

Urban water crisis foresight through scenario planning: A structural and managerial analysis of Ardabil city

Behnam Bagheri^{1*}, Ebrahim Abdi² 

¹ Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Social sciences, University of Payame Noor, Tehran, Iran

² Assistant Professor, Department of Economics, Faculty of Management, Economics and Accounting, University of Payame Noor, Tehran, Iran

Extended Abstract

Introduction

According to United Nations reports, Iran is among the ten countries experiencing the highest levels of water stress worldwide, with annual per capita renewable water resources falling below 1,000 cubic meters, thereby exceeding the critical threshold. Excessive extraction of water resources, declining precipitation caused by climate change, and rapid urban and agricultural population growth have intensified the water crisis across many regions of the country. Furthermore, climate change impacts—particularly the increasing intensity and frequency of drought have significantly increased the recurrence of critical conditions and complicated long-term water resource forecasting. Reduced access to water resources not only exacerbates poverty and livelihood vulnerability but also contributes to forced migration, especially from rural to urban areas, thereby deepening regional inequalities. Empirical evidence suggests that water scarcity and its unequal distribution disproportionately affect low-income populations, intensifying social and economic disparities at both local and global scales. In Ardabil, the water crisis is not limited to quantitative shortages; water quality has also become a serious concern. In addition to natural processes, human activities, particularly those associated with the agricultural sector—have contributed to the contamination of water resources with heavy metals and other pollutants.

Materials and Methods

This study is applied in terms of purpose and descriptive–analytical in nature, employing a futures studies approach. The primary objective is to develop plausible scenarios for the future of the water crisis in Ardabil, considering developments and uncertainties up to the horizon year 2035. The research methodology is based on a combination of the modified Delphi method and cross-impact analysis, with data collected through expert questionnaires. The study population consisted of 30 experts in the fields of water resource management, urban planning, environmental science, agriculture, and climatology, selected through purposive sampling. In the first phase, a two-round modified Delphi method was employed to identify the variables influencing the water crisis. During the first round, a semi-structured questionnaire was distributed among experts, including sections related to environmental, economic, social, and managerial variables, while also allowing respondents to introduce additional factors through open-ended responses. The purpose of this stage was to extract an initial set of influential variables. In the second round, the identified variables were presented to the experts, who were asked to evaluate their importance and influence using a Likert scale. Based on the aggregated responses, the final set of variables was selected. Subsequently, these variables were analyzed using a cross-impact matrix to determine their levels of influence and interdependence. Finally, Scenario Wizard software was utilized to process the data and generate plausible future scenarios.

Results and Discussion

Based on the outputs generated by scenario wizard, six robust scenarios were identified for the future of the water crisis in Ardabil. Among these, scenario 1 represents the most favorable and optimal condition. The analysis indicates that the future of Ardabil's water system can be categorized into three distinct yet interconnected groups, each reflecting different levels of governance effectiveness, infrastructural capacity, and the interaction between water supply and demand. The first group, which includes scenarios 1 and 2, represents conditions of relative to optimal stability. In these scenarios, integrated water resource management, targeted infrastructure investment, increased public awareness and participation contribute to a relative balance between available resources and consumption. Under such circumstances, the system demonstrates sufficient resilience to cope with climatic fluctuations and maintain stability through adaptive mechanisms.

In contrast, the second group, represented by Scenario 3, reflects a transitional phase toward instability. In this scenario, early signs of water stress—such as reduced precipitation, declining infrastructure efficiency, and weak institutional coordination—gradually emerge. Although the system remains functional, the accumulation of these pressures increases vulnerability and reduces adaptive capacity over time. The third group, consisting of scenarios 4, 5, and 6, represents critical and highly unstable conditions. These scenarios are characterized by severe water shortages, deteriorating infrastructure performance, ineffective governance, increasing demand pressures, and declining institutional capacity. Under such circumstances, the imbalance between water supply and demand intensifies, leading to heightened social, economic, and environmental challenges.

Conclusion

The findings indicate that the future of Ardabil's urban water system is shaped by a complex interaction of managerial, infrastructural, social, and climatic factors and cannot be attributed solely to natural variations such as precipitation levels. Even under conditions of relatively improved rainfall, weaknesses in governance, inefficient infrastructure, and limited managerial capacity may still intensify the crisis. This suggests that the roots of the water crisis lie more in structural and institutional deficiencies than in absolute resource scarcity. Furthermore, the developed scenarios demonstrate that the future trajectory of the system is non-linear and highly dependent on governance quality, institutional coordination, investment levels, and consumption patterns. In sustainable scenarios, integrated management, strengthened infrastructure, and enhanced social participation contribute to balancing supply and demand and improving system resilience. Conversely, in the critical scenarios, accumulated inefficiencies, poor planning, and inadequate demand management result in persistent water shortages, even when water resources are relatively abundant. Scenario 3, representing the transitional phase, is particularly significant as a strategic turning point, providing opportunities for effective intervention at lower cost and with greater impact. Once the system enters more advanced stages of crisis, the complexity of the situation increases, making a return to stable conditions considerably more difficult. In conclusion, the future of Ardabil's water resources depends more on governance quality and managerial capacity than on climatic conditions alone. Achieving sustainability therefore requires the adoption of integrated water resource management approaches, the strengthening of technical infrastructure, improved institutional coordination, increased social participation, and the reform of consumption patterns. Additionally, incorporating foresight and scenario-based approaches into decision-making processes can facilitate the timely identification of emerging threats, prevent the system from shifting toward critical scenarios, and support sustainable urban development.

Keywords: Urban Water Governance, Water Resources Management, MICMAC, Urban Sustainability

Article Type: Research Article

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data Availability Statement:

All the information and results are presented in the main text of the article.

Authors' contribution

Behnam Bagheri: Guidance, software/statistical analysis and controlling the result; **Ebrahim Abdi:** Conceptualization, editing, writing the first version of the article.

*Corresponding Author, E-mail: bagheribehnam@pnu.ac.ir

Citation: Bagheri, B., & Abdi, E. (2026). Urban water crisis foresight through scenario planning: A structural and managerial analysis of Ardabil city, *Water and Soil Management and Modeling*, 6(3), 278-293

doi: 10.22098/mmws.2026.19654.1807

Received: 02 May 2026, Received in revised form: 07 June 2026, Accepted: 17 June 2026, Published online: 27 August 2026. *Water and Soil Management and Modeling*, Year 2026, Vol. 6, No. 3, pp. 278-293.

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





آینده پژوهی بحران آب شهری با رویکرد سناریونویسی: تحلیل ساختاری و مدیریتی

شهر اردبیل

بهنام باقری^{۱*}، ابراهیم عبدی^۲

^۱ استادیار، گروه جغرافیا، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

^۲ استادیار، گروه اقتصاد، دانشکده مدیریت، اقتصاد و حسابداری، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده

بحران آب شهری در ایران به عنوان یکی از چالش های پیچیده و چندبعدی، تحت تأثیر همزمان عوامل اقلیمی، مدیریتی، اقتصادی و اجتماعی شکل گرفته و شهر اردبیل نیز در سال های اخیر با تشدید این بحران مواجه بوده است. پژوهش حاضر با هدف تحلیل آینده های محتمل بحران آب شهری اردبیل، با بهره گیری از رویکرد آینده پژوهی و روش سناریونویسی تا افق ۱۴۱۴، مبتنی بر تحلیل اثرات متقاطع انجام شده است. در این راستا، ابتدا با استفاده از روش دلفی اصلاح شده، ۳۸ متغیر در مرحله اول و سپس در گام دوم دلفی، ۱۱ متغیر کلیدی به عنوان پیشران های اصلی بر پایه نظر خبرگان و با استفاده از طیف لیکرت انتخاب شدند. در ادامه، با تعریف ۳۳ وضعیت برای این متغیرها و براساس ماتریس اثرات متقابل امتیاز دهی شده و با به کارگیری نرم افزار سناریویزارد، ۶ سناریوی سازگار و محتمل استخراج گردید. نتایج نشان می دهد که سیستم آب شهری اردبیل ماهیتی آستانه ای و شکننده دارد؛ به طوری که تغییرات نسبتاً محدود در متغیرهای حکمرانی می تواند به گذار سریع از وضعیت پایدار به شرایط بحرانی منجر شود. علاوه بر این، تحلیل ها حاکی از آن است که ریشه اصلی بحران آب در اردبیل، بیش از آنکه ناشی از کمبود مطلق منابع آبی باشد، در نارسایی های ساختاری و نهادی نهفته است. سناریوهای طراحی شده نیز نشان می دهند که مسیر آینده این سیستم به طور قابل توجهی وابسته به کیفیت حکمرانی، میزان هماهنگی نهادی، سطح سرمایه گذاری و الگوهای مصرف است.

واژه های کلیدی: حکمرانی آب شهری، مدیریت منابع آب، میک مک، پایداری شهری، اردبیل

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: بهنام باقری، bagheribehnam@pnu.ac.ir

استناد: باقری، بهنام و عبدی، ابراهیم (۱۴۰۵). آینده پژوهی بحران آب شهری با رویکرد سناریونویسی: تحلیل ساختاری و مدیریتی شهر اردبیل. مدل سازی و مدیریت آب و خاک، ۶(۳)، ۲۷۸-۲۹۳.

doi: 10.22098/mmws.2026.19654.1807

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۱۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۲۷ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۶/۰۵

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۵، دوره ۶، شماره ۳، صفحه ۲۷۸ تا ۲۹۳

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

بحران آب در ایران طی دهه های اخیر به یکی از برجسته ترین معضلات توسعه ای تبدیل شده است که پیامدهای گسترده ای بر محیط زیست، فروپاشی جوامع محلی و تعارضات میان دولت و مردم داشته است (Hassaniyan, 2024). ایران به عنوان کشوری واقع در منطقه خشک و نیمه خشک، با کاهش منابع آب تجدیدپذیر و افزایش تنش های آبی مواجه است. بر اساس گزارش توسعه جهانی آب سازمان یونسکو و داده های بانک جهانی، ایران در میان کشورهای دارای تنش آبی بسیار بالا قرار گرفته و روند کاهشی منابع آب تجدیدپذیر سرانه، کشور را به آستانه فقر آبی نزدیک کرده است؛ به طوری که سرانه آب تجدیدپذیر کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب در سال در ادبیات بین المللی به عنوان مرز بحران آب شناخته می شود (World Bank, 2026). افزایش برداشت بی رویه منابع آب، کاهش بارش ها به دلیل تغییرات اقلیمی و رشد سریع جمعیت شهری و کشاورزی، موجب شده بحران آب در بسیاری از مناطق کشور شدت یابد (Noori et al., 2023). تأثیر تغییرات اقلیمی، از جمله افزایش شدت و فراوانی خشکسالی ها، موجب شده است که وقوع شرایط بحرانی آبی با تکرار بیشتری همراه شود و قابلیت پیش بینی بلندمدت منابع آب با عدم قطعیت بیشتری مواجه شود؛ به ویژه آنکه تغییر الگوهای بارش و افزایش دما، پایداری سامانه های هیدرولوژیکی را در بسیاری از مناطق جهان تحت تأثیر قرار داده است (Sonny et al., 2026). از سوی دیگر، کاهش دسترسی به منابع آب نه تنها به تشدید فقر و آسیب پذیری معیشتی منجر می شود، بلکه با افزایش مهاجرت های اجباری، به ویژه از مناطق روستایی به شهری و تعمیق نابرابری های منطقه ای همراه است. شواهد تجربی نشان می دهد که کمبود آب و توزیع نابرابر آن، به طور نامتناسبی گروه های کم درآمد را تحت تأثیر قرار داده و شکاف های اجتماعی و اقتصادی را در مقیاس های محلی و جهانی تشدید می کند (Sheng et al., 2026). در این میان، شهر اردبیل، واقع در شمال غرب کشور با اقلیم سرد و نیمه خشک، طی سال های اخیر به طور فزاینده ای با چالش های حاد در حوزه تأمین منابع آب روبه رو شده است. جمعیت اردبیل که در سال ۱۴۰۲ بالغ بر ۶۰۰ هزار نفر بوده است (سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان اردبیل، ۱۴۰۴)، به طور مستمر در حال افزایش است و این امر فشار زیادی بر منابع محدود آب وارد می آورد. مطالعات هیدروژئولوژیکی نشان می دهد که در دشت اردبیل طی سه دهه گذشته، تراز سفره های آب زیرزمینی بیش از ۲۵ متر افت داشته و از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ این دشت ۲۲ میلی متر فرونشست داشته است (آقاباری و همکاران، ۱۴۰۱). بحران آب در اردبیل محدود به کاهش کمی منابع نبوده، بلکه کیفیت آب نیز با تهدیدات جدی مواجه است. در کنار فرآیندهای طبیعی شورزایی و کانی شدگی، فعالیتهای انسانی

به ویژه در بخش کشاورزی باعث ورود فلزات سنگین به منابع آبی اردبیل گردیده است. به طوری که ۷۷ درصد آبخوان های اردبیل در رده کیفی بد و بسیار بد قرار دارند (نعمتی منصور، ۱۴۰۴). این امر لزوم توجه ویژه به راهکارهای پایدار، مدیریت یکپارچه منابع آب و بهره گیری از فناوری های نوین برای بهبود وضعیت آب در اردبیل را افزایش می دهد. می توان گفت که بحران آب شهری در اردبیل فراتر از یک مسئله صرفاً محیط زیستی یا فنی، به عنوان یک چالش پیچیده و چندبعدی با ریشه های ساختاری، مدیریتی و اقلیمی مطرح است که در صورت تداوم روندهای موجود، می تواند به بحرانی عمیق و با پیامدهای گسترده در آینده تبدیل شود.

در مطالعات مربوط به بحران آب، به ویژه در بستر شهرها که پیچیدگی های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی در هم تنیده اند؛ بهره گیری از نظریه ها و الگوهای معتبر مدیریت منابع آب و پایداری شهری ضرورت می یابد. استفاده از چارچوب های نظری ضمن تحلیل چندبعدی بحران آب منجر به ارائه راهکارهای جامع برای کاهش تنش های آبی و افزایش تاب آوری شهری می شود (Esmail & Suleiman, 2020). در ادامه، به مرور مهم ترین نظریه ها و مدل های مرتبط با بحران آب در حوزه شهری پرداخته می شود تا پایه ای مستحکم برای تحلیل و تفسیر داده ها و نتایج تحقیق فراهم شود. یکی از مهم ترین چارچوب های نظری در زمینه بحران آب، مدیریت یکپارچه منابع آب است. این رویکرد بر اصل هم پیوندی منابع آب، زمین و اکوسیستم ها تأکید دارد و مدیریت آن ها را در قالب یک سیستم یکپارچه پیشنهاد می کند. این نظریه مبتنی بر محدود بودن منابع آب و اجتناب ناپذیر بودن رقابت میان بخش های مختلف مصرف کننده از آب است. بنابراین، تصمیم گیری باید به گونه ای انجام شود که کارایی اقتصادی، عدالت اجتماعی و پایداری زیست محیطی به طور هم زمان تأمین شود. این رویکرد بر ضرورت مشارکت ذی نفعان و هماهنگی نهادی تأکید داشته و از مدل های خطی و بخشی مدیریت منابع فاصله می گیرد. در واقع، مدیریت یکپارچه منابع آب را می توان گذار از «مدیریت عرضه محور» به «مدیریت تقاضا محور و سیستمی» دانست (Biswas, 2008).

در تکمیل این چارچوب در حوزه اقتصاد منابع آب، نظریه «آب به عنوان کالای اقتصادی» نقش بنیادینی در تحلیل بحران ایفا می کند. بر اساس این نظریه، آب علاوه بر ارزش اجتماعی و زیست محیطی، دارای ارزش اقتصادی نیز هست و باید در نظام تخصیص منابع، همانند سایر کالاها در نظر گرفته شود (Rogers et al., 2002). این رویکرد به مسئله «شکست بازار» در تخصیص منابع آب اشاره دارد؛ به این معنا که در صورت قیمت گذاری نادرست یا یارانه های غیرهدفمند، مصرف کنندگان رفتار بهینه از خود نشان نمی دهند. از این منظر، بحران آب نتیجه عدم هم راستایی میان

شرب و مدل ارزیابی ریسک سلامت انجام شده است. داده‌های مورد استفاده شامل پارامترهای شیمیایی، به‌ویژه فلزات سنگین نظیر آرسنیک و سرب، در نقاط مختلف شهری بوده است. نتایج نشان داد که در برخی مناطق، شاخص کیفیت آب در وضعیت نامطلوب قرار دارد و ریسک سلامت، به‌ویژه برای کودکان، افزایش یافته است. این یافته‌ها بیانگر آن است که بحران آب شهری در اردبیل نه تنها دارای ابعاد کمی، بلکه دارای ابعاد کیفی و بهداشتی نیز است. در سطح ملی، مطالعه (Alavijeh et al., 2021) با بهره‌گیری از رویکرد تحلیل شاخص ترکیبی امنیت آب شهری و داده‌های ملی طی دوره ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹، وضعیت امنیت آب در شهرهای ایران را بررسی کرده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که علی‌رغم برخی بهبودها، بعد محیط‌زیستی امنیت آب شهری روندی کاهشی داشته و عواملی همچون رشد جمعیت، گسترش شهرنشینی و تغییرات اقلیمی به‌عنوان تهدیدهای اصلی پایداری منابع آب شهری مطرح هستند.

در مطالعه‌ای دیگر درباره دشت اردبیل (Javan et al., 2023) با استفاده از مدل پویایی سیستم و سناریوهای اقلیمی، به بررسی ارتباط میان آب، انرژی و غذا پرداخته‌اند. داده‌ها شامل اطلاعات اقلیمی، منابع آب و الگوهای کشت بوده است. نتایج نشان داد که تغییرات اقلیمی و مدیریت ناکارآمد منابع، پایداری منابع آب منطقه را تهدید کرده و در آینده فشار بر منابع آب شهری را نیز افزایش خواهد داد. همچنین، (Barati et al., 2023) با استفاده از مدل‌سازی پویایی سیستم در چارچوب پیوند آب - انرژی - غذا - زمین - اقلیم، به تحلیل بحران آب در ایران پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی عامل اصلی تشدید کمبود آب بوده و تقاضای آب در بخش‌های مختلف را به‌طور قابل توجهی افزایش داده است. از منظر سیاست‌گذاری، نتایج حاکی از آن است که هیچ‌یک از رویکردهای مبتنی بر عرضه یا تقاضا به‌تنهایی قادر به حل بحران نیستند و اتخاذ مداخلات ترکیبی می‌تواند اثربخش‌تر باشد. در سطح بین‌المللی، (Prieto & Borja, 2024) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و تحلیل مورفولوژی شهری در بیش از ۱۰۰ شهر جهان، تأثیر شکل شهری بر دسترسی به آب را بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که گسترش افقی شهرها موجب کاهش دسترسی به آب، افزایش هزینه‌ها و تشدید بحران آب شهری می‌شود. همچنین، (Ferdowsi et al., 2024) در یک مطالعه مروری نظام‌مند به بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر زیرساخت‌های آب شهری پرداخته‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی با افزایش خشکسالی، کاهش منابع آب و افزایش فشار بر زیرساخت‌های شهری همراه است.

در نهایت (Junquera et al., 2024) در مطالعه‌ای درباره بحران آب در اسپانیا، با استفاده از روش ترکیبی (تحلیل داده‌های

ارزش واقعی آب و قیمت پرداختی آن است. این نظریه همچنین بر نقش ابزارهای اقتصادی مانند تعرفه‌گذاری پلکانی، مالیات و مشوق‌ها در اصلاح الگوی مصرف تأکید دارد و آن‌ها را مکمل ابزارهای فنی و مدیریتی می‌داند (OECD, 2021). در بعد رفتاری، نظریه «رفتار برنامه‌ریزی‌شده» چارچوبی تحلیلی برای درک رفتار مصرف‌کنندگان آب ارائه می‌دهد. این نظریه بر این فرض استوار است که رفتار انسان‌ها نتیجه تعامل سه مؤلفه اصلی نگرش‌ها، هنجارهای اجتماعی و کنترل ادراک شده است. تا زمانی که این مؤلفه‌ها به نفع صرفه‌جویی شکل نگرفته باشند، رفتار مصرفی تغییر نخواهد کرد. این رویکرد نظری نشان می‌دهد که مدیریت بحران آب نیازمند مداخلات نرم‌افزاری مانند آموزش، اطلاع‌رسانی و تغییر هنجارهای اجتماعی است (Ajzen, 1991).

از منظر اقلیمی، نظریه «ریسک و عدم قطعیت» چارچوبی جهت تحلیل تأثیر تغییرات اقلیمی بر منابع آب فراهم می‌کند. بر اساس این دیدگاه، تغییر اقلیم نه تنها میانگین متغیرهای هیدرولوژیکی را تغییر می‌دهد، بلکه باعث افزایش نوسانات و عدم قطعیت در الگوهای بارش و دما می‌شود (IPCC, 2023). در دیدگاه نظری، این امر به معنای کاهش قابلیت پیش‌بینی و افزایش ریسک در مدیریت منابع آب است. در چنین شرایطی، رویکردهای سنتی مبتنی بر داده‌های تاریخی کارایی خود را از دست می‌دهند و نیاز به رویکردهای تطبیقی و انعطاف‌پذیر افزایش می‌یابد. این نظریه همچنین بر مفهوم «آسیب‌پذیری» تأکید دارد که تابعی از میزان مواجهه، حساسیت و ظرفیت سازگاری سیستم است.

در حوزه حکمرانی، نظریه «حکمرانی چندسطحی آب» بر پیچیدگی ساختارهای تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب تأکید می‌کند. این نظریه بیان می‌کند که منابع آب در سطوح مختلف جغرافیایی و نهادی مدیریت می‌شوند و هر سطح دارای منافع، اختیارات و محدودیت‌های خاص خود است. از این‌رو، بحران آب می‌تواند نتیجه ناهماهنگی میان این سطوح باشد. از دیدگاه نظری، این رویکرد بر اصولی مانند شفافیت، پاسخگویی، مشارکت و انسجام سیاستی تأکید دارد و حکمرانی مؤثر را پیش‌شرط مدیریت پایدار منابع می‌داند. این نظریه همچنین به مسئله «شکاف‌های حکمرانی» اشاره دارد که شامل شکاف در اطلاعات، ظرفیت، تأمین مالی و هماهنگی است (OECD, 2021). بررسی مطالعات صورت گرفته در زمینه بحران آب تصویری روشن از علل، پیامدها و راهکارهای مواجهه با این بحران ارائه داده و مسیر پژوهش حاضر را در زمینه تحلیل بحران آب در سطح منطقه‌ای هموار می‌سازد. در ادامه، به مهم‌ترین یافته‌های مطالعات داخلی و بین‌المللی مرتبط پرداخته می‌شود. پژوهش (Aghlmand et al., 2021) یکی از مهم‌ترین مطالعات تجربی در حوزه آب شهری اردبیل به‌شمار می‌رود. این مطالعه با استفاده از تحلیل شیمیایی نمونه‌های آب

شناسایی کرده و بستری برای تدوین راهبردهای پایدار، پیش‌دستانه فراهم آورد. با توجه به موارد مذکور، انجام مطالعات دقیق و جامع در زمینه بحران آب در شهر اردبیل با هدف تحلیل شرایط موجود، پیش‌بینی روندهای آتی و ارائه راهکارهای علمی و عملی جهت مدیریت پایدار منابع آبی، بسیار ضروری است. این تحقیق می‌تواند به عنوان بستری برای ارتقاء دانش محلی، افزایش آگاهی عمومی و پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مورد استفاده قرار گیرد و در نهایت به کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی و اجتماعی ناشی از بحران آب در شهر اردبیل منجر شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهر اردبیل در بخش مرکزی استان اردبیل در شمال غرب ایران واقع شده است. این شهر مرکز استان اردبیل است، براساس آخرین سرشماری نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ دارای ۵۲۵۷۰۲ نفر جمعیت است، متوسط بارش در ایستگاه سینوپتیک اردبیل حدود ۳۰۴ میلیمتر بوده و پرباران ترین ماه سال اردیبهشت است. میانگین دمای سالانه در ایستگاه اردبیل ۹ درجه سانتی‌گراد، حداقل دمای ثبت شده ۳۳/۸- درجه سانتیگراد، متوسط روزهای یخبندان ۱۳۰ روز در سال و یکی از نواحی سردسیر ایران محسوب می‌شود (دانشور و دین‌پژوه، ۱۳۹۱).

۲-۲- روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از نظر هدف کاربردی و از نظر ماهیت توصیفی-تحلیلی با رویکرد آینده‌پژوهی می‌باشد. هدف این تحقیق تدوین سناریوهای بحران آب در شهر اردبیل در افق ۱۰ ساله تا سال ۱۴۱۴ می‌باشد. روش تحقیق این پژوهش مبتنی بر ترکیب روش دلفی اصلاح‌شده و تحلیل اثرات متقاطع بوده و داده‌ها نیز از طریق پرسشنامه جمع‌آوری شده است. جامعه هدف پژوهش نیز شامل ۳۰

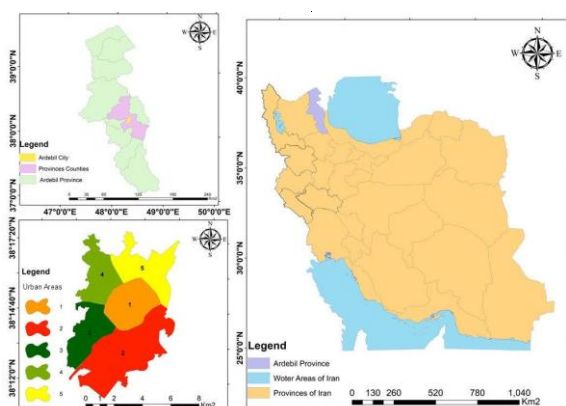
هیدرولوژیک و مصاحبه)، نشان داده‌اند که این بحران حاصل برهم‌کنش عوامل اقلیمی (نظیر خشکسالی) و ضعف در حکمرانی است که پیامدهای اقتصادی و اجتماعی گسترده‌ای به دنبال دارد. مرور مطالعات نشان می‌دهد که بحران آب شهری پدیده‌ای چندبعدی است که از تعامل عوامل اقلیمی، مدیریتی و اجتماعی ناشی می‌شود؛ به‌گونه‌ای که در مقیاس محلی مانند اردبیل، علاوه بر کمبود کمی آب، مشکلات کیفی و بهداشتی آب نیز به‌طور جدی سلامت جامعه را تهدید می‌کند، و در مقیاس ملی، رشد جمعیت، شهرنشینی، تغییرات اقلیمی و مدیریت ناکارآمد موجب کاهش امنیت آب شهری شده‌اند. همچنین یافته‌ها تأکید دارند که هیچ راهکار تک‌بعدی برای حل این بحران کافی نیست و رویکردهای ترکیبی (عرضه و تقاضا) همراه با حکمرانی کارآمد ضروری است؛ از سوی دیگر، در سطح جهانی نیز عواملی مانند گسترش افقی شهرها و ضعف حکمرانی، بحران آب را تشدید کرده‌اند.

مطالعه (Hassaniyan (2024) با رویکرد سیاسی-اقتصادی و کیفی، بحران آب ایران را از منظر حکمرانی بررسی کرده است. داده‌های این پژوهش شامل اسناد سیاستی و تحلیل‌های اجتماعی بوده و نتایج آن نشان می‌دهد که سیاست‌های تمرکزگرایانه و نابرابر منجر به بروز بی‌عدالتی محیط‌زیستی، افزایش تنش‌های اجتماعی و گسترش حاشیه‌نشینی شده‌اند.

در نهایت Gholipour et al. (2026) با استفاده از روش پیمایشی به امکان استفاده از بازچرخانی آب خاکستری در شهر مشهد پرداخته‌اند. این مطالعه نشان می‌دهد که این راهکار می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای پایدار در مدیریت بحران آب شهری مطرح شود. با این حال، عواملی نظیر هزینه‌های بالا، کمبود تخصص و مقاومت اجتماعی ناشی از نگرانی‌های بهداشتی، از جمله موانع اصلی اجرای آن به‌شمار می‌روند.

مرور مطالعات نشان می‌دهد که بحران آب شهری پدیده‌ای چندبعدی است که از تعامل عوامل اقلیمی، مدیریتی و اجتماعی ناشی می‌شود؛ به‌گونه‌ای که در مقیاس محلی مانند اردبیل، علاوه بر کمبود کمی آب، مشکلات کیفی و بهداشتی آب نیز به‌طور جدی سلامت جامعه را تهدید می‌کند، و در مقیاس ملی، رشد جمعیت، شهرنشینی، تغییرات اقلیمی و مدیریت ناکارآمد موجب کاهش امنیت آب شهری شده‌اند. همچنین یافته‌ها تأکید دارند که هیچ راهکار تک‌بعدی برای حل این بحران کافی نیست و رویکردهای ترکیبی (عرضه و تقاضا) همراه با حکمرانی کارآمد ضروری است؛ از سوی دیگر، در سطح جهانی نیز عواملی مانند گسترش افقی شهرها و ضعف حکمرانی، بحران آب را تشدید کرده‌اند.

بر این اساس، هدف پژوهش حاضر این است که با بهره‌گیری از سناریونویسی و تحلیل ساختاری، ضمن تبیین روابط میان عوامل مؤثر بر بحران آب شهری اردبیل، مسیرهای محتمل آینده را



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان و شهر اردبیل

Figure 1- Geographic location of Ardabil province and Ardabil city

برای تعداد اعضای پانل خبرگان در روش دلفی وجود ندارد و در مطالعات منتشرشده، تعداد مشارکت کنندگان از ۱۰ تا ۱۰۰۰ نفر متغیر بوده است؛ با این حال، اغلب پژوهش‌ها تعداد ۱۰ تا ۱۰۰ نفر را مناسب می‌دانند. به دلیل دشواری‌های مدیریت داده‌ها و مسائل اجرایی مربوط به تکرار مراحل نظرسنجی، استفاده از نمونه‌های بسیار بزرگ در مطالعات دلفی کمتر رایج است. در مجموع، برای یک دلفی همگن، تعداد ۳۰ تا ۵۰ نفر به‌عنوان حجم نمونه بهینه پیشنهاد شده است (Nasa et al., 2021). در مرحله نخست برای شناسایی متغیرهای مؤثر بر بحران آب، از روش دلفی اصلاح‌شده در دو مرحله استفاده شد. در مرحله نخست، پرسشنامه نیمه‌ساختاریافته‌ای در اختیار خبرگان قرار گرفت، این پرسشنامه شامل بخش‌هایی برای ثبت متغیرها در چهار گروه محیطی-کشاورزی، اقتصادی، اجتماعی و مدیریتی-زیرساختی بود. در نهایت، کارشناسان و خبرگان ۳۸ متغیر مؤثر بر بحران آب را شناسایی کردند که در جدول ۲ ارائه شده است. در مرحله دوم، متغیرهای شناسایی‌شده به خبرگان ارائه شد و از آنان خواسته شد میزان اهمیت و تأثیرگذاری هر متغیر را بر اساس طیف لیکرت ارزیابی کنند. سپس، با تجمیع نظرات خبرگان، متغیرهای نهایی انتخاب شدند. در نهایت، ۱۱ متغیر به‌عنوان عوامل کلیدی مؤثر بر بحران آب شهر اردبیل تعیین شدند (جدول ۳). این عوامل به‌عنوان مهم‌ترین متغیرهای اثرگذار در شکل‌گیری بحران آب اردبیل شناخته می‌شوند و نقش اساسی در برنامه‌ریزی‌های آتی مدیریت منابع آب این شهر ایفا می‌کنند. این متغیرها در قالب ماتریس اثرات متقاطع مورد سنجش قرار گرفتند تا میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری آن‌ها بررسی شود.

نفر از خبرگان حوزه‌های مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی شهری، محیط‌زیست، کشاورزی و اقلیم‌شناسی بودند که به‌صورت هدفمند انتخاب شدند. (جدول ۱)

جدول ۱- مشخصات عمومی خبرگان شرکت کننده در

انتخاب متغیرها

Table1- General characteristic of experts participating in variable selection

Major	Gender		Academic Degree	
	Male	Female	Ph.D.	M.Sc./M.A.
Economics	4	2	5	1
Water	6	1	4	3
Environmental science	3	1	2	2
Agriculture	4	1	5	0
Climatology	2	0	1	1
Urban planning	6	0	5	1
Number	25	5	22	8
Total number	30		30	

در پژوهش‌های مبتنی بر دلفی و تحلیل ساختاری، معیار اصلی انتخاب نمونه، تخصص، تجربه و آگاهی خبرگان نسبت به موضوع پژوهش است و برتری با کیفیت و دانش تخصصی اعضای پانل نسبت به افزایش صرف حجم نمونه است. در این روش‌ها دستیابی به اشیاع نظری و پوشش مناسب دیدگاه‌های تخصصی اهمیت بیشتری نسبت به افزایش تعداد مشارکت‌کنندگان دارد. بر این اساس، تعداد ۳۰ نفر از خبرگان مرتبط با موضوع پژوهش که دارای دانش تخصصی و تجربه اجرایی و علمی کافی بودند، به‌عنوان حجم نمونه انتخاب شدند؛ زیرا این تعداد ضمن قرار گرفتن در دامنه متعارف مطالعات دلفی، امکان دستیابی به اجماع و کاهش خطای قضاوت‌های فردی را فراهم می‌کند (Gordon & Pease, 2006). روش دلفی در دو مرحله اجرا شد. در این زمینه، استاندارد مشخصی

جدول ۲- شاخص‌ها و زیرشاخص‌های اولیه مؤثر در حوزه بحران آب شهر اردبیل

Table 2- Initial indicators and sub-indicators affecting the urban water crisis in Ardabil

Index	Sub index
Manegerial/Infrastructural	Managerial interventions in the water sector, strengthening local, regional, and national cooperation, exemptions and penalties (establishing incentive and punitive policies), creating mechanisms for engaging all water stakeholders, water conservation projects in urban planning, establishing regulations for water distribution, architectural and urban development regulations, management weaknesses, lack of legal requirements for water recycling and reuse (greywater), insufficient capacity of treatment plants and pumping stations, lack of prioritization of water resource management in urban programs, absence of online monitoring and real-time tracking systems for water resources and distribution networks.
Economical	Water pricing, household per capita income, investment in water infrastructure, establishment of water-intensive industries, aligning agricultural product mix with the ecological capacity of the region, water extraction and consumption, improvement of water distribution networks.
Socio-Cultural	Promoting a culture of water consumption patterns among urban households, existence of regional disparities in water allocation, lack of effective public awareness and advertising in the water sector, consumer unawareness or lack of motivation for water conservation, absence of social participation in water consumption management programs, weakness of education in schools and media regarding water resource conservation, population growth, rural-to-urban migration.
Agro-Environmental	Use of low water-consuming plant species in urban areas, use of modern irrigation methods, utilization of river water and surface water flows, expansion of agricultural land, changes in cropping patterns, shortage of permeable surfaces and increased surface runoff, changes in temperature, precipitation, and water quality, reduction in river discharge, insufficient aquifer recharge.

جدول ۳- متغیرهای کلیدی موثر بر بحران آب شهر اردبیل

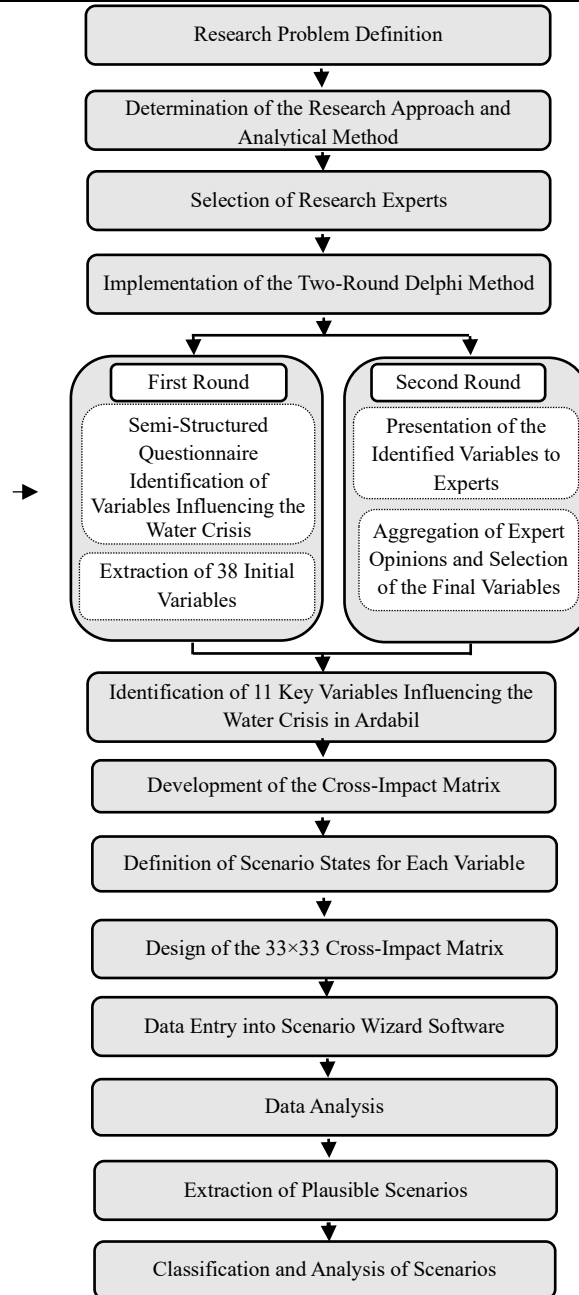
Table 3- Key variables influencing the urban water crisis in Ardabil

Water pricing, rural-to-urban migration, investment in infrastructure, improvement of water distribution networks, promoting a culture of consumption patterns, precipitation, use of low water-consuming plant species in urban areas, managerial interventions in the water sector, water conservation projects in urban planning, changes in cropping patterns, use of modern irrigation methods.

در گام آخر، برای پردازش داده‌ها و استخراج سناریوها از نرم‌افزار سناریویزارد^۱ نسخه ۴.۳۱ استفاده شد. این نرم‌افزار یکی از ابزارهای تخصصی آینده‌پژوهی مبتنی بر تحلیل اثرات متقابل است که برای تولید و تحلیل سناریوهای سازگار و محتمل آینده به کار می‌رود. سناریویزارد با استفاده از روش تحلیل متوازن اثرات متقابل (Cross-Impact Balance)، میزان سازگاری و ناسازگاری میان وضعیت‌های مختلف متغیرها را بررسی کرده و سناریوهای ممکن را بر اساس میزان سازگاری داخلی و احتمال وقوع طبقه‌بندی می‌کند (Ritchey, 2011). پس از انتخاب عوامل کلیدی، هر یک از عوامل در قالب وضعیت‌های مختلف خوش‌بینانه (A1)، بینابین (B1) و بدبینانه (C1) طبقه‌بندی شدند و این وضعیت‌ها برای تمامی عوامل کلیدی به صورت ماتریسی در اختیار متخصصان و خبرگان قرار گرفت. این تقسیم‌بندی با هدف پوشش دامنه عدم قطعیت‌ها و نمایش طیفی از آینده‌های جایگزین انجام شد؛ زیرا در سناریونویسی، بررسی حالات متفاوت آینده به جای پیش‌بینی یک آینده قطعی مورد توجه قرار می‌گیرد و استفاده از وضعیت‌های چندگانه امکان تحلیل طیف وسیع‌تری از شرایط محتمل را فراهم می‌کند (Godet, 2000). برای مثال، سؤال محوری در این پرسشنامه به این صورت مطرح می‌شود: اگر وضعیت C1 از عامل کلیدی C در آینده رخ دهد، چه تأثیری بر وقوع یا عدم وقوع وضعیت A2 از عامل کلیدی A خواهد داشت؟ پاسخ‌ها در قالب طیفی از اعداد ۳ تا -۳ ارائه می‌شود (زنگی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۹). با توجه به اینکه در ماتریس اثرات متقاطع، سطرها بر ستون‌ها تأثیرگذار هستند، امتیازدهی بر همین اساس انجام می‌گیرد. در این پرسشنامه، وضعیت‌ها می‌توانند تأثیرگذاری مثبت یا منفی داشته باشند و در نهایت داده‌ها در نرم‌افزار تحلیل می‌شوند. تکنیک تحلیلی مورد استفاده در سناریویزارد مبتنی بر روش CIB² است که هدف آن بهینه‌سازی و افزایش قابلیت اطمینان سناریوهای استخراج‌شده است. این روش که در مطالعات آینده‌پژوهی بر پایه نظرات گروه‌های کانونی و خبرگان به کار گرفته می‌شود، روشی نظام‌مند برای بررسی تحولات احتمالی آینده و تعاملات میان آن‌ها محسوب می‌شود. در این نرم‌افزار، متغیرها در قالب ماتریس اثرات متقابل ثبت شده و نظرات خبرگان درباره میزان تأثیر متقابل متغیرها بر یکدیگر در قالب عبارات کلامی سنجیده می‌شود. سپس با محاسبه اثرات مستقیم و غیرمستقیم میان متغیرها، سناریوهای سازگار پیش‌روی سیستم مورد مطالعه استخراج می‌شوند (کوثری و هداوند، ۱۴۰۲). تدوین سناریو مستلزم تحلیل دقیق وضعیت موجود و شناسایی عوامل اثرگذار است. در این راستا، برای هر یک از متغیرها سه وضعیت محتمل در نظر گرفته شد. این وضعیت‌ها با توجه به ویژگی‌های خاص هر متغیر، متفاوت تعریف شدند؛ به گونه‌ای که برای هر متغیر، سه حالت خوش‌بینانه (نشان‌دهنده بهترین شرایط ممکن)، بینابین (بیانگر تداوم روند فعلی) و بدبینانه (نمایانگر نامطلوب‌ترین وضعیت پیش‌رو) مشخص گردید. در ادامه، با طراحی این وضعیت‌ها و تحلیل ماتریس اثرات متقاطع ۳۳×۳۳ به منظور شناسایی عوامل کلیدی، پرسشنامه‌ای تدوین شد که در آن از خبرگان خواسته شد به این پرسش پاسخ دهند: «در صورت وقوع هر یک از ۳۳ وضعیت در شهر اردبیل، چه تأثیری بر وقوع یا عدم وقوع سایر وضعیت‌ها خواهد داشت؟». پاسخ‌دهندگان بر اساس سه سناریوی خوش‌بینانه، بینابین و بدبینانه به تکمیل پرسشنامه پرداختند (جدول ۴). نرم‌افزار سناریویزارد در فرآیند استخراج سناریوها، تأکیدی بر انتخاب از طیف خاصی از سناریوها ندارد، بلکه صرفاً بر اساس روابط مثبت و منفی میان عوامل (میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری) که توسط کارشناسان ارزیابی شده‌اند و در قالب ماتریس اثرات متقاطع وارد شده‌اند (جدول ۶)، سناریوها را تولید می‌کند. از این‌رو، سناریوهای حاصل می‌توانند در دامنه‌ای از شرایط کاملاً مطلوب تا کاملاً بحرانی قرار گیرند. به منظور تسهیل درک وضعیت‌های مختلف سناریویی، سه سطح کلی تعریف شد که مفاهیم آن‌ها به همراه نظام رنگ‌بندی مربوطه در جدول شماره ۵ ارائه شده است.

¹ <https://scenariowizard.org>

² Cross- Impact balance



شکل ۲- فلوجارت مراحل انجام پژوهش

Figure 2- Flowchart of research steps

جدول شماره ۴- عوامل کلیدی سناریونگاری بحران آب شهر اردبیل

Table 4 - Key drivers of scenario development for the urban water crisis in Ardabil

Key Factors Affecting the Urban Water Crisis in Ardabil	Situation	Sub-factors of each factor	Key Factors Affecting the Urban Water Crisis in Ardabil	Situation	Sub-factors of each factor
Water pricing	A1 Optimistic	Water price incrise	Rural-to-urban migration	B1 Optimistic	Decrease in rural-to-urban migration
	A2 Moderate	Continuation of current situation		B2 Moderate	Continuation of the current migration situation
	A3 Pessimistic	Water price decrease		B3 Pessimistic	Increase in rural-to-urban migration
Investment in infrastructure	C1 Optimistic	Increase in investment	Improvement of water distribution networks	D1 Optimistic	Renovation of deteriorated water network
	C2 Moderate	Continuation of current situation		D2 Moderate	Continuation of current situation
	C3 Pessimistic	Decrease in investment		D3 Pessimistic	Increased deterioration of water network
Promoting a culture of consumption patterns	E1 Optimistic	Increase in promoting water consumption culture	Precipitation	F1 Optimistic	Increase in Precipitation
	E2 Moderate	Continuation of current situation		F2 Moderate	Continuation of current precipitation patterns
	E3 Pessimistic	Decrease in promoting water consumption culture		F3 Pessimistic	Decrease in precipitation
Use of low water-consuming plant species in urban areas	G1 Optimistic	Planting of low water-consuming plant species	Managerial interventions in the water sector	H1 Optimistic	Improvement of managerial interventions
	G2 Moderate	Continuation of current situation		H2 Moderate	Continuation of current situation
	G3 Pessimistic	Planting of high water-consuming plant species		H3 Pessimistic	Lack of managerial interventions
Water conservation projects in urban planning	I1 Optimistic	Prioritization of water-conservation projects in urban planning	Changes in cropping patterns	J1 Optimistic	Change in cropping patterns toward low water-consuming crops
	I2 Moderate	Continuation of current situation		J2 Moderate	Continuation of current situation
	I3 Pessimistic	Lack of prioritization of water- conservation projects in urban planning		J3 Pessimistic	Increase in the cultivation of water-intensive crops
Use of modern irrigation methods	K1 Optimistic	Increase in the use of modern irrigation methods	---	---	---
	K2 Moderate	Continuation of current situation		---	---
	K3 Pessimistic	Reduction or non-use of modern irrigation methods		---	---

جدول شماره ۵- تعریف مفهوم رنگ ها و وضعیت ها در صفحه سناریو

Table 5 - Definition of color codes and scenario states

Color	Status	Characteristics
	Desirable	The most desirable possible condition for the variable
	Static	A static state and continuation of the current trend in the variable
	Critical	The most undesirable future condition for the variable

Table 6 – Cross-impact analysis questionnaire for the variables affecting the water crisis in Ardabil city

Rows are influential and columns are affected Scoring is between -3 and +3		Water price incrise	Continuation of current situation	Water price decrease	Decrease in rural-to-urban migration	Continuation of the current migration	Increase in rural-to-urban migration	Increase in investment	Continuation of current situation	Decrease in investment	Renovation of deteriorated water network	Continuation of current situation	Increased deterioration of water network	Increase in promoting water consumption	Continuation of current situation	Decrease in promoting water consumption	Increase in Precipitation	Continuation of current situation	Decrease in promoting water	Continuation of current situation	Increase in promoting water consumption	Increased deterioration of water network	Continuation of current situation	Decrease in precipitation	Planting of low water-consuming plant	Continuation of current situation	Planting of high water-consuming plant	Improvement of managerial interventions	Continuation of current situation	Lack of managerial interventions	Prioritization of water- conservation	Continuation of current situation	Lack of prioritization of water- conservation	Change in cropping patterns toward low	Continuation of current situation	Increase in the cultivation of water-intensive	Increase in the use of modern irrigation	Continuation of current situation	Reduction or non-use of modern irrigation			
		Water price incrise	Continuation of current situation	Water price decrease	Decrease in rural-to-urban migration	Continuation of the current migration	Increase in rural-to-urban migration	Increase in investment	Continuation of current situation	Decrease in investment	Renovation of deteriorated water network	Continuation of current situation	Increased deterioration of water network	Increase in promoting water consumption	Continuation of current situation	Decrease in promoting water consumption	Increase in Precipitation	Continuation of current situation	Decrease in precipitation	Planting of low water-consuming plant	Continuation of current situation	Planting of high water-consuming plant	Improvement of managerial interventions	Continuation of current situation	Lack of managerial interventions	Prioritization of water- conservation	Continuation of current situation	Lack of prioritization of water- conservation	Change in cropping patterns toward low	Continuation of current situation	Increase in the cultivation of water-intensive	Increase in the use of modern irrigation	Continuation of current situation	Reduction or non-use of modern irrigation								

جدول ۷- تابلوی سناریوهای بحران آب شهر اردبیل

Table 7- scenario matrix of the urban water crisis in Ardabil

First scenario	Second scenario	Third scenario	Fourth scenario	Fifth scenario	Sixth scenario
Continuation of the current water pricing situation					
Stability of the current migration situation				Increase in rural-to-urban migration	
Increase in investment			Continuation of the current situation of investment in Infrastructures		
Renovation of deteriorated water network			Continuation of the current condition of the water network		
Increase in promoting water consumption culture			Continuation of current water consumption culture		
Increased in precipitation	Continuation of current precipitation patterns	Decrease in precipitation	Increased in precipitation	Continuation of current precipitation patterns	Decrease in precipitation
Continuation of current cropping patterns					
Improvement of managerial interventions			Continuation of current situation in managerial interventions		
Prioritization of water- conservation projects in urban planning			Continuation of current situation in project implementation		
Planting of low water-consuming plant species			Continuation of current situation in planting		
Increase in the use of modern irrigation methods			Continuation of current situation in irrigation methods		

جدول شماره ۸- وضعیت های هریک از عوامل به تفکیک هر سناریو براساس طیف سه گانه

Table 8 - Status of each factor by scenario based on the triple spectrum

Use of modern irrigation methods	Optimistic	Optimistic	Optimistic	Moderate	Moderate	Moderate
Changes in cropping patterns	Optimistic	Optimistic	Optimistic	Moderate	Moderate	Moderate
Water conservation projects in urban planning	Optimistic	Optimistic	Optimistic	Moderate	Moderate	Moderate
Managerial interventions in the water sector	Optimistic	Optimistic	Optimistic	Moderate	Moderate	Moderate
Use of low water-consuming plant species in urban areas	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate
Precipitation	Optimistic	Moderate	Pessimistic	Optimistic	Moderate	Pessimistic
Promoting a culture of consumption patterns	Optimistic	Optimistic	Optimistic	Moderate	Moderate	Moderate
Improvement of water distribution networks	Optimistic	Optimistic	Optimistic	Moderate	Moderate	Moderate
Investment in infrastructure	Optimistic	Optimistic	Optimistic	Moderate	Moderate	Moderate
Rural-to-urban migration	Moderate	Moderate	Moderate	Pessimistic	Pessimistic	Pessimistic
Water pricing	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate
	First scenario	Second scenario	Third scenario	Fourth scenario	Fifth scenario	Sixth scenario

۳- نتایج و بحث

بر اساس تحلیل روابط متقابل میان وضعیت‌های هر یک از متغیرها و تأثیر آن‌ها بر سایر وضعیت‌ها، تعداد ۶ سناریوی محتمل با درجه بالایی از باورپذیری برای آینده بحران آب شهر اردبیل شناسایی شد (جدول ۷). بررسی اولیه این سناریوها نشان می‌دهد که هر یک شامل ترکیب‌های متفاوتی از وضعیت متغیرها بوده و بیانگر شرایط متنوعی از آینده این بحران هستند. در واقع، تحلیل این سناریوها امکان ترسیم مسیرهای مختلف توسعه در حوزه منابع آب شهر اردبیل را فراهم می‌سازد و می‌تواند مبنایی برای تعیین اهداف و سیاست‌گذاری‌های آتی در این حوزه باشد. از این‌رو، با تکیه بر مطلوب‌ترین سناریو، می‌توان چشم‌اندازی ایده‌آل از آینده منابع آب شهر ترسیم کرد. در همین راستا، به‌منظور تسهیل درک و تفسیر سناریوهای استخراج‌شده و نیز تمایز میان وضعیت‌های سه‌گانه هر متغیر، جدول ۸ تدوین شده است. این جدول چارچوبی مناسب برای تحلیل و مقایسه سناریوها فراهم می‌آورد. بر اساس این جدول ۳۴/۸ درصد از وضعیت‌ها در حالت خوش‌بینانه، ۵۷/۷ درصد در حالت بینابین و ۷/۵ درصد در وضعیت بحرانی یا بدبینانه قرار دارند. این توزیع بیانگر آن است که سهم وضعیت‌های بینابین نسبت به سایر حالت‌ها غالب بوده و برتری دارد؛ موضوعی که ضرورت توجه جدی به برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در حوزه تأمین آب و مدیریت بحران آب شهر اردبیل را برجسته می‌سازد. بررسی جدول (۷) نشان می‌دهد که آینده بحران آب شهر اردبیل تحت تأثیر برهم‌کنش مجموعه‌ای از عوامل مدیریتی، اجتماعی، اقتصادی و طبیعی قرار دارد که در قالب سه وضعیت خوش‌بینانه، بینابین و بدبینانه در شش سناریو توزیع شده‌اند. الگوی کلی جدول حاکی از آن است که سناریوهای ۱ تا ۳ عمدتاً در طیف خوش‌بینانه تا بینابین قرار دارند، در حالی که سناریوهای ۴ تا ۶ به‌تدریج به سمت وضعیت‌های بحرانی و بدبینانه میل می‌کنند. در سناریوهای اول و دوم، غلبه وضعیت‌های خوش‌بینانه در متغیرهایی نظیر بهسازی سیستم، اقدامات مدیریتی، فرهنگ‌سازی الگوی مصرف، سرمایه‌گذاری در بخش آب و استفاده از روش‌های نوین آبیاری، بیانگر شکل‌گیری یک نظام نسبتاً کارآمد در حکمرانی آب است. در این شرایط، تعادل میان عرضه و تقاضا تا حد زیادی برقرار بوده و مدیریت صحیح منابع، امکان کنترل اثرات منفی نوسانات اقلیمی را فراهم می‌کند. با این حال، حتی در این سناریوها نیز برخی متغیرها مانند «مهاجرت به شهر» و «قیمت آب» در وضعیت بینابین باقی مانده‌اند که نشان‌دهنده وجود چالش‌های ساختاری حل‌نشده است. نتایج این بخش با یافته‌های Javan et al. (2023) همخوانی دارد؛ زیرا آنان نیز نشان دادند که مدیریت

ناکارآمد منابع آب در کنار تغییرات اقلیمی، پایداری سیستم آب منطقه اردبیل را تهدید می‌کند. همچنین نتایج پژوهش حاضر با مطالعه Barati et al. (2023) همسو است که تأکید داشتند سیاست‌های صرفاً عرضه محور یا تقاضا محور برای حل بحران آب کافی نیستند و رویکردهای تلفیقی اثربخش‌تر خواهند بود. در پژوهش حاضر نیز سناریوهای پایدار تنها در شرایطی شکل گرفتند که هم‌زمان سرمایه‌گذاری زیرساختی، مدیریت مصرف، فرهنگ‌سازی و مداخلات مدیریتی تقویت شدند. یافته‌های سناریوی سوم را باید سناریویی نسبتاً پایدار اما آسیب‌پذیر در برابر شوک‌های طبیعی دانست. در این سناریو، علی‌رغم تداوم شرایط مطلوب در متغیرهای مدیریتی، زیرساختی و رفتاری (نظیر مدیریت، فرهنگ مصرف، سرمایه‌گذاری و بهسازی سیستم)، کاهش یا نامطلوب شدن وضعیت بارش به‌عنوان یک عامل برون‌زا، فشار بر منابع آب را افزایش می‌دهد. به بیان دیگر، این سناریو نشان می‌دهد که حتی در صورت کارآمدی نسبی نظام حکمرانی آب، وابستگی به شرایط اقلیمی همچنان یک ریسک جدی برای پایداری سیستم محسوب می‌شود. در چنین وضعیتی، سیستم هنوز وارد بحران نشده، اما در معرض تنش قرار می‌گیرد؛ به‌ویژه اگر تداوم شرایط نامطلوب بارش با گذر زمان همراه شود. در سناریوهای چهارم تا ششم، غلبه وضعیت‌های بینابین و به‌ویژه بدبینانه، نشان‌دهنده ورود سیستم به فاز بحران است. در این میان، متغیرهایی مانند «مهاجرت به شهر» به‌طور کامل در وضعیت بدبینانه قرار گرفته‌اند که می‌تواند فشار مضاعفی بر منابع آب وارد کند. همچنین، با وجود آن‌که «تأثیر بارش» در برخی حالات بهبود نسبی را نشان می‌دهد، اما به دلیل ضعف در زیرساخت‌ها، ناکارآمدی مدیریتی و نبود هماهنگی نهادی، این بهبود به افزایش پایداری سیستم منجر نمی‌شود. این موضوع به‌خوبی نشان می‌دهد که اتکال صرف به عوامل طبیعی نمی‌تواند بحران آب را کنترل کند. این یافته با نتایج Junquera et al. (2024) و Hassaniyan (2024) نیز همخوانی دارد. این مطالعات نشان دادند که بحران آب بیش از آنکه ناشی از کمبود مطلق منابع آب باشد، تحت تأثیر ضعف حکمرانی، ناهماهنگی نهادی و ناکارآمدی مدیریتی قرار دارد. بنابراین، حتی در شرایط بهبود نسبی بارش، نبود ساختار حکمرانی کارآمد می‌تواند منجر به تشدید بحران شود.

۴- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با رویکرد آینده‌پژوهی مبتنی بر سناریونگاری، به تدوین سناریوهای بحران آب با تأکید بر شهر اردبیل تا افق ۱۴۱۴

شهری ۲- نوسازی و کاهش هدررفت شبکه توزیع آب ۳- توسعه سامانه های بازچرخانی و استفاده مجدد از آب خاکستری در پروژه های شهری ۴- اصلاح الگوی کشت در محدوده های پیرامونی شهر متناسب با ظرفیت منابع آب ۵- کنترل توسعه فضاهای سبز پرمصرف و جایگزینی آن با گونه های کم آب بر.

منابع

آقایاری، لیلا، عابدینی، موسی و اصغری سراسکانرود، صیاد (۱۴۰۱). برآورد میزان فرونشست با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و پارامترهای آب های زیرزمینی و کاربری اراضی (مطالعه موردی: دشت اردبیل). *پژوهش های ژئومورفولوژی کمی*، ۱۱(۱)، ۱۱۷-۱۳۲.

doi: 20.1001.1.22519424.1401.11.1.7.9

دانشور وثوقی، فرناز، و دین پژوه، یعقوب (۱۳۹۱). بررسی روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت اردبیل با استفاده از روش اسپرمن. *محیط شناسی*، ۳۸(۴)، ۱۷-۲۸.

doi:10.22059/jes.2013.29860

زنگی آبادی، علی، حسینی خواه، حسین، و قاسمی، محمدرضا (۱۳۹۹). برنامه ریزی توسعه منطقه ای بر پایه روش آینده پژوهی تحلیل اثرات متقاطع و سناریونویسی سایب (مطالعه موردی: استان کهگیلویه و بویراحمد). *پژوهش های جغرافیای انسانی*، ۵۲(۲)، ۶۵۷-۶۷۴.

doi: 10.22059/jhgr.2019.229931.1007430

سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان اردبیل (۱۴۰۴). سالنامه آماری استان اردبیل ۱۴۰۲. انتشارات سازمان برنامه و بودجه کشور، تهران، ۵۴۷ صفحه.

کوثری، سحر، هداوند مریم (۲۰۲۳). ارائه سناریوهای پشتیبان سیاست گذاری مبتنی بر رویکرد مطالعات آینده. *سیاست علم و فناوری*، ۱۶(۲)، ۳۹-۱۹.

doi: 10.22034/jstp.2023.11290.1640

نعمتی منصور، امیررضا (۱۴۰۴). ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت اردبیل با استفاده از تحلیل های آماری چندمتغیره و شاخص IRWQIGT. *مطالعات علوم محیط زیست*، ۱۰(۲)، ۱۰۳۶۳-۱۰۳۷۶.

پرداخته است. در این راستا، با بهره گیری از نظرات خبرگان و متخصصان، ۱۱ عامل کلیدی مؤثر بر بحران آب شناسایی شد و برای هر یک، سه وضعیت خوش بینانه، بینابین و بدبینانه تعریف گردید که در مجموع ۳۳ وضعیت را برای تحلیل در نرم افزار سناریویزارد تشکیل دادند. بر اساس نتایج حاصل، سناریوهایی برای آینده بحران آب شهر اردبیل استخراج شد که طیفی از شرایط پایدار تا فروپاشی کامل سیستم را دربر می گیرند. نتایج پژوهش نشان داد که آینده بحران آب شهر اردبیل بیش از آنکه تابع مستقیم تغییرات اقلیمی باشد، تحت تأثیر نحوه مدیریت، عوامل زیرساختی و نهادی قرار دارد. در میان متغیرهای کلیدی شناسایی شده، عواملی نظیر بهبود شبکه توزیع آب، سرمایه گذاری در زیرساخت ها، مداخلات مدیریتی، اصلاح الگوی مصرف و توسعه روش های نوین آبیاری، بیشترین نقش را در شکل گیری سناریوهای پایدار داشتند؛ در حالی که تداوم الگوی مصرف موجود، مهاجرت از روستا به شهر و کاهش بارش با سناریوهای بحرانی ارتباط بیشتری نشان دادند. همچنین، تحلیل سناریوها بیانگر آن بود که سناریوی سوم در حکم نقطه گذار سیستم عمل می کند و در صورت تداوم ضعف مدیریتی و زیرساختی، احتمال حرکت سیستم به سمت سناریوهای بحرانی افزایش می یابد. بر این اساس، یافته های پژوهش نشان می دهد که ریشه اصلی بحران آب اردبیل بیش از آن که ناشی از کمبود مطلق منابع آب باشد، در ناکارآمدی مدیریت تقاضا، ضعف زیرساخت ها و ناهماهنگی میان متغیرهای توسعه شهری و ظرفیت منابع آب قرار دارد. به بیان دیگر، تفاوت میان سناریوهای پایدار و بحرانی عمدتاً از نحوه مدیریت متغیرهای انسانی و کنترلی ناشی می شود، نه صرفاً تغییرات اقلیمی. این موضوع نشان می دهد که حتی در شرایط تنش اقلیمی، در صورت تقویت ظرفیت های مدیریتی و کنترلی امکان جلوگیری از ورود سیستم به وضعیت بحرانی وجود دارد. در نتیجه، مهم ترین اولویت سیاستی برای جلوگیری از تشدید بحران، تمرکز بر متغیرهایی است که در تمامی سناریوهای پایدار دارای وضعیت مطلوب بوده اند. بر این اساس مهمترین پیشنهادات جهت جلوگیری از حرکت سیستم آب شهری اردبیل به سمت سناریوهای بحرانی عبارتند: ۱- تدوین پیوست ظرفیت آبی برای طرح های توسعه

References

Aghayary, L., Abedini, M., & Asghari, S. (2022). Estimation of subsidence rate using radar interferometry technique and groundwater parameters and land use (Case study: Ardabil plain). *Quantitative Geomorphological*

Research, 11(1), 117-132.
doi:20.1001.1.22519424.1401.11.1.7.9 [In Persian]
Aghlmand, R., Rasi Nezami, S., & Abbasi, A. (2021). Evaluation of chemical parameters of urban drinking water quality along with health risk

- assessment: A case study of Ardabil Province, Iran. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10), 5179. doi:10.3390/ijerph18105179
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes*, 50(2), 179-211. doi: 10.1016/07495978(91)90020-T
- Alavijeh, N. K., Falahi, M. A., Shadmehri, M. T. A., Salehnia, N., Larsen, M. A. D., & Drews, M. (2021). Perspectives of current and future urban water security in Iran. *Journal of Cleaner Production*, 321, 129004. doi.: 10.1016/j.jclepro.2021.129004
- Ardabil Province Management and Planning Organization. (2025). Statistical yearbook of Ardabil Province 2023. Country Planning and Budget Organization Press. Tehran, Iran. [In Persian]
- Barati, A. A., Pour, M. D., & Sardooei, M. A. (2023). Water crisis in Iran: A system dynamics approach on water, energy, food, land and climate (WEFLC) nexus. *Science of the Total Environment*, 882, 163549. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.163549
- Biswas, A. K. (2008). Integrated Water Resources Management: Is It Working? *International Journal of Water Resources Development*, 24(1), 5-22. doi: 10.1080/07900620701871718
- Daneshvar Vousoughi, F., & Dinpashoh, Y. (2013). Trends of Groundwater Quality of Ardabil Plain Using the Spearman Method. *Journal of Environmental Studies*, 38(4), 17-28. doi: 10.22059/jes.2013.29860 [In Persian]
- Esmail, B. A., & Suleiman, L. (2020). Analyzing evidence of sustainable urban water management systems: A review through the lenses of sociotechnical transitions. *Sustainability*, 12(11), 4481. doi:10.3390/su12114481
- Ferdowsi, A., Piadeh, F., Behzadian, K., Mousavi, S. F., & Ehteram, M. (2024). Urban water infrastructure: A critical review on climate change impacts and adaptation strategies. *Urban Climate*, 58, 102132. doi:10.1016/j.uclim.2024.102132
- Gholipour, A., Hassanabadi, A.S., & Gayh, U. (2026). Nature-based Solutions for greywater reuse in water-scarce urban areas: A case study from Iran. *Circ.Econ.Sust.* 6, 5 doi:10.1007/s43615-026-00760-2
- Godet, M. (2000). The Art of Scenarios and Strategic Planning: Tools and Pitfalls. *Technological Forecasting and Social Change*, 65(1), 3-22. doi: 10.1016/S0040-1625(99)00120-1
- Gordon, T. J., & Pease, A. (2006). RT Delphi: An efficient, "round-less" almost real time Delphi method. *Technological Forecasting and Social Change*, 73(4), 321-333. doi:10.1016/j.techfore.2005.09.005
- Hassaniyan, A. (2024). Iran's water policy: environmental injustice and peripheral marginalisation. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 48(3), 420-437. doi:10.1177/03091333241252523
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press. doi:10.1017/9781009157896
- IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34. https://mural.maynoothuniversity.ie/id/eprint/17886/1/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf
- Javan, K., Altaee, A., Darestani, M., Mirabi, M., Azadmanesh, F., Zhou, J. L., & Hosseini, H. (2023). Assessing the Water-Energy-Food Nexus and Resource Sustainability in the Ardabil Plain: A System Dynamics and HWA Approach. *Water*, 15(20), 3673. doi: 10.3390/w15203673
- Junquera, V., Rubenstein, D. I., Levin, S. A., Hormaza, J. I., Pérez, I. V., & Gavilán, P. J. (2024). Hydrological collapse in southern Spain under expanding irrigated agriculture: Meteorological, hydrological, and structural drought. *arXiv preprint arXiv:2408.00683*. doi: 10.48550/arXiv.2408.00683
- Kowsari, S., & Hadavand, M. (2023). Providing scenarios to support policymaking based on the future studies approach. *Science and Technology Policy*, 16(2), 19-39. doi: 10.22034/jstp.2023.11290.1640 [In Persian]
- Nasa. P., Jain. R., & Juneja D. (2021). Delphi methodology in healthcare research: How to decide its appropriateness. *World J Methodol.* 20;11(4):116-129. doi:10.5662/wjm.v11.i4.116
- Nemati Mansour., A. (2025). Assessment of Groundwater Quality in the Ardabil Plain Using Multivariate Statistical Analyses and the IRWQIGT Index. *Journal of Environmental Science Studies*, 10(2), 10363-10376. [In Persian]

- Noori, R., Maghrebi, M., Jessen, S., Bateni, S., Heggy, E., Javadi, S., Noury, M., Pistre, S., Abolfathi, S., & Aghakouchak, A. (2023). Decline in Iran's groundwater recharge. *Nat Commun* 14, 6674. doi: 10.1038/s41467-02342411-2
- OECD. (2021). Water pricing in cities: Managing resources efficiently.
- Ritchey, T. (2011). Modeling Alternative Futures with General Morphological Analysis. *World Future Review*, 3(1), 83–94. doi:10.1177/194675671100300105
- Rogers, P., de Silva, R., & Bhatia, R. (2002). Water is an economic good: How to use prices to promote equity, efficiency, and sustainability. *Water Policy*, 4(1), 1–17. doi: 10.1016/S1366-7017(02)00004-1.
- Sheng, J., Cheng, Q., & Yang, H. (2026). Global water security threatened by rising inequality. *Nat. Geosci.* 19, 296–302. doi: 10.1038/s41561-025-01905-y
- Sonny, F.Z., Moradian, S., & Olbert, A.I. (2026). Hydrological drought projections across Europe under climate change. *npj Nat. Hazards* 3, 37. doi:10.1038/s44304-025-00152-w
- UN-Water Annual Report (2023). United Nations; <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2023>
- World Bank. (2026). Renewable internal freshwater resources per capita (cubic meters) – Iran, Islamic Rep. *World Development Indicators Database*.
- Zangiabadi, A., Hoseini khah, H., & Ghasemi, M. R. (2020). Regional development planning Based on Methods of analysis cross-impact And CIB (Case study: Kohgiluyeh and Boyer Province). *Human Geography Research*, 52(2), 657-674. doi:10.22059/jhgr.2019.229931.1007430 [In Persian]