتیک‌های شبیه‌سازی‌شده، پیکان جهت تأثیرگذاری را نشان می‌دهد و ضخامت خطوط نشان‌دهنده اهمیت رابطه بین عوامل تأثیرگذار و مؤلفه اصلی و عوامل تأثیرگذار بر یکدیگر است که در مرحله قبل با مدل FBMW رتبه‌بندی شده است. هر چه خطوط ضخیم‌تر باشد، میزان تأثیرگذاری بیشتر است. خطوط مقطع نشان‌دهنده کمترین تأثیرگذاری است.

¹ Rawlins

² Subraniam



شکل ۲. شماتیک عوامل سیاسی-حقوقی تأثیرگذار بر وضعیت بحرانی منابع آب حوضه زاینده رود
منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۳

۴/۲/۲ زیرسیستم اجتماعی-فرهنگی تأثیرگذار بر وضعیت بحرانی منابع آب حوضه آبخیز ز زاینده‌رود

عوامل اجتماعی و فرهنگی از محرک‌های اصلی بحران آب به شمار می‌روند که چگونه شیوه‌های ارتباطی از جمله رسانه‌ها و فناوری‌های سنتی و غیرسنتی می‌توانند نقش مؤثری در بحران آب داشته باشد. از این رو، در این زیرسیستم، نقش افراد نخبه مانند رهبران جامعه و دیگران به دلیل موقعیت اجتماعی و فرهنگی با مهارت‌های تخصصی‌شان در نظر گرفته می‌شود و بر تعاملات اجتماعی و فرهنگی به منظور افزایش آگاهی از کمبود منابع طبیعی از جمله آب تأکید می‌شود و در نهایت، در خصوص ابتکارات برای مدیریت کمبود آب در سطوح مشارکت مصرف‌کننده، جامعه و صنعت و مصرف‌کننده بحث می‌شود (امیل^۱ و همکاران، ۲۰۲۲). از آنجاکه ابعاد اجتماعی و فرهنگی بحران آب هر ساله زندگی میلیون‌ها نفر در جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و از این منظر تحت تمرکز مطالعات توسعه‌ای آن در نظر گرفته می‌شود (هونتال و مینویا^۲، ۲۰۱۷). می‌توان اظهار داشت که نگرش‌ها و فرایندهای فرهنگی و اجتماعی ارتباط نزدیکی با آب دارد که این مسئله در بخش‌های گوناگون به‌ویژه رفتار شهروندان بسیار مورد توجه و حائز اهمیت است (مؤمنی و دیگران، ۱۳۹۷). بدین ترتیب، بحران آب و ترتیبات اجتماعی و فرهنگی برخاسته از آن بر فرایندهای زندگی روزمره ساکنان تأثیر گذاشته است و درک امروزین کمبود آب را با تمرکز بر جوامع و مسئولیت‌پذیری مصرف‌کنندگان گسترش می‌دهد (کانتیلانا و اینیستا-آراندیا^۳، ۲۰۲۲؛ امیل و همکاران، ۲۰۲۲). به گونه‌ای که، آب با امنیت اجتماعی درهم تنیده است. زیرا این ماده حیاتی موجب شکوفایی اجتماع می‌شود و کمبود آن ممکن است به تنش‌های اجتماعی در جامعه بینجامد (انتشاری^۴ و همکاران، ۲۰۲۰). بدین ترتیب با افزایش جمعیت که از مهم‌ترین عوامل اجتماعی مرتبط با بحران آب به شمار می‌رود و

¹ Emile

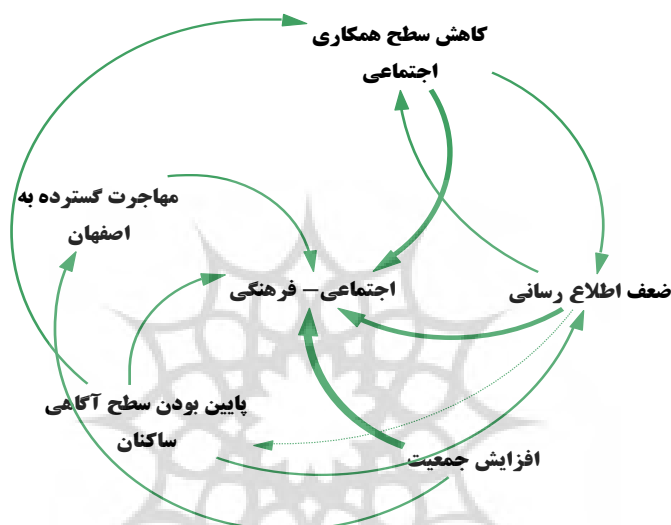
² Hohenthath & Minoia

³ Cantillana & Iniesta-Arandia

⁴ Enteshari

برداشت بیش از اندازه از منابع آب از دلایل آن به شمار می‌آید (فائو^۱، ۲۰۱۴)؛ عوامل فرهنگی برخاسته از الگوی مصرف و نوع سبک زندگی از موارد مهم و تأثیرگذار در روند بحران آب می‌توان قلمداد نمود.

به‌طورکلی، در حوضه آبخیز زاینده‌رود، با ضعف در اطلاع‌رسانی و آگاهی بخشی ساکنان درباره بحران آب و نیز کاهش سطح همکاری‌های اجتماعی در حل معضل بحران آب حوضه، باعث مهاجرت‌های گسترده و نیز افزایش جمعیت در حاشیه کلان‌شهر اصفهان شده که این مسئله نشان‌دهنده شکاف و ضعف ساخت‌های اجتماعی و فرهنگی منطقه بوده که تحت تأثیر بحران آب قرار گرفته است. در شکل ۳ عوامل اجتماعی-فرهنگی تأثیرگذار بر وضعیت بحرانی منابع آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود شبیه‌سازی شده است.



شکل ۳. شماتیک عوامل اجتماعی-فرهنگی تأثیرگذار بر وضعیت بحرانی منابع آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود
منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۳

۴/۲/۳ زیرسیستم طبیعی-زیست محیطی تأثیرگذار بر وضعیت بحرانی منابع آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود

یکی از چالش‌های بسیار مهم زیست‌محیطی، بحران آب و تغییرات آب و هوایی است که به‌عنوان چالش پایدار قرن حاضر شناسایی شده است (جوری و واکس^۲، ۲۰۰۵؛ کسکینن و همکاران^۳، ۲۰۲۱). بر این پایه، آب دهشی است که طبیعت به انسان بخشیده و از زمانی که انسان به مدیریت تجدیدپذیر منابع و خطرات متعدد مرتبط با آلودگی آن پی برد، مدیریت منابع آب برای وجود انسان و بقای اکوسیستم از اهمیت زیادی برخوردار شده است. بنابراین، کمبود آب به‌عنوان مهم‌ترین منبع زیستی طبیعت، عامل تهدیدکننده محیط‌زیست و زمینه بحران‌های زیست‌محیطی و اجتماعی است. زیرا این منبع حیاتی سرچشمه همه فعالیت‌های انسان بوده و کمبود آن بر همه‌ی جنبه‌های زندگی انسان تأثیر مستقیم دارد. بدین ترتیب، با کاهش میزان دسترسی به آب برای محیط طبیعی اثرات ویران‌کننده‌ای دارد و آلودگی‌های ناشی از فاضلاب‌های خانگی، صنعتی و کشاورزی نیز

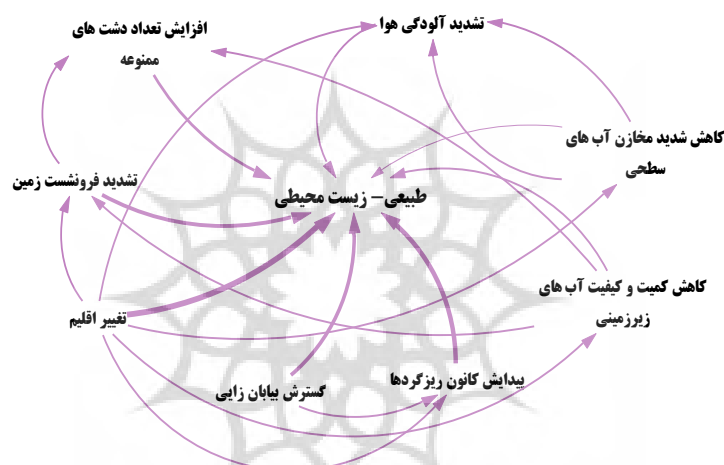
^۲ FAO

^۳ Jury & Vaux

^۴ Keskinen et all

تهدیدی جدی برای اکوسیستم‌های طبیعی قلمداد می‌شود و هرگونه آسیبی به محیط‌زیست باعث افزایش بلایای طبیعی می‌شود (کاویانی‌راد، ۱۴۰۱). از این رو، تغییرات آب و هوایی بازتاب‌گسترده‌ای بر منابع آب داشته که می‌تواند منجر به بی‌ثباتی‌های اجتماعی و درگیری‌ها و نیز افزایش مشکلات ناشی از فقر، ناامنی غذایی و سوءتغذیه شود (باتاچاریا^۱، ۲۰۱۶).

به‌طورکلی، وضعیت منابع آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود به‌گونه‌ای است که حجم آب‌های زیرزمینی به‌طور مداوم کاهش یافته و حجم ذخیره آب‌های سطحی در حدود بحرانی قرار گرفته است. به‌گونه‌ای که، منابع و مصارف آب در حوضه به یک حالت ناپایداری رسیده که تنها می‌توان نیازهای زیست‌محیطی حوضه را برای حفظ و نگهداری پرندگان در تالاب گاوخونی به‌صورت «حداقلی» فراهم آورد. این درحالی است که طی سال‌های گذشته، حتی این نیاز حداقلی آبی تالاب هم برآورده نمی‌شد و حداقل دبی موردنیاز رودخانه برای حفظ عملکرد اکولوژیکی آن بود (انتشاری و همکاران، ۲۰۲۰). در شکل ۴ عوامل طبیعی-زیست محیطی تأثیرگذار بر وضعیت بحرانی منابع آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود شبیه‌سازی شده است.



شکل ۴. شماتیک عوامل طبیعی-زیست محیطی تأثیرگذار بر وضعیت بحرانی منابع آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود
منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۳

۴/۲/۴ زیرسیستم عوامل اقتصادی-فنی تأثیرگذار بر وضعیت بحرانی منابع آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود

منابع آب نقش حیاتی در توسعه اقتصادی ایفا می‌کند. با این حال کمبود فزاینده آب به مسئله‌ای بزرگ تبدیل شده است که توسعه پایدار اقتصادی را در سطوح مختلف محدود می‌کند (یانگ^۲ و همکاران، ۲۰۲۲). به‌گونه‌ای که می‌توان اذعان داشت آب بنیاد تولید است که مستقیم و غیرمستقیم به فعالیت‌های اقتصادی در تمام بخش‌ها و مناطق اقتصادی کمک می‌کند. در نواحی با اقتصاد عقب‌مانده و درگیر کمبود شدید آب، تضاد رشد اقتصادی و منابع آب، همواره یکی از موضوعات اساسی مدیریت آب بوده که در این باره، فناوری‌های آبی می‌توانند نقش مهمی در آینده ایفا کنند. از این رو، فناوری‌های توسعه‌یافته برای منابع آب می‌توانند به‌طور فزاینده و قابل‌ملاحظه‌ای پیامدهای کمبود منابع آب را کاهش دهند (کیائو^۳ و همکاران، ۲۰۲۰). بر این اساس، مهم‌ترین محرک کمبود آب در

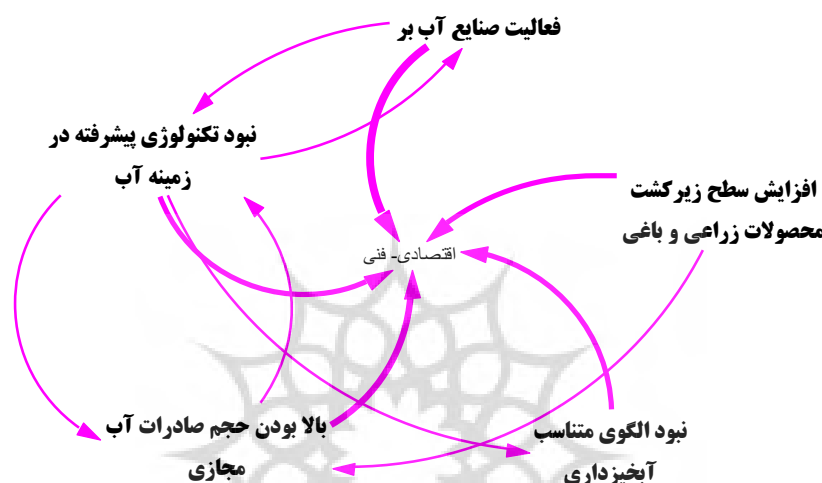
¹ Bhattacharya

² Yang

³ Qiao

آینده، رشد اقتصادی است و تغییرات تکنولوژیک در بخش منابع آب می‌تواند محدودیت‌های بحران را از نظر رشد اقتصادی بلندمدت از میان بردارد (کیانو و همکاران، ۲۰۲۲). اساساً، پیشرفت فناوری آب کمک زیادی به حفظ آب می‌کند (یانگ و همکاران، ۲۰۲۲). لازم به ذکر است؛ از نظر فنی نیز، با توسعه صنایع، میزان مصرف آب افزایش یافته است. بدین‌صورت که با توسعه صنایع که موتور محرک و حیاتی پیشرفت اقتصادی و اجتماعی است؛ بدون توجه به حفاظت از محیط‌زیست در دراز مدت آسیب‌های زیست‌محیطی را به‌ویژه ناپایداری در منابع آب به وجود می‌آورد (کاوایانی‌راد، ۱۴۰۱).

در شکل ۵ عوامل اقتصادی-فنی تأثیرگذار بر وضعیت بحرانی منابع آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود شبیه‌سازی شده است.



شکل ۵. شماتیک عوامل اقتصادی-فنی تأثیرگذار بر وضعیت بحرانی منابع آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۳

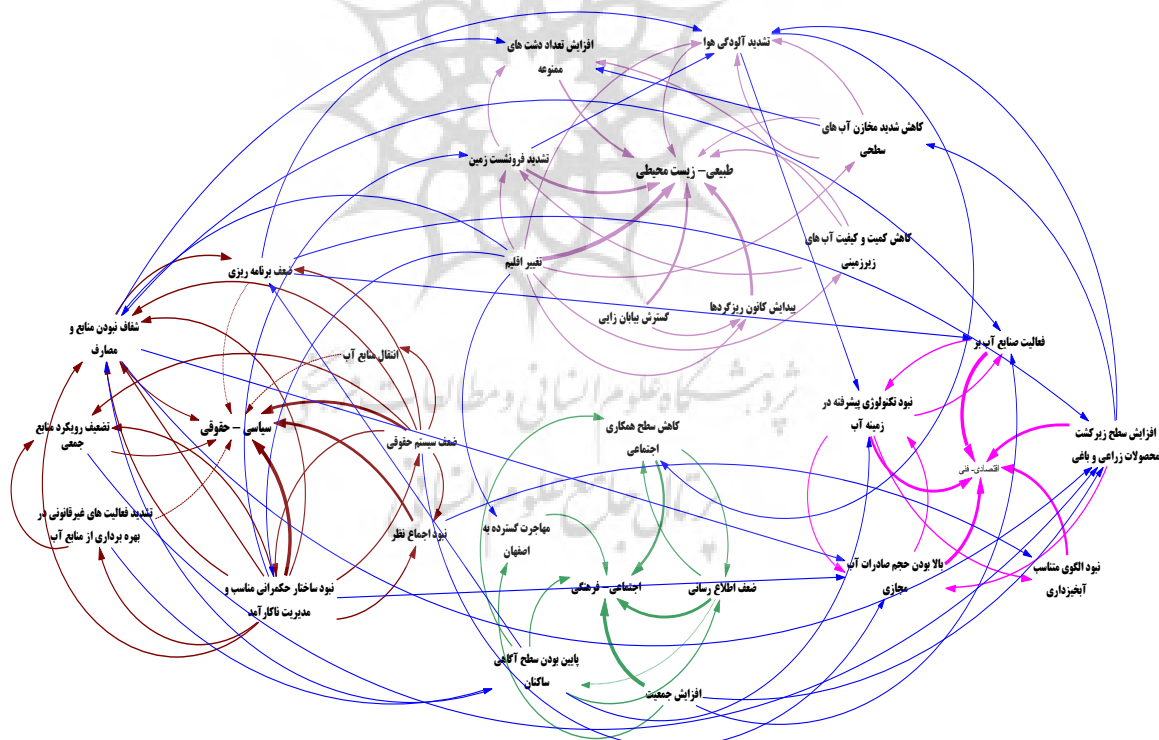
۴٫۳ تحلیل سیستمی عوامل تأثیرگذار بر وضعیت بحرانی منابع آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود

کمبود آب یکی از نگرانی‌های اصلی جهان به شمار می‌رود و به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین خطرات جهانی در عرصه‌های آینده شناخته‌شده است (تزاناکاکیس و همکاران، ۲۰۲۰). بر این پایه، مطالعه سیستمی بحران آب بسیار گسترده است که می‌توان با کمک این رویکرد شناخته‌شده بسیاری از مسائل چالش‌برانگیز پیونددار با آب را حل کرد. افزون بر این، با رویکرد گسترده تفکر سیستمی می‌توان خطرات بالقوه مرتبط با آب که هم پیامدهای مستقیم اقدامات کاهشی بر منابع آب و هم بازتاب‌های غیرمستقیم آن‌ها را از طریق کاهش تغییرات آب و هوایی در نظر می‌گیرد، فروکاست. طوری که، می‌توان با درک عمیق از اهمیت آب در بخش کشاورزی و همچنین حاکمیت آب و شرایط اجتماعی-اقتصادی، تصمیم‌گیری در میان اهداف رقابتی و انگیزه‌های اقتصادی برای استفاده از آب را موردتوجه قرار داد (براون^۱ و همکاران، ۲۰۱۵؛ زارع‌پور مشیری و همکاران، ۲۰۲۲). بدین ترتیب، در حوضه آبخیز زاینده‌رود به دلیل وجود بحران آب، بسیاری از زمین‌های کشاورزی خشکیده‌اند و ضریب بیکاری به همراه آسیب‌های اجتماعی ناشی از آب افزایش یافته است. با بروز اعتراضات اجتماعی در این حوضه، امنیت منطقه

¹ Brown

دچار بی‌ثباتی شده و با گسترش حاشیه نشینی و کاهش درآمد در حوضه، شغل‌های کاذب سر بیرون آورده‌اند. بنابراین، در حوضه آبخیز زاینده‌رود، علیرغم این که طرح‌های انتقال آب تا اندازه‌ای بحران آب را فروکاسته است؛ تنش‌های بین ساکنان حوضه زاینده‌رود با حوضه‌های مجاور همچنان روندی افزایشی داشته است. به طور کلی، افزون بر مسائل و ابعاد اجتماعی و اقتصادی بحران آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود، بعد زیست‌محیطی آن اکنون حالتی جدی‌تری به خود گرفته و به دلیل برداشت‌های گسترده و غیرقانونی، حوضه با کاهش منابع شدید آب‌های زیرزمینی مواجه شده است (انتشاری و همکاران، ۲۰۲۰).

در نهایت، پیوستگی چهار زیرسیستم سیاسی-حقوقی، اجتماعی-فرهنگی، طبیعی-زیست محیطی و اقتصادی-فنی، موجب پدید آوردن سیستم نهایی برای شکل‌گیری وضعیت بحرانی منابع آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود است. همان طور که در (شکل شماره ۶) نشان داده شده است. هیچ گاه زیرسیستم چهارگانه نمی‌تواند جدای از هم عمل کنند. عوامل هر زیرسیستم افزون بر این که در درون هر زیرسیستم می‌توانند بر هم تأثیر بگذارند و از هم تأثیر بپذیرند این عوامل با هم نیز ارتباط متقابل و سیستمی دارند، به گونه‌ای که عوامل هر زیرسیستم با عوامل دیگر سیستم‌ها ارتباط متقابل و دو سویه دارد. بنابراین، عوامل هر یک از زیرسیستم‌ها به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر هم (همان زیرسیستم) و عوامل دیگر زیرسیستم‌ها، تأثیرگذار است. هر چهار زیرسیستم به نحوی با هم در ارتباط بوده و به صورت دو یا حتی چند سویه در حال تقویت یکدیگرند و سرانجام سیستم کل و واحدی (ساختار) برای شکل‌گیری وضعیت بحرانی منابع آب در حوضه آبریز زاینده‌رود پدید می‌آورند. سیستم پدید آمده پویا و باز است که طی زمان، زیرسیستم‌ها و عوامل سازنده آن می‌توانند افزایش یا کاهش یابند.



شکل ۶. شماتیک سیستم نهایی تأثیرگذار بر وضعیت بحرانی منابع آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود
منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۳

بحران آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود، پیامدهای بسیاری در سطح ملی و فروملی به دنبال داشته است. این مسئله گویای آن است که امروزه آب در این حوضه بیش از منابع حیاتی دیگر درگیر رقابت‌های بخشی و منطقه‌ای شده است. طوریکه، با خشکیدن زاینده‌رود و تالاب گاوخونی که مهم‌ترین آسیب‌ها و پیامدهای ناشی از آن

متوجه ساکنان محلی از جمله کشاورزان و اراضی کشاورزی و محصولات آنان بوده، باعث بروز برخی بحران‌های اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و حتی امنیتی در این حوضه شده است.

در این میان، در زمینه بحران آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود مطالعاتی زیادی انجام شده که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به طالبی‌صومعه‌سرائی و همکاران (۱۳۹۸)، ذاکری‌مهابادی و همکاران (۱۴۰۱)، صفوی و راست‌قلم (۱۳۹۵)، نیکویی و زیبایی (۱۳۹۱)، اطاعت و صالحیان (۱۳۹۹)، اسماعیلی (۱۳۹۹)، ضیائی (۱۳۹۳)، صالحیان و رحمانی فضلی (۱۳۹۷) اشاره کرد. این مطالعات علیرغم این که وضعیت منابع آب در حوضه آبخیز زاینده‌رود را بحرانی تلقی کرده‌اند؛ به مخاطره افتادن پایداری محیطی و حیات انسانی ناشی از کمبود آب در حوضه زاینده رود را مطرح کرده‌اند و وضعیت منابع آب‌های زیرزمینی، تخریب منابع طبیعی و نیز آسیب‌های محیطی ناشی از بحران آب، وضعیت اجتماعی، اقتصادی، جغرافیایی و مدیریتی حوضه را نامطلوب نشان دادند.

پژوهش حاضر با بهره‌گیری از نتایج تحقیقات پیشین (بحرانی بودن منابع آب در حوضه آبریز زاینده رود) به بررسی عوامل تأثیرگذار بر بحران آب در حوضه آبریز زاینده‌رود با رویکرد تفکر سیستمی پرداخته است. نتایج پژوهش نشان داد: عوامل نبود ساختار حکمرانی مناسب و مدیریت ناکارآمد منابع آب در حوضه آبریز با وزن ۰/۱۰۴، فعالیت صنایع آب‌بر در حوضه آبریز با وزن ۰/۱۰۲ و بالا بودن حجم صادرات آب مجازی با وزن ۰/۱۰۰ به عنوان موثرترین عوامل تأثیرگذار بر وضعیت بحرانی منابع آب در حوضه آبخیز زاینده رود شناسایی شدند (جدول ۲).

اگر چه عوامل بالا به عنوان موثرترین عوامل از دیدگاه خبرگان شناسایی شدند اما رویکرد سیستمی، یک مسئله را در قالب یک کلیت منسجم مطالعه می‌کند. پژوهشگران این پژوهش برآنند تا بنیاد پژوهش خود را بر پایه تفکر سیستمی قرار دهند و بیان دارند که اگر چه شدت و ضعف عوامل تأثیرگذار بر بحران آب در حوضه آبخیز زاینده رود متفاوت است اما این عوامل در قالب کل منسجمی بر یکدیگر تأثیر گذاشته و از یکدیگر تأثیر پذیرفته است و مسئله بحران آب را در حوضه آبخیز زاینده رود به وجود آورده است. نتایج پژوهش حاضر زمینه را برای تحقیقات بعدی فراهم می‌کند.

اگر چه پژوهشی که به شناسایی عوامل موثر بر حوضه آبخیز زاینده رود در قالب یک کلیت منسجم با رویکرد سیستمی پرداخته باشد، مشاهده نشده است. پژوهش‌های (کاویانی و همکاران، ۱۴۰۳؛ نجفی و همکاران، ۱۴۰۰؛ اسماعیلی، ۱۳۹۹؛ گل‌کرمی و کاویانی، ۱۳۹۵؛ نیسیانی^۱ و همکاران، ۲۰۲۲؛ استاد علی‌عسکری^۲ و همکاران، ۲۰۱۷؛ دهکردی^۳ و همکاران، ۲۰۲۱ در شناسایی تعدادی از عوامل موثر بر بحران آب در حوضه آبخیز زاینده رود با پژوهش حاضر همخوانی دارند.

۵ نتیجه‌گیری

طی سال‌های اخیر مساله بحران آب در سطح جهان، دغدغه کارگزاران، فعالان محیط زیست، رسانه‌ها، پژوهشگران و سمن‌ها بوده است که هر کدام عواملی را در به وجود آمدن این بحران از تغییر اقلیم تا رشد جمعیت سهیم می‌دانند. در این میان مساله بحران آب در حوضه آبخیز زاینده رود به مساله جدی در کشور تبدیل شده است. بحران آب در حوضه آبخیز زاینده رود تحت تأثیر مولفه‌های اقتصادی- فنی، طبیعی- زیست

¹ Neysiani

² Ostad Ali- Askari

³ Dehkordi

محیطی، اجتماعی- فرهنگی، سیاسی- حقوقی و عوامل متعددی است که هر کدام با شدت و ضعف متفاوت بر بحران پیش آمده در این حوضه آبخیز تاثیرگذارند. استنتاج نتایج پژوهش نشان داد که مولفه سیاسی- حقوقی بیشترین تاثیر و مولفه طبیعی- زیست محیطی کمترین تاثیر را بر بحران آب در حوضه آبخیز زاینده رود داشته است. این موضوع نشان دهنده نقش تصمیمات، قوانین و فعالیتهای انسانی بر بحران آب در حوضه آبخیز زاینده رود است. همچنین سه عامل نبود ساختار حکمرانی مناسب و مدیریت ناکارآمد منابع آب در حوضه آبریز، فعالیت صنایع آب بر در حوضه آبخیز و بالا بودن حجم صادرات آب مجازی به عنوان موثرترین عوامل بر وضعیت بحرانی منابع آب در حوضه آبریز زاینده رود هستند که نقش انسان و فعالیتهای او را در بحران پیش آمده پررنگ می کند. از این رو، پرداختن به مدیریت یکپارچه و بهینه منابع آب در سطح ملی و متناسب با آن در سطح حوضه آبخیز زاینده رود به عنوان مناسب ترین راهکار علمی برای جلوگیری از رخداد وضعیت بحرانی در این حوضه پیشنهاد می شود.

References

- Arlond, R.D., Wade, J.P. (2015). A Definition of systems Thinking: A systems Approach, *Procedia Computer Science*, Vol. 44, pp.669-678.
- Amini, N. (2022), Investigating the impact of systemic thinking dimensions on urban social and economic crisis management (Tehran city case study), *Social Sciences Quarterly*, 8th Volume, No. 3, Fall, pp. 16-24. [In Persian]
- Ataati, J., and Salehian, S. (2019). Analysis of "resources and uses" and "water resource instability" in the Zaindehroud watershed, *Iran's Water and Irrigation Research Journal*, 10th year, 39th issue, spring. [In Persian]
- Aftabi, Z., Kaviani Rad, M. and Kardan Moghadam, H.R. (2023), Explanation of the future scenarios of hydropolitic relations of border rivers of Iran and Iraq, *Water and Irrigation Management Quarterly*, Volume 13, Number 2, pp. 507-487. [In Persian]
- Brown, C.M., et al. (2015). The future of water resources systems analysis: Toward a scientific framework for sustainable water management, *Water Resources Research*, Vol.51, Issue 8, pp.6110-6124.
- Bhattacharya, S., (2016). Changing dimensions and interactions of water crisis and human rights in developing countries, *World Scientific News* 34 (2016) 86-97.
- Cantillana, R., and Iniesta-Arandia, I., (2022), Beyond scarcity and its management: Sociocultural dimensions of the water crisis in the Atacama Desert, *Water Policy* Vol 24 No 7, 1124 doi: 10.2166/wp.2022.297.
- Dehkordi, S. K., Paknejad, H., Blaha, L., Svecova, H., Grabic, R., Simek, Z., ... & Bittner, M. (2021). Instrumental and bioanalytical assessment of pharmaceuticals and hormone-like compounds in a major drinking water source—wastewater receiving Zayandeh Rood river, Iran. *Environmental science and pollution research*, 1-15. [In Persian]
- Dosti Irani, M., and Dehghan Khavari, S. (2021), analysis of the complexity and dynamics of dimensions and components of sustainable tourism from an economic perspective using the

- interpretive model of system dynamics, tourism and development, 10th year, winter 1400, number 3 (29 consecutive) [In Persian]
- Emile, R., Clammer, J.R., Jayaswal, P., Sharma, P., (2022). Addressing water scarcity in developing country contexts: a socio-cultural approach, Humanities and Social Sciences Communications, Published 9, Article number: 144 (2022), <https://doi.org/10.1057/s41599-022-01140-5>
 - Esmaili, M.M. (2019). Water supply crisis in Zayandeh Rood catchment area; Political and social issues and solutions for their management, social studies and research in Iran, volume 9, number 3, fall, pp. 567-585. [In Persian]
 - Enteshari, S., Safavi, H.R., van der Zaag, P., (2020), Simulating the interactions between the water and the socio-economic system in a stressed endorheic basin, Hydrological Sciences Journal, 65:13, 2159-2174, DOI: 10.1080/02626667.2020.1802027.
 - Fullan, M. (2005) Leadership & Sustainability: System Thinkers in Action, Thousand Oaks, CA: Corwin Press, Inc.
 - FAO., (2014), Coping with water scarcity in agriculture a global framework for action in a changing climate. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. Available at <http://www.fao.org/3/a-i6459e.pdf>.
 - Gol Karmi, A., and Kaviani Rad, M. (2016) The effect of water resource limitations on hydropolitical tensions (case example: Central Iranian watershed with an emphasis on the Zayandeh Rood watershed), Geography and Environmental Planning, 28 Spring 2016 Number 1 (consecutive) 65) [In Persian]
 - Hohenthal, J., and Minoia, P., (2017). Social Aspects of water Scarcity and Drought, y: Principles of Drought and Water Scarcity. CRC press, Boca Raton, pp. 607-626. <https://doi.org/10.1201/9781315404219-32>
 - Hatami, A., Noorbakhsh, S. (2018). Reconstructing the meaning of the water crisis in the east of Isfahan based on contextual theory, Applied Sociology, Year 30, Number 1 (series 73), Spring. [In Persian]
 - Jury, W. A., and H. Vaux Jr. (2005), The role of science in solving the world's emerging water problems, Proc. of the Natl. Acad. of Sci., 102(44), 15,715-15,720, doi:10.1073/pnas.0506467102.
 - Keskinen, M. & Salminen, E. & Haapala, J. (2021). Water diplomacy paths – An approach to recognise water diplomacy actions in shared waters, Journal of Hydrology, pp. 1-13.
 - Kaviani Rad, M. (2019), Hydropolitical reflections of the water crisis of the Zayandeh Rood watershed on the environmental perception of the provincial rulers, Political Geography Researches, 5th year, number 17, spring. [In Persian]
 - Kaviani Rad, M., Ghorbani Sepehr, P., and Aftabi, Z. (2024), analysis of factors affecting the hydropolitical relations of political-spatial units of the Gavkhoni watershed, Quarterly Journal

of Geographical Studies of Hashak Regions, Volume 15, Number 56, Serial Number 56, pp. 70-87. [In Persian]

- Momeni, H., Khodarahmi, S., and Kalantari, A.H. (2017). investigation of social and cultural factors affecting the wastage of drinking water (case study: Dehleran city), economic sociology and development quarterly, 7th year, 2nd issue, fall and Winter, pp. 155-183. [In Persian]
- Nikoyi, A., and Zibaei, M. (2011). Management of water resources and food security of Zayandeh Rood basin: Application of the integrated analysis method of the river catchment, Journal of Agricultural Economics and Development (Agricultural Sciences and Industries), Volume 26, Number 3, Fall, pp. 183-196. [In Persian]
- Najafi, S., Rozbahani, A., Javadi, S., & Hashemi Shabanani, S.M. (2021). Evaluation of water resources in the Zayandeh Rood catchment area using the indicators of the integrated footprint of surface and underground water. Water and Irrigation Management, 11(1), 15-30. doi: 10.22059/jwim.2021.313856.844. [In Persian]
- Neysiani, S. N., Roozbahani, A., Javadi, S., & Shahdany, S. M. H. (2022). Water resources assessment of zayandeh-rood river basin using integrated surface water and groundwater footprints and K-means clustering method. Journal of Hydrology, 614, 128549. [In Persian]
- Ostad-Ali-Askari, K., Shayannejad, M., & Ghorbanizadeh-Kharazi, H. (2017). Artificial neural network for modeling nitrate pollution of groundwater in marginal area of Zayandeh-rood River, Isfahan, Iran. KSCE Journal of Civil Engineering, 21, 134-140. [In Persian]
- Qiao, N., Fang, L., Mu, L. (2020). Evaluating the impacts of water resources technology progress on development and economic growth over the Northwest, China, PLoS ONE 15(3): e0229571. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229571>
- Qiao, N., Yue, A., Guan, H., Mu, L., Ding, Y. (2022). How Effective Is Water Technology as a Water Scarcity Remedy for the Economy in China?, Water 2022, 14(19), 3056; <https://doi.org/10.3390/w14193056>
- Ram, S.A., and Irfan, Z.B., (2021). Application of System Thinking Causal Loop Modelling in understanding water Crisis in India: A case for sustainable Integrated Water resources management across sectors, HydroResearch, Vol. 4, pp.1-10.
- Rodriguez, C., et al. (2022). Water Context in Latin America and the Caribbean: Distribution, Regulations and Prospects for Water Reuse and Reclamation,. Water 2022, 14, 3589. <https://doi.org/10.3390/w14213589>
- Rawlins, J., (2019). Political economy of water reallocation in South Africa: Insights from the Western Cape water crisis, Water Security, Vol.6, March, pp100029.
- Subramaniam, M., Whitlock, D., & Williford, B., (2012), Water crisis: The Wiley-Blackwell Encyclopedia of Globalization.
- Saemian, P., Tourian, M. J., AghaKouchak, A., Madani, K., & Sneeuw, N. (2022). How much water did Iran lose over the last two decades?. Journal of Hydrology: Regional Studies, 41, 101095.

- Salehian, S., and Rahmani Fazli, A. R. (2017). Investigating the environmental consequences of the instability of water resources in the catchment area of the Zayanderoud River, Natural Geography Research, Volume 50, Number 2, Summer, pp. 391-406. [In Persian]
- Salameh, M. T. B., Alraggad, M., & Harahsheh, S. T., (2020), The water crisis and the conflict in the Middle East, Sustainable Water Resources Management, vol 7, pp1-14.
- Salemi, Hamid Reza and Moray Rast, Hammond. (2006), General view of hydrology of Zayandeh Rood watershed, Water and Wastewater Journal, Volume 15, Number 2 (Serial 50), Summer, pp. 2-13. [In Persian]
- Safavi, H.R., and Rast ghalam, M. (2016). A solution to the water crisis in the Zayandeh River watershed: the management of water supply and consumption, Iran Water Resources Research, Year 12, Number 4, Winter, pp. 12-22. [In Persian]
- Siwar, C., & Ahmed, F., (2014), Concepts, dimensions and elements of water security, Pakistan Journal of Nutrition, vol 13, no 5, 281.
- Tzanakakis, V.A.; Paranychianakis, N.V; Angelakis, A.N., (2020), Water Supply and Water Scarcity, vol 12, no 2347.
- Talebi Soumaesarai, M., Zokaie, M.S, Fazali, M., and Jomapour, M. (2018). Sociology of a crisis; Social Pathology of Water Crisis in Zayandeh Rood Watershed, Quarterly Journal of Interdisciplinary Studies in Human Sciences, 11(4), 133-165, 44 series, Fall. [In Persian]
- Yang, X., Chen, W., Jiang, M., Jiang, P., Shen, X., (2022). Dual effects of technology change: How does water technological progress affect China's water consumption?, Iscience, Vol 20, Issue 7, 15 July.
- Zarepour Moshisi, M., Yousefi, A., Mozafar Amini, A., Shojaei, P., (2022). Rural vulnerability to water scarcity in Iran: an integrative methodology for evaluating exposure, sensitivity and adaptive capacity, GeoJournal volume 88, pages2121-2136 (2023). [In Persian]
- Zakari Mahabadi, E., Yazdani Zazrani, M.R., and Mohammadi Kangrani, H. (2022). Investigating the causes of the crisis in water policies of the Zayandeh Rood Basin; The study of the western cities of Isfahan province, Public Policy Quarterly, 8(1), pp. 43-59. [In Persian]
- Ziaei, L. Allah. (2013). Water crisis in Zayandeh Rood Basin (components and solutions), technical and specialized publication (Zayandeh Rood Special Letter 2). [In Persian]