



Foresight of Water Resources in Yazd Province Based on Geo-Political Drivers

Mohammad Sadegh Talebi¹ | Seyed Reza Hashemi²

1. Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Humanities, Meybod University, Meybod, Iran.

2. MSc Student, Department of Geography, Faculty of Humanities, Meybod University, Meybod, Iran.

✉Corresponding Author: talebi@meybod.ac.ir

Received:
09 June 2026

Revised:
04 August 2026

Accepted:
23 August 2026

Keywords:

Futures studies, water resources, geopolitical drivers, Yazd Province, MicMac.

Extended abstract

Introduction

Water is a vital natural resource, forming the foundation of human life (Ishak et al., 2024) and playing a key role in societal development (Liu et al., 2025). Currently, significant population growth has led to challenges such as water scarcity (Liao, 2024) and the depletion of scarce global resources (Prabha et al., 2020), rendering water scarcity a defining 21st-century global challenge that threatens environmental and societal stability (Talebi & Karimi, 2023). Notably, only 2.5% of Earth's water is fresh and potable, with most sequestered in groundwater (Okello et al., 2015). Annual global water consumption is 4,600 cubic kilometers—an eightfold increase over the last century—and is projected to rise by 30% by 2050 due to rapid population growth (Zhong et al., 2023). While water scarcity is global, it is more critical in arid and semi-arid regions (Farhaza, 2024). Iran, located within the global arid belt (Nasri Fakhr Davoud, 2024), is characterized as a dry region (Talebi & Fatemi, 2020), with one-third of the global average precipitation and three times the average evaporation rate (Fathi et al., 2014), while its central areas are largely deserts (Hosseini et al., 2024). Yazd Province, the study area, is located in central Iran (Dastorani et al., 2011) and is classified as an arid region with a hot desert climate (Seddighi Moghaddam et al., 2021). Annual precipitation in Yazd is estimated at 2% of the national total, with 90% lost to evaporation (Bonyad et al., 2022).

Cite this article: Talebi, M.S. & Hashemi, S.R. (2026). Foresight of water resources in Yazd Province based on Geo-Political Drivers. *Journal of Aquifer and Qanat*, 7 (1), 273-307. <https://10.22077/jaaq.2026.11657.1150>.



Copyright: © 2026 by the authors. Licensee: Journal of Aquifer and Qanat. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Alongside climatic constraints, managerial inefficiencies and over-exploitation of aquifers have accelerated the water crisis (Seddighi Moghaddam et al., 2021). Consequently, water management in Yazd is no longer merely a technical-hydrological challenge, but is directly influenced by geopolitical drivers and macro-governance variables. The complexity of these factors has created unstable prospects for the region's water resources, rendering traditional approaches inadequate. Therefore, it is essential to employ futures-oriented approaches to analyze key drivers and understand the forces shaping the province's water resources. Accordingly, this research analyzes the geopolitical drivers affecting water resources in Yazd Province to provide a proposed framework for identifying key variables and formulating strategic approaches

Materials and Methods

The present study utilizes an applied research design with a descriptive-analytical approach. In the first stage, 53 initial variables were extracted through a comprehensive review of theoretical literature and an analysis of macro-level water management documents to identify the geopolitical drivers affecting water resources in Yazd Province. These variables were then refined through a three-round Delphi process. This process involved a panel of 12 senior experts and managers, purposively selected from the fields of climatology, geopolitics, hydrology, and environmental sciences. To minimize subjectivity and enhance the validity of the results, the experts were provided with detailed statistical reports on the province's water status to ensure that the scoring process was based on quantitative realities. The consensus among the experts was validated using Kendall's Coefficient of Concordance, which reached 0.734 in the final round, indicating a high level of agreement. Using a seven-point Likert scale, variables with a mean score below 3.5 were excluded, resulting in 30 key drivers for the final analysis. To identify the structural position of these variables, MicMac software was employed through a 30x30 cross-impact matrix, where influence was scored on a four-point scale. Two iterations of analysis were performed to capture indirect effects and ensure a stable ranking of the drivers. Consequently, the variables were categorized into four groups: independent, dependent, relay, and autonomous, providing a strategic basis for the optimal management of water resources in Yazd Province.

Results and Discussion

The structural analysis of the water resource system in Yazd Province, conducted on a validated 30×30 matrix, suggests that the system is characterized by a highly complex and interdependent network (fill rate: 84.33%). The MICMAC analysis identifies a "Strategic Power Triangle" comprising Multi-Level Governance (P2), Agricultural Paradigm Shift (E6), and Internal Hydro politics (P1), which appear to act as the primary structural drivers within the system. A critical systemic paradox is noteworthy regarding Multi-Level Governance (P2); while it exhibits the highest influence, it simultaneously demonstrates the highest dependence, suggesting that governance reforms might be heavily contingent upon broader economic and political stabilizers. Further examination of the direct, indirect, and potential relationship graphs reveals that the indirect analysis appears to highlight the role of "hidden levers," such as Land-use Planning (P3), in steering long-term developmental trajectories. Moreover, the potential relationship analysis suggests a possible future shift, wherein technological drivers (e.g., smart irrigation and real-time monitoring)—currently perceived as supportive tools—could potentially emerge as primary catalysts for socio-environmental transformation. Collectively, these structural findings have been interpreted by the researchers as suggesting that the system may exhibit significant structural resistance. Accordingly, isolated technical interventions might prove insufficient on their own, and within this interpretative framework, achieving long-term water sustainability would likely depend on a proactive, integrated strategy targeting the intersection of governance, agriculture, and hydro political diplomacy to potentially trigger systemic changes across environmental and social dimensions. However, it is crucial to emphasize that these latter interpretations are derived from the researchers' analytical perspective on the MICMAC output, rather than definitive outcomes; they should be viewed as probable pathways that require further empirical investigation and adaptive management.

Conclusion

This study, employing Delphi and MICMAC structural analysis, aimed to identify the key geopolitical drivers influencing the probable future of water resources in Yazd Province. The structural findings suggest that the regional water system may suffer from underlying instability, with "governance," "agriculture," and "hydro politics" emerging as the primary structural drivers and systemic leverage points. Based on these structural findings, the researchers interpret that water security in the province may depend less on purely technical solutions and more on comprehensive governance restructuring, optimization of cropping patterns, and proactive management of inter-provincial hydro political dynamics. Furthermore, the feedback loops observed in the relationship graphs, particularly those involving land subsidence, have been interpreted as

underscoring the likely necessity of a systemic, non-linear approach to policy-making. Ultimately, these findings offer a probabilistic roadmap for policymakers and senior managers in Yazd Province, suggesting that any future intervention would benefit significantly from flexibility, continuous monitoring, and active stakeholder participation. However, given the exploratory nature of the MICMAC methodology and the inherent uncertainties in expert-based judgments, it is crucial to emphasize that these conclusions represent the researchers' interpretations of the structural data. They should therefore be viewed as probable pathways rather than definitive certainties, and further empirical or mixed-method research is recommended to validate and refine these strategic insights.



آینده پژوهی منابع آب استان یزد بر مبنای پیشران‌های ژئوپلیتیکی

محمد صادق طالبی^۱✉، سیدرضا هاشمی^۲

۱. استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه میبد، میبد، ایران.

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه میبد، میبد، ایران.

✉ نویسنده مسئول: talebi@meybod.ac.ir

چکیده

استان یزد به‌عنوان یکی از بحرانی‌ترین کانون‌های کم‌آبی در ایران، با پیچیدگی‌های ساختاری مواجه است که گویا فراتر از تک‌عاملی بودن چالش‌های اقلیمی، در تلاقی پیشران‌های ژئوپلیتیک و الگوهای حکمرانی شکل گرفته است. پژوهش حاضر با هدف واکاوی پیشران‌های استراتژیک مؤثر بر افق‌های محتمل منابع آب این استان، به دنبال شناسایی گره‌های حساس مدیریتی است. این مطالعه در یک چارچوب توصیفی-تحلیلی و با اتکا به متدولوژی آینده‌پژوهی، ابتدا از طریق تکنیک دلفی (با بهره‌گیری از پانلی متشکل از ۱۲ خبره)، ۳۰ پیشران کلیدی را در ابعاد پنج‌گانه مدل STEEP استخراج نموده و سپس با به‌کارگیری تحلیل ساختاری در نرم‌افزار MICMAC، به تحلیل نظام‌مند جایگاه و اثرگذاری آن‌ها پرداخته است. بر اساس یافته‌های پژوهش، چنین استنباط می‌شود که سیستم منابع آب استان یزد، علی‌رغم پیچیدگی در شبکه روابط، دچار یک بی‌ثباتی ساختاری است؛ به‌گونه‌ای که پایداری زیست‌محیطی منطقه، به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر متغیرهای کلان حاکمیتی قرار دارد. در این میان، سه متغیر «حکمرانی یکپارچه»، «تغییر پارادایم کشاورزی» و «هیدروپلیتیک داخلی» به‌عنوان پیشران‌های کلیدی شناسایی شدند و انتظار می‌رود که هرگونه تغییر در این گره‌های استراتژیک، بتواند منجر به بازتولید وضعیت منابع آب در چشم‌اندازهای احتمالی گردد. همچنین از تحلیل اشکال روابط، چنین برداشت می‌شود که سیستم در برابر تغییرات سطحی مقاومت کرده و تنها از طریق مداخلات در سطح سیاست‌گذاری‌های کلان پاسخگو است. در نهایت، این پژوهش اصلاح ساختار حکمرانی، گذار به الگوهای نوین کشاورزی و مدیریت فعال هیدروپلیتیکی را به عنوان پیش‌شرط‌های گذار به پایداری معرفی می‌کند، هرچند ماهیت اکتشافی مطالعه و عدم قطعیت‌های محیطی، نتایج را در قالب طیفی از آینده‌های محتمل تبیین می‌نماید.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۵/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۰۱

کلیدواژه‌ها:

آینده پژوهی، منابع آب، پیشران ژئوپلیتیکی، استان یزد، MicMac

مقدمه

آب منبعی طبیعی و حیاتی است که زیر بنای زندگی بشری را تشکیل داده (Ishak et al., 2024) و نقش کلیدی در توسعه جوامع انسانی ایفا می‌کند (Liu et al., 2025).

در عصر حاضر، رشد قابل توجه جمعیت موجب بروز مشکلات متعددی نظیر کم‌آبی (Liao, 2024) و تخلیه منابع ارزشمند و کمیاب در سطح جهان شده است (Prabha et al., 2020)؛ تا جایی که بحران کمبود آب را به‌عنوان یک چالش جهانی در قرن ۲۱ دانسته‌اند که پایداری زیست‌محیطی و جوامع بشری را با تهدید جدی مواجه ساخته است (Talebi & Karimi, 2023).

در کنار موضوع کمبود آب، ذکر این نکته شایان توجه است که تنها ۲/۵ درصد از کل حجم آب کره زمین شیرین و قابل مصرف است که بخش اعظم آن نیز در منابع زیرزمینی قرار دارد (Okello et al., 2015).

مصرف فعلی آب در جهان سالانه ۴۶۰۰ کیلومتر مکعب است که در قرن گذشته ۸ برابر شده و طبق پیش‌بینی‌ها تا سال ۲۰۵۰ میلادی، تحت تأثیر رشد سریع جمعیت تقریباً ۳۰ درصد افزایش خواهد یافت (Zhong et al., 2023).

معضل کم‌آبی اگرچه تمام جهان را در بر می‌گیرد، اما این موضوع در مناطق خشک و نیمه‌خشک اهمیت دوچندان پیدا می‌کند (Farhaza, 2024). ایران در کمربند خشک جغرافیایی واقع شده (Nasri Fakhr Davoud, 2024) و به عنوان ناحیه‌ای خشک و کم‌آب قلمداد می‌گردد (Talebi and Fatemi, 2020). این محدوده، یک‌سوم بارش متوسط جهانی و سه برابر میزان تبخیر متوسط دنیا را دارا می‌باشد (Fathi et al., 2014) و بخش گسترده‌ای از مناطق مرکزی آن را بیابان و کویر تشکیل داده است (Hosseini et al., 2024).

قلمرو پژوهش حاضر یعنی استان یزد، در ناحیه مرکزی ایران واقع شده (Dastorani et al., 2011) و طبق موقعیت جغرافیایی آن در کمربند بیابانی کشور، در زمره مناطق خشک با آب و هوای گرم بیابانی قلمداد می‌شود (Sedighi Moghaddam et al., 2021).

میزان متوسط بارندگی در استان یزد را ۲ درصد از حجم بارش کشور برآورد نموده‌اند که ۹۰ درصد از آن تبخیر می‌شود (Bonyad et al., 2022).

در کنار تنگناهای اقلیمی و محدودیت‌های طبیعی، ناکارآمدی در مدیریت و بهره‌برداری بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی، شتاب بحران آب را در این قلمرو دوچندان نموده است (Sedighi Moghaddam et al., 2021). از این رو، چنین برداشت می‌شود که با توجه به درهم‌تنیدگی عوامل محیطی و انسانی، مدیریت منابع آب در استان یزد دیگر صرفاً یک چالش فنی و هیدرولوژیک نبوده، بلکه تحت تأثیر مستقیم پیشران‌های ژئوپلیتیکی^۱ و متغیرهای کلان حاکمیتی قرار دارد. همچنین تداوم این وضعیت و پیچیدگی متغیرهای اثرگذار، روندهای آتی منابع آب این منطقه را با چشم‌اندازهای ناپایدار روبه‌رو ساخته است؛ به‌گونه‌ای که رویکردهای سنتی دیگر توان پاسخ‌گویی به چالش‌های پیش‌رو را ندارند. لذا، توصیه می‌شود با اتکا به رویکردهای آینده‌پژوهانه، پیشران‌های کلیدی شناسایی و تحلیل شوند تا بتوان درکی عمیق از نیروهای پیش‌برنده و بازدارنده در آینده منابع آب استان به دست آورد.

پژوهش حاضر، به دنبال واکاوی پیشران‌های ژئوپلیتیکی مؤثر بر منابع آب استان یزد است تا از این طریق، چارچوبی پیشنهادی برای شناسایی متغیرهای کلیدی و تدوین رویکردهای استراتژیک در افق‌های پیش‌رو فراهم آورد.

واکاوی پیشران‌های مؤثر بر آینده منابع آب، نیازمند اتخاذ رویکردی جامع و بین‌رشته‌ای است که بتواند تلاقی متغیرهای سیاسی و جغرافیایی را در بستر تحلیل‌های

^۱ Geopolitical Drivers

معدلک، ژئوپلیتیک را می‌توان روشی برای واکاوی الگوهای سیاسی و جهت‌گیری‌های ایدئولوژیک دانست که از طریق متغیرهای بنیادین جغرافیایی نظیر موقعیت مکانی، منابع طبیعی، جمعیت و غیره تبیین می‌گردند (Adami and Shokri, 2021).

شواهد موجود گویای آن است که منابع آب در استان یزد را نباید صرفاً یک پدیده طبیعی انگاشت، بلکه این منابع بستر اصلی تلاقی مجموعه‌ای از پیشران‌های ژئوپلیتیکی هستند؛ نیروهای محرکی که از پیوند میان جغرافیا، قدرت و سیاست نشأت گرفته و با اثرگذاری بر روند تأمین، توزیع و مدیریت آب، این پتانسیل را دارند که افق‌های محتمل زیست‌پذیری و توازن قدرت در این منطقه را رقم بزنند. از این رو، شناسایی این پیشران‌ها برای درک مسیرهای احتمالی آینده منابع آب استان در قالب دانش آینده‌پژوهی، حائز اهمیت است.

جهان در عصر معاصر همواره در حال تحول و دگرگونی است (Rastad Borujeni et al., 2019)؛ از این رو، با شتاب یافتن نوآوری‌ها و پیچیدگی‌های محیطی، آینده‌نگاری بیش از هر زمان دیگری اهمیت یافته است (Afshari, 2019). هرچند اشتیاق به موضوع آینده و شناخت بلندمدت آن به بلندای عمر بشریت قدمت دارد (Mehrabi et al., 2023)، اما سرآغاز مطالعات عملی در این زمینه به دوران پس از جنگ جهانی دوم بازمی‌گردد (Fattahzadeh et al., 2024). ما تماشاگران منفعل آینده نیستیم، چرا که آینده واقعی‌تری از پیش تعیین‌شده نیست و محصول تصمیمات و اقدامات ماست (Virta and Raisanen, 2021). از سوی دیگر، باید بر این نکته تأکید ورزید که مواجهه با افق‌های آینده، بدون بهره‌گیری از تحلیل روندها و پیش‌بینی، می‌تواند بن‌بست‌های راهبردی به همراه داشته باشد (Annabestani and Hosseini, 2021).

آینده‌نگرانه بررسی نماید. بر این اساس، چارچوب نظری این پژوهش بر سه محور بنیادین استوار است: نخست، تبیین مبانی ژئوپلیتیک^۱ جهت شناسایی جایگاه قدرت و منابع جغرافیایی؛ دوم، بهره‌گیری از متدولوژی آینده‌پژوهی برای تحلیل افق‌های پیش‌رو و سوم، تلفیق این دو رویکرد در حوزه منابع آب به منظور شناسایی پیشران‌های استراتژیک.

این مسیر تحلیلی، با مرور پیشینه‌های نظری و بررسی تجارب عملی، درصدد است تا از طریق شناسایی خلاءهای موجود در پژوهش‌های پیشین، ضرورت و نوآوری به‌کارگیری این رویکرد ترکیبی را در مدیریت منابع آب استان یزد تبیین نموده و بستر لازم برای ترسیم سناریوهای آتی را فراهم آورد.

ژئوپلیتیک

دانش ژئوپلیتیک بر تعاملات میان سه مؤلفه قدرت، سیاست و جغرافیا استوار است (Mousavi Shahidi et al., 2021). این قلمرو علمی، ابعاد جغرافیایی (اعم از فضا، محیط و انسان) را در پیوند با ساختارها و اندیشه‌های سیاسی تحلیل کرده و بازتاب قدرت را در مقیاس‌های گوناگون، از سطح ملی تا بین‌المللی، تبیین می‌نماید (Taheri, 2023).

واژه ژئوپلیتیک اولین بار در سال ۱۸۹۹ توسط رودولف چلن^۲ سوئدی ابداع گردید (Hafeznia, 2022) و در رویکردهای نوین، این دانش به مثابه ابزاری برای واکاوی ظرفیت‌های محیطی در جهت تولید اقتدار شناخته می‌شود؛ فرآیندی که در آن بازیگران با اتکا بر منابع جغرافیایی، به دنبال صیانت از پایداری و منافع حوزه نفوذ خود در مقیاس‌های محلی تا فراملی هستند (Bahrami Jaf et al., 2023).

در جدول (۱) برخی دیدگاه‌های نظریه‌پردازان برجسته در این حوزه بیان شده است.

² Rudolf Kjellén

¹ Geopolitics

جدول ۱. واکاوی برخی تعاریف ژئوپلیتیک از منظر صاحب‌نظران (Mojtahedzadeh, 2023; Hafeznia, 2022)

Table 1. Analysis of selected definitions of geopolitics from the perspective of experts
(Mojtahedzadeh, 2023; Hafeznia, 2022)

ردیف Row	دانشمند (نظریه پرداز) Scholar (Theorist)	تعاریف ژئوپلیتیک Definitions of Geopolitics
1	پیتر تایلور Peter J. Taylor	مطالعه توزیع جغرافیایی قدرت بین کشورهای جهان، به‌ویژه رقابت بین قدرت‌های اصلی و بزرگ. The study of the geographical distribution of power among the countries of the world, particularly the competition among major and great powers.
2	سائل بی. کوهن Saul B. Cohen	مطالعه کاربردی روابط فضای جغرافیایی با سیاست. The applied study of the relationships between geographical space and politics.
3	لیدیس کریستوف Ladis K. D. Kristof	مطالعه پدیده‌های سیاسی بر پایه روابط مکانی پدیده‌ها با یکدیگر. The study of political phenomena based on the spatial relationships among phenomena.
4	هارتشرورن Richard Hartshorne	کاربرد دانش و تکنیک‌های جغرافیای سیاسی در مسائل روابط بین‌الملل. The application of the knowledge and techniques of political geography to problems of international relations.
5	جان اگنیو John A. Agnew	مطالعه تأثیر جغرافیایی الگوهای توزیع و تقسیم بر هدایت و رهبری سیاست‌های جهانی. The study of the geographical influence of patterns of distribution and division on the direction and leadership of global politics.
6	پیروز مجتهدزاده Pirouz Mojtahead-Zadeh	مطالعه اثرگذاری عوامل جغرافیایی در تصمیم‌گیری‌های سیاسی. The study of the influence of geographical factors on political decision-making.

بن‌بست پیش‌بینی‌های سنتی در برابر ابهامات حوزه آب، رویکرد آینده‌پژوهی را به تنها ابزار هوشمندانه برای اجتناب از غافلگیری و مدیریت بحران‌های پیش‌رو بدل کرده است (Beheshti et al., 2010) و بر همین اساس، آینده‌پژوهی با خلق سناریوها و تصاویر آینده، به درک پیامدهای احتمالی اقدامات کمک کرده و به‌عنوان ابزاری کلیدی در خدمت فرایند برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری قرار می‌گیرد (Virta and Raisanen, 2021).

در نهایت، پیوند میان آینده‌پژوهی و مدیریت منابع آب در استان یزد، حاکی از اهمیت شناسایی پیشران‌های ژئوپلیتیکی فراتر از پیش‌بینی‌های کمی است. در همین راستا، برای درک بهتر چگونگی تأثیر این پیشران‌ها در محیط‌های عملیاتی، ضروری است ابتدا تجارب و پیشینه‌های عملی در این حوزه مورد بررسی قرار گیرد تا مبنای استراتژیک این پژوهش تقویت گردد.

به‌منظور شناسایی پیشران‌های مؤثر بر افق‌های احتمالی منابع آب و تبیین جایگاه نوآوری این پژوهش، ضروری است ابتدا تجارب عملی و دستاوردهای نظری در مطالعات پیشین مورد واکاوی قرار گیرد.

در این راستا، مرور پیشینه پژوهش در دو سطح خارجی و داخلی صورت گرفته است تا از طریق تحلیل رویکردهای مورد استفاده در محیط‌های مشابه، بستر لازم برای استخراج شکاف‌های موجود و تبیین ضرورت رویکرد ترکیبی در استان یزد فراهم گردد.

جداول شماره (۲) و (۳) به ترتیب، برخی از مطالعات صورت پذیرفته در سطح جهانی و ملی را نشان می‌دهند. تحلیل نظام‌مند پیشینه پژوهش در دو سطح خارجی و داخلی حاکی از آن است که رویکرد به مدیریت منابع آب در سال‌های اخیر، تحولی بنیادین را تجربه کرده و از مدل‌های سنتی صرفاً فنی-مهندسی به سمت رویکردهای سیستمی، آینده‌پژوهانه و انسان‌محور در حال تکامل است. در سطح بین‌المللی، تأکید بر شناسایی دقیق پیشران‌های کلان و ادغام مدل‌سازی‌های علمی با مشارکت ذی‌نفعان به

در تعریف این انگاره آمده است که آینده‌نگاری، با بهره‌گیری از رویکردهای مشارکتی و استدلالی، به تحلیل طیف گسترده‌ای از شرایط آینده می‌پردازد؛ این نگاه در برنامه‌ریزی، بر شناسایی پیشران‌ها و عوامل کلیدی تمرکز دارد تا با مدیریت احتمالات و ناشناخته‌ها، امکان کنترل و ساخت یک آینده مطلوب را فراهم سازد (Behzadi et al., 2018).

در تداوم این نگاه باید اذعان داشت که به‌کارگیری این رویکرد در مناطق با حساسیت بالایی که با بحران‌های محیطی و پیچیدگی‌های ژئوپلیتیکی دست‌به‌گریبان هستند، فراتر از یک انتخاب، به امری حیاتی برای پایداری زیست‌محیطی بدل شده است؛ در این میان، منابع آب به‌عنوان عامل ثبات در چنین مناطقی، عرصه‌ای است که آینده‌پژوهی می‌تواند با تحلیل سناریوهای مختلف، از تبدیل شدن بحران کم‌آبی به بن‌بست‌های زیستی جلوگیری کند.

آینده پژوهی و منابع آب

در سده بیست و یکم، آب به‌عنوان ارزشمندترین منبع برای ابقای بشر شناخته شده است (Asgari, 2023)؛ به‌طوری که برخلاف سده‌های گذشته که نفت و زمین انگیزه اصلی نبردها بودند، پیش‌بینی می‌شود که محرک بنیادین جنگ‌های پیش‌رو در قرن حاضر، دسترسی به منابع حیاتی آب شیرین باشد (Zinati Fakhraabad & Asgari Moghadam, 2021).

در ایران، روند روبه‌رشد تقاضا برای آب، فشار مضاعفی را بر ذخایر آبی کشور تحمیل کرده است (Yaraghi Fard and Shokoochi Bidhendi, 2025) و باید اذعان داشت که اگر در گذشته مبحث مدیریت آب صرفاً از نگاهی فنی و مهندسی مورد بررسی قرار می‌گرفت، امروزه به‌دلیل درهم‌تنیدگی ابعاد اجتماعی، اقتصادی و امنیتی، ضرورت دارد که این حوزه با دیدی جامعه و سیستماتیک نگریسته شود (Taheri Demneh et al., 2022).

عنوان راهکاری برای کاهش عدم قطعیت‌ها در تدوین سناریوها برجسته شده است.

همسو با این روند، در سطح ملی نیز ضرورت گذار از مدیریت کوتاه‌مدت به سمت سناریوپردازی‌های امنیتی و تاب‌آوری‌محور برای مقابله با بحران‌های آبی مورد توجه قرار گرفته است.

در مورد خاص منطقه یزد، تجمیع یافته‌های اخیر گواه آن است که با یک وضعیت بحرانی و چندبعدی روبرو هستیم؛ به‌گونه‌ای که افت شدید تاب‌آوری منابع و تهدید جدی امنیت غذایی منطقه، در کنار ریسک‌های بهداشتی ناشی از افت کیفیت آب، همگی تحت‌الشعاع یک نظام حکمرانی منفعت‌طلبانه و دستوری قرار گرفته‌اند.

با این تفاسیر چنین برآورد می‌شود که بحران آب در این منطقه، دیگر تنها یک چالش محیطی یا فنی نیست، بلکه پیامد مستقیم تعارض میان نیازهای توسعه‌ای و ساختارهای مدیریتی است که توانایی پاسخ‌گویی به پیچیدگی‌های آینده را ندارند.

با بررسی دقیق پژوهش‌های پیشین در حوزه مدیریت منابع آب، می‌توان گفت که یک فاصله تحلیلی جدی در رویکرد به مدیریت آب منطقه یزد وجود دارد.

بیشتر مطالعات انجام شده تا به امروز، یا بر جنبه‌های فنی و محاسباتی متمرکز بوده‌اند و یا تنها به توصیف وضعیت موجود پرداخته‌اند. در حالی که می‌توان متصور شد بحران آب در منطقه یزد به دلیل درهم‌تنیدگی عوامل انسانی و محیطی، دیگر با ابزارهای تک‌بعدی قابل مدیریت نبوده و نیاز به نگاهی جامع‌تر دارد.

اگرچه مطالعات پیشین در استان یزد بر جنبه‌های هیدرولوژیکی، مدل‌های پیش‌بینی مصرف و تحلیل‌های کشاورزی تمرکز داشته‌اند، اما این پژوهش بر آن است تا این داده‌های فنی را در یک لایه بالاتر، یعنی لایه پیشران‌های ژئوپلیتیکی و استراتژیک تحلیل نماید. بنابراین، خلأ اصلی در پژوهش‌های این منطقه، نبود مدلی است که بتواند عوامل کلان سیاسی و قدرت را به‌عنوان

پیشران‌های اصلی تغییر در توزیع منابع، با روش‌های آینده‌پژوهی ترکیب کند. در واقع، با بررسی پیشینه پژوهشی استان یزد، مشاهده شد که خلأ جدی در زمینه تحلیل اثرات متقابل متغیرهای حاکمیتی و امنیتی در یک ساختار سیستمیک و آینده‌نگر وجود دارد.

بر همین اساس، وجه تمایز و نوآوری پژوهش حاضر در این است که به جای تحلیل‌های توصیفی ساده، به دنبال ارائه یک چارچوب تحلیلی استراتژیک است که با تلفیق دیدگاه‌های خبرگانی و تحلیل پیشران‌ها، امکان پیش‌بینی سناریوهای محتمل آتی را فراهم آورد.

این پژوهش در تلاش است تا برخلاف مطالعات قبلی، نه‌تنها به شناسایی عوامل پردازد، بلکه با رتبه‌بندی و تحلیل اثرات متقابل پیشران‌های ژئوپلیتیکی، مبانی لازم برای گذار از یک مدیریت دستوری و منفعت‌طلبانه به سوی مدیریتی پایدار و آینده‌نگر را فراهم آورد. به عبارت دیگر، نوآوری این کار در ایجاد پیوندی میان تحلیل‌های سیاسی، آینده‌پژوهی و مدیریت منابع آب است؛ رویکردی که در پژوهش‌های پیشین این منطقه، به صورت متمرکز و جامع مورد توجه قرار نگرفته است.

جدول ۲. پیشینه پژوهش (خارجی)

Table 2. Review of International literature

اهداف و یافته‌ها Objectives and Findings	عنوان Title	نویسندگان Authors	ردیف No.
این پژوهش با هدف تدوین چارچوب تحلیلی برای تغییرات جهانی آب و با روش مرور سیستماتیک انجام شد. نتیجه نشان داد که موفقیت سناریوها در گرو شناسایی دقیق پیش‌ران‌های کلیدی و ترکیب مدل‌سازی علمی با مشارکت ذی‌نفعان برای کاهش عدم قطعیت‌ها است. This study aimed to develop an analytical framework for global water changes using a systematic review approach. The results showed that the success of scenarios depends on accurately identifying key drivers and combining scientific modeling with stakeholder participation to reduce uncertainties.	چارچوبی برای تحلیل سناریوهای آینده آب: مروری بر مطالعات موردی جهانی A Framework for Analyzing Future Water Scenarios: A Review of Global Case Studies	مارچ و همکاران (۲۰۱۲) March et al. (2012)	1
این تحقیق با هدف واکاوی تحولات سناریونویسی و با روش تحلیل سیستمی اسناد راهبردی انجام شد. نتیجه نشان داد که برای مدیریت ریسک باید از نگاه صرفاً فنی خارج شد و پیش‌ران‌های کلیدی اقتصادی و اجتماعی را در تدوین سناریوها لحاظ کرد. This study examined the evolution of scenario development using a systems analysis of strategic documents. The results indicated that effective risk management requires moving beyond a purely technical perspective and incorporating key economic and social drivers into scenario development.	آینده آب: تکامل سناریوهای آب The Future of Water: The Evolution of Water Scenarios	کازگرو (۲۰۱۳) Cosgrove (2013)	2
این مطالعه با هدف شناسایی محرک‌های تغییر در پایداری منابع آب و با روش واکاوی روندهای تاریخی و سناریونویسی انجام شد. نتیجه نشان داد که تکه‌تکه‌شدن نهادی و اثرات ژئوپلیتیک پیش‌ران‌های اصلی هستند و مدیریت آب بیش از مسائل فنی، تابعی از ساختارهای حکمرانی است. This study aimed to identify the drivers of change affecting water resource sustainability through historical trend analysis and scenario development. The findings showed that institutional fragmentation and geopolitical effects are major drivers, and that water management is influenced more by governance structures than by purely technical issues.	حکمرانی و ژئوپلیتیک به عنوان پیش‌ران‌های تغییر در حوضه دریاچه‌های بزرگ و سن‌لورنس Governance and Geopolitics as Drivers of Change in the Great Lakes and St. Lawrence Basin	جتو و همکاران (۲۰۱۵) Jetoo et al. (2015)	3
این پژوهش با هدف پیش‌بینی دقیق تقاضای آب شهری در یزد با استفاده از مدل‌های یادگیری عمیق (LSTM) انجام شد. نتایج نشان داد که عوامل اقلیمی، به‌ویژه میانگین دما، بیشترین اثر مثبت و مستقیم را بر میزان مصرف آب دارند و استفاده از مدل‌های ترکیبی (MV-LSTM) دقت بالاتری را در پیش‌بینی الگوهای مصرف در محیط‌های دچار کم‌آبی فراهم می‌کند. This study aimed to accurately predict urban water demand in Yazd using deep learning models (LSTM). The results showed that climatic factors, particularly mean temperature, have the strongest positive and direct effect on water consumption. The use of hybrid models (MV-LSTM) provides higher accuracy in predicting consumption patterns in water-scarce environments.	توسعه مدل LSTM برای پیش‌بینی مصرف ماهانه آب با توجه به اثرات عوامل اقلیمی در یزد، ایران Development of an LSTM Model for Predicting Monthly Water Consumption Considering the Effects of Climatic Factors in Yazd, Iran	نیکنام و همکاران (۲۰۲۳) Niknam et al. (2023)	4

این پژوهش با هدف بررسی کیفیت آب آشامیدنی و تحلیل ریسک‌های بهداشتی ناشی از فلزات سنگین در روستاهای یزد انجام شد. نتایج نشان‌دهنده وجود ریسک‌های جدی سرطان‌زایی و بار بیماری‌های نسبتاً بالا در اثر آلودگی به فلزاتی چون آرسنیک و کادمیوم است که لزوم بازنگری در استراتژی‌های تأمین آب سالم و مدیریت کیفیت منابع آبی منطقه را در برنامه‌های توسعه‌ای برجسته می‌کند.

This study assessed drinking water quality and analyzed health risks associated with heavy metals in rural areas of Yazd. The results indicated serious carcinogenic risks and a relatively high disease burden associated with contamination by metals such as arsenic and cadmium, highlighting the need to reconsider safe water supply strategies and regional water quality management within development plans.

این پژوهش با هدف تدوین چارچوبی نوآورانه برای ارزیابی تاب‌آوری آب در مناطق خشک (یزد) انجام شد. نتایج نشان‌دهنده سطح پایین تاب‌آوری منابع آب (۳۳٪) و پیش‌بینی کاهش شدید آب‌های سطحی در افق زمانی آینده است که ضرورت ادغام شاخص‌های تاب‌آوری در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای را برجسته می‌سازد.

This study aimed to develop an innovative framework for assessing water resilience in arid regions, particularly Yazd. The findings indicated a low level of water resource resilience (33%) and projected a significant decline in surface water availability in the future, highlighting the need to integrate resilience indicators into regional planning.

ارزیابی کیفیت آب آشامیدنی بر اساس شاخص‌های کیفیت، ریسک سلامت انسان و بار بیماری‌های ناشی از فلزات سنگین در جوامع روستایی شهرستان یزد

Assessment of Drinking Water Quality Based on Quality Indices, Human Health Risks, and Disease Burden from Heavy Metals in Rural Communities of Yazd County

سعیدی و همکاران
(۲۰۲۴)

5

Saeidi et al. (2024)

ارزیابی تاب‌آوری منابع آب از طریق تحلیل آب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی و کارکردهای شهری در دشت یزد-اردکان، ایران

Assessment of Water Resource Resilience through the Analysis of Groundwater, Surface Water, and Urban Functions in the Yazd-Ardakan Plain, Iran

دهقان دهنوی و همکاران
(2025) / Dehghan
Dehnavi et al.
(2025)

6

جدول ۳. پیشینه پژوهش (داخلی)
Table 3. Review of Domestic literature

اهداف و یافته‌ها Objectives and Findings	عنوان Title	نویسندگان Authors	ردیف No.
این پژوهش با هدف تحلیل وضعیت مصرف آب در صنایع استان یزد (۱۳۷۴-۱۳۹۴) انجام شد. نتایج نشان داد که رشد سالانه مصرف آب بیش از سه برابر رشد ارزش افزوده بوده و وجود شکاف عمیق میان ارزش تولید نهایی و بهای پرداختی آب، منجر به ایجاد رانت و توسعه صنایع آب‌بر در استان یزد شده است. This study analyzed water consumption in industries in Yazd Province during 1995–2015. The results showed that the annual growth of water consumption was more than three times the growth of value added. The significant gap between the marginal value of production and the price paid for water resulted in rent-seeking and the expansion of water-intensive industries in Yazd Province.	تحلیل وضعیت مصرف آب در صنایع استان یزد Analysis of Water Consumption in Industries in Yazd Province	محبی و همکاران (۱۳۹۸) Mohebi et al. (2019)	1
این پژوهش با هدف واکاوی نظام‌مند عوامل مؤثر بر منابع و مصارف آب و تدوین آینده‌های بدیل با روش‌های دلفی، تحلیل ساختاری و سناریونویسی انجام شد. نتیجه منجر به شناسایی ۱۵ عامل کلیدی و تدوین ۲ سناریو با احتمال وقوع قوی گردید که نشان‌دهنده شکاف عمیق بین وضعیت موجود و اهداف توسعه پایدار در منطقه تبریز است. This study systematically examined the factors affecting water resources and consumption and developed alternative futures using the Delphi method, structural analysis, and scenario planning. The results identified 15 key factors and developed two highly probable scenarios, revealing a significant gap between the current situation and sustainable development goals in the Tabriz region.	سناریوهای مدیریت منابع آب بر مبنای رویکرد آینده‌پژوهی: مطالعه موردی شهرستان تبریز Water Resources Management Scenarios Based on a Futures Studies Approach: A Case Study of Tabriz County	بهشتی و همکاران (۱۳۹۹) Beheshti et al. (2020)	2
این پژوهش با هدف واکاوی پیامدهای امنیتی - نظامی بحران آب در مرزها و با روش دلفی و سناریوپردازی انجام شد. نتیجه نشان داد که تغییر الگوی بارش و سیاست‌گذاری‌های غلط، پیش‌ران‌های بحران‌زا هستند؛ لذا سناریوهای جامعی جهت ارتقای آمادگی و تدوین سیاست‌های پدافندی در نواحی مرزی تدوین گردید. This study examined the security and military consequences of the water crisis in border regions using the Delphi method and scenario planning. The findings indicated that changes in precipitation patterns and inappropriate policymaking are major crisis-driving forces. Accordingly, comprehensive scenarios were developed to enhance preparedness and formulate defensive policies in border areas.	آینده‌پژوهی پیامدهای امنیتی بحران منابع آبی در نواحی مرزی ایران Futures Studies of the Security Consequences of the Water Resources Crisis in Iran's Border Regions	زینتی فخرآباد و عسگری مقدم (۱۴۰۰) Zinati Fakhrabad & Asgari Moghadam (2021)	3
این تحقیق با هدف بررسی عوامل اثرگذار بر منابع آب و تعریف آینده‌های بدیل با استفاده از روش مصاحبه با خبرگان و سناریوپردازی انجام شد. نتیجه منجر به تدوین چهار سناریوی سبز، قرمز، زرد و نارنجی گردید و مشخص نمود که ارتقای بینش زیست‌محیطی و حکمرانی ارزش‌محور، کلیدی‌ترین عوامل در توسعه پایدار و حفظ منابع آب هستند. This study examined the factors affecting water resources and defined alternative futures using expert interviews and scenario planning. Four scenarios—green, red, yellow, and orange—were developed. The findings showed that enhancing environmental awareness and value-based governance are the most critical factors for sustainable development and water resource conservation.	سناریوهای آینده بحران آب در افق ۲۰۵۰ Future Scenarios of the Water Crisis toward 2050	حاجی قدیری و گودرزی (۱۴۰۱) Haji Ghadiri & Goodarzi (2022)	4

این پژوهش با هدف تحلیل فرآیندهای تصمیم‌سازی و عملکرد مدیران در حوزه حکمرانی آب در یزد، با رویکرد کیفی و روش داده‌بنیاد انجام شد. یافته‌ها نشان داد که مدل حکمرانی آب در منطقه از نوع منفعت‌طلبانه، دستوری و بالا به پایین است که با عدم توجه به توسعه پایدار و نادیده گرفتن حقوق آیندگان همراه بوده و منجر به مشارکت معیوب بهره‌برداران شده است.

This study analyzed decision-making processes and managerial performance in water governance in Yazd using a qualitative approach and grounded theory methodology. The findings showed that the regional water governance model is characterized by rent-seeking, command-based, and top-down practices, accompanied by insufficient attention to sustainable development and disregard for the rights of future generations, ultimately resulting in ineffective stakeholder participation.

این پژوهش با هدف شناسایی پیشران‌های کلیدی تاب‌آوری آب و با روش دلفی و تحلیل اثرات متقاطع (MICMAC) انجام شد. نتیجه نشان داد که ۵ عامل اصلی، از جمله رشد جمعیت و تغییر الگوی کشت، محرک‌های بحرانی هستند و سناریوی حفظ منابع آب زیرزمینی دشوارترین مسیر برای آینده منطقه است.

This study aimed to identify the key drivers of water resilience using the Delphi method and cross-impact analysis (MICMAC). The results showed that five major factors, including population growth and changes in cropping patterns, are critical drivers, while maintaining groundwater resources represents the most challenging pathway for the region's future.

این پژوهش با هدف واکاوی رابطه میان بارش و تولید محصولات کشاورزی در استان یزد انجام شد. یافته‌ها نشان داد که کشاورزی منطقه به‌شدت وابسته به منابع آب زیرزمینی است و همبستگی معناداری میان بارش و عملکرد محصولات وجود ندارد؛ لذا این مطالعه بر ضرورت گذار به مدیریت کارآمد آب، توسعه سیستم‌های آبیاری نوین و کاهش فشار بر سفره‌های زیرزمینی برای تضمین امنیت غذایی منطقه تأکید می‌کند.

This study examined the relationship between precipitation and agricultural production in Yazd Province. The findings showed that agriculture in the region is highly dependent on groundwater resources and that there is no significant correlation between precipitation and crop yields. Therefore, the study emphasizes the need to transition toward efficient water management, develop modern irrigation systems, and reduce pressure on groundwater aquifers to ensure regional food security.

- 5 بنیاد و همکاران (۱۴۰۱)
Bonyad et al.
(2022)
آسیب‌شناسی حکمرانی آب در یزد
Pathology of Water Governance in Yazd
- 6 یراقی‌فرد و شکوهی
بیده‌ندی (۱۴۰۴)
Yaraghi Fard &
Shokouhi Bidehndi
(2025)
آینده‌پژوهی تاب‌آوری منابع آب با رویکرد برنامه‌ریزی
سناریومینا (مطالعه موردی: حوضه آبخیز زاینده‌رود)
Futures Studies of Water Resource
Resilience Using a Scenario-Based
Planning Approach: A Case Study of the
Zayandeh-Rud Watershed
- 7 طالبی و هاشمی (۱۴۰۵)
Talebi & Hashemi
(2026)
یزد
Assessment of Precipitation, Water
Resources, and Food Security in Yazd
Province

مواد و روش‌ها

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش پژوهش، توصیفی-تحلیلی است.

در مرحله نخست، به منظور شناسایی پیشران‌های مؤثر بر افق‌های محتمل منابع آب استان یزد با رویکرد ژئوپلیتیکی، ابتدا از طریق بررسی جامع پیشینه نظری، تحلیل اسناد بالادستی مدیریت آب و مرور ادبیات پژوهش، ۵۳ متغیر اولیه استخراج گردید. سپس برای پالایش و رسیدن به متغیرهای کلیدی، روش دلفی در سه دور متوالی به کار گرفته شد.

در دور نخست، متغیرهای اولیه در اختیار خبرگان قرار گرفت تا موارد غیرمرتبط حذف و متغیرهای جدید پیشنهاد شوند؛ در دور دوم، متغیرهای اصلاح‌شده مورد امتیازدهی قرار گرفتند و در نهایت در دور سوم، اجماع نهایی بر روی پیشران‌ها حاصل شد. با توجه به ماهیت استراتژیک و تخصصی پژوهش، جامعه خبرگان متشکل از ۱۲ نفر از متخصصان و مدیران ارشد می‌باشد که انتخاب این تعداد خبره، با استناد به متدولوژی دلفی صورت پذیرفته است؛ چرا که در مطالعات آینده‌پژوهی تخصصی، کیفیت و سطح تخصص خبرگان بر تعداد آنان اولویت دارد. اطلاعات توصیفی جامعه آماری پژوهش در جدول شماره (۴) ارائه شده است.

جدول ۴. اطلاعات توصیفی جامعه آماری پژوهش

Table 4. Descriptive Information of the Research Statistical Population

ردیف	تخصص / حوزه فعالیت	جایگاه شغلی / تحصیلی	تعداد خبرگان
Row	Expertise and Field of Activity	Job Position and Education Level	Number of Experts
1	جغرافیای طبیعی و اقلیم	عضو هیئت علمی دانشگاه	3
	Physical Geography & Climate	University Faculty Member	
2	جغرافیای سیاسی و ژئوپلیتیک	عضو هیئت علمی دانشگاه	3
	Political Geography & Geopolitics	University Faculty Member	
3	منابع آب و هیدرولوژی	مدیران سازمان‌های شهری	3
	Water Resources & Hydrology	Urban Organization Managers	
4	منابع طبیعی و محیط زیست	کارشناس ارشد تخصصی	3
	Natural Resources & Environment	Urban Organization Managers	
	مجموع		12
	Total		

خبرگان این پژوهش بر اساس سه معیار اصلی به روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شده‌اند. این معیارها عبارتند از سابقه اجرایی در سطوح تصمیم‌گیر استان یزد (مانند مدیران ارشد شرکت آب منطقه‌ای، جهاد کشاورزی و استانداری)، سابقه علمی (شامل تألیف آثار معتبر در حوزه‌های منابع آب، اقلیم‌شناسی و ژئوپلیتیک) و دارا بودن حداقل پانزده سال تجربه تخصصی در حوزه مدیریت آب یا مطالعات منطقه‌ای. افزون بر این، فرآیند دلفی در سه دور به صورت ناشناس انجام شد تا خبرگان از نظرات یکدیگر مطلع نباشند و استقلال کامل نظرات حفظ گردد.

این رویکرد، امکان هرگونه تأثیرپذیری یا هم‌راستاسازی اجباری را به حداقل رسانده و اتکالپذیری نتایج را به طور قابل توجهی افزایش داده است. در ادامه، برای کاهش سوگیری‌های ذهنی و ارتقای اعتبار علمی، گزارش‌های آماری مربوط به وضعیت منابع آب استان در اختیار خبرگان قرار گرفت تا فرآیند امتیازدهی بر پایه واقعیت‌های کمی استوار باشد. در دور دوم و سوم از فرایند دلفی، پیش از هرگونه تحلیل آماری، میزان اجماع نظرات خبرگان از طریق ضریب توافق کندال (W) با استفاده از نرم‌افزار SPSS سنجیده شد.

قلمرو مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه یعنی استان یزد، با مساحتی حدود ۷۴۷۸۴ کیلومتر مربع، در مرکز ایران و در مختصات ۲۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۲۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است (Statistical Yearbook of Yazd Province, 2022).

این پهنه جغرافیایی از نظر اقلیمی دارای آب و هوایی خشک و بیابانی بوده (Zargham and Asadi Zarch, 2024) و با بحران‌های شدید آبی روبروست (Moalem and Ghorbaniazadeh, 2025)؛ به گونه‌ای که میزان بارندگی اندک در کنار نرخ بالای تبخیر و تعرق، از بارزترین ویژگی‌های اقلیمی این منطقه به شمار می‌رود. در واقع، میانگین بارندگی ۹۷/۹ میلی‌متر در کنار تبخیر زیاد از یک سو، و توسعه بخش کشاورزی و کشت محصولات آبرابر از سوی دیگر (Bonyad et al., 2022) در کنار پدیده‌هایی نظیر مهاجرت و صنعتی شدن در این اقلیم خشک، موجب شده است تا جهت تأمین نیازهای آبی استان، علاوه بر استخراج گسترده منابع آب زیرزمینی، به انتقال آب از خارج از حوزه‌های نفوذ متوسل گردند (Rezaei & Alizadeh Shouroki, 2019).

بررسی سیر تحولات این منطقه نشان می‌دهد که وضعیت بحرانی کنونی، حاصل روندهای تاریخی و سیاست‌های توسعه‌ای طی دهه‌های اخیر است.

استقرار صنایع آبرابر در اقلیم خشک و رشد جمعیت ناشی از تبدیل شدن استان به یک قطب صنعتی و مهاجرپذیر، تقاضای آب را به شدت افزایش داده است (Akabari Tafti et al., 2019)؛ اما نکته کلیدی این است که تغییر الگوی کشاورزی به سمت محصولات آبرابر، فشار مضاعفی بر منابع تجدیدپذیر وارد نموده که منجر به تغییر در ساختار بهره‌برداری از منابع آب و در نهایت، زمینه‌ساز وابستگی

نتایج نشان داد که پس از طی دوره‌های اصلاحی و بازگشتی، در دور سوم ضریب کندال به مقدار ۰/۷۳۴ رسید که طبق معیارهای آماری، نشان‌دهنده انسجام دیدگاه‌های متخصصان است. سپس با محاسبه میانگین امتیازات بر اساس مقیاس هفت درجه‌ای (طیف لیکرت)، متغیرهایی که میانگین امتیاز آن‌ها کمتر از ۳/۵ بود، به دلیل عدم تأیید کافی توسط خبرگان از فهرست حذف گردیدند.

در نهایت بر اساس این رویکرد غربالگری، ۳۰ پیشران کلیدی و اثرگذار برای تحلیل نهایی برگزیده شدند.

در مرحله بعد، جهت تحلیل ساختاری و شناسایی جایگاه متغیرها از نرم‌افزار MicMac استفاده گردید. در این راستا، ماتریس اثرات متقاطع بر اساس دیدگاه خبرگان و در یک طیف چهار درجه‌ای شامل بی‌اثر، اثر کم، اثر متوسط و اثر زیاد (اعداد ۰ تا ۳) امتیازدهی شد. تحلیل‌های نرم‌افزاری بر روی ماتریس ۳۰ در ۳۰ و با دو مرتبه تکرار صورت گرفت. هدف از این تکرارها، تحلیل اثرات غیرمستقیم و اثرات متقابلی بود که در نگاه نخست میان متغیرها شناسایی نشده بود تا بدین ترتیب، رتبه‌بندی متغیرها بر اساس اثرگذاری و اثرپذیری در وضعیت پایداری قرار گیرد و نوسانات تصادفی احتمالی در امتیازدهی‌ها تعدیل شود. همچنین برای ارتقای وجاهت علمی، از یک رویکرد ترکیبی استفاده گردید؛ بدین معنا که پیش از تحلیل ساختاری، هم‌سویی نظرات خبرگان از طریق ضریب کندال در مراحل دلفی تأیید شده بود تا ورودی‌های ماتریس از پیش دارای اعتبار علمی و اجماع باشند.

بر اساس خروجی‌های حاصله، متغیرها در چهار گروه مستقل، وابسته، پیوندی و بی‌اثر دسته‌بندی شدند و در نهایت با تحلیل جایگاه هر یک از این پیشران‌ها، راهکارهای استراتژیک جهت مدیریت بهینه منابع آب استان یزد تدوین گردید.

آب‌های زیرزمینی، به طور قابل توجهی فراتر از توان جبران توسط نزولات جوی بوده و منجر به ایجاد کسری شدید بیلان آبخوان‌ها و افت سطح استاتیکی آب‌های زیرزمینی، در مناطق گسترده‌ای از استان گردیده است؛ پدیده‌ای که یکی از پیامدهای مستقیم و بحرانی آن، بروز فرونشست زمین در نقاط مختلف استان یزد است (Amighpey et al., 2010).

از آن‌جا که فرونشست زمین اغلب نتیجه مستقیم برداشت بی‌رویه از سفره‌های زیرزمینی است (Goodarzi et al., 2025)، ارزیابی‌ها نشان می‌دهد در مناطقی که افت سطح آب‌های زیرزمینی رخ داده، پدیده فرونشست نیز به وقوع پیوسته است؛ این امر گویای وجود یک رابطه مستقیم و معنادار میان این دو متغیر است (Omidvar et al., 2025). در مجموع، تحلیل‌های صورت‌گرفته گواه آن است که هم‌جواری پویایی‌های صنعتی-کشاورزی با محدودیت‌های شدید اقلیمی، منجر به تخریب سیستماتیک منابع زیرزمینی و ایجاد پارادوکسی پیچیده در مدیریت منابع زیستی استان شده است و تداوم این روند توسعه‌محور که پیامد مستقیم آن بروز کسری شدید در ذخایر استراتژیک و فرونشست گسترده زمین است، پایداری زیستی منطقه را تهدید می‌کند.

بر این اساس، استخراج پیشران‌های کلیدی در این پژوهش، صرفاً بر پایه قضاوت خبرگان نبوده، بلکه بر مبنای تحلیل روندهای تاریخی و داده‌های کمی-میدانی استوار گردیده است تا ارتباطی منطقی و مستدل میان وضعیت موجود و سناریوهای احتمالی پیش‌رو برقرار شود. شکل شماره (۱)، موقعیت استان یزد را نشان می‌دهد.

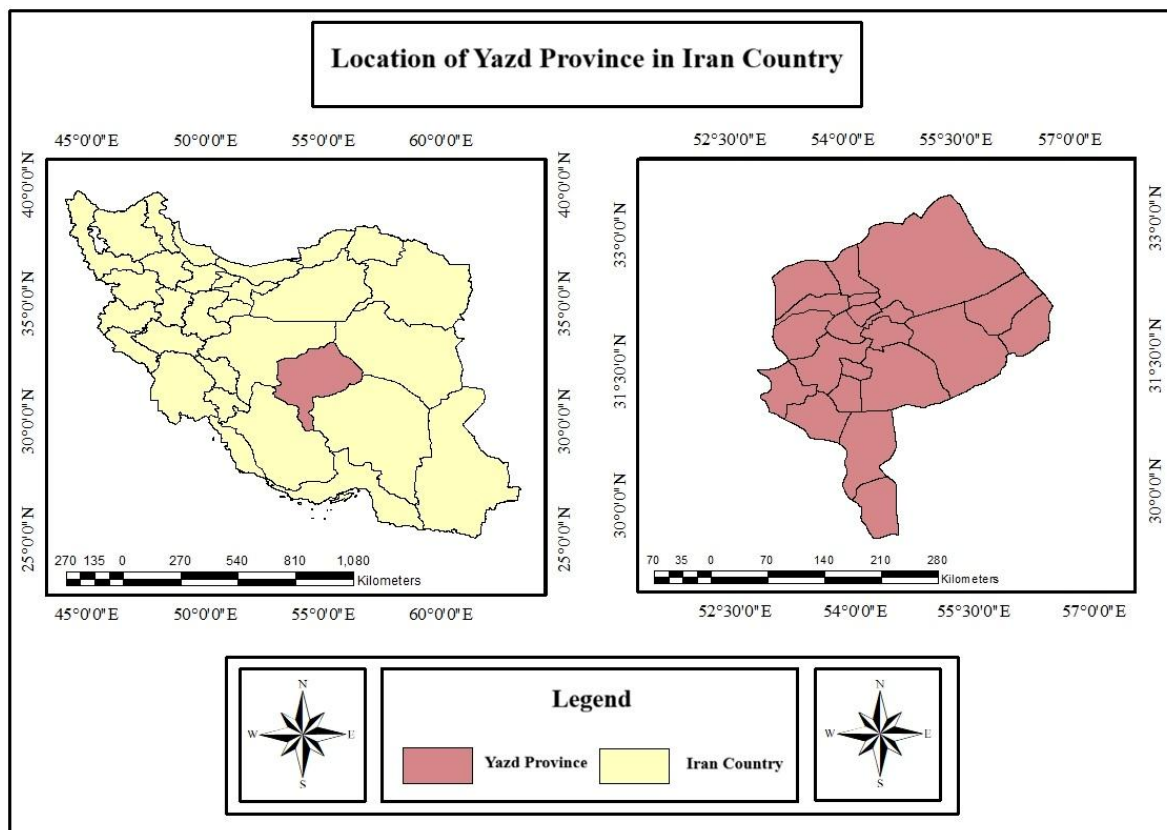
شدید به استخراج آب‌های عمیق و انتقال آب گردیده است.

استان یزد دارای ۱۲ شهرستان بوده و طبق آخرین سرشماری‌های رسمی، جمعیت آن ۱,۱۳۸,۵۳۳ نفر برآورد شده است (Statistical Yearbook of Yazd Province, 2022).

این قلمرو در قامت منطقه‌ای مهاجرپذیر و صنعتی، نرخ رشد جمعیت و مهاجرت مثبتی را ثبت کرده (Akabari Tafti et al., 2019) و در حال حاضر با دارا بودن بیشترین تمرکز واحدهای تولیدی، به عنوان کانون استراتژیک و قطب صنعت کاشی و سرامیک کشور شناخته می‌شود (Migardi, 2026). در همین راستا، تحلیل وضعیت مصرف آب در بخش صنایع استان طی دوره بیست ساله (۱۳۷۴-۱۳۹۴) نشان می‌دهد در حالی که نرخ رشد صنایع ۹ درصد بوده، اما نرخ مصرف آب در این بخش رشد شتابان ۲۹ درصدی را ثبت کرده است (Mohebi et al., 2019).

بررسی توزیع مصرف آب در این استان نشان می‌دهد که ۸۹ درصد از منابع آبی در بخش کشاورزی، ۴/۴ درصد در بخش صنعت و مابقی در بخش خانگی مصرف می‌گردد؛ شایان ذکر است که تأمین آب در بخش کشاورزی به طور گسترده متکی بر بارش‌های جوی نبوده و عمدتاً بر استخراج از سفره‌های آب زیرزمینی و حفر چاه‌های عمیق استوار است (Talebi and Hashemi, 2026).

برآوردها حاکی از آن است که تنها در سال ۱۴۰۱، حدود ۸۵۸ میلیون متر مکعب آب از سفره‌های زیرزمینی استان یزد استحصال شده که بیشترین سهم از این برداشت‌ها متعلق به چاه‌های عمیق (۳۱۷۶ حلقه و برداشت ۶۶۳ میلیون متر مکعب) بوده است (Statistical Yearbook of Yazd Province, 2022). این روند برداشت‌های بی‌رویه از



شکل ۱. موقعیت استان یزد در کشور ایران
Fig 1. Location of Yazd Province in Iran Country

نتایج و بحث

با عنایت به ماهیت ترکیبی پژوهش، در این بخش تلاش می‌شود تا ابتدا یافته‌های عینی و کمی مستخرج از تحلیل ساختاری ماتریس MICMAC شامل مختصات پراکندگی متغیرها، اشکال روابط مستقیم و غیرمستقیم و رتبه‌بندی شاخص‌های اثرگذاری به‌صورت نظام‌مند گزارش شود.

در ادامه و بر بستر همین یافته‌های ساختاری، تفسیرهای کاربردی و استنباط‌های سیاستی توسط نگارندگان ارائه می‌گردد. بدین ترتیب، دو سطح یافته و تفسیر به‌صراحت از یکدیگر تفکیک شده و تفسیرهای ارائه‌شده، صرفاً به‌مثابه برداشت محققانه از وضعیت موجود و چشم‌اندازهای محتمل تلقی می‌شوند که فاقد قطعیت مطلق بوده و برای تأیید نهایی نیازمند پژوهش‌های تکمیلی هستند.

تحلیل ساختاری آینده منابع آب استان یزد، مستلزم شناسایی دقیق و نظام‌مند متغیرهایی است که علاوه بر اثرگذاری بر وضعیت هیدرولوژیکی، بر معادلات قدرت،

پایداری اجتماعی و امنیت استراتژیک منطقه اثر می‌گذارند.

در راستای دستیابی به این هدف، در گام نخست و با اتکا به رویکردی جامع در حوزه ژئوپلیتیک منابع آب، ابتدا از طریق بررسی جامع پیشینه نظری، تحلیل اسناد بالادستی مدیریت آب و مرور ادبیات پژوهش، متغیرهای اولیه استخراج گردیدند.

در این پژوهش، ژئوپلیتیک در چارچوب سنتی آن (صرفاً به معنای مرزهای سیاسی، قدرت نظامی یا مناقشات سرزمینی) به کار نرفته است. بلکه با اتکا به رویکردی توسعه‌یافته و بین‌رشته‌ای، مبنای ورود متغیرها به چارچوب تحلیل ژئوپلیتیک، اثرگذاری‌های احتمالی آنان بر توزیع قدرت، تغییر در توازن منافع بین‌بخشی، تأثیرگذاری بر امنیت ملی و منطقه‌ای و تعیین‌کنندگی در معادلات تخصیص و بهره‌برداری از منابع آب بوده است. بر این اساس، متغیرهایی که صرفاً ماهیت فنی، اقتصادی یا

در استخراج و بازتعریف این پیشران‌ها، تلاقی میان واقعیت‌های فیزیکی و محیطی با تصمیمات سیاسی و تکنولوژیک مدنظر قرار گرفت؛ به‌ویژه در بخش کشاورزی که به دلیل جایگاه محوری در مصرف منابع آب، به‌عنوان یکی از اثرگذارترین متغیرها در پایداری سیستم مورد توجه قرار گرفت. بر این اساس، پیشران‌های منتخب در پنج بُعد اجتماعی و فرهنگی، تکنولوژیک و زیرساختی، اقتصادی، زیست‌محیطی و سیاسی و حقوقی دسته‌بندی شدند.

عنوان هر یک از این پیشران‌ها به همراه تعریف عملیاتی آن‌ها که مبنای تحلیلی امتیازدهی در ماتریس اثرات متقاطع قرار گرفته است، در جدول شماره ۵ ارائه شده است.

پس از نهایی‌سازی لیست ۳۰ پیشران کلیدی مبتنی بر اجماع نظر خبرگان، گام بعدی، تحلیل ساختاری روابط میان آن‌ها از طریق تشکیل ماتریس اثرات متقابل در ابعاد 30×30 بود.

در این مرحله، میزان تأثیرگذاری هر پیشران بر پیشران دیگر به‌صورت زوجی توسط پانل خبرگان و با استفاده از طیف چهاردرجه‌ای (۰: بی‌اثر، ۱: ضعیف، ۲: متوسط و ۳: قوی) امتیازدهی گردید. این داده‌ها به‌عنوان ورودی اصلی نرم‌افزار MICMAC جهت شناسایی متغیرهای استراتژیک مؤثر بر چشم‌اندازهای محتمل منابع آب استان یزد مورد استفاده قرار گرفتند. پس از ورود داده‌ها به نرم‌افزار، ابتدا شاخص‌های عمومی ماتریس جهت اطمینان از اعتبار مدل تحلیل شدند.

مطابق با نتایج ارائه‌شده در جدول شماره (۶)، نرخ پرشدگی ماتریس معادل $84/33$ درصد محاسبه گردید. این عدد نشان‌دهنده چگالی بالای روابط و پیوستگی میان پیشران‌های حوزه آب استان یزد است؛ به‌گونه‌ای که از میان ۹۰۰ رابطه‌ی بالقوه در این سیستم، ۷۵۹ رابطه دارای اثرگذاری مستقیم، غیرمستقیم یا بالقوه بوده‌اند.

مدیریتی دارند، در صورتی که بتوانند ساختار قدرت را در سطح استانی، بین‌استانی یا ملی تحت تأثیر قرار دهند، به‌عنوان پیشران‌های ژئوپلیتیکی لحاظ شده‌اند.

برای نمونه، متغیرهایی نظیر قیمت‌گذاری آب (E3)، فناوری‌های نوین آبیاری (T6) و اقتصاد چرخشی آب (T3)، اگرچه در نگاه اول اقتصادی یا فنی به‌نظر می‌رسند، اما به‌دلیل تأثیر قابل توجه بر رقابت‌های بین‌استانی بر سر منابع مشترک، قدرت چانه‌زنی استان در شورای عالی آب، و تغییر در الگوی بهره‌برداری از سفره‌های آب زیرزمینی (که خود عاملی در مناقشات منطقه‌ای است)، به‌عنوان مؤلفه‌های ژئوپلیتیکی نظام مدیریت آب یزد شناسایی و تحلیل شده‌اند. این رویکرد، هم‌سو با دیدگاه‌های نوین در مطالعات ژئوپلیتیک آب است که بر تلاقی سیاست، اقتصاد، فناوری و محیط‌زیست در تحلیل قدرت و امنیت آبی تأکید دارند.

در ادامه به‌منظور اطمینان از اعتبار و رسیدن به متغیرهای کلیدی، روش دلفی در سه دور متوالی به کار گرفته شد؛ به‌طوری که در دور نخست، متغیرهای اولیه جهت حذف موارد غیرمرتبط و پیشنهاد موارد جدید در اختیار خبرگان قرار گرفت و در دورهای دوم و سوم، متغیرهای اصلاح‌شده مورد امتیازدهی واقع شدند. در این مسیر، برای ارتقای وجاهت علمی و کاهش سوگیری‌های ذهنی، گزارش‌های آماری و واقعیت‌های کمی منابع آب در اختیار خبرگان قرار گرفت تا فرآیند امتیازدهی بر پایه مستندات واقعی استوار گردد. همچنین، پیش از هرگونه تحلیل آماری در دورهای نهایی، میزان اجماع نظرات خبرگان از طریق ضریب توافق کندال (W) با استفاده از نرم‌افزار SPSS سنجیده شد که نتایج در دور سوم، مقدار $0/734$ را نشان داد؛ عددی که طبق معیارهای آماری، نشان‌دهنده هم‌سویی دیدگاه‌های متخصصان است.

در نهایت، متغیرهایی که از سطح پذیرش لازم برخوردار بودند، به‌عنوان پیشران‌های کلیدی برگزیده شدند.

جدول ۵. پیشران های کلیدی ژئوپلیتیک منابع آب استان یزد
Table 5. Key Geopolitical Drivers of Eater Resources in Yazd Province

تعریف عملیاتی و مبنای تحلیلی Operational Definition and Analytical Basis	عنوان پیشران Driver Title	کد Code	ابعاد Dimensions
سنجش اثر متقابل رشد جمعیت، ناشی از مهاجرت های اخیر به استان، بر سقف تقاضای آب شرب و تحلیل تضاد در توزیع منابع بین بخش های شرب، صنعت و کشاورزی در نقاط استراتژیک استان. Assessing the interaction between population growth, driven by recent migration to the province, and the ceiling of domestic water demand, as well as analyzing conflicts in resource allocation among domestic, industrial, and agricultural sectors in strategic areas of the province.	دینامیک های جمعیتی و تضاد تقاضای آب شرب، صنعتی و کشاورزی Population Dynamics and Conflicting Demand for Domestic, Industrial, and Agricultural Water	S1	اجتماعی - فرهنگی Social & Cultural
سنجش میزان پذیرش یا مقاومت جامعه در برابر سیاست های سخت گیرانه، مانند جیره بندی یا تغییر اجباری الگوی مصرف، در جوامع سنتی و مدرن. Assessing the level of social acceptance or resistance to stringent policies, such as water rationing or mandatory changes in consumption patterns, in traditional and modern communities.	تاب آوری اجتماعی در برابر تغییرات ساختاری Social Resilience to Structural Changes	S2	
ارزیابی میزان پذیرش و عملیاتی شدن رویکرد تقاضا محور در اسناد برنامه ریزی و تصمیمات ذی نفعان، با تأکید بر تطبیق فعالیت های اقتصادی با موجودی واقعی منابع. Assessing the acceptance and operationalization of a demand-driven approach in planning documents and stakeholder decisions, with emphasis on aligning economic activities with the actual availability of water resources.	پذیرش مدل های تقاضا محور در برنامه ریزی منابع آب Acceptance of Demand-Driven Models in Water Resources Planning	S3	
تحلیل شکاف بین حقوق قانونی و دسترسی واقعی به آب و اثر آن بر پایداری اجتماعی در مناطق روستایی و حاشیه شهرها. Analyzing the gap between legal water rights and actual access to water and its effects on social sustainability in rural areas and urban peripheries.	عدالت توزیعی و پتانسیل تعارضات آبی Distributive Justice and Potential for Water Conflicts	S4	
بررسی تغییر در الگوهای رفتاری و باورهای جامعه از تلاش برای تسخیر و افزایش منابع به همزیستی با کم آبی و اثر آن بر کاهش تقاضای غیر ضروری در لایه های اجتماعی. Examining changes in social behavioral patterns and beliefs, from attempts to secure and expand water resources toward coexistence with water scarcity, and assessing their effects on reducing unnecessary demand across social groups.	سرمایه اجتماعی و پذیرش جمعی در مدیریت بحران منابع آب Social Capital and Collective Acceptance in Water Resources Crisis Management	S5	
تحلیل تأثیر روایت های بحران یا امید بر تصمیمات سرمایه گذاری بخش خصوصی و رفتارهای مصرفی شهروندان. Analyzing the influence of crisis-oriented or hopeful narratives on private-sector investment decisions and citizens' consumption behaviors.	اثرات ادراکی و روایت های رسانه ای Perceptual Effects and Media Narratives	S6	

تحلیل ریسک سلاح‌شدن آب در تعاملات بین‌استانی و بررسی میزان آسیب‌پذیری استان در برابر اختلال در تأمین آب خارج از حوضه. Analyzing the risk of water weaponization in interprovincial interactions and assessing the province's vulnerability to disruptions in out-of-basin water supplies.	وابستگی استراتژیک به خطوط انتقال فرامرزی Strategic Dependence on Inter-Basin Water Transfer Lines	T1	
ارزیابی پایداری محیطی و اقتصادی گزینه‌های نهایی، مانند شیرین‌سازی آب‌های شور عمیق یا انتقال آب دریا، به‌عنوان ابزاری برای خروج از بن‌بست آبی. Assessing the environmental and economic sustainability of alternative water supply options, such as deep saline water desalination or seawater transfer, as tools for overcoming water scarcity constraints.	فناوری‌های استحصال غیرمعارف و جایگزین Unconventional and Alternative Water Supply Technologies	T2	
تحلیل ظرفیت جایگزینی آب شیرین با پساب‌های تصفیه‌شده، با تأکید ویژه بر بهره‌برداری از پساب‌های شهری در زنجیره تولید و کشاورزی جهت کاهش فشار بر منابع بکر. Analyzing the potential for replacing freshwater with treated wastewater, with particular emphasis on the reuse of municipal wastewater in production and agriculture to reduce pressure on pristine water resources.	اقتصاد چرخشی آب Circular Water Economy	T3	تکنولوژی - زیرساختی Technological & Infrastructural
تبدیل داده‌های پایش هوشمند به ابزارهای تصمیم‌گیری و بازخوردهای لحظه‌ای جهت کنترل استخراج بر اساس بیلان دینامیک آبخوان‌ها، به‌گونه‌ای که پایش منجر به مدیریت شود. Transforming smart monitoring data into decision-making tools and real-time feedback mechanisms to control water extraction based on dynamic aquifer balances, ensuring that monitoring leads to effective management.	گذار از پایش توصیفی به مدیریت عملیاتی و لحظه‌ای استخراج آب Transition from Descriptive Monitoring to Real-Time Operational Water Extraction Management	T4	
بررسی اثر نوسازی شبکه‌های توزیع بر کاهش آب‌های غیرثبت و افزایش بهره‌وری در لایه توزیع نهایی. Examining the effects of distribution network modernization on reducing non-revenue water and improving efficiency at the final distribution level.	آسیب‌پذیری استراتژیک زیرساخت‌های توزیع و ریسک امنیت تأمین آب Strategic Vulnerability of Distribution Infrastructure and Water Supply Security Risk	T5	
تحلیل نفوذ سیستم‌های آبیاری دقیق و هوشمند با هدف تطبیق کامل میزان برداشت کشاورزی با ظرفیت تجدیدپذیر سالانه هر دشت. Analyzing the adoption of precision and smart irrigation systems to fully align agricultural water withdrawals with the annual renewable capacity of each plain.	تکنولوژی‌های نوین آبیاری و بهره‌برداری مبتنی بر ظرفیت تجدیدپذیر Advanced Irrigation Technologies and Renewable-Capacity-Based Water Use	T6	
تحلیل ریسک وابستگی ساختاری اقتصاد استان به صنایع کاشی و فولاد و بررسی هزینه گذار به مدل‌های اقتصادی کم‌آب‌طلب. Analyzing the risk of structural dependence of the provincial economy on tile and steel industries and assessing the costs of transitioning toward less water-intensive economic models.	قفل‌شدگی اقتصادی در صنایع آب‌بر Economic Lock-In in Water-Intensive Industries	E1	اقتصادی Economic

تحلیل نسبت سود ناخالص تولید به حجم آب مصرفی در بخش‌های مختلف برای شناسایی و اولویت‌بندی فعالیت‌های با ارزش افزوده بالا.	بهینه‌سازی بازدهی اقتصادی هر واحد آب مصرفی	E2	
Analyzing the ratio of gross production profit to water consumption across different sectors to identify and prioritize high-value-added activities.	Optimization of Economic Returns per Unit of Water Consumed		
بررسی اثر استقرار قیمت‌های واقعی و بازدارنده بر اصلاح الگوی کشت و ترغیب صنایع به سرمایه‌گذاری در فناوری‌های بازچرخانی	اصلاح ساختار قیمت‌گذاری و حذف یارانه‌های پنهان آب	E3	
Examining the effects of implementing realistic and deterrent water prices on changing cropping patterns and encouraging industries to invest in water recycling technologies.	Water Pricing and Removal of Hidden Water Subsidies		
ظرفیت جذب سرمایه برای پروژه‌های آبخوان‌داری و تصفیه پساب از طریق ابزارهای مالی نوین، مانند اوراق سبز	مدل‌های تأمین مالی سبز و سرمایه‌گذاری خصوصی	E4	
Assessing the capacity to attract investment for aquifer management and wastewater treatment projects through innovative financial instruments, such as green bonds.	Green Financing Models and Private Investment		
محاسبه هزینه‌های اقتصادی ناشی از تخریب سرمایه طبیعی، به‌ویژه خسارات سازه‌ای ناشی از فرونشست، در مقابل سود کوتاه‌مدت استخراج آب	تحلیل هزینه - فایده تخریب سرمایه طبیعی	E5	
Calculating the economic costs of natural capital degradation, particularly structural damages caused by land subsidence, compared with the short-term benefits of water extraction.	Cost-Benefit Analysis of Natural Capital Degradation		
تحلیل ظرفیت تغییر الگوی کشت از محصولات آبربر به محصولات استراتژیک کم‌آب، با تأکید بر مدیریت تقاضا در بخش کشاورزی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب و جایگزینی مشاغل وابسته	تغییر پارادایم اقتصادی کشاورزی از تولید حجیم به تولید ارزش‌افزوده	E6	
Analyzing the potential for shifting cropping patterns from water-intensive crops to strategic low-water-demand crops, emphasizing demand management in agriculture as the largest water-consuming sector and the replacement of water-dependent livelihoods.	Shifting the Agricultural Economic Paradigm from Volume-Based Production to Value-Added Production		
تحلیل اثرات تجمعی پمپاژ بیش از حد بر تراکم لایه‌ها و فرونشست، و بررسی حد آستانه‌ای که پس از آن ظرفیت ذخیره‌سازی آبخوان در دشت یزد - اردکان برای همیشه از دست می‌رود	ریسک بازگشت‌ناپذیری تخریب ساختاری آبخوان‌ها	EN1	
Analyzing the cumulative effects of over-pumping on layer compaction and land subsidence and identifying the threshold beyond which the water storage capacity of the Yazd-Ardakan aquifer is permanently lost.	Risk of Irreversible Structural Degradation of Aquifers		
بررسی اثر متقابل گرمایش جهانی و تغییر الگوی بارش بر تغذیه سالانه و افزایش نرخ تبخیر در منابع سطحی	تنش‌های اقلیمی و تغییر بیلان هیدرولوژیکی	EN2	زیست‌محیطی
Examining the interaction between global warming and changes in precipitation patterns on annual recharge and increased evaporation rates in surface water resources.	Climate Stresses and Changes in the Hydrological Balance		Environmental
تحلیل اثرات پیچیده هیدروژئولوژیکی، شامل برگشت آب آبیاری، نفوذ پساب‌ها و فرآیندهای طبیعی، بر توازن شیمیایی و افزایش شوری آبخوان‌ها	فرآیندهای متقابل هیدروژئولوژیکی و توازن شیمیایی	EN3	
Analyzing complex hydrogeological effects, including irrigation return flows, wastewater infiltration, and natural processes, on chemical balance and increasing aquifer salinity.	Hydrogeological Interactions and Aquifer Chemical Balance		

پایش نفوذ فلزات سنگین و آلاینده‌های صنعتی به لایه‌های آبخوان و اثر آن بر امنیت بهداشتی منابع آب. Monitoring the infiltration of heavy metals and industrial pollutants into aquifer layers and assessing their effects on water resource health security.	تخریب کیفی منابع آب و تهدید امنیت بهداشتی -	EN4	سیاسی - حقوقی Political & Legal
ارزیابی اثربخشی روش‌های مدرن تغذیه مصنوعی در جبران کسری مخزن و سنجش میزان موفقیت در بالا آوردن سطح استاتیکی آبخوان‌ها. Assessing the effectiveness of modern artificial recharge methods in compensating for aquifer storage deficits and measuring their success in raising aquifer static water levels.	زیستی Qualitative Degradation of Water Resources and Threats to Health and Biological Security	EN5	
تعیین حد آستانه‌ای که فراتر از آن، هرگونه توسعه منجر به فروپاشی زیست‌محیطی و تخریب بازگشت‌ناپذیر اکوسیستم می‌گردد. Determining the threshold beyond which any further development would result in ecological collapse and irreversible ecosystem degradation.	کارآمدی تغذیه مصنوعی و بازگشت سطح استاتیکی of Artificial Recharge and Recovery of the Static Water Level	EN6	
تحلیل تعاملات قدرت و رقابت‌های استراتژیک میان استان یزد و استان‌های مبدأ جهت تضمین امنیت تأمین در بلندمدت. Analyzing power interactions and strategic competition between Yazd Province and source provinces to ensure long-term water supply security.	سقف ظرفیت پذیرش اکولوژیک Ecological Carrying Capacity Threshold	P1	
واکاوی تضاد منافع ساختاری و تعارضات مدیریتی میان متولیان تأمین، وزارت نیرو، و بهره‌برداری، وزارت جهاد کشاورزی، در سیاست‌های تخصیص و توزیع آب. Examining structural conflicts of interest and managerial disputes between water supply authorities, particularly the Ministry of Energy, and water-use authorities, particularly the Ministry of Agriculture Jihad, in water allocation and distribution policies.	هیدروپلیتیک داخلی و رقابت بر سر منابع مشترک Domestic Hydropolitics and Competition over Shared Water Resources	P2	
تحلیل میزان همسویی مجوزهای استقرار صنایع و توسعه شهری با ظرفیت‌های واقعی و نقشه‌های حساسیت آبی استان. Analyzing the extent to which industrial location permits and urban development are aligned with the province's actual water capacities and water-sensitivity maps.	حکمرانی چندسطحی و مدیریت تعارضات بین‌بخشی Multilevel Governance and Management of Intersectoral Conflicts	P3	
سنجش شکاف میان قوانین صیانت از منابع آب و قدرت اجرایی نظارت، با تأکید بر موانع حکمرانی محلی در مقابله با برداشتهای غیرقانونی. Assessing the gap between water resource protection laws and enforcement capacity, with emphasis on local governance barriers to combating illegal water extraction.	انطباق آمایش سرزمین با محدودیت‌های هیدرولوژیک Alignment of Spatial Planning with Hydrological Constraints	P4	سیاسی - حقوقی Political & Legal
تحلیل توان چانه‌زنی مدیران استان در شورای عالی آب برای استخراج امتیازات متناسب با ویژگی‌های اقلیمی و صنعتی خاص یزد. Analyzing the bargaining capacity of provincial managers within the Supreme Water Council to secure concessions consistent with Yazd's specific climatic and industrial characteristics.	میزان شکاف میان قوانین صیانت از منابع آب و قدرت اجرایی نظارت Gap between Water Resource Protection Laws and Enforcement Capacity	P5	
تحلیل ریسک‌های امنیتی، فیزیکی و سایبری، متوجه شریان‌های انتقال آب و مراکز کنترل، و بررسی میزان تاب‌آوری در برابر بحران‌ها. Analyzing physical and cyber security risks to water transmission lifelines and control centers and assessing system resilience in the face of crises.	دیپلماسی استانی در ساختار تصمیم‌گیری کلان ملی Provincial Diplomacy within the National Strategic Decision-Making Structure	P6	
	امنیت ملی زیرساخت‌های حیاتی و تاب‌آوری سیستم National Security of Critical Infrastructure and System Resilience		

در خصوص تحلیل پایداری، یافته‌ها نشان می‌دهد که محاسبات نرم‌افزاری تنها پس از دو مرتبه تکرار به پایداری کامل و همگرایی رسیده‌اند.

دستیابی سریع به این نقطه از تعادل، از منظر متدولوژیک دو دلیل بنیادین دارد: نخست، وجود انسجام و هم‌سویی بالا در دیدگاه‌های پانل خبرگان (پیش‌تر توسط ضریب توافق کندال تأیید شده بود) که مانع از ایجاد نویز و تناقض در ورودی‌های ماتریس گردید؛ و دوم، وجود یک ساختار سلسله‌مراتبی منطقی در روابط میان متغیرها، به گونه‌ای که زنجیره‌ی اثرات از پیش‌ران‌های مستقل به سمت متغیرهای وابسته به‌طور منظم جریان یافته و منجر به تشکیل یک ساختار پایدار در ماتریس اثرات غیرمستقیم شده است.

توزیع فراوانی امتیازات نشان می‌دهد که از کل روابط شناسایی‌شده، ۱۸۹ رابطه (معادل ۲۱ درصد) دارای بیشترین شدت اثرگذاری هستند که به‌عنوان روابط کلیدی و حیاتی سیستم شناخته می‌شوند؛ در مقابل، ۲۵۶ رابطه دارای تأثیر ضعیف، ۳۱۴ رابطه دارای تأثیر متوسط و ۱۴۱ رابطه فاقد هرگونه ارتباط معنادار تشخیص داده شده‌اند. از این توزیع متوازن، چنین استنباط شد که سیستم مدیریت آب یزد نه از نوع تک‌محوره و نه از نوع ازهم‌گسیخته است؛ بلکه شبکه‌ای پیچیده با غلبه روابط متوسط و قوی است که در آن، متغیرهای علت‌ساز (نظیر حکمرانی، کشاورزی و هیدروپلیتیک) از معلول‌های سیستم (نظیر فرونشست و کیفیت آب) تفکیک شده‌اند. علاوه‌براین، بررسی شاخص پایداری و تکرار نشان می‌دهد که محاسبات نرم‌افزار تنها پس از ۲ بار تکرار به پایداری کامل (۱۰۰ درصد) رسیده‌اند.

جدول ۶. شاخص‌های توصیفی و ویژگی‌های آماری ماتریس اثرات متقابل

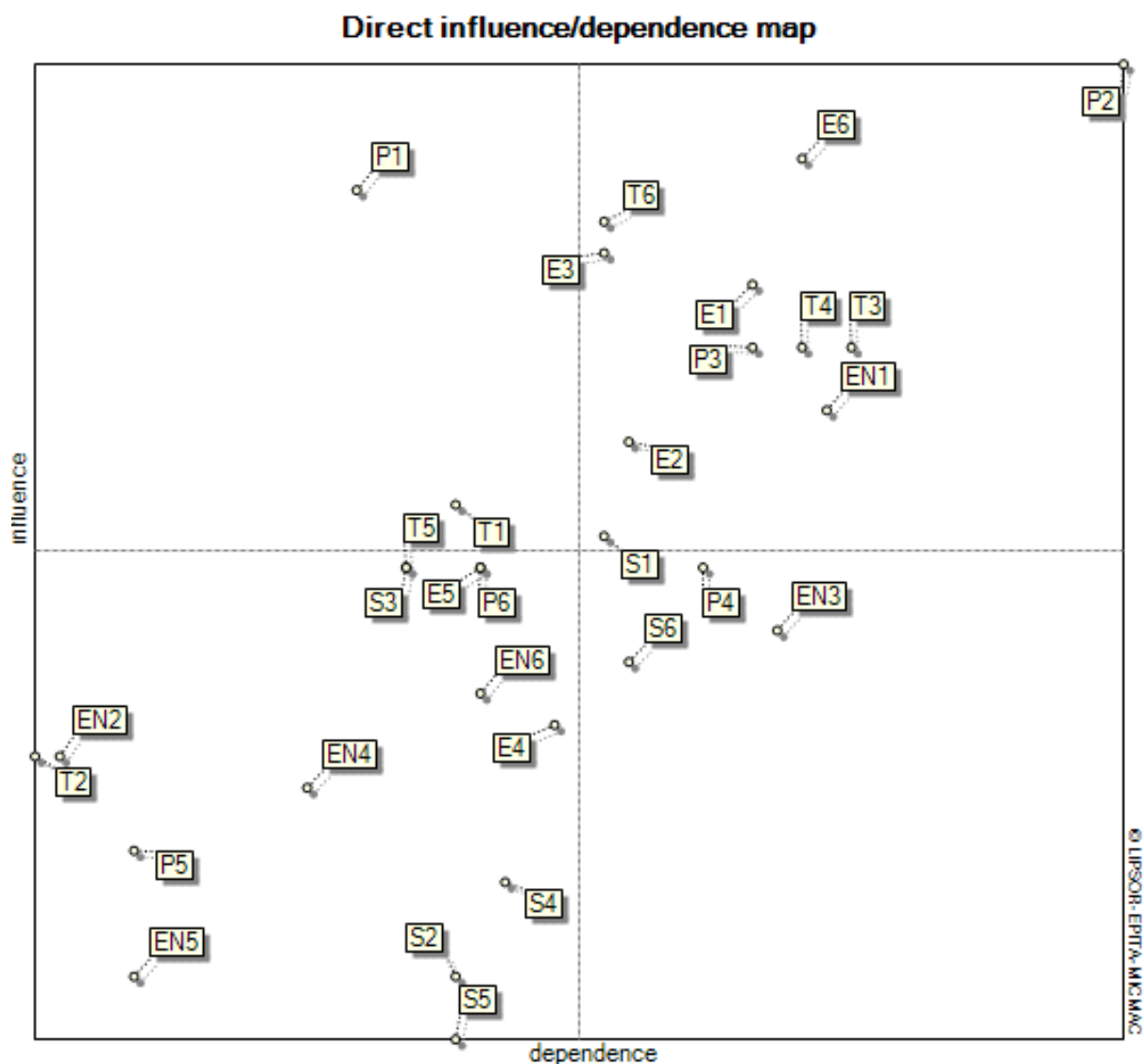
Table 6. Descriptive Indicators and Statistical Characteristics of the cross-impact matrix

INDICATOR	VALUE
Matrix size	30
Number of iterations	2
Number of zeros	141
Number of ones	256
Number of twos	314
Number of threes	189
Number of P	0
Total	759
Fillrate	84.33334%

روابط غیرمستقیم، تأثیراتی هستند که از طریق یک یا چند متغیر واسطه منتقل می‌شوند و در تکرارهای بعدی ماتریس آشکار می‌گردند. همچنین، روابط بالقوه، ارتباطاتی هستند که در حال حاضر وجود ندارند، اما با توجه به پویایی‌های سیستم، امکان شکل‌گیری آن‌ها در افق‌های زمانی دورتر پیش‌بینی می‌شود. شکل شماره (۲)، اثرگذاری-اثرپذیری پیش‌ران‌های ژئوپلیتیکی سیستم را نشان می‌دهد.

پس از احراز اعتبار و پایداری ماتریس بر اساس شاخص‌های آماری، وضعیت ساختاری سیستم منابع آب استان یزد با بهره‌گیری از شکل اثرگذاری-اثرپذیری مورد واکاوی قرار گرفت.

ذکر این نکته شایان توجه است که در این پژوهش، روابط مستقیم به تأثیرات بی‌واسطه یک متغیر بر متغیر دیگر گفته می‌شود.



شکل ۲. پلان پراکندگی مستقیم متغیرهای کلیدی
Fig 2. Direct dispersions map of key variables

وابستگی آن به ساختارهای کلان ملی و روابط بین‌استانی است؛ بر اساس موقعیت هیدروپلیتیک در این ناحیه، به‌نظر می‌رسد امنیت آبی استان یزد، تا حد قابل توجهی به مدیریت تنش‌های هیدروپلیتیکی و دیپلماسی مؤثر با استان‌های همجوار وابسته باشد. در سمت راست، حکمرانی یکپارچه (P2) و تغییر پارادایم کشاورزی (E6) در کنار فرونشست (EN1) قرار گرفته‌اند. جایگاه حکمرانی و کشاورزی در این ناحیه، نشان‌دهنده نقش برجسته آن‌ها در ساختار تأثیرگذاری سیستم است، به‌طوری که تغییر در هر یک از این دو متغیر، می‌تواند سایر نقاط سیستم را تحت تأثیر قرار دهد.

شکل پراکندگی حاصل از تحلیل میک‌مک، تصویری از ساختار تأثیرگذاری و تأثیرپذیری پیشران‌های کلیدی سیستم آب استان یزد ارائه می‌دهد. این شکل، اگرچه از تراکم نسبتاً بالایی در ناحیه مرکزی برخوردار است، اما الگوی مشخصی از روابط علی و معلولی را به نمایش می‌گذارد که می‌تواند مبنایی برای شناسایی نقاط اهرمی سیستم باشد. در ناحیه بالای شکل، دو خوشه متمایز قابل‌شناسایی است: در سمت چپ، هیدروپلیتیک (P1) به‌عنوان متغیری با تأثیرگذاری بالا و تأثیرپذیری نسبتاً پایین قرار گرفته است. این جایگاه، نشان‌دهنده ماهیت برون‌زای این متغیر و

در مقابل بر مبنای جایگاه فرونشست در این ناحیه، برداشت می‌شود که این پدیده در یزد تنها یک معلول صرف نیست، بلکه به دلیل خسارت‌های گسترده به زیرساخت‌ها، می‌تواند بر سایر متغیرها (نظیر هزینه‌های اقتصادی، مهاجرت و پایداری اجتماعی) تأثیرگذار باشد.

در ناحیه مرکزی، متغیرهایی جای گرفته‌اند که دارای هر دو ویژگی تأثیرگذاری و تأثیرپذیری هستند و به عنوان حلقه‌های ارتباطی میان متغیرهای بالادست (محرك‌ها) و پایین دست (معلول‌ها) عمل می‌کنند؛ از جمله این متغیرها می‌توان به جمعیت و مهاجرت (S1)، خطوط انتقال (T1) و بهینه‌سازی اقتصادی (E3) اشاره کرد. این ویژگی تأثیرگذاری و تأثیرپذیری، آن‌ها را به نقاط کلیدی برای مداخله تبدیل می‌کند، هر چند که موفقیت هرگونه مداخله ای، مستلزم در نظر گرفتن هم‌زمان متغیرهای محرك (حکمرانی، کشاورزی و هیدروپلیتیک) است.

ناحیه پایین-راست، عمدتاً شامل متغیرهایی است که ماهیت معلول دارند. کیفیت آب (EN3) و رسانه (S6) در این ناحیه قرار گرفته‌اند. به نظر می‌رسد این متغیرها، بیش از آن که قدرت تغییردهندگی داشته باشند، از عملکرد سایر بخش‌ها تأثیر می‌پذیرند. برای نمونه، کیفیت آب تا حد زیادی تابع مدیریت برداشت و کنترل آلاینده‌هاست و رسانه نیز اگرچه می‌تواند افکار عمومی را شکل دهد، اما خود به شدت از رویدادها و عملکرد سایر متغیرها تأثیر می‌پذیرد.

در ناحیه پایین-چپ، متغیرهایی قرار دارند که عمدتاً نقش زمینه‌ساز و مکمل دارند. این متغیرها شامل آلاینده‌ها (EN4)، تعارضات (S4)، تاب‌آوری اجتماعی (S2) و سرمایه اجتماعی (S5) هستند.

قرارگیری این متغیرها در این ناحیه، حاکی از آن است که در اولویت مداخله‌های فوری قرار ندارند، اما به عنوان عوامل زمینه‌ساز در بلندمدت حائز اهمیت‌اند. در این راستا، سرمایه اجتماعی و تاب‌آوری اجتماعی، بسترهای لازم برای پذیرش اصلاحات ساختاری را فراهم می‌آورند، هر چند

به‌تنهایی نمی‌توانند عامل تغییر در ساختار سیستم باشند. همچنین، آلاینده‌ها و تعارضات نیز عمدتاً به عنوان پیامدهای سیستم عمل می‌کنند و با اصلاح متغیرهای محرك، قابل کنترل به نظر می‌رسند.

در مجموع، از توزیع متغیرها در شکل اثرگذاری-اثرپذیری، چنین برآورد می‌شود که با یک ساختار سلسله‌مراتبی مواجه هستیم که در آن، متغیرهای مربوط به سیاست‌های کلان و هیدروپلیتیک در راس هرم تأثیرگذاری قرار دارند. شواهد امر گویای آن است که برای دستیابی به پایداری در منابع آب استان یزد، اتکای صرف به راهکارهای فنی یا راهکارهای هزینه‌بر و غیرعملیاتی (نظیر شیرین‌سازی) در لایه‌های پایین‌تر سیستم کفایت نمی‌کند؛ بلکه پیش‌شرط موفقیت هرگونه مداخله، بازنگری در متغیرهای مستقل و پیوندی است تا از طریق ایجاد تغییر در محرك‌های اصلی، اثرات مثبت به‌صورت زنجیره‌ای به متغیرهای وابسته و پیامدهای محیط‌زیستی و اجتماعی منتقل گردد. در همین راستا و جهت درک سلسله مراتب قدرت در این فضای ناپایدار، رتبه بندی ۱۰ پیشران برتر بر اساس شاخص‌های چهارگانه در جدول شماره (۷) ارائه می‌گردد.

از نتایج مندرج در جدول شماره (۷) استنباط می‌شود که پیشران حکمرانی چندسطحی (P2) با کسب بالاترین امتیاز اثرگذاری مستقیم (۴۴۱) و غیرمستقیم (۴۳۱)، در رتبه اول اهمیت قرار گرفته است. با این حال، بالا بودن شاخص اثرپذیری مستقیم (۴۹۶) و غیرمستقیم (۴۸۲) این متغیر، گویای آن است که ساختار مدیریتی آب در استان یزد تحت تأثیر سایر پیشران‌های کلان قرار دارد و از استقلال کامل برخوردار نیست؛ به عبارت دیگر، گویی حکمرانی در یزد اگرچه بیشترین قدرت تغییردهندگی را داراست، اما خود نیز به شدت از متغیرهایی نظیر اقتصاد صنایع، هیدروپلیتیک و کشاورزی تأثیر می‌پذیرد. در مقابل، تغییر پارادایم کشاورزی (E6) با امتیاز اثرگذاری مستقیم (۴۲۰) و غیرمستقیم (۴۱۹)، در جایگاه دوم قرار گرفته است.

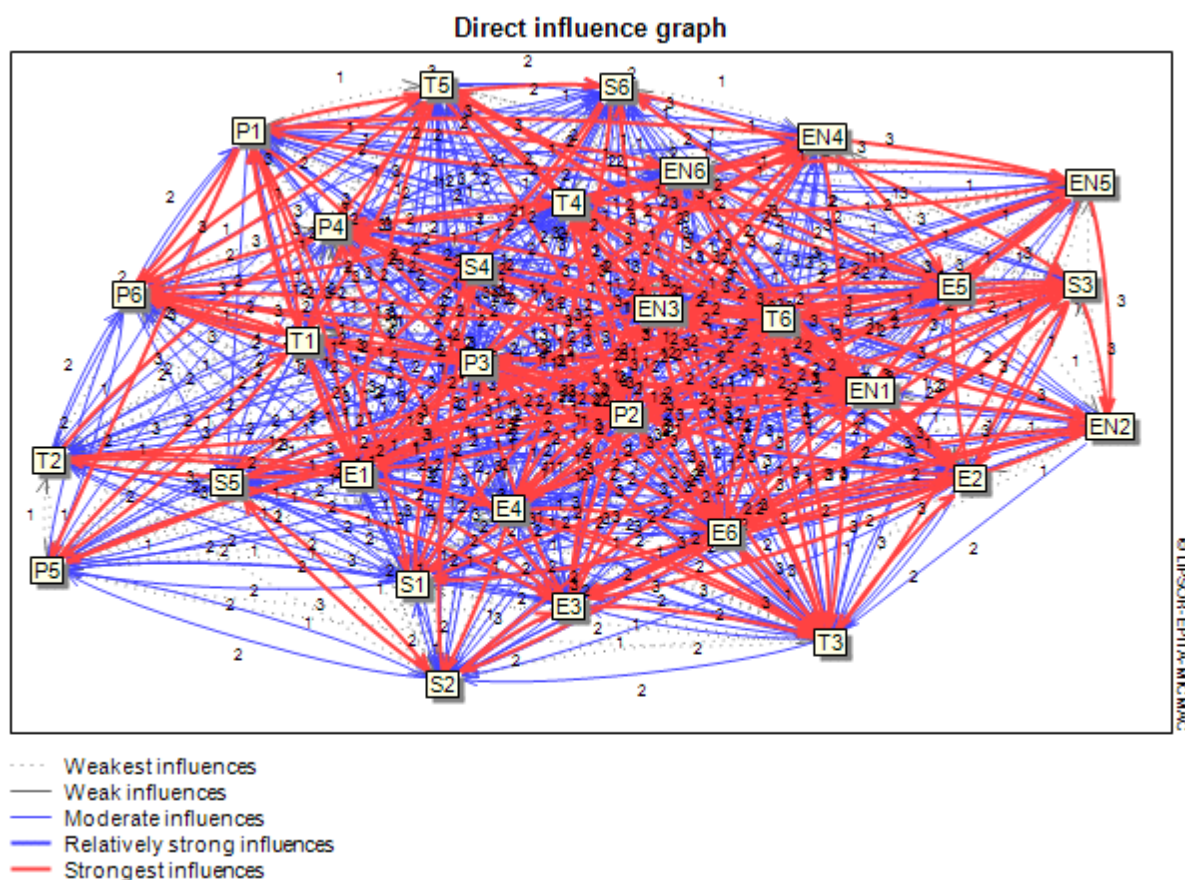
جدول ۷. رتبه‌بندی و تحلیل مقایسه‌ای پیشران‌های برتر بر اساس شاخص‌های اثرگذاری و اثرپذیری

Table 7. Ranking and comparative Analysis of Top Drivers Based on Influence and Dependence Indicators

اثرپذیری (غیرمستقیم) Indirect Dependence	اثرگذاری (غیرمستقیم) Indirect Influence	اثرپذیری (مستقیم) Direct Dependence	اثرگذاری (مستقیم) Direct Influence	عنوان پیشران Driver Title	کد Code	رتبه Rank
482	431	496	441	حکمرانی چندسطحی و مدیریت تعارضات بین‌بخشی Multilevel Governance and Management of Intersectoral Conflicts	P2	1
408	419	406	420	تغییر پارادایم اقتصادی کشاورزی از تولید حجمی به تولید ارزش‌افزوده Shifting the Agricultural Economic Paradigm from Volume-Based Production to Value-Added Production	E6	2
273	401	282	413	هیدروپلیتیک داخلی و رقابت بر سر منابع مشترک Domestic Hydropolitics and Competition over Shared Water Resources	P1	3
358	403	351	406	تکنولوژی‌های نوین آبیاری و بهره‌برداری مبتنی بر ظرفیت تجدیدپذیر Advanced Irrigation Technologies and Renewable-Capacity-Based Water Use	T6	4
351	398	351	399	اصلاح ساختار قیمت‌گذاری و حذف یارانه‌های پنهان آب Reform of Water Pricing and Removal of Hidden Water Subsidies	E3	5
388	391	392	392	قفل‌شدگی اقتصادی در صنایع آب‌بر Economic Lock-In in Water-Intensive Industries	E1	6
418	378	420	379	اقتصاد چرخشی آب Circular Water Economy	T3	7
407	379	406	379	گذار از پایش توصیفی به مدیریت عملیاتی و لحظه‌ای استخراج آب Transition from Descriptive Monitoring to Real-Time Operational Water Extraction Management	T4	8
392	374	392	379	انطباق آمایش سرزمین با محدودیت‌های هیدرولوژیک Alignment of Spatial Planning with Hydrological Constraints	P3	9
411	357	413	365	ریسک بازگشت‌ناپذیری تخریب ساختاری آبخوان‌ها Risk of Irreversible Structural Degradation of Aquifers	EN1	10

در مجموع می‌توان متصور شد که این سه پیشران، یعنی حکمرانی، کشاورزی و هیدروپلیتیک، نقش محوری در سیستم منابع آب استان یزد دارند و هرگونه تغییر در آن‌ها، می‌تواند کل سیستم را تحت تأثیر قرار دهد. در ادامه، برای درک بهتر چگونگی تعامل این پیشران‌ها، شکل روابط مستقیم ترسیم شده است. شکل شماره (۳)، روابط مستقیم میان پیشران‌های ژئوپلیتیکی موثر بر آینده منابع آب استان یزد را نشان می‌دهد.

این جایگاه، بیانگر نقش محوری این متغیر به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در استان (با سهم ۸۹ درصد) است و نشان می‌دهد که هرگونه اصلاح در الگوی کشت، می‌تواند نقش کلیدی در مدیریت تقاضا عمل کند. هیدروپلیتیک (P1) نیز با اثرگذاری مستقیم (۴۱۳) و غیرمستقیم (۴۰۱)، در رتبه سوم جای گرفته و حاکی از وابستگی شدید یزد به آب انتقالی و اهمیت دیپلماسی فعال در تأمین منابع آبی است.



شکل ۳. روابط مستقیم بین پیشران‌های ژئوپلیتیکی موثر بر آینده منابع آب استان یزد (پوشش ۱۰۰ درصد عوامل)

Fig 3. Graph of direct influence among geopolitical drivers affecting the future of water resources in Yazd Province (100% factor coverage)

شبکه قرار گرفته‌اند. با وجود پیوندهای قوی و مستقیم میان این سه پیشران (با خطوط قرمز ضخیم در شکل مشخص شده‌اند)، احتمال می‌رود که هرگونه تحول در سیاست‌های حاکمیتی، به‌سرعت اثرات دومینویی بر

تحلیل این شبکه، نشان می‌دهد که سیستم مدیریت منابع آب یزد دارای پیوستگی و تراکم بالایی است. پیشران‌های حکمرانی (P2)، کشاورزی (E6) و هیدروپلیتیک (P1) به‌عنوان نقاط اصلی اثرگذاری در مرکز

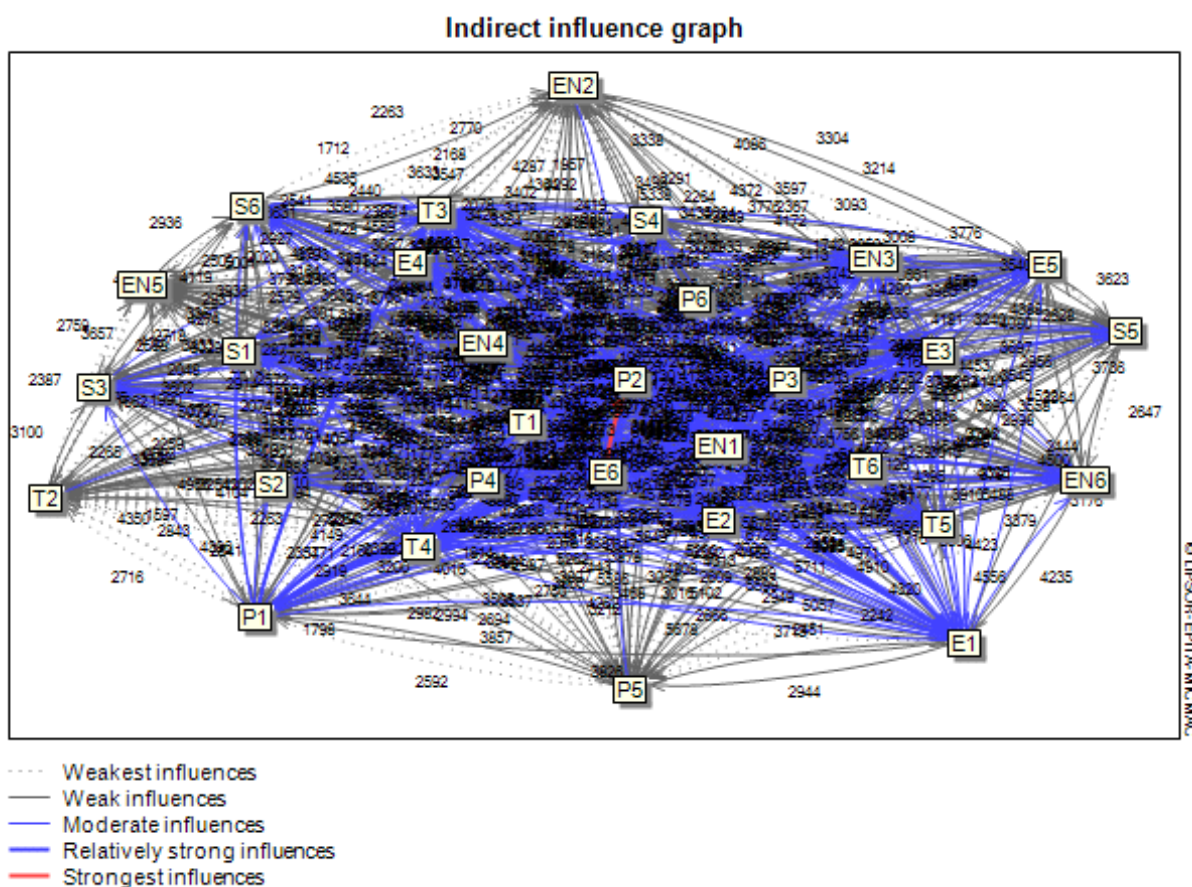
متغیرها اکتفا کرد؛ بلکه هر سناریوی واقع‌بینانه باید بر مبنای تغییر در گره‌های استراتژیک یعنی تقاطع حکمرانی، کشاورزی و هیدروپلیتیک بنا شود.

در مرحله بعد، با هدف شناسایی لایه‌های پنهان اثرگذاری و تحلیل پایداری سیستم در بلندمدت، شکل روابط غیرمستقیم استخراج گردید.

شکل شماره (۴)، روابط غیرمستقیم میان پیشران‌های ژئوپلیتیکی موثر بر آینده منابع آب استان یزد را نشان می‌دهد.

ساختار اقتصادی و تکنولوژیک خواهد داشت؛ از سوی دیگر، تراکم بالای فلش‌های ورودی به سمت متغیرهای زیست‌محیطی (نظیر فرونشست و کیفیت آب) و اجتماعی (نظیر رسانه و سرمایه اجتماعی)، بر ماهیت تأثیرپذیر این عوامل در برابر تصمیمات کلان سیاسی، اقتصادی و مدیریتی تأکید دارد.

در تحلیل تراکم بالای روابط در شکل مستقیم، به نظر می‌آید این درهم‌تنیدگی روابط، مبین آن است که برای تدوین سناریوهای آینده، نمی‌توان به بهبود تک‌بعدی



شکل ۴. روابط غیرمستقیم بین پیشران‌های ژئوپلیتیکی موثر بر آینده منابع آب استان یزد (پوشش ۱۰۰ درصد عوامل)
Fig 4. indirect influence among geopolitical drivers affecting the future of water resources in Yazd Province (100% factor coverage)

در این شبکه، متغیر حکمرانی (P2) نه تنها جایگاه خود را به‌عنوان گره اصلی حفظ کرده، بلکه از طریق زنجیره‌ای از روابط پنهان، اثرگذاری قابل‌توجهی بر متغیرهای دوری مانند فرونشست (EN1) و کیفیت آب (EN3) پیدا کرده است.

مقایسه این شکل با شکل روابط مستقیم، حاکی از تغییر در الگوی تأثیرگذاری پیشران‌هاست. همان‌گونه که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، در روابط غیرمستقیم، نقش پیشران‌های واسطه‌ای و نهادی تقویت شده است.

با ارزیابی این موضوع، چنین استنباط می‌شود که تصمیمات حکمرانی، حتی اگر مستقیماً بر این متغیرها متمرکز نباشند، در بلندمدت از طریق سازوکارهای غیرمستقیم، بر آن‌ها تأثیر خواهند گذاشت.

نکته حائز اهمیت در این تحلیل، ظهور روابط قرمز و پر قدرت بین متغیرهای هیدروپلیتیک (P1) و آمایش سرزمین (P3) است که انتظار می‌رود متغیرهای سیاسی و حاکمیتی در بلندمدت، از طریق سازوکارهای غیرمستقیم، ساختار اقتصادی و زیست‌محیطی استان را تحت کنترل درمی‌آورند؛ به عبارت دیگر، هیدروپلیتیک و آمایش در لایه‌های پنهان سیستم، جهت‌گیری‌های توسعه‌ای استان را در چشم‌اندازهای محتمل تعیین می‌کنند.

با بررسی افزایش تراکم خطوط آبی پررنگ در حاشیه شکل مانند تکنولوژی‌های آبیاری نوین (T6) و پایش لحظه‌ای (T4) می‌توان متصور شد که تکنولوژی‌های نوین در حوزه آب، اگرچه در ظاهر مستقل به نظر می‌رسند، اما در بطن سیستم تحت تأثیر بازخوردهای غیرمستقیم سیاست‌های کلان قرار دارند.

به عنوان مثال، موفقیت آبیاری نوین در یزد، نه تنها به سرمایه‌گذاری فنی، بلکه به اصلاح قیمت آب (E3)، نظارت مؤثر (P4) و ثبات سیاست‌های کلان وابسته است که همگی از طریق روابط غیرمستقیم، بر این گره تأثیر می‌گذارند. با توجه به روابط غیرمستقیم و نقش متغیرهای واسطه‌ای، شاید بتوان گفت که سیستم مدیریت آب یزد دارای مقاومت ساختاری بالایی باشد و هرگونه تغییر سطحی، بدون اصلاح روابط ساختاری و پنهان، به تحول پایدار در آینده منجر نگردد؛ به عبارت دیگر، احتمال می‌رود مداخلاتی که صرفاً بر متغیرهای فنی یا سطحی متمرکز باشند، در بلندمدت با شکست مواجه شوند و اصلاح همزمان حکمرانی، کشاورزی و هیدروپلیتیک بتواند سیستم را به سوی پایداری سوق دهد.

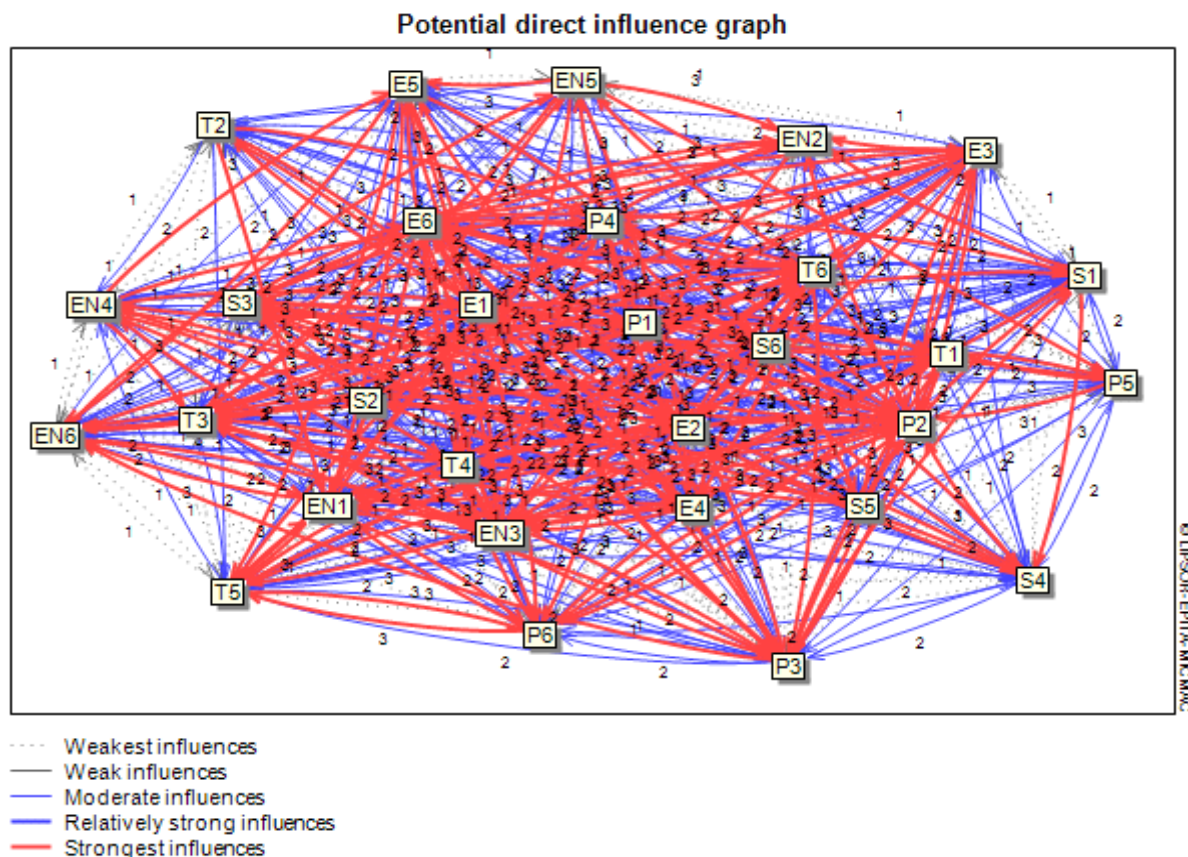
در نهایت، برای ترسیم چشم‌اندازهای محتمل و شناسایی ظرفیت‌های نهفته در سیستم، شکل روابط بالقوه استخراج گردید.

شکل شماره (۵)، روابط بالقوه میان پیشران‌های ژئوپلیتیکی مؤثر بر آینده منابع آب استان را نشان می‌دهد. شکل روابط بالقوه که نشان‌دهنده روابط در حال شکل‌گیری و پتانسیل‌های اثرگذاری در افق‌های زمانی دورتر است، حاکی از افزایش شدید تراکم روابط در کل سیستم می‌باشد.

مقایسه این شکل با شکل‌های پیشین (مستقیم و غیرمستقیم) نشان می‌دهد که بسیاری از روابطی که هم‌اکنون ضعیف یا متوسط هستند، پتانسیل تبدیل شدن به روابط استراتژیک و حیاتی (خطوط قرمز ضخیم) را دارا می‌باشند.

به عنوان مثال چنین استنباط می‌شود که ظهور پیوندهای بالقوه قوی بین متغیرهای تکنولوژیک مانند خطوط انتقال (T1) و آبیاری نوین (T6) با متغیرهای اجتماعی و زیست‌محیطی مانند رسانه (S6) و کیفیت آب (EN3) مبین آن است که در آینده، فناوری‌های نوین آب از یک ابزار جانبی به یک عامل کلیدی در تحولات اجتماعی و زیست‌محیطی استان تبدیل خواهند شد. به عبارت دیگر، تکنولوژی‌هایی مانند آبیاری هوشمند و پایش لحظه‌ای، نه تنها به عنوان راهکارهای فنی، بلکه به عنوان عوامل تغییردهنده ساختارهای اجتماعی و اقتصادی ظاهر خواهند شد. همچنین، متغیر حکمرانی (P2) در این شکل نقش مرکزی در سیستم پیدا کرده است. این موضوع تأیید می‌کند که در بلندمدت، پتانسیل اثرگذاری مدیریت یکپارچه بسیار فراتر از وضعیت کنونی خواهد بود.

در مجموع، شواهد امر گویای آن است که سیستم مدیریت آب استان یزد، ظرفیت حرکت به سمتی را دارد که کوچک‌ترین تصمیمات مدیریتی، واکنش‌های زنجیره‌ای و قابل توجهی را در ابعاد اقتصادی و محیط‌زیستی برانگیزد.



شکل ۵. روابط بالقوه بین پیشران‌های ژئوپلیتیکی موثر بر آینده منابع آب استان یزد (پوشش ۱۰۰ درصد عوامل)
Fig 5. Potential direct influence among geopolitical drivers affecting the future of water resources in Yazd Province (100% factor coverage)

محدودیت‌های ذاتی این پژوهش محسوب می‌شود. بنابراین، تعمیم نتایج به سایر مناطق یا بازه‌های زمانی متفاوت، نیازمند احتیاط و در نظر گرفتن این محدودیت‌هاست و پژوهش‌های آمیخته با داده‌های میدانی و کمی می‌توانند به اعتبارسنجی بیشتر یافته‌های این مطالعه کمک کنند.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر، با هدف واکاوی پیشران‌های ژئوپلیتیکی مؤثر بر چشم‌اندازهای محتمل منابع آب استان یزد و تدوین چارچوبی برای شناسایی متغیرهای کلیدی و روابط ساختاری آن‌ها به اجرا درآمد.

این مطالعه با بهره‌گیری از رویکرد آینده‌پژوهی، روش دلفی و تحلیل ساختاری (MICMAC)، تلاش نمود تا

این تحلیل پتانسیل‌سنجی، اهمیت رویکرد پیش‌دستانه در تدوین سناریوها را دوچندان می‌کند، چرا که نشان می‌دهد سیستم در افق‌های محتمل، پتانسیل اثرپذیری بیشتری نسبت به محرک‌های بیرونی خواهد داشت.

شایان ذکر است که با وجود تأکید بر پایداری و پایداری ماتریس در بخش روش‌شناسی، این پایداری نمی‌تواند به‌تنهایی بیانگر حذف کامل عدم قطعیت‌های ناشی از ذهنی بودن داده‌ها باشد.

از آن‌جا که تمامی نمرات‌دهی بر پایه قضاوت خبرگان صورت گرفته است، امکان بروز سوگیری‌های شناختی یا تأثیرپذیری از تجارب فردی در فرآیند امتیازدهی وجود دارد. هرچند تلاش شد تا با ارائه گزارش‌های آماری و اجرای فرآیند ناشناس دلفی، این سوگیری‌ها به حداقل برسد، اما ماهیت کیفی و ذهنی داده‌ها، به‌عنوان یکی از

تصویری نظام‌مند (هرچند متأثر از عدم قطعیت‌های ذاتی آینده) از نیروهای پیش‌برنده و بازدارنده در سیستم آب استان ارائه دهد.

بر مبنای یافته‌های تحلیل ساختاری شاید بتوان گفت که سیستم منابع آب یزد، علی‌رغم پیوستگی روابط میان متغیرها، از نوعی بی‌ثباتی ساختاری رنج می‌برد؛ ناپایداری‌ای که به نظر می‌رسد ریشه در فقدان هماهنگی میان سه رکن کلیدی یعنی حکمرانی، کشاورزی و هیدروپلیتیک داشته باشد.

این سه متغیر بر اساس تحلیل‌های کمی، به‌عنوان پیشران‌های کلیدی سیستم شناسایی شدند و احتمال می‌رود هرگونه اصلاح در آن‌ها، بتواند اثرات زنجیره‌ای را به سمت سایر بخش‌ها سوق دهد.

با تحلیل روابط مستقیم و غیرمستقیم، چنین استنباط شد که حکمرانی یکپارچه، اگرچه در مرکز ثقل سیستم قرار دارد، اما خود به‌شدت تحت‌تأثیر متغیرهای کلان دیگر است؛ موضوعی که اهمیت بازنگری در استقلال عمل و هماهنگی بین بخشی در مدیریت آب را بیش از پیش برجسته می‌سازد. در مقابل، متغیر کشاورزی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب، نه یک بخش مجزا، بلکه نقطه تلاقی بسیاری از چالش‌های آبی یزد می‌باشد؛ به‌گونه‌ای که احتمال می‌رود بدون اصلاح الگوی کشت، اثرگذاری سایر راهکارها به شدت محدود شود. همچنین، هیدروپلیتیک به‌عنوان حلقه اتصال استان به ساختارهای ملی و بین‌استانی، نشان می‌دهد که امنیت آبی یزد را نمی‌توان صرفاً در مرزهای استانی تحلیل کرد و مدیریت تنش‌های منطقه‌ای را به یکی از متغیرهای کلیدی در تاب‌آوری سیستم تبدیل می‌کند.

از سوی دیگر، حضور متغیرهایی نظیر فرونشست در میان پیشران‌های اثرگذار، بیانگر آن است که برخی پدیده‌های زیست‌محیطی، اگرچه در نگاه اول معلول به‌نظر می‌رسند، اما می‌توانند به‌دلیل پیامدهای گسترده‌ی خود، بر پایداری سیستم تأثیر بگذارند.

این موضوع، اهمیت اتخاذ نگاهی سیستمی و غیرخطی به پدیده‌های محیطی را یادآور می‌سازد. همچنین بر اساس یافته‌های پژوهش چنین برآورد می‌شود که آینده منابع آب استان یزد، بیش از آن که به راهکارهای صرفاً فنی وابسته باشد، در گرو بازنگری در ساختار حکمرانی، تغییر الگوی کشاورزی و مدیریت فعال هیدروپلیتیکی است. این سه محور را می‌توان پیشران‌های کلیدی سیستم دانست که پتانسیل ایجاد تحول در روابط علی را دارند.

در نهایت، یافته‌های این پژوهش برای سیاست‌گذاران و مدیران ارشد استان یزد یک نقشه‌راه عملیاتی ارائه می‌دهد. بر اساس نتایج، سه حوزه‌ی راهبردی با قابلیت مداخله‌ی مستقیم قابل شناسایی است: (۱) اصلاح ساختار حکمرانی آب از طریق کاهش تعارضات بین‌بخشی میان وزارت نیرو و جهاد کشاورزی، تفویض اختیار به تشکلهای آب‌بران و شفاف‌سازی فرآیند تخصیص آب، (۲) بازنگری در الگوی کشاورزی با هدف کاهش ۸۹ درصد مصرف آب از طریق توسعه‌ی آبیاری نوین، جایگزینی محصولات کم‌آب‌بر و اعمال مشوق‌های اقتصادی برای کشاورزان، (۳) مدیریت فعال هیدروپلیتیکی از طریق پیگیری حق‌آبه‌ی استان در شورای عالی آب، انعقاد تفاهم‌نامه‌های پایدار با استان‌های مبدأ و ایجاد سازوکارهای پایش و شفاف‌سازی در تخصیص آب انتقالی.

اجرای هماهنگ این سه محور با مشارکت ذی‌نفعان، می‌تواند استان را به‌سوی پایداری نسبی سوق دهد، هرچند تحقق کامل آن نیازمند عزم سیاسی و پایش مستمر است. با این حال، با توجه به ماهیت اکتشافی پژوهش و وجود عدم قطعیت، این یافته‌ها را می‌توان به‌عنوان یک نقشه‌راه احتمالی دانست که هرگونه مداخله بر اساس آن، نیازمند رویکردی انعطاف‌پذیر، پایش مستمر و مشارکت فعال ذی‌نفعان در مواجهه با تغییرات احتمالی آینده است.

منابع

Adami, A., & Shokri, M. (2022). Iran's role in Iraq's geopolitical energy outlook. *International Quarterly of Foreign Relations*, 13(4), 755-784. [In Persian]

- Dehghan Dehnavi, E., Kheyroddin, R., & Kalhor, M. (2025). Assessing water resources resilience through underground water and surface-water and urban function analysis in Yazd-Ardakan Plain, Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13762-025-06539-6>.
- Farhaza, Mohammad Navid; Nazari, Bijan; Niko, Mohammad Reza. (2024). Systematic investigation of the range of factors affecting water productivity in arid and semi-arid regions in order to reduce water consumption: a meta-synthesis study. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 18(4), 603-617. [In Persian]
- Fathi, Fatemeh; Sheikh Zainuddin, Azar; Farajzadeh, Zakaria. (2014). Optimization of Iran's red meat import and production with emphasis on water resources sustainability. *Agricultural Economics and Development*, 30(117), 29-56. <https://doi.org/10.30490/AEAD.2022.353102.1294> [In Persian]
- Fattahzadeh, Yalda; Salehi, Esmaeil; Khasto. (2024). Identification and analysis of key drivers affecting sustainable tourism development with a futures research approach (Case study: Gilan Province), *Haft Hesar Environmental Studies*, 13 (48), 87-104. [In Persian]
- Hafeznia; Mohammad Reza. (2022). *Principles and concepts of geopolitical*. Popli Publications. Mashhad. [In Persian]
- Haji Ghadiri, Shirin; Goodarzi, Gholamreza. (2022). Future scenarios of water crisis on the horizon of 2050. *Strategic Management and Futures Studies*, 5(1), 1-19. [In Persian]
- Hosseini, Seyed Mohammad; Khoramabadi, Farahnaz; Zolfagharzadeh, Saeed. (2024). Climatology of arid and semi-arid regions of central Iran. *Geography and Human Relations*, 7(1), 498-517. <https://doi.org/10.22034/GAHR.2024.435076.2028>. [In Persian]
- Goodarzi, M. R., Sabaghzadeh, M., & Niknam, A. R. (2025). The relationship between land subsidence and water use in Yazd-Ardakan plain using Sentinel-1 images. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 25(76), 144-161. <http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.76.13>. [In Persian]
- Ishak, A. F., Lee, W. K., & Lim, F. H. (2024). Comparative study on the application of water resources index for a highly-regulated urbanized basin. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3955718/v1>
- Jetoo, S., Thorn, A., Friedman, K., Gosman, S., & Krantzberg, G. (2015). Governance and geopolitics as drivers of change in the Great Lakes–St. Lawrence basin. *Journal of Great Lakes Research*, 41, 108-118. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2014.11.011>
- Liu, Y., Zeng, Z., Lai, C., He, S., Jiang, J., & Wang, Z. (2025). Attribution and scarcity analysis of blue Afshari, A. R. (2019, July). *Using the Delphi method for futures studies*. In Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Pilsen, Czech Republic, July (pp. 23-26).
- Akabari Tafti, Mehdi; Dehghan Khavari, Saeed; Fatemi, Mehran. (2019). Investigating the impact of economic and social factors on urban water demand in Yazd province with emphasis on the migration process. *Water and Sustainable Development*, 7(3), 46-37. <http://doi.org/10.22067/jwsd.vi3.86531>. [In Persian]
- Amighpey, M., Arabi, S., & Talebi, A. (2010). Investigating Yazd land subsidence using radar interferometry and precise leveling. *Earth Sciences*, 20(77), 157-164. [In Persian]
- Annabestani, Ali Akbar; Hosseini, Seyedeh Parvin. (2021). Analysis of key drivers affecting the acceptance of community-based tourism in rural settlements with a futures research approach. Case study: Shirvan County, *Geography and Development*, 19 (65), 202-171. <https://dx.doi.org/10.22111/j10.22111.2021.6531>. [In Persian]
- Bahrami Jaf, Sajid; Janparvar, Mohsen; Soltani, Naser; Mohammadpour, Ali. (2023). Theoretical explanation of effective components in geopolitical relations and presentation of a proposed model. *Human Geography Research*, 55(3), 241-225. <http://doi.org/10.22059/JHGR.2022.343168.1008489>. [In Persian]
- Beheshti, Mohammad Bagher; Behboudi, Davud; Zali, Nader; Ahmadzadeh Deljavan, Fahimeh. (2020). Scenarios for Water Resources Management Based on a Futures Approach: A Case Study of Tabriz County. *Iranian Futures Studies*. 5(2), 228-201. <http://doi.org/10.30479/jfs.2020.12446.1150>. [In Persian]
- Behzadi, Sedighe; Rahnema, Mohammad Rahim; Javan, Jafar; Annabestani, Ali Akbar. (2018). Identification of key factors affecting tourism development with a futures research approach (Case study: Yazd Province). *Geographical Studies of Arid Regions*, 9(33), 52-37. [In Persian]
- Bonyad, Leili; Zare Shahabadi, Akbar; Parsamehr, Mehraban. (2022). Pathology of water governance in Yazd, *Water and Sustainable Development*, 9(3), 57-72. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v9i3.2204.1137>. [In Persian]
- Cosgrove, W. (2013). Water futures: the evolution of water scenarios. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(6), 559-565. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.10.001>.
- Dastorani, M. T., Massah Bavani, A. R., Poormohammadi, S., & Rahimian, M. H. (2011). Assessment of potential climate change impacts on drought indicators (Case study: Yazd station, Central Iran). *DESERT*, 16, 159-167. <http://doi.org/10.3390/w7031264>

- growth and climate change on the freshwater resources of Lamu Island, Kenya. *Water*, 7(3), 1264-1290.
- Omidvar, K., Sadat Tabatabaei, M., & Toufani Koopae, H. (2025). Land subsidence detection using Sentinel-1 satellite images (Case study: Northern basin of Yazd-Ardakan plain). *Geographical Explorations of Desert Areas*, 13(2), 20-35. <https://doi.org/10.22034/grd.2026.23972.1680>. [In Persian]
- Piri, Issa; Jalilian, Leya; Afzal, Zahra; Allahgholi Tabar-Nashli, Fatima. (2019). An analysis of the spatial distribution of citizen security in the cities of Yazd province. *Social Geography*, 6(2), 55-71. <http://doi.org/10.22103/JUSG.2019.1990>. [In Persian]
- Prabha, A. S., Ram, A., & Irfan, Z. B. (2020). Exploring the relative water scarcity across the Indian million-plus urban agglomerations: An application of the Water Poverty Index. *HydroResearch*, 3, 134-145. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2020.10.001>
- Rastad Borujeni, M., Shafiee-Masuleh, S. S., & Shafiee Masouleh, S. R. (2019). A study of the effects of lifestyle changes on urban trip generation with an approach to futures studies: A case study of Tehran region. *Journal of Regional and City Planning*, 30(3), 173-190. <https://doi.org/10.5614/jpwk.2019.30.3.1>
- Rezaei, M., & Alizadeh Shourki, Y. (2019). An analysis of population capacity and urban development with emphasis on the sustainability of water resources (Case study: Yazd city). *Human Geography Researches*, 51(2), 307-322. <https://doi.org/10.22059/jhgr.2017.222203.1007355> [In Persian]
- Saeedi, R., Sadeghi, S., Massoudinejad, M., Oroskhan, M., Mohagheghian, A., Mohebbi, M., & Abtahi, M. (2024). Assessing drinking water quality based on water quality indices, human health risk, and burden of disease attributable to heavy metals in rural communities of Yazd County, Iran, 2015-2021. *Heliyon*, 10, e33984. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33984>
- Sedighi Moghaddam, Mohsen; Hosseini, Seyyed Mohammad; Farajollah Hosseini, Seyyed Jamal. (2021). Identifying management strategies for sustainable water exploitation from canals in Yazd province, Iran. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 52(4), 837-849. <https://doi.org/10.22059/IJAEDR.2021.320087.669019>. [In Persian]
- Sohrab Asgari. (2023). The role of Afghanistan in changing the status of Helmand from hydropolitics to geopolitics, *Political Planning of Space*, 5(3), 357-336. <https://doi.org/10.26455145.2023.5.3.5>. [In Persian]
- and green water resources in a river basin under climate and environmental change. *Ecological Indicators*, 175, 113574. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113574>
- March, H., Therond, O., & Leenhardt, D. (2012). Water futures: Reviewing water-scenario analyses through an original interpretative framework. *Ecological Economics*, 82, 126-137. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.07.006>
- Mehrabi, Mehrab; Ansari, Majid; Rafiiian, Mohsen. (2023) Future study of the historical fabric of Yazd city based on the drivers of sustainability of the World Heritage, *Journal of Urban Studies*, 12(46), 102-89. <http://doi.org/10.34785/J011.2020.012>. [In Persian]
- Migardi, Moein. (2026). Investigating the relationship between marketing orientation and increasing competitiveness in the tile and ceramic industry (case study of the tile and ceramic industry in Yazd province), *Smart Marketing Management*, 7(1), 458-446. <https://doi.org/10.3215564.654985.41517>. [In Persian]
- Moalem, Azad; Ghorbaniazadeh, Vajhollah. (2025). Identifying the causes of the failure to achieve the economic indicators of the Fifth Plan of Yazd province. *Development and Resource Management Studies*, 3(11), 90-77. <http://doi.org/10.82430/jdsrm.2025.1213056>. [In Persian]
- Mohebbi, H., Ansari Samani, H., & Haj Amini, M. (2019). Analysis of water consumption status in the industries of Yazd province. *Investigation of Iranian Economic Issues*, 6(2), 175-193. [In Persian]
- Mojtahedzadeh, Pirouz. (2023). *Political Geography and Geographical Policy*. Samt Publications. Tehran. [In Persian]
- Mousavi Shahidi, Seyyed Mehdi; Zarei, Bahadur; Pishgahi Fard, Zahra; Badiei Azandahi, Marjan; Vathiq, Mahmoud. (2021). Theoretical explanation of the contexts and grounds of geopolitical relations and presentation of a proposed model. *Human Geography Research*, 53(3), 811-832. <http://doi.org/10.22059/jhgr.2020.290878.1008024>. [In Persian]
- Nasri Fakhr Davoud, Sedighe. (2024). Analysis of superior documents and government regulations in defining the water issue in Iran. *Politics*, 54(1), 123-149. <https://doi.org/10.22059/JPQ.2024.369459.1008144> [In Persian]
- Niknam, A., Khademi Zare, H., Hosseininassab, H., & Mostafaeipour, A. (2023). Developing an LSTM model to forecast the monthly water consumption according to the effects of the climatic factors in Yazd, Iran. *Journal of Engineering Research*, 11, 100028. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.100028>
- Okello, C., Tomasello, B., Greggio, N., Wambiji, N., & Antonellini, M. (2015). Impact of population

- March, H., Therond, O., & Leenhardt, D. (2012). Water futures: Reviewing water-scenario analyses through an original interpretative framework. *Ecological Economics*, 82, 126-137. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.07.006>
- Mehrabi, Mehrab; Ansari, Majid; Rafiian, Mohsen. (2023) Future study of the historical fabric of Yazd city based on the drivers of sustainability of the World Heritage, *Journal of Urban Studies*, 12(46), 102-89. <http://doi.org/10.34785/J011.2020.012>. [In Persian]
- Migardi, Moein. (2026). Investigating the relationship between marketing orientation and increasing competitiveness in the tile and ceramic industry (case study of the tile and ceramic industry in Yazd province), *Smart Marketing Management*, 7(1), 458-446. <https://doi.org/JABM.3.2.15564.654985.41517>. [In Persian]
- Moalem, Azad; Ghorbaniazadeh, Vajhollah. (2025). Identifying the causes of the failure to achieve the economic indicators of the Fifth Plan of Yazd province. *Development and Resource Management Studies*, 3(11), 90-77. <http://doi.org/10.82430/jdsrm.2025.1213056>. [In Persian]
- Mohebbi, H., Ansari Samani, H., & Haj Amini, M. (2019). Analysis of water consumption status in the industries of Yazd province. *Investigation of Iranian Economic Issues*, 6(2), 175-193. [In Persian]
- Mojtahedzadeh, Pirouz. (2023). *Political Geography and Geographical Policy*. Samt Publications. Tehran. [In Persian]
- Mousavi Shahidi, Seyyed Mehdi; Zarei, Bahadur; Pishgahi Fard, Zahra; Badiei Azandahi, Marjan; Vathiq, Mahmoud. (2021). Theoretical explanation of the contexts and grounds of geopolitical relations and presentation of a proposed model. *Human Geography Research*, 53(3), 811-832. <http://doi.org/10.22059/jhgr.2020.290878.1008024>. [In Persian]
- Nasri Fakhr Davoud, Sedighe. (2024). Analysis of superior documents and government regulations in defining the water issue in Iran. *Politics*, 54(1), 123-149. <https://doi.org/10.22059/JPQ.2024.369459.1008144> [In Persian]
- Niknam, A., Khademi Zare, H., Hosseininasab, H., & Mostafaeipour, A. (2023). Developing an LSTM model to forecast the monthly water consumption according to the effects of the climatic factors in Yazd, Iran. *Journal of Engineering Research*, 11, 100028. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.100028>
- Okello, C., Tomasello, B., Greggio, N., Wambiji, N., & Antonellini, M. (2015). Impact of population growth and climate change on the freshwater resources of Lamu Island, Kenya. *Water*, 7(3), 1264-1290.
- Omidvar, K., Sadat Tabatabaei, M., & Toufani Koopae, H. (2025). Land subsidence detection using Sentinel-1 satellite images (Case study: Northern basin of Yazd-Ardakan plain). *Geographical Explorations of Desert Areas*, 13(2), 20-35. <https://doi.org/10.22034/grd.2026.23972.1680>. [In Persian]
- Piri, Issa; Jalilian, Leya; Afzal, Zahra; Allahgholi Tabar-Nashli, Fatima. (2019). An analysis of the spatial distribution of citizen security in the cities of Yazd province. *Social Geography*, 6(2), 55-71. <http://doi.org/10.22103/JUSG.2019.1990>. [In Persian]
- Prabha, A. S., Ram, A., & Irfan, Z. B. (2020). Exploring the relative water scarcity across the Indian million-plus urban agglomerations: An application of the Water Poverty Index. *HydroResearch*, 3, 134-145. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2020.10.001>
- Rastad Borujeni, M., Shafiee-Masuleh, S. S., & Shafiee Masouleh, S. R. (2019). A study of the effects of lifestyle changes on urban trip generation with an approach to futures studies: A case study of Tehran region. *Journal of Regional and City Planning*, 30(3), 173-190. <https://doi.org/10.5614/jpwk.2019.30.3.1>
- Rezaei, M., & Alizadeh Shourki, Y. (2019). An analysis of population capacity and urban development with emphasis on the sustainability of water resources (Case study: Yazd city). *Human Geography Researches*, 51(2), 307-322. <https://doi.org/10.22059/jhgr.2017.222203.1007355> [In Persian]
- Saeedi, R., Sadeghi, S., Massoudinejad, M., Oroskhan, M., Mohagheghian, A., Mohebbi, M., & Abtahi, M. (2024). Assessing drinking water quality based on water quality indices, human health risk, and burden of disease attributable to heavy metals in rural communities of Yazd County, Iran, 2015-2021. *Heliyon*, 10, e33984. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33984>
- Sedighi Moghaddam, Mohsen; Hosseini, Seyyed Mohammad; Farajollah Hosseini, Seyyed Jamal. (2021). Identifying management strategies for sustainable water exploitation from canals in Yazd province, Iran. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 52(4), 837-849. <https://doi.org/10.22059/IJAEDR.2021.320087.669019>. [In Persian]
- Sohrab Asgari. (2023). The role of Afghanistan in changing the status of Helmand from hydropolitics to geopolitics, *Political Planning of Space*, 5(3), 357-336. <https://dori.net/dor/20.1001.1.26455145.2023.5.3.5.6>. [In Persian]
- Statistical Yearbook of Yazd Province (2022) [In Persian]
- Taheri Demneh, Mohsen; Kazemi, Masoumeh; Safari Gharibvand, Khosrow. (2022). Foresight of the Water Issue in Isfahan. *Sustainable City Journal*

5(4), 71-53.
<http://doi.org/10.22034/JSC.2022.284684.1463>. [In Persian]
 Taheri, Ebrahim. (2023). Geopolitics and the manifestations of strategic competition between Iran and Pakistan in Afghanistan (2001-2021). *World Politics*, 12(3), 134-113.
<http://doi.org/10.22124/wp.2023.24328.3179>. [In Persian]
 Talebi, Ali; Karimi, Zeinab. (2023). Providing management responses in line with the strategy to improve the water resources of the Zayandeh-Rood watershed. *Comprehensive Watershed Management*, 3(4), 47-19.
<https://doi.org/10.22034/IWM.2023.2013798.1110>. [In Persian]
 Talebi, Mohammad Sadegh., & Fatemi, Mehran. (2020). Assessment of the quality and quantity of groundwater in Bahadoran Plain using neural network methods, geostatistical and multivariate statistical analysis. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 7(2), 144-151.
 Talebi, M. S., & Hashemi, S. R. (2025). Resilience assessment of drinking water resources in Yazd city using the Delphi method. *Water Resources and Climate Change*, 1(3), 13-22.
<http://doi.org/10.22091/wrcc.2025.13149.1017>. [In Persian]
 Talebi, M. S., & Hashemi, S. R. (2026). Investigating the status of precipitation, water resources, and food security in Yazd province. *Water Resources and Climate Change*, 2(1), 25-36.
<https://doi.org/10.22091/wrcc.2026.14740.1030>. [In Persian]
 Virta, L., & Räisänen, R. (2021). Three futures scenarios of policy instruments for sustainable textile production and consumption as portrayed in the Finnish news media. *Sustainability*, 13(2), 594.
<https://doi.org/10.3390/su13020594>
 Yaraghi Fard, Mehdi. & Shokoohi Bidhendi, Mohammad Saleh. (2025). Future study of water resources resilience with a scenario-based planning approach (case study: Zayandeh Rood watershed). *Water management modeling and Soil*, 5(3), 19-1.
<http://doi.org/10.22098/mmws.2024.15086.1460>. [In Persian]
 Zargham, Hamid; Asadi Zarch, Mohammad Reza. (2024). Future study of rural tourism destinations, a key element in the development of rural tourism in Yazd province (Case study: Saryazd village). *Rural Research*, 15(2), 297-282.
<http://dx.doi.org/10.22059/jrrr.2024.360580.1843>. [In Persian]
 Zhong, R., Chen, A., Zhao, D., Mao, G., Zhao, X., Huang, H., & Liu, J. (2023). Impact of international trade on water scarcity: An assessment by improving the Falkenmark indicator. *Journal of Cleaner Production*, 385, 135740.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135740>

Zinati Fakhrabad, Mohammad Mehdi; Asgari Moghadam, Mustafa. (2021). Future study of the security consequences of the water resources crisis in the border areas of Iran. *Geography and Human Relations*, 4(3), 1-17.
<https://doi.org/10.22034/gahr.2021.301648.1602>. [In Persian]