Irrigation and Drainage Structures Engineering Research

Vol.26, No.100, Autumn, 2025, P. 75-104

Review Paper

Systems Thinking: The Missing Paradigm in Water Management in Iran

Nader Abbasi[1]✉

1- Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

(✉ **Corresponding Author**: n.abbasi@areeo.ac.ir)

A R T I C L E. I N F O

Received: 5 January 2026
Revised: 9 February 2026
Accepted: 10 February 2026
Available Online:24 February 2026 2

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Abbasi, N (2026). Systems Thinking: The Missing Paradigm in Water Management in Iran. V.26, No.100, P: 75-104

https://doi.org/ 10.22092/idser.2026.367811.1638

Extended Abstract

Introduction

The accelerated and multidimensional growth of the contemporary world in both technical and social domains has significantly increased the complexity of human interactions—among individuals and with nature. Consequently, the concept of development, once primarily examined through an engineering lens, has evolved into a comprehensive paradigm encompassing technological, economic, social, political, environmental, and governance dimensions (Rosely and Voulvoulis, 2024). This paradigm emphasizes equity and sustainability, particularly the resilience of ecosystems. In domains such as water resource management, where human needs and behaviors intersect with ecological requirements and the carrying capacity of nature, this shift in perspective assumes heightened importance. Systems thinking offers a holistic framework that conceptualizes issues as interconnected systems. It accounts for the interactions among components, the multi-causality of events, foresight, dynamism, and the outcome-oriented nature of actions, while integrating technical, environmental, and social considerations. Although the importance of systems thinking in managing the complexities facing the world has now become apparent and has been more or less noticed in recent years, it is still in the educational and cultural stages, and its application to various issues has not been fully operationalized (Ross and Wade, 2024). Therefore, it seems that it is very necessary to explain the necessity and importance of this approach in solving today's complex problems, including water resources management, especially in Iran. This article attempts to briefly introduce the principles and foundations of the system and systems thinking, mention some global experiences, explain its role and position in the management and engineering of Iranian water resources, and present strategies and suggestions in this regard.

Methodology

This study begins by reviewing the complexities of contemporary phenomena, with particular emphasis on water management. It then outlines the principles and foundations of systems thinking, highlighting the necessity of adopting systems thinking approaches in water management and engineering. Subsequently, it introduces methods and tools for systemic analysis of water resources and presents selected global experiences in applying this approach. The analysis then turns to Iran's water resources, employing the iceberg model as a systems tool. Within this framework, water-related challenges are examined across four conceptual layers: events, patterns, structures, and mental models, with illustrative examples provided at each level as follows (Senge, 1990; McLean *et al*., 2019; Kim, 1994).

- **Events** include phenomena such as the sharp decline in dam and well water levels, the reduction of potable water reserves, the drying of wetlands and rivers, the occurrence of land subsidence, the deterioration of water quality, the decline in agricultural production, and the intensification of social and security tensions.

- **Patterns** encompass recurring trends such as declining groundwater levels, rising salinity of water and soil, shifts in climatic indicators (temperature and precipitation), expansion of cultivated land and water consumption, and the growth of supply-driven activities.
- **Structures** refer to institutional and policy-related issues, including the multiplicity of water authorities, inefficiencies in allocation systems, subsidy and export policies, weaknesses in legislation, and the predominance of structural (engineering) solutions.
- **Mental models** capture underlying beliefs and assumptions, such as the absence of systemic thinking, the perception of water resources as inexhaustible, prioritization of sectoral and regional interests, and the pursuit of production irrespective of land-use planning and water availability. These factors are identified as root causes of structural inefficiency, reinforcing problematic trends and triggering adverse events.

Results

Studies on Iran's water resources show that the country's water crisis is no longer merely a scientific warning. Its symptoms—such as water scarcity, land subsidence, and the drying of dams, wells, wetlands, and rivers—are now visible to everyone. The situation has moved beyond abstract indicators and has become a serious issue with social, economic, and even security implications. The analysis conducted in this study using the Iceberg Model indicates that although natural and climatic factors contribute to the crisis, the core of the problem lies in water management practices, institutional structures, and development mindsets shaped over recent decades. Water management in Iran has largely focused on maximizing extraction, and the absence of a systems thinking in policymaking has led to the challenges we face today. Many current events stem from repetitive patterns and fragmented decision-making in the past, whereas sustainable water management requires a comprehensive, forward-looking approach that recognizes the interactions and mutual impacts among different components of the system. Furthermore, the paper proposes solutions tailored to each layer, prioritized from the deepest level upward: reforming beliefs and rethinking mental models, restructuring institutions and governance, and implementing adaptive, preventive, and remedial measures. Finally, the transition from traditional approaches to systems thinking is proposed as the fundamental step and the cornerstone of any effective and sustainable reform across all layers.

Conclusion

The analysis also shows that addressing Iran's water crisis requires looking beyond surface-level symptoms and focusing on the deeper structural and cognitive roots of the problem. This means that merely changing policies or launching new projects will not be sufficient. Instead, fundamental shifts in values, mindsets, and institutional structures are necessary. Without transformation at these deeper levels, resolving the water crisis will not be possible. Furthermore, considering the points discussed, it can be concluded that Iran's water crisis is a multidimensional national challenge, and the most fundamental step is shifting from fragmented, sector-based thinking to a holistic, systems-thinking approach. Global experiences show that systems thinking in water resources management provides a comprehensive framework that, through integrated and basin-level management, stakeholder and local community participation, the use of systemic analytical tools, and attention to social and ecological resilience, enables participatory decision-making and sustainable policymaking. Given these experiences and the current conditions of water resources—especially in arid and semi-arid regions—it is clear that transitioning from sectoral and infrastructure-focused management to a system-based approach is not merely an option but a vital necessity for ensuring the long-term sustainability of water resources.

Keywords: Water governance, System dynamics, Integrated water management, Water crisis

Acknowledgement

The author would like to thank all referees of the present study.

Conflict of Interest

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

Funding

The authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Data Availability Statements

The datasets generated and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Author contribution

The author has read and agreed to the published version of the manuscript.

© 2026,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

https://doi.org/ 10.22092/idser.2026.367811.1638

تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی /دوره ۲۶/شماره ۱۰۰/ پاییز ۱۴۰۴/صفحه ۱۰۴ - ۷۵

نوع مقاله: علمی مروری

تفکر سیستمی؛ پارادایم مفقوده در مدیریت آب ایران

نادر عباسی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۵ | تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۲۰ | تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۲۱ | تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۰۵

چکیده

رشد پرشتاب و چندبعدی جهان معاصر در عرصه‌های فنی و اجتماعی موجب افزایش پیچیدگی در روابط و تعاملات انسان با یکدیگر و با طبیعت شده است. از این رو، مفاهیم توسعه که در گذشته عمدتا از دریچهٔ مهندسی نگریسته می‌شد، در جهان امروز به دیدگاهی جامع شامل ابعاد فناوری، اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، زیست‌محیطی و حاکمیتی و به شیوه‌ای عادلانه‌تر و با رویکرد پایداری اکوسیستم در حال تغییر است. در مسائلی مانند مدیریت منابع آب که هم با نیازها و نوع رفتار انسان ها و هم با نیازهای بوم‌شناختی و ظرفیت طبیعت مرتبط است، این تغییر نگرش و رفتار جایگاه و اهمیت بیشتری دارد. تفکر سیستمی رویکردی است کل نگر که مسائل را در قالب یک سیستم و با توجه به تعامل و ارتباط بین اجزا، چند علیتی بودن وقایع، دوراندیشی، پویایی و پیامد محور بودن اقدامات به‌صورت جامع و در نظر گرفتن جنبه های مختلف فنی، زیست محیطی، و اجتماعی بررسی می‌کند. در این نوشتار ضمن مرور پیچیدگی‌ها، به ویژه در حوزهٔ مدیریت آب، برخی اصول و مبانی سیستم‌ها و تفکر سیستمی تشریح شده و ضرورت توسعهٔ دیدگاه و تغییر نگرش به سمت سیستمی در حوزهٔ مدیریت و مهندسی آب به‌میان آمده است. روش‌ها و ابزارهای مورد استفاده برای تحلیل سیستمی منابع آب معرفی و برخی تجربیات جهانی در خصوص استفاده از این رویکرد ارائه شده است. وضعیت منابع آب ایران با بهره‌گیری از مدل کوه یخی به‌عنوان یکی از ابزارهای سیستمی بررسی و تحلیل شده است. بر این اساس، مسائل آب ایران منطبق با لایه های مدل مفهومی کوه یخی در چهار سطح رخدادها، روندها، ساختارها و مدل‌های ذهنی تحلیل گردیده و مصادیقی متناسب با هر لایه معرفی شده است. در سطح رخدادها، پدیده‌هایی مانند کاهش شدید آب سدها و چاه ها، کاهش ذخایر آب آشامیدنی، خشک شدن برخی تالاب ها و رودخانه ها، پدیدهٔ فرونشست، زمین، کاهش کیفیت منابع آب، کاهش تولید محصولات کشاورزی و افزایش تنش‌های امنیتی و اجتماعی مورد توجه قرار گرفته‌اند. در سطح روندها الگوهای تکرارشونده‌ای مانند روند نزولی سطح آب زیرزمینی، روند صعودی شوری آب و خاک، تغییر شاخص‌های اقلیمی مانند دما و میزان بارندگی، افزایش سطح کشت و مصارف آب، و رشد فعالیت‌های عرضه‌محور تحلیل شده‌اند. در سطح ساختارهای نهادی مواردی از قبیل تعدد دستگاه‌های متولی آب، ناکارآمدی نظام تخصیص آب، سیاست‌های یارانه‌ای و صادراتی، ضعف قوانین و مقررات و ناکارآمدی قوانین موجود و تمرکز بر راه‌حل‌های سازه‌ای معرفی شداند. در سطح مدل‌های ذهنی و باورها مواردی مانند نبود تفکر سیستمی، باور به بی‌پایانی منابع آب، تقدم منافع بخشی و منطقه‌ای، و تفکر تولید بیشتر و در هرجا بدون توجه به آمایش سرزمین و آب به عنوان عوامل و دلایل اصلی ناکارآمدی ساختاری و تسهیل روندها و بروز رویدادها شناسایی و معرفی شده‌اند. در ادامه راهکارهایی با ماهیت های مختلف و متناسب با مصادیق هر لایه به ترتیب اولویت از عمیق‌ترین سطح مشتمل بر؛ اصلاح باورها و بازاندیشی مدل‌های ذهنی، اصلاح ساختارهای نهادی و حکمرانی، اقدامات تطبیقی و پیشگیرانه، و علاج بخشی و اصلاحی ارائه شده است. سرانجام اینکه تغییر نگرش از جزئی‌نگری و بخشی‌نگری به تفکر سیستمی به عنوان اصلی ترین راهکار، و اساس هرگونه اصلاح اثربخش و پایدار در سایر لایه‌ها پیشنهاد شده است.

واژه‌های کلیدی: حکمرانی آب، پویایی سیستم، مدیریت یکپارچه، وضعیت بحرانی آب

[۱] استاد، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

(✉نویسنده مسئول: Email: n.abbasi@areeo.ac.ir)

مقدمه

نگاهی به گذشته و تاریخ کهن کشور نشان می‌دهد که سرزمین ایران با وجود برخورداری از تنوع آب‌وهوایی و منابع طبیعی سرشار، به دلیل آنکه در منطقه‌ای با اقلیم خشک و نیمه خشک قرار گرفته در سالیان متمادی خشکسالی‌های متناوب و گسترده‌ای را از سر گذرانده است. آثار این خشکسالی‌ها در سنت‌ها و فرهنگ گذشتگان و سیاست‌گذاری‌ها و تدوین قوانین کاملاً مشهود است. در گذشته برای تعدیل مشکلات ناشی از محدودیت منابع آب و خشکسالی‌ها، ابتکارها و ابداع‌های گوناگونی در زمینهٔ بهره‌برداری از منابع آب های سطحی و زیرزمینی در ابعاد سازه‌ای و مدیریتی صورت گرفته است. واژه هایی چون قنات یا کاریز، آب انبار، بند، جوی، مادی، میراب که از زمان ایران باستان تاکنون رایج هستند گواه معتبری است بر هنر و هوشمندی ایرانیان در مدیریت منابع و مصارف آب از جمله بر کاهش هدر رفت، استحصال آب و نظام تخصیص و بهره برداری از آب. با این حال، در گذشته برداشت از منابع و ذخایر آبی کشور متناسب با نیاز آن روز و آب در دسترس بوده است و اغلب رویکردهای مواجهه با خشکسالی و کم آبی، با توجه به امکانات و سطح فناوری محدود، بسیار خردمندانه و سازگار با شرایط اقلیمی بوده است. با رشد و توسعهٔ جوامع بشری و افزایش جمعیت، ضرورت تامین غذای بیشتر و نیازهای ناشی از صنعتی شدن و تغییر الگوی زندگی، تقاضا برای مصرف بیشتر آب در بخش های مختلف کشاورزی، شرب، صنعت، تاسیسات شهری، بهداشت و سایر بخش‌های نوظهور افزایش چشمگیری داشت. در چند دههٔ اخیر علاوه بر عامل "خواستن" که ناشی از افزایش نیاز و تقاضاهای اجتناب ناپذیر برای آب بیشتر بود، با رشد و توسعه فناوری عامل "توانستن" نیز برای برداشت بیشتر آب از منابع سطحی و زیرزمینی در هر زمان و از هر مکان و عمقی فراهم شد. با فراهم بودن شرایط، برداشت آب از منابع به ویژه از منابع آب های زیرزمینی بدون توجه به توان اکولوژیک و پایداری سیستم و بدون آینده نگری و پیامدسنجی، رشد فزاینده ای گرفت که استمرار آن تا به امروز موجب افت کمّی و کیفی قابل توجه در وضعیت منابع آب ایران شده است. سرانه منابع تجدیدپذیر از حدود ۴۵۰۰ مترمکعب آب در سال (در چند دهه قبل)، امروزه در اغلب مناطق ایران به ویژه در فلات مرکزی به کمتر ۱۰۰۰ مترمکعب آب در سال کاهش یافته و شاخص برداشت از منابع آب تجدیدپذیر در کشور بسیار بیشتر از میزان متعارف و توصیه شده (۴۰ درصد) است. بطوریکه وضعیت منابع آب ایران بر اساس شاخص های بین المللی فالکن مارک و سازمان ملل متحد به ترتیب در شرایط "کمبود آب" و "تنش شدید آبی" گزارش شده است (Yazdanian and Mohammadjani, 2014). بسیار روشن است با وقوع خشکسالی‌ها و برداشت‌های بی‌رویه و نیز بروز مسائل نوظهور سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و اقلیمی طی سال های اخیر، وضعیت آب در ایران در حال حاضر بحرانی تر از سال‌های گذشته است و با ادامهٔ روند جاری در آینده بسیار بغرنج‌تر از حال نیز خواهد شد.

بررسی و ارزیابی رویدادهای چند دههٔ اخیر نشان می‌دهد شرایط نابسامان امروزی وضعیت منابع و مصارف آب کشور معلول عوامل متعددی است که برخی از آن‌ها ناشی از عوامل طبیعی و محیطی مانند خشکی و محدودیت های ذاتی آب، افزایش جمعیت و تقاضا در بخش‌های مختلف مصرف آب، تغییر اقلیم و خشکسالی‌هاست (که عمدتا خارج از حیطهٔ مدیریتی و تا حدودی اجتناب ناپذیر بوده‌اند)، و برخی نیز ناشی از عوامل مدیریتی یا انسان زاد بوده است. توسعهٔ نامتوازن زیرساخت‌ها نسبت به نیازها و ظرفیت اکولوژیک کشور، برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی، نبود تفکر کل نگر و یکپارچه در مدیریت منابع آب، عدم اجرای صحیح سیاست‌ها و قوانین مربوط به آب در کشور، ضعف نظارت بر اجرای سیاست‌ها و قوانین در حوزهٔ آب، توسعهٔ طرح‌های آبی بدون توجه به آمایش سرزمین و

ظرفیت‌های اکولوژیکی، حتی شیوهٔ مواجهه با عوامل محیطی و برخی شرایط سیاسی، اقتصادی و اجتماعی ایران و جهان، از مهم‌ترین موارد مرتبط با عوامل انسان زاد به شمار می‌روند. بنابراین، نقش و اهمیت عوامل انسانی و مدیریتی با برنامه ریزی ها و راهکارها و نیز راه مواجهه با عوامل طبیعی و محیطی در بروز مشکلات جاری منابع آب کشور بسیار روشن و پررنگ‌تر است. با نگاهی به تجربه‌های گذشته مشاهده می‌شود در سالیان اخیر در زمینهٔ مهندسی آب گام‌های زیادی برداشته شده و زحمات زیادی کشیده شده است ولی مبنای اغلب این گام‌ها و تصمیم‌ها جزئی‌نگری، بخشی نگری و تحلیل ناصحیح از اوضاع بوده است، و به همین دلیل نه تنها اثربخشی مطلوبی دیده نشده است، بلکه در بسیاری از موارد همین گام‌ها و تصمیم‌ها عامل و دلیل بروز وضعیت بحرانی کنونی آب نیز شده‌اند. در این میان نادیده انگاری نظم چرخه آب در طبیعت و ظرفیت محدود منابع آب و خاک، بیشتر از دیگر موارد نمود داشته و سایر عوامل نیز به نوعی متاثر از این نوع نگاه و باور بوده است.

بسیار روشن است که چرخهٔ آب در طبیعت فرآیندی است طبیعی و از مرزبندی‌های اداری، سیاسی و جغرافیایی در قالب سیستمی متشکل از اجزای مختلف با مرزهای مشخص به طور مستقل عمل می‌کند. بسته به مرزهای تعیین شده، زیر سیستم های بسیار متعددی نیز برای چرخه هیدرولوژیک آب قابل تعریف خواهد بود که هریک به عنوان یک سیستم منابع آب شناخته می شود. هر سیستم منابع آب می‌تواند فقط شامل زیرساخت‌ها و تجهیزات باشد، یا اینکه محیط طبیعی یا عناصر اجتماعی و انسان نیز می‌توانند به آن اضافه شوند (Grigg, 2024). این سیستم نیز مانند دیگر سیستم‌های طبیعی متشکل از اجزای متعدد و به هم وابسته و درهم تنیده است که مدیریت و حفاظت از آن مستلزم شناخت و درک صحیح از اجزای تشکیل دهنده و روابط علت و معلولی حاکم بین متغیرهای کلیدی آن سیستم است. در این میان، افزوده شدن مداخلهٔ بشر در چرخهٔ آب برای بهره برداری از آب با هدف‌های مختلف، اجزای سیستم و روابط بین آنها را پیچیده‌تر کرده است. بدیهی است مدیریت و برنامه‌ریزی برای چنین سیستم پویا و درهم‌تنیده ای که تمام اجزای آن در ارتباط و متاثر از یکدیگر هستند، مستلزم اتخاذ رویکردی متناسب و سازگار با ویژگی‌ها و رفتار آن سیستم، است. در این رویکرد کل‌نگر که تفکر سیستمی[1] هم یاد می‌شود، با اتکا به شناخت دقیق و صحیح تمام عوامل درونی و بیرونی مؤثر و توجه به اندرکنش و روابط علت و معلولی آنها، با رویکرد جامع مشتمل بر ترکیب و تجزیه و با اولویت ترکیب مورد بررسی قرار می‌گیرد. رویکردی که مدیریت منابع آب برای برآوردن نیازهای اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی فعلی و بدون به خطر انداختن توانایی برآوردن این نیازها در آینده در پیش خواهد گرفت نیازمند مدیرانی است که فراتر از مرزهای اداری و بدون توجه به نیازهای فوری و روزمره خود از منابع و محیط های آبی و اکوسیستم‌ها در برابر آلودگی و برداشت بیش از حد محافظت کنند و تغییرات ساختاری و راه‌حل‌های انعطاف‌پذیر را برای خدمات پایدار آب ارائه دهند (Rosely and Voulvoulis, 2024).

اهمیت تفکر سیستمی در مدیریت پیچیدگی‌های پیش روی جهان اکنون آشکار شده و طی سال های اخیر نیز کم و بیش مورد توجه بوده است، ولی این تفکر سیستمی هنوز در مراحل آموزشی و فرهنگ سازی قرار دارد و کاربرد آن در مسائل مختلف به‌طور کامل عملیاتی نشده است (Ross and Wade, 2024). از این‌رو به نظر می رسد تبیین ضرورت و اهمیت این رویکرد در حل مسائل پیچیدهٔ امروزی، از جمله مدیریت منابع آب به ویژه در ایران، بسیار ضروری است. در این نوشتار سعی شده است ضمن معرفی اجمالی اصول و مبانی سیستم و تفکر سیستمی و ذکر برخی تجربه‌های جهانی، نقش و جایگاه آن در مدیریت و مهندسی منابع آب

[1] Systems Thinking

ایران تبیین گردد و راهبردها و پیشنهادهایی نیز در این خصوص ارائه شود.

مبانی نظری و عملی تفکر سیستمی

مفاهیم سیستم

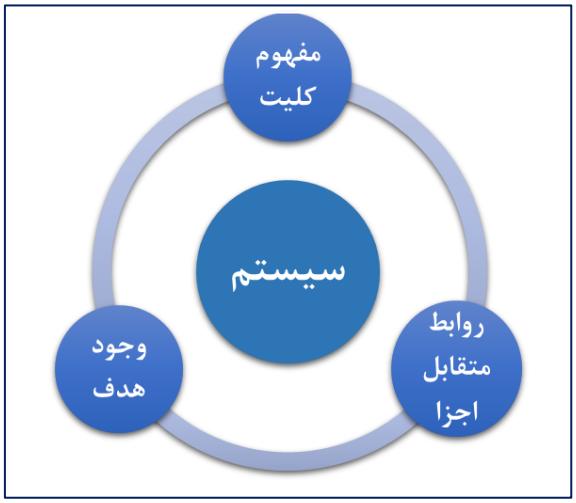
واژه "سیستم" ریشه در زبان یونانی دارد و به معنای دلیل قرارگرفتن اجزا در کنار یکدیگر است. در اصطلاح فنی، سیستم ترکیبی از اجزاست که برای رسیدن به هدفی مشترک با همدیگر تعامل دارند. در متون ادبی و فلسفی مختلف در دوره‌های گذشته، مفاهیم اولیه در خصوص سیستم با تعابیر مختلفی ارائه شده است. نظریهٔ وحدت در کثرت در اندیشه‌های هگل، ارسطو و مولانا به ویژه حکایت مشهور فیل مولانا و شواهد بیشماری از این دست، همگی بر توجه و تاکید فلاسفه غرب و عرفای ایرانی بر مفهوم سیستم دلالت دارند. با اینکه نظریهٔ سیستمی از ریشه‌های فلسفی در کل‌گرایی و جزءگرایی آغاز شده است ولی مفاهیم امروزی سیستم از قرن بیستم با نظریهٔ عمومی سیستم‌ها (برتالانفی[1]) و سایبرنتیک[2] (نوربرت وینر[3]) شکل علمی گرفت و سپس با کارهای جی فارستر[4] و راسل ایکاف[5] در دانشگاه MIT به‌عرصهٔ مدیریت و علوم اجتماعی وارد شده است (Faghihipour and Keshavarz, 2019). تاکنون نیز تعاریف مختلفی توسط محققان ارائه شده است. برای نمونه، پیتر سنگه (Senge, 1990) سیستم را ترکیبی از اجزا می‌داند با هدفی مشترک که آن اجزا برای نیل به آن هدف مشترک در ارتباط با یکدیگر قرار گرفته اند. سیستم مجموعه‌ای است به هم پیوسته از عناصر که به طور منسجم سازماندهی شده است تا به چیزی دست یابد (Meadows, 2008) .

در اغلب تعریف‌های ارائه شده توسط محققان طی سدهٔ اخیر سه مولفه اصلی برای سیستم مستتر و مورد تاکید است : مفهوم کلیت، وجود روابط متقابل، و علت معلولی بین اجزا برای تحقق هدفی مشترک شکل (۱). البته رشد سریع و شتاب‌زدهٔ جهان امروزی در تمام ابعاد اقتصادی، فناوری، اجتماعی و روابط متقابل بین ملت ها، موجب شده است تا اجزای سیستم ها بیشتر و فرآیند آنها پیچیده تر شود که این موضوع تعریف‌های جدیدتر از سیستم را می‌طلبد (Ross and Wade , 2015). در این میان، جامع‌ترین تعریف ارائه شده برای سیستم، تعریف راسل ایکاف (Ackoff, 1970) است. بر اساس این تعریف سیستم یک کلِ متشکل از دو جزء یا بیشتر است که دارای پنج شرط زیر باشد:

۱. هرسیستم یک کل است که نمی توان آن را به اجزای مستقل تقسیم کرد.
۲. هر جزء سیستم ویژگی‌هایی دارد که اگر از سیستم جدا شود آن ویژگی‌ها را از دست می دهد.
۳. هر سیستم ویژگی‌هایی دارد که در هیچ یک از اجزا به طور مستقل وجود ندارد.
۴. سیستم وقتی به اجزایی مستقل تقسیم شود، برخی از ویژگی‌های ضروری خود را از دست می‌دهد.
۵. اگر اجزای یک موجودیت با هم تعامل نداشته باشند یک مجموعه تشکیل می‌دهند نه یک سیستم.

طبق این تعریف، در سیستم جمع اجزای یک موجودیت برابر با خود آن نیست و به همین دلیل هر موجودیتی باید به عنوان یک کل مد نظر قرار گیرد.

[1] Ludwig von Bertalanffy
[2] cybernetics
[3] Norbert Wiener
[4] Jay Wright Forrester
[5] Russell Lincoln Ackoff



شکل ۱- عناصر اصلی یک سیستم

Fig.1- The main elements of a System

سیستم ها با تعابیر و تعریف‌های اشاره شده ویژگی‌ها و انواع متعددی دارند که اغلب بر اساس معیارها و دیدگاه‌های متنوع قابل طبقه بندی هستند. از انواع مختلف طبقه بندی سیستم ها می توان به این موارد اشاره کرد: باز و بسته (با توجه به محیط)، زنده و غیرزنده (حالت سیستم) ساده و پیچیده (با توجه به پیچیدگی مسئله) انطباق پذیر و انطباق ناپذیر (توانایی تغییر حالت)، گسسته و پیوسته (کیفیت تغییرحالات)، قطعی و احتمالی (میزان پیش‌بینی رفتار)، مانا و پویا (تغییرحالت در طول زمان)، انتزاعی یا عینی (ماهیت اجزا) و موارد متعدد دیگر. دامنهٔ تغییر انواع سیستم از یک وسیلهٔ مکانیکی متشکل از دو قطعهٔ کوچک تا سیستم جهان هستی گسترده است. بدن انسان یا هر موجود زنده دیگر، انواع وسایل مکانیکی یا الکترونیکی، خانواده، سازمان‌ها، جامعه، بازار، کشاورزی، وزارتخانه، مدرسه، حوضهٔ آبریز، جنگل، و موارد بیشمار دیگرنمونه هایی از یک سیستم هستند که هریک از آنها ضمن داشتن زیر سیستم‌های متعدد دیگر خود نیز زیر سیستم یک سیستم بالادستی است.

جهان هستی بزرگ‌ترین و منظم‌ترین سیستم است و تمام پدیده‌های موجود در آن به‌طور سلسله مراتبی زیر سیستم های آن عالم هستی به‌شمار می‌آیند. واژهٔ اکوسیستم نیز که کلافام[1] گیاه شناس انگلیسی در دههٔ ۱۹۳۰ برای نخستین بار معرفی کرد به روشنی به مفهوم سیستم در طبیعت اشاره دارد؛ او اکوسیستم را به‌این صورت تعریف می‌کند "مجموعه عناصر فیزیکی و عناصر زیستی که در کنار هم قرار می‌گیرند و در رابطه با یکدیگر یک سیستم را خلق می‌کنند". با تعابیر امروزی اکوسیستم (بوم‌سازگان) یک سیستم طبیعی شامل گیاهان، جانوران و میکروارگانیسم‌ها (مجموعهٔ موجودات زنده) است که در ناحیه‌ای مشخص با همهٔ عوامل و اجزای فیزیکی غیرزندهٔ محیط در تعامل هستند. یکی از مهم‌ترین بوم‌سازگان یا اکوسیستم‌های طبیعی، بوم‌سازگان آبی[2] است که به مجموعه‌ای از موجودات زنده (گیاهان، جانوران، میکروارگانیسم‌ها) و عوامل غیرزنده (آب، هوا، نور، مواد معدنی) در یک محیط آبی گفته می‌شود که با هم در تعامل هستند و چرخهٔ انرژی و مواد را شکل می‌دهند (Alexander,1999). در جهان دو گونهٔ اصلی از بوم‌سازگان آبی شامل بوم‌سازگان آب‌های شور (دریا و

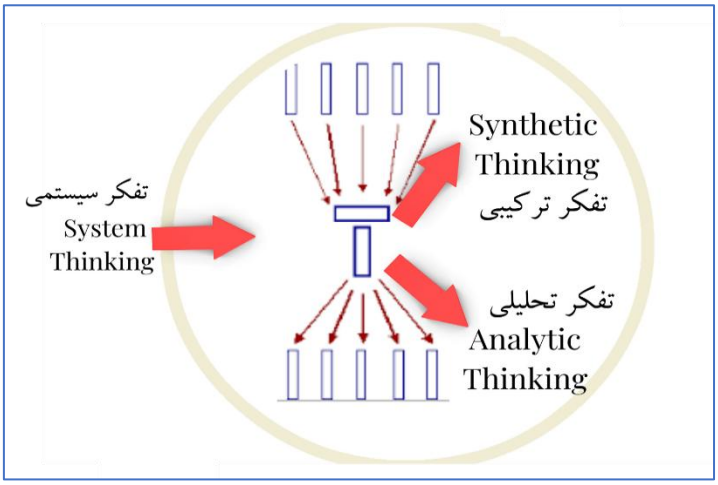
[1] Roy Clapham
[2] Aquatic Ecosystem

اقیانوس) و بوم‌سازگان آب‌های شیرین وجود دارد. اقیانوس‌ها، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و تالاب‌ها از مهم‌ترین بوم‌سازگان آبی هستند و هریک از آنها نیز زیر سیستم های متعددی دارد که مدیریت و بهره برداری از آنها مستلزم رعایت ویژگی‌های سیستمی آنهاست.

مفاهیم و ماهیت تفکر سیستمی

تفکر سیستمی، تفکری کل‌نگر و نوعی نگاه کلان به جهان هستی و پدیده‌های آن است. به بیانی دیگر، تفکر سیستمی چارچوبی نظام‌مند و روشی منطقی برای درک پیچیدگی‌ها و فهم کل سیستم و اجزای آن، روابط بین اجزا و کل و روابط بین کل با محیط آن است. در این رویکرد فکری، برای درک پیچیدگی‌های جهان و پدیده های آن، به جای تجزیهٔ مسئله یا سیستم به اجزای منفرد، آن مسئله یا سیستم در قالب یک کل و روابط میان اجزا بررسی می شود. تفکر سیستمی بر نحوهٔ ارتباط بین بخش‌های مختلف سیستم و نحوهٔ عملکرد سیستم‌ها طی زمان و در چارچوب سیستم های بزرگ‌تر تمرکز دارد تا مشکلات پیچیده با دیدن تصویر بزرگ‌تر، به جای اجزای جداگانه، درک و حل شود. با شناخت الگوها و وابستگی‌های متقابل، تفکر سیستمی به شناسایی علل ریشه‌ای مسائل، پیش‌بینی نتایج بالقوه و ابداع راه‌حل‌های مؤثرتر و پایدارتر کمک می‌کند. در تفکر سیستمی به جای تمرکز بر اجزای منفرد، بر الگوهای ارتباطی، بازخوردها و پویایی‌های درونی سیستم توجه می‌کند و تلاش دارد تصویری جامع از عملکرد آن ارائه دهد (Meadows, 2008).

ماهیت تفکر سیستمی، شناخت مبتنی بر تجزیه[1] (تحلیل) و ترکیب[2] به‌منظور دستیابی به درک کامل و جامع موضوع در محیط پیرامون خویش است شکل (۲). در دنیای پیچیدهٔ امروزی مسائل کلان تنها با تکیه بر تجزیه و تحلیل اجزای مستقل سیستم قابل حل نیستند. تحلیل (تجزیه) به تنهایی ویژگی‌های مهم سیستم را از بین می برد. دلیل این موضوع آن است که سیستم یک کل است با تحلیل (تجزیه) قابل درک نیست. ولی ترکیب که یکی از اصول بنیادین تفکر سیستمی است، با درک سیستم به عنوان یک کل یک‌پارچه این نقص را جبران می کند و برای تفکر سیستمی موضوعی است کلیدی. در واقع، در تفکر سیستمی تجزیه و ترکیب مکمل هم هستند و توصیه می شود که ترکیب پیش از تحلیل رخ دهد.



شکل ۲- ماهیت تفکر سیستمی مبتنی بر تجزیه و ترکیب(Parajapati, 2021)

Fig.2- The nature of systems thinking based on analysis and synthesis

[1] Analysis
[2] Synthesis

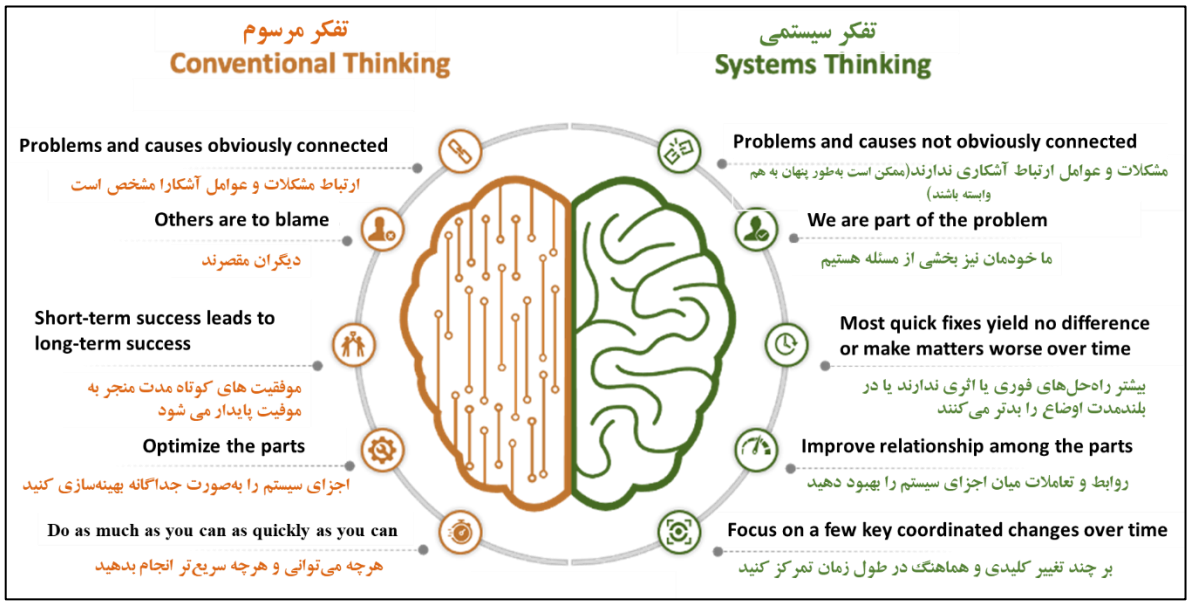
ویژگی های تفکر سیستمی

نگرش سیستمی مانند هر موضوع یا هر نظریه دارای اصول و ویژگی‌های خاصی است که توجه به آنها بسیار مهم و ضروری است. کل‌نگری، توسعهٔ دیدگاه از نظر زمانی و مکانی، تعامل و ارتباط بین اجزا، چند علیتی، دوراندیشی، پیامد محور بودن، و پویایی از مهم‌ترین اصول و ویژگی‌های تفکر سیستمی هستند. بر اساس اصل کل‌نگری، سیستم به‌عنوان یک کل یکپارچه دیده می‌شود و اجزای آن تنها در بستر روابط متقابل معنا پیدا می‌کنند. این ویژگی یادآوری می‌کند که تمرکز صرف بر اجزای منفرد می‌تواند باعث نادیده گرفتن پیامدهای کلان شود. ویژگی دیگر تفکر سیستمی، *بازخورد*[1] است که نشان می‌دهد رفتار سیستم‌ها طی زمان تحت تأثیر چرخه‌های مثبت و منفی قرار می‌گیرد. چرخه‌های مثبت می‌توانند تغییرات را تقویت کنند، در حالی که چرخه‌های منفی نقش تعدیل‌کننده دارند. درک این بازخوردها برای فهم پویایی‌های سیستم ضروری است (Senge, 1990). از دیگر ویژگی‌های این رویکرد می‌توان به وابستگی متقابل اجزا اشاره کرد. هیچ جزئی از سیستم به‌طور کامل مستقل نیست؛ عملکرد هر جزء به تعاملات آن با دیگر اجزا وابسته است. تفکر سیستمی به جای تمرکز بر رویدادهای منفرد، بر الگوها و ساختارهای بنیادین مولد رفتارهای سیستم توجه دارد. این نگاه کمک می‌کند تا به جای واکنش به نشانه‌های سطحی، به ریشه‌های عمیق‌تر مشکلات پرداخته شود. ویژگی مهم دیگرتفکر سیستمی تمرکز بر نقاط اهرمی[2] است؛ نقاطی که تغییر کوچک در آنها می‌تواند اثرهای بزرگی بر کل سیستم داشته باشد. این مفهوم به‌ویژه در سیاست‌گذاری و مدیریت اهمیت دارد، زیرا نشان می‌دهد همهٔ اقدام‌ها ارزش یکسان ندارند و برخی تغییرات می‌توانند تحولات بنیادین ایجاد کنند (Senge, 1990) .

توسعهٔ دیدگاه از نظر زمانی و مکانی یکی دیگر از اصول تفکر سیستمی است. توجه به سناریوهای بلندمدت و تحلیل روندها، بخش جدایی‌ناپذیر این رویکرد است. یکی از مهم‌ترین خطاهایی که در روش‌های مدیریتی مرسوم (غیر سیستمی) در بررسی مسائل رخ می دهد این است که از نظر زمانی به مقطع زمانی نزدیک به حال و از نظر مکانی نیز متمرکز بر محدوده ای عمل می شود که نشانه های مشکل آنجا مشاهده شده اند و یا در حیطه اختیار و مسئولیت محدودی عمل می‌شود که وجود دارد. ولی در رویکرد سیستمی از نظر زمانی هم به گذشته توجه کافی می‌شود تا درک صحیحی به دست آید از اینکه مسئله چگونه به‌وجود آمده است و هم آنقدر زمان آینده دیده می شود که درک شود با روند فعلی وضعیت سیستم چگونه خواهد شد. با چنین توسعه‌ای در دیدگاه است که این امکان به‌دست می‌آید تا اثر اقدام‌ها و تصمیم‌ها بررسی گردد. برخی راه حل‌های اساسی و درست مثل اقدامات درمانی و پزشکی، سیاست های اقتصادی کلان و غیره در ابتدا وضعیت سیستم را بدتر می کند اما پس از مدتی اثر بهبود آن ظاهر می شود (بدتر قبل از بهتر). ولی برخی راه حل‌های غیر اساسی و مقطعی ابتدا بهبود اندکی در سیستم ایجاد می کنند ولی در دراز مدت ممکن است وضعیت سیستم به حالتی بدتر از حالت اول بر گردد (بهتر قبل از بدتر) (Mokhtari, 2015). وجود رابطه علت و معلولی بین متغیرها ویژگی دیگر تفکر سیستمی است. همبستگی و علیت دو مفهوم کاملا متفاوتی هستند که می توانند در یک زمان وجود داشته باشند ولی الزاما یکی بر دیگری دلالت نمی‌کند. بود یا نبود همبستگی آماری بین دو متغیر برای بود یا نبود علت و معلولی بین آنها کافی نیست. از این رو پس از مشخص شدن همبستگی بین دو متغیر لازم است بود یا نبود رابطهٔ علت و معلولی بررسی شود. علیت زمانی اتفاق می افتد که یک متغیر بر دیگری

[1] Feedback
[2] Leverage Points

تأثیر می‌گذارد، در حالی که همبستگی فقط دلالت بر وجود رابطه بین دو متغیر دارد. علاوه بر این، در رویکرد سیستمی اغلب پدیده‌ها ناشی از ترکیب علل و عوامل متعدد و به عبارتی چند علیتی در مقابل تفکر خطی حاکم است. برخلاف الگوهای سادهٔ خطی که یک علت را به یک معلول مستقیم مرتبط می‌کنند، روابط در سیستم‌ها پیچیده، چندلایه و غیرخطی هستند. همین ویژگی باعث می‌شود تا پیامد تصمیم‌های انسانی یا طبیعی گاه بسیار متفاوت از پیش‌بینی‌های ساده باشد (Mokhtari, 2015). دوراندیشی و پیامدار بودن راه حل‌ها از ویژگی بارز دیگر تفکر سیستمی است. به عبارتی، تفکر سیستمی اندیشیدن در طول زمان است و هر تصمیمی زنجیره‌ای از اتفاقات را رقم می‌زند. در رویکرد سیستمی برای حل مسئله باید به تمام مشخصه‌ها و ویژگی‌های آن مسئله توجه و عمل گردد. اگر چنین نشود، راه‌حل‌های مقطعی و جزءنگری در مسائل نه تنها کارساز نخواهند بود بلکه منشأ مشکلات جدی‌تر و جدیدتری خواهند شد. به‌طورکلی، مدل‌های ذهنی و باورها در تفکر سیستمی با تفکر رایج و مرسوم بسیار متفاوت است. برخی از این تفاوت‌ها در شکل (۳) ارائه شده است.



شکل ۳- تفاوت تفکر سیستمی و تفکر مرسوم

Fig.3- Comparison od conventioal and systems thinking

در گذشته، اگرچه بسیاری از مسائل ذاتاً پیچیده بودند، اما به دلیل محدود بودن تعاملات، نیازها و فشارهای انسانی این پیچیدگی‌ها کمتر نمود پیدا می‌کردند. با رشد سریع علوم، فناوری، اقتصاد و ساختارهای اجتماعی، میزان وابستگی‌ها و سرعت تغییرات افزایش یافته و در نتیجه پیچیدگی‌ها و عدم‌قطعیت‌ها به بخش جدایی‌ناپذیر مسائل امروز تبدیل شده‌اند. مفاهیم توسعه در گذشته عمدتا از دریچهٔ مهندسی نگریسته می‌شد، اما در جهان امروز این مفاهیم به دیدگاهی جامع شامل ابعاد فناوری، اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، زیست‌محیطی و حاکمیتی و به شیوه‌ای عادلانه‌تر و با رویکرد پایداری اکوسیستم در حال تغییرند. در چنین شرایطی با توجه به اینکه تمام فرآیندها و پدیده های طبیعی و مصنوعی در چارچوب سیستم عمل می کنند، هر اقدامی که بدون شناخت دقیق ویژگی‌های سیستم‌ها و روابط بین آنها باشد، عملکرد سیستم را دیر یا زود مختل خواهد کرد. از این‌رو در مواجهه با پدیده‌های طبیعی و حتی

مصنوعی که در قالب یک سیستم عمل می‌کنند، اتخاذ رویکرد سیستمی بسیار حیاتی و اجتناب ناپذیر است. امروزه تفکر سیستمی نه‌تنها در حوزۀ مدیریت و سازمان‌ها، بلکه در تمام علوم از جمله علوم طبیعی، محیط زیست، فناوری و سیاست‌گذاری عمومی و به ویژه مدیریت منابع آب نیز کاربرد گسترده‌ای یافته است. این رویکرد، به‌عنوان یک چارچوب نظری قدرتمند، امکان تحلیل مسائل پیچیده را فراهم می‌کند که با روش‌های مرسوم تقلیل گرایانه و جزءنگر قابل توضیح و تبیین نیستند. تغییر نگرش و تکامل در مفهوم امنیت آبی به سمت بررسی جامع‌تر ارزش‌ها، ذی‌نفعان و دیدگاه‌های متنوع با ارائه اولویت‌های انسان‌محور و مبتنی بر اکوسیستم به شیوه‌ای عادلانه‌تر است (Alamanos *et al.*, 2025). در مجموع، مبانی نظری تفکر سیستمی بر این نکته تأکید دارند که برای درک و مدیریت مسائل پیچیده باید از بخشی‌نگری و نگاه خطی فاصله گرفت و به جای آن روابط، بازخوردها و پویایی‌های کل سیستم را در نظر گرفت. این رویکرد نه‌تنها به فهم بهتر پیچیدگی‌ها کمک می‌کند، بلکه زمینه‌ساز تصمیم‌گیری‌های پایدار و جامع در حوزه‌های گوناگون است(Meadows, 2008; Senge, 1990) .

ابزارها و روش‌های تفکر سیستمی

برای پیاده سازی و عملیاتی کردن هر ایده یا هر رویکرد نیاز به ابزار و روش های خاصی است که تفکر سیستمی نیز از این قاعده مستثنی نیست. ابزارهای تفکر سیستمی مجموعه ابزارهایی هستند که برای شناخت و تحلیل مسئله، ایجاد ذهنیت مشترک در مورد مسئله، و طراحی راه حل‌هایی برای بهبود وضعیت به‌کار گرفته می‌شوند. تاکنون روش‌ها و ابزارهای بسیار متنوع و متفاوتی برای گسترش تفکر سیستمی در زمینه‌های مختلفی از جمله سلامت و بهداشت، محیط زیست، مسایل اقتصادی و کسب و کار، مطالعات اجتماعی، سیاستگذاری، مهندسی سیستم‌ها و مدیریت و به ویژه مدیریت و مهندسی آب توسعه یافته اند. روزلی و ولولیس (Rosely and Voulvoulis, 2024) با بررسی بیش از سی و پنج مطالعه درخصوص کاربرد ابزارهای سیستمی در حوزۀ مهندسی آب از منابعی شامل مقالات داوری‌شده، فصل‌هایی از کتاب‌های درسی دانشگاهی و منابع خاکستری (از وب‌سایت‌ها، وبلاگ‌ها و مقالات در دست اقدام) حدود ۴۰ ابزار سیستمی را بر اساس نحوۀ عملکرد و کاربردشان در ده گروه مختلف متناسب با هدف‌های بررسی شامل؛ طوفان فکری، شناسایی بازیگران و عوامل، تسهیل ارتباط بین ذی‌نفعان، تجسم سیستم، بررسی الگوهای رفتار، تعیین اهدف، بررسی علل، مدل‌سازی کامپیوتری، ارزیابی گزینه‌ها و نظارت و ارزیابی، شناسایی و طبقه‌بندی کرده‌اند شکل (۴). این محققان می‌گویند ابزارهای سیستمی جایگزینی برای تفکر سیستمی نیستند بلکه می‌توانند نقش مهمی در تسهیل این فرآیند داشته باشند. در واقع، این ابزارها هم به تصمیم‌گیری بهتر و هم با ایجاد ذهنیت مشترک، به اجرایی شدن این راه حل‌ها کمک می‌کنند. از مهم‌ترین ابزارهای تفکر سیستمی که در حوزۀ مهندسی آب نیز کاربرد بیشتری دارند، می توان به مواردی مثل نمودارهای حلقه های علیت[1]، نمودارهای انباشت و جریان[2]، مدل کوه یخ[3]، نمودارهای رفتار در طول زمان[4](BOT) ، کهن الگوی سیستمی[5]، تصاویر غنی[6]، نقشه‌های ذهنی[7]، نقاط اهرمی[8]، شبیه سازی سیستم

[1] Causal Loop Diagrams
[2] Stock and Flow Diagrams
[3] Iceberg Model
[4] Behavior Over Time Graphs
[5] System Archetypes
[6] Rich Picture
[7] Mental Models
[8] Leverage Points

ها[1]، نمودارهای حلقه های بازخورد[2]، و تحلیل ساختار سیستم[3] اشاره کرد (Rosely and Voulvoulis, 2024; Naeem *et al.*, 2023; Barbrook and Penn, 2022). پرداختن به جزئیات تک تک این روش ها خارج از عهده این نوشتار است و مخاطبان می توانند به منابع مرتبط رجوع کنند. ولی با توجه به اینکه در این مطالعه از روش مدل کوه یخی برای بررسی وضعیت ایران استفاده شده است، این روش به‌طور اجمالی معرفی می شود.

شکل ۴- ابزارهای مختلف مورد استفاده در تفکر سیستمی

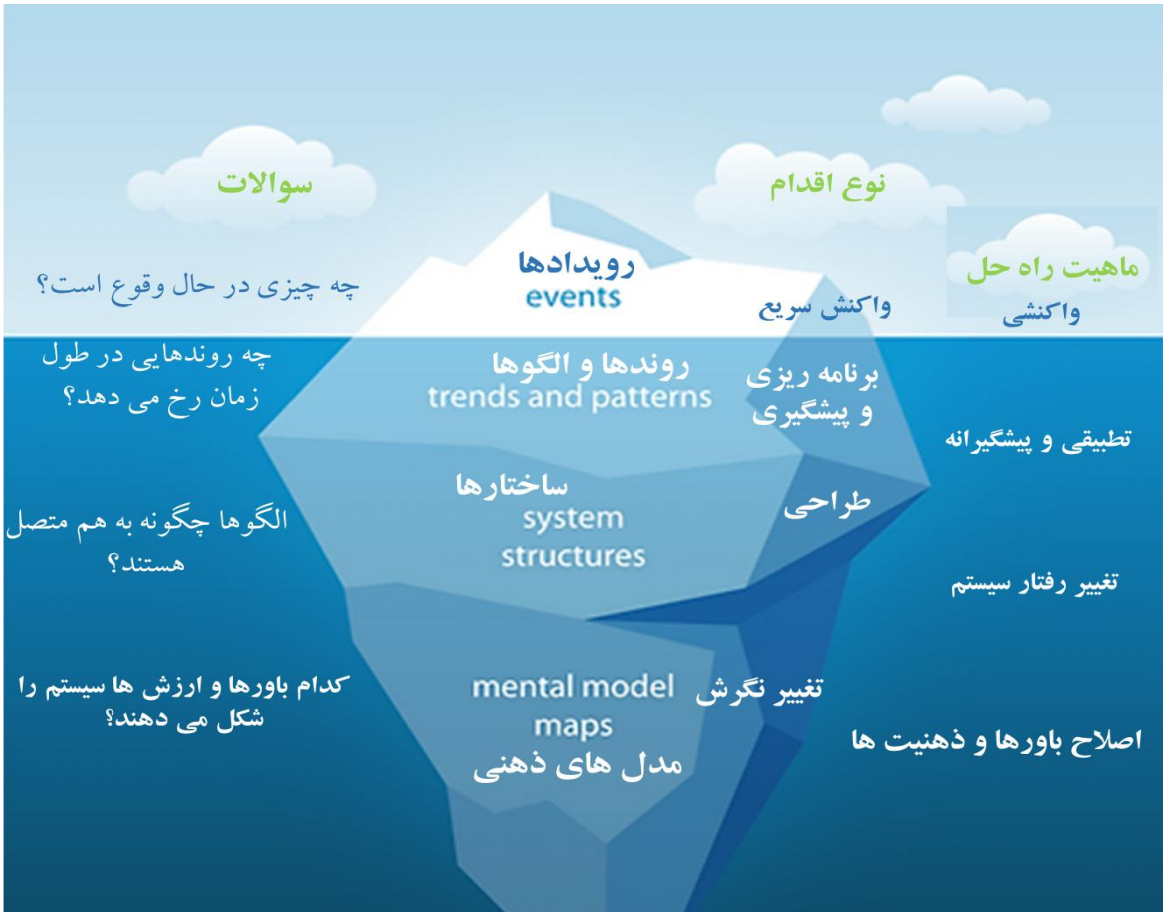
Fig.4- System tools grouped based on their main functions (Rosely and Voulvoulis, 2024)

ابزار سیستمی مدل کوه یخ

مدل کوه یخ یکی از ابزارهای تفکر سیستمی است که درک و فهم عمیق‌تری از مسائل را فراهم می کند. مدل کوه یخ برگرفته از پدیدهٔ فیزیکی کوه یخی در دریاست بدین نحو که معمولا بخش کوچکی از کوه یخ روی آب دیده می‌شود و بخش بزرگ‌تر آن زیر آب است. این مدل بر پایهٔ این اصل بنا شده است که مشکلات قابل مشاهده تنها بخش کوچکی از واقعیت هستند. در حالی‌که بخش عمده‌ای از علل و عوامل تعیین کننده مسئله در لایه‌های زیرین پنهان هستند. براساس نظریهٔ مدل کوه یخی، مطابق شکل (۵) مسئله در چهار سطح عمقی شامل رویداد[4] الگوها و روندها[5]،

[1] System Simulations
[2] Feedback Loop Diagrams
[3] System Structure Analysis
[4] Events
[5] Patterns and Trends

ساختارها[1]، و مدل های ذهنی[2] بررسی و در هر سطح رویکردی متفاوت برای حل مسئله ارائه می‌شود (Senge, 1990; McLean *et al*., 2019; Kim, 1999). این رویکرد به سازمان‌ها و تصمیم‌گیران کمک می‌کند تا به جای تمرکز بر نشانه‌های سطحی، به ریشه‌های مشکلات بپردازند و راه‌حل‌های پایدار ارائه دهند.



شکل ۵- ویژگی لایه های مختلف در مدل کوه یخی

Fig. 5-Characteristics of different layers in the iceberg model

رویدادها: رویدادها بخش قابل مشاهدهٔ مسئله است که به سادگی برای مردم و رسانه ها قابل درک و لمس‌اند و مورد پیگیری عموم قرار می‌گیرند. بعد از مشاهده شدن رویداد، فشار زیادی برای حل مسئله در کوتاه‌ترین زمان ممکن به وجود می آید و همه منتظرند گامی برداشته شود. از این‌رو معمولا راه حل‌های ارائه شده در این سطح از نوع واکنشی هستند که اغلب نه تنها ممکن است بهترین راه‌حل نباشند، بلکه ممکن است اثرهای مخرب بزرگ‌تری نیز به همراه داشته باشند.

الگوها و روندها: در لایهٔ زیرین رویدادها، الگوهایی قرار دارند که از تکرار رخدادها طی زمان شکل می‌گیرند و نشان می‌دهند که بحران‌ها یا تغییرات تصادفی نیستند بلکه حاصل روندهای پایدار و تکرار شونده هستند. شناسایی الگوها و روندها این امکان را فراهم می‌کند که رویدادهای آینده

[1] Structures
[2] Mental Models

پیش‌بینی شوند. از این رو اقدام‌ها و راه حل های مورد استفاده در این سطح می‌توانند به جای واکنشی‌بودن، از نوع پیش‌گیرانه و تطبیق با روندها باشند.

ساختارها: پایین‌تر از سطح روندها، ساختارها یعنی قوانین، سیاست‌ها، زیرساخت‌ها و روابط نهادی قرار دارندکه الگوها را شکل می‌دهند. شناخت پدیده در قالب سیستم و درک ساختارهایی که الگوها را شکل می‌دهند کمک می‌کند تا بخش‌هایی از سیستم را شناسایی کند که ممکن است نیاز به تغییر و تنظیم داشته باشند. این کار از بروز مشکلات تکراری جلوگیری کند. ساختارها علت و دلیل ایجاد روندها هستند. حل مسئله در سطح ساختار سیستم با هدف تغییر روندها و در نتیجه تغییر رفتار سیستم عملی می‌شود.

مدل‌های ذهنی: در عمیق‌ترین سطح، مدل‌های ذهنی یعنی باورها، ارزش‌ها و پیش فرض‌هایی قرار دارند که رفتار افراد و نهادها را شکل می دهند. در سطح مدل ذهنی، مسئله با تغییر نگرش، هدف‌ها و معیارهای تصمیم‌گیری حل می‌شود که با تغییر و بهبود مدل‌های ذهنی، زمینه ایجاد ساختارهای پایداری فراهم خواهد آمد که رفتار سیستم را بهبود می‌دهند. اصل کلیدی مدل کوه یخی آن است که برای دستیابی به راه‌حل‌های پایدار نمی‌توان تنها به سطح رخدادها واکنش نشان داد بلکه باید با تحلیل الگوها، اصلاح ساختارها و بازاندیشی در مدل‌های ذهنی، تغییراتی واقعی و پایدار ایجاد کرد (Meadows, 2008; McLean *et al.,* 2019; Kim, 1999; Pahl-Wostl, 2007; Ison *et al.,* 2013).

تفکر سیستمی و مدیریت منابع آب

آب در طبیعت بخشی از یک نظام پیچیده و سلسله مراتبی است که در آن کره زمین، به‌عنوان زیرسیستمی از نظام هستی، خود شامل مجموعه‌ای از سیستم‌های به‌هم‌پیوسته مانند جو، خشکی، آب، تنوع زیستی و ساختارهای اجتماعی است. چرخهٔ هیدرولوژیک آب یکی از بنیادی‌ترین فرآیندهای طبیعی و سیستمی پیوسته و بدون آغاز و پایان است که با مرزهای طبیعی مشخص و مستقل از مرزهای سیاسی و اداری عمل می‌کند. این چرخه از اجزای متعددی تشکیل شده که در قالب روابط بازخوردی، تبادل ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم با محیط را تنظیم می‌کنند. (Bozorg-Haddad and Seifollahi, 2019). در میان زیرسیستم‌های چرخهٔ هیدرولوژی، حوضهٔ آبریز جایگاه ویژه‌ای دارد. حوضهٔ آبریز سیستمی با مرزهای هیدرولوژیک مشخص است که از اجزای فیزیکی مانند آبراهه‌ها، رودخانه‌ها، دشت‌ها، سکونتگاه‌ها، صنایع، زیستگاه‌های طبیعی و تالاب‌ها و نیز اجزای نهادی مانند سازمان‌های دولتی، تشکل‌های خصوصی، نهادهای محلی و بهره‌برداران بخش‌های مختلف تشکیل شده است. کارکرد مطلوب این سیستم مستلزم تعامل هماهنگ و مؤثر اجزا و درک روابط علت و معلولی میان آنهاست. بی‌توجهی به این روابط و نادیده‌گرفتن بازخوردهای طبیعی می‌تواند موجب بروز پیامدهای زنجیره‌ای و برهم‌خوردن تعادل کل سیستم شود (Senge, 1990; Meadows, 2008). نمونهٔ بارز آن برداشت بی‌رویه از منابع آب سطحی و زیرزمینی است که افت سطح آبخوان‌ها، فرونشست زمین و کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی آب را به‌دنبال دارد و پیامدهای اقتصادی و اجتماعی گسترده‌ای ایجاد می‌کند.

پیچیدگی‌های ذاتی سیستم آب ضرورت اتخاذ نگاه سیستمی در مدیریت منابع آب را برجسته می‌سازد. چالش‌هایی مانند تغییر اقلیم، رشد جمعیت، توسعهٔ اقتصادی و فشارهای اجتماعی دارای ماهیتی چندبعدی و غیرخطی‌اند و تصمیمات بخشی و کوتاه‌مدت می‌توانند به تشدید مشکلات در بلندمدت منجر شوند. تفکر سیستمی با تأکید بر کل‌نگری، بازخوردها، پویایی‌های زمانی و روابط غیرخطی، امکان درک جامع‌تری از این پیچیدگی‌ها را فراهم می‌کند. در این رویکرد، مدیریت آب نه مجموعه‌ای از اقدامات منفرد، بلکه سیستمی یکپارچه تلقی می‌شود که در آن سیاست‌ها، فناوری‌ها، رفتارهای اجتماعی و ساختارهای نهادی در تعامل با یکدیگر قرار دارند. مطالعات نشان می‌دهد فقدان نگاه

سیستمی اغلب به سیاست‌های ناپایدار و نتایج کوتاه‌مدت منجر می‌شود (Yıldız, 2023; Rosely and Voulvoulis, 2024; Athari *et al*., 2017).

امروزه با توجه به وضعیت بحرانی کمیت و کیفیت منابع آب، تشدید مسائل زیست‌محیطی، اثرهای تغییر اقلیم و تغییر الگوهای مصرف، مدیریت منابع آب بیش از هر زمان دیگری نیازمند رویکردی سیستمی، یکپارچه و مبتنی بر شناخت دقیق ساختار و پویایی‌های این نظام پیچیده است. چنین رویکردی زمینه‌ساز تدوین راهبردهای پایدار و تصمیم‌گیری‌های خردمندانه در مسیر توسعهٔ متوازن و پایدار خواهد بود.

تجربه‌های جهانی در استفاده از رویکرد سیستمی برای مدیریت منابع آب

امروزه موضوع بحران آب یا کم‌آبی محدود به کشور یا منطقه‌ای خاص نیست، بلکه اغلب نقاط دنیا به دلایل مختلفی از جمله رشد جمعیت، توسعهٔ اقتصادی و تغییرات اقلیمی با درجات مختلفی از تنش آبی مواجه هستند. در کشورهای در حال توسعه، نگرانی اصلی در خصوص کم آبی، توزیع نامناسب آب موجود، و دسترسی‌نداشتن به آب آشامیدنی سالم است ولی در کشورهای توسعه‌یافته چالش‌های اصلی عمدتاً در ارتباط با ساختارهای نهادی ضعیف، مسائل مرتبط با کیفیت و کمیت آب، نگرانی‌های مربوط به با صرفه بودن و هزینه‌های اقتصادی شوک‌های اقلیمی است (Alamanos *et al*., 2025).

شواهد و رویدادهای متعدد در سطح جهان نشان داده‌اند که رویکردهای رایج مبتنی بر احداث سازه‌های بزرگ یا مدیریت بخشی نگر و جزئی نگر به‌تنهایی قادر به حل بحران نیستند و حتی در مواردی آن را تشدید کرده‌اند. در مقابل، تفکر سیستمی با نگاه کل‌نگر، توجه به بازخوردها و مشارکت ذی‌نفعان توانسته است مسیرهای پایدار و تاب‌آور را برای مدیریت منابع آب ایجاد کند. تجربه های جهانی نشان می‌دهند گذار از مدیریت بخشی و سازه‌ای به رویکرد سیستمی نه یک انتخاب بلکه ضرورتی حیاتی برای پایداری منابع آب است. امروزه در بسیاری از کشورها نگاه سیستمی در مدیریت حوزهٔ های مختلف علوم به ویژه مدیریت اکوسیستم‌ها و منابع آب به شکل‌های متفاوتی نهادینه شده است (Yıldız, 2023).

اروپا یکی از پیشگامان در نهادینه‌سازی رویکرد سیستمی در مدیریت منابع آب است. اتحادیه اروپا در سال ۲۰۰۰ با تصویب دستورالعمل چارچوب آب[1] (WFD) توانست مدیریت منابع آب را از سطح اداری به سطح حوضه‌های آبریز منتقل کند. الزام به مشارکت عمومی ذی‌نفعان در فرآیند تصمیم‌گیری، در اولویت قراردادن کیفیت منابع آب و حفاظت از اکوسیستم‌ها، استفاده از ابزارهای سیستمی مانند مدل‌سازی دینامیکی، پایش کیفی و کمی منابع، و تحلیل سناریوها از مهم‌ترین مفاد این دستورالعمل بود. نتیجه این رویکرد کاهش آلودگی صنعتی، ارتقای کیفیت آب آشامیدنی و احیای تالاب‌ها بود. این تجربه نشان داد که مدیریت حوضه‌ای و نگاه سیستمی می‌تواند بحران‌های پیچیده را مهار کند (Kalis and Butler,2001; European Parliament and Council, 2000).

ایالات متحده طی دهه‌های اخیر به‌طور جدی به سمت استفاده از ابزارهای سیستمی و مدل‌سازی پویایی سیستم در مدیریت منابع آب حرکت کرده است. در نیمهٔ دوم قرن بیستم، این کشور پروژه‌های عظیم سدسازی و انتقال آب را اجرا کرد که در کوتاه‌مدت توانستند نیازهای کشاورزی و شهری را پاسخ دهند؛ اما در بلندمدت پیامدهای منفی همچون تخریب اکوسیستم‌ها، کاهش کیفیت آب و تشدید مصرف بی‌رویه را به همراه داشتند (Gleick, 2003) همین تجربه موجب شد تا نگاه سیستمی به‌عنوان جایگزین رویکرد سازه‌ای مطرح شود و سیاست‌گذاران به اهمیت تحلیل روابط غیرخطی و بازخوردهای بلندمدت در مدیریت منابع آب پی

[1] EU Water Framework Directive

برند. یکی از نوآوری‌های مهم آمریکا، استفادهٔ گسترده از مدل‌سازی دینامیکی سیستم‌ها در مدیریت منابع آب بود. این مدل‌ها امکان شبیه‌سازی سناریوهای مختلف عرضه و تقاضا و بررسی پیامدهای سیاست‌ها را در افق‌های بلندمدت فراهم کردند. برای مثال، در مدیریت منابع آب شهری لاس‌وگاس، مدل پویایی سیستم نشان داد که کاهش مصرف فضای سبز خانگی نسبت به کاهش مصرف داخل خانه اثر بیشتری بر پایداری منابع آب دارد (Stave, 2003). در حوضهٔ رودخانهٔ ریوگرانده در نیومکزیکو، استفاده از مدل‌های سیستمی همراه با مشارکت جامعه توانست تاب‌آوری سیستم را در برابر خشکسالی افزایش دهد و سیاست‌های پایدارتر را شکل دهد (Tidwell *et al*., 2004). در سطح کلان، تحلیل‌های سیستمی در مدیریت رودخانه کلرادو نشان دادند که افزایش عرضهٔ آب از طریق سدها بدون مدیریت تقاضا، تنها به افزایش مصرف و بحران‌های جدید منجر می‌شود. این یافته‌ها سیاست‌گذاران را به سمت راهکارهایی مانند مدیریت تقاضا، بازچرخانی آب و ارتقای بهره‌وری هدایت کرد (OECD, 2015; UNESCO, 2019).

تجربهٔ آسیای مرکزی و بحران دریاچهٔ آرال یکی از روشن‌ترین نمونه‌های شکست مدیریت بخشی و سازه‌ای و ضرورت رویکرد سیستمی در مدیریت منابع آب است. در دوران اتحاد جماهیر شوروی و در دههٔ ۱۹۶۰، بیش از ۷۰ درصد جریان رودخانه‌های آمودریا و سیردریا در راستای سیاست توسعهٔ کشاورزی آبی برای کشت پنبه و محصولات صادراتی به شبکه‌های آبیاری منحرف شد. این سیاست اگر چه در کوتاه‌مدت موفقیت اقتصادی زیادی داشت، اما در بلندمدت پیامدهای فاجعه‌باری به همراه آورد. بطوریکه سطح دریاچه آرال از ۶۸ هزار کیلومتر مربع در سال ۱۹۶۰ به کمتر از ۱۰ هزار کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۰ کاهش پیدا کرد و شوری آب از ۱۰ گرم در لیتر به بیش از ۱۰۰ گرم در لیتر رسید و بیش از ۶۰ هزار شغل مرتبط با شیلات از بین رفت و جوامع محلی با بحران اقتصادی و اجتماعی مواجه شدند (Abdullaev *et al*., 2020). در این تجربه که سرنوشتی مشابه دریاچه ارومیه داشت، استفاده بی رویه از آب برای آبیاری مزارع، کاربرد وسیع آفت کش‌ها، سموم دفع آفات وکودهای شیمیایی برای نزدیک به ۴ دهه، بخشی ازعلل شکل‌گیری فاجعهٔ زیست محیطی بود که تاکنون آثار مخرب اکولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی و بهداشتی آن زندگی جمعیت نزدیک به چهار میلیون نفری این حوضه را تحت تاثیر قرار داده است. پس از فروپاشی شوروی، قزاقستان با حمایت بانک جهانی پروژه‌ای برای احیای بخش شمالی آرال آغاز کرد. ایجاد نهادهایی مانند کمیسیون بین‌دولتی هماهنگی آب (ICWC) در سال ۱۹۹۲ و ساخت سد کوک‌کارال (Kok-Aral Dam) در سال ۲۰۰۵ از مهم‌ترین گام‌ها در این زمینه بود که باعث شد سطح آب در بخش شمالی تا ۴ متر افزایش پیدا کند و شوری آب نیز به‌طور چشمگیر کاهش یابد. با بازگشت برخی گونه‌های ماهی صنعت شیلات نیز دوباره فعال و اقتصاد محلی احیا شد. این تجربه نشان داد که حتی پس از یک بحران شدید، با مدیریت حوضه‌ای، اقدامات سازه‌ای هدفمند و توجه به بازخوردهای اکولوژیک می‌توان بخشی از اکوسیستم‌های تخریب‌شده را احیا کرد (Berndtsson and Tussupova, 2020)

حوضهٔ ماری–دارلینگ بزرگ‌ترین سامانه رودخانه‌ای استرالیاست که بخش زیادی از آب آبیاری کشاورزی آبی استرالیا را تأمین می‌کند. برداشت بی‌رویه آب برای مقاصد کشاورزی و توسعهٔ شهری و خشکسالی‌های مکرر باعث شد تا رودخانه‌ها و تالاب‌ها در این حوضه با افت کمی و کیفی آب روبه‌رو شود و آسیب‌دیدگی جدی اکوسیستم تبدیل به یک بحران زیست‌محیطی و اجتماعی شود (Chen *et al*., 2021). در سال ۲۰۱۲، دولت استرالیا طرح حوضه[1] را برای برون رفت از بحران ایجاد شده تصویب کرد. این طرح با رویکرد سیستمی برای مصارف بخش‌های مختلف سقف

[1] Basin Plan

برداشت مشخصی را تعیین کرد تا مصرف انسانی و کشاورزی با نیازهای زیست‌محیطی متعادل شود. علاوه بر این، با مشارکت جوامع بومی و محلی و ایجاد بازارهای آب و تجارت حقابه تخصیص منابع آب را انعطاف‌پذیرتر کرد. در مجموع این سیاست توانست بخشی از جریان‌های طبیعی رودخانه‌ها را احیا و تاب‌آوری حوضه را در برابر خشکسالی و تغییرات اقلیمی افزایش دهد، هرچند چالش‌هایی مانند فشار کشاورزی و اختلافات ایالتی همچنان باقی است (Chen *et al*., 2021).

تجربه‌هایی از این دست در دیگر کشورها از جمله چین، هند، آفریقای جنوبی، کره و ژاپن گزارش شده‌اند که به دلیل پرهیز از طولانی‌شدن مطالب مقاله از ذکر جزئیات آنها خودداری می شود. بدین ترتیب تجربه‌های جهانی نشان می‌دهند که تفکر سیستمی در مدیریت منابع آب ابزاری تحلیلی نیست، بلکه رویکردی است جامع که ابعاد نهادی، اجتماعی، اکولوژیک و فناورانه را در کنار هم قرار می‌دهد. این رویکرد با تاکید و تکیه بر مدیریت یکپارچه و حوضه‌ای، مشارکت ذی‌نفعان و جوامع محلی، استفاده از ابزارهای تحلیلی سیستمی، توجه به تاب‌آوری اجتماعی و اکولوژیک و ترکیب دانش بومی و علمی امکان تصمیم‌گیری مشارکتی و سیاست‌گذاری پایدار را فراهم می‌آورد (Athari *et al*., 2017; Rosely and Voulvoulis, 2024; Alamanos *et al*., 2025). بدین ترتیب با توجه به تجربه‌های موجود در سطح دنیا و شرایط حاکم بر وضعیت منابع و مصارف آب به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان می‌توان گفت گذار از مدیریت بخشی و سازه‌ای به رویکرد سیستمی، نه یک انتخاب بلکه ضرورتی حیاتی برای پایداری منابع آب است.

تحلیل وضعیت مدیریت منابع آب ایران از منظر سیستمی

طی سالیان اخیر در مهندسی آب ایران گام‌های ارزشمند برداشته شده، زحمات شایسته‌ای کشیده شده، سرمایه گذاری‌های هنگفتی شده و توفیقات زیادی حاصل شده است. ولی شواهد و تجربه‌ها موجود نشان می دهد در موارد متعدد این اقدامات اثربخشی کافی نداشته‌اند و توفیقات مقطعی نیز با گذشت زمان بی اثر یا منجر به بدتر شدن اوضاع شده است. برای مثال، در برخی موارد سد سازی و تلاش برای استفادهٔ بهینه از منابع آبی منجر به خشک شدن بخش زیادی از دریاچه‌ها و تالاب‌ها شده است. حتی تقدم و تاخر در ساخت سدها، شبکه های اصلی و فرعی موجب خسارت‌های زیادی شده است. توسعه روش های نوین آبیاری و گلخانه‌ها به‌رغم افزایش بهره وری، افزایش تولید و ارتقای امنیت غذایی، منجر به کاهش برداشت از منابع آب نشده است (Perry, 2017). امروزه دشت‌هایی که پیشرو در توسعهٔ فناوری‌های نوین و بهینه‌سازی مصرف آب بوده اند، به دلیل برداشت بیش از حد از منابع آب‌های زیرزمینی، علاوه بر مواجه شدن با بحران آب در معرض بحران فرونشست قرار دارند. این موارد در حالی است که اغلب این اقدامات با اهداف و انگیزه‌های متعهدانه و استانداردهای علمی نسبتا مناسب بوده است. ویژگی‌هایی مانند کل نگری، تعامل و ارتباط بین اجزا، چند علیتی بودن وقایع، دوراندیشی، پویایی و پیامدمحور بودن اقدامات، که از ویژگی‌ها و مصادیق تفکر سیستمی هستند، در این اقدامات مغفول بوده اند. برنامه‌ریزی‌ها و اقدامات توسعه‌ای بر اساس آمایش سرزمینی و توان اکولوژیک مناطق نبوده است. به عبارت دیگر، اغلب مسائل و مشکلات امروزی ناشی از نبود تفکر سیستمی در مدیریت و برنامه‌ریزی‌های دیروزی بوده و درمان‌های غیرسیستمی نیز بدتر از خود مرض بوده اند (Senge, 1990).

در این پژوهش، برای تحلیل جامع‌تر و دقیق‌تر وضعیت بحرانی آب ایران و ارائه راهکارهای علاج‌بخش از ابزار سیستمی مدل کوه یخ استفاده شد. در بخش‌های قبلی گفته شد که در مدل کوه یخی مسئله در چهار سطح عمقی از معلول به علت شامل رویداد، الگوها و روندها، ساختارها، و مدل های ذهنی بررسی می‌شود و رویکردها و راه‌های حل مسئله در هر سطح متناسب با مقتضیات آن سطح ارائه

می‌گردد. بر این اساس، مسائل مرتبط با وضعیت بحرانی آب در ایران مطابق مدل مفهومی کوه یخی ارائه شده در شکل (۲) در چهار سطح عمقی و به شرح زیر ارائه می شوند.

سطح اول: رویدادها و نشانه‌های قابل مشاهده

این سطح همان قلهٔ کوه یخی است، یعنی مشکلاتی که به‌طور مستقیم دیده و تجربه می‌شوند و بیشتر در رسانه‌ها و افکار عمومی منعکس می‌گردند. از جمله مسائلی که امروزه در ایران در قالب وضعیت بحرانی آب ظاهر شده و برای عموم مردم واضح و قابل لمس‌اند به شرح زیر هستند:

- کمبود آب آشامیدنی در بسیاری از شهرها و روستاها.
- فرونشست زمین در اغلب دشت‌های کشور به ویژه دشت‌های مرکزی.
- خشک شدن تالاب‌ها و رودخانه‌ها (زاینده‌رود، دریاچه ارومیه، هامون و ...).
- کاهش حجم ذخیرهٔ سدها و حتی خشک شدن برخی از آنها.
- کاهش کیفیت منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی به دلیل ورود آلاینده‌های صنعتی، کشاورزی و شهری.
- افزایش تعارضات اجتماعی و استانی بر سر حقابه‌ها.
- کاهش تولید محصولات کشاورزی در برخی مناطق به دلیل کمبود آب.
- افزایش هزینهٔ تأمین آب شهری (نمک‌زدایی، انتقال بین‌حوضه‌ای).
- مهاجرت روستاییان از مناطق کم‌آب به شهرها.
- افزایش تنش‌های امنیتی و اجتماعی در مناطق بحرانی.

سطح دوم: روندها و الگوهای تکرارشونده

این سطح نشان‌دهنده رفتارها و سیاست‌هایی است که بارها و بارها تکرار شده‌اند و بحران‌ها را بازتولید می‌کنند. اصلی‌ترین الگوهای تکرار شونده که روندهای کاهشی یا افزایشی را در برخی شاخص های مدیریت آب طی سالیان گذشته نشان می‌داد و با وجود هشدارهای کارشناسان، به آنها توجه نمی‌شد می‌توان به شرح زیر ارائه کرد:

- افت سطح آب‌های زیرزمینی در اثر برداشت بی‌رویه از منابع زیرزمینی برای مصارف مختلف.
- روند افزایشی شوری منابع اب‌های سطحی و زیرزمینی.
- روند کاهشی میزان بارندگی متوسط کشور.
- روند افزایشی متوسط دما در سطح ملی و جهانی.
- روند افزایشی مصرف آب در بخش‌های مختلف.
- گسترش سطح زیرکشت با سامانه‌های نوین آبیاری به جای کاهش مصرف.
- توسعهٔ گلخانه‌ها بدون توجه به ظرفیت اکولوژیک و محدودیت منابع.
- کشت محصولات پرآب‌بر در مناطق خشک (برنج، محصولات تابستانی).
- بی‌توجهی به مدیریت تقاضا و تمرکز صِرف بر افزایش عرضه.
- روند آشکارسازی سیاست‌های عرضه‌محور (سدسازی، انتقال آب بین‌حوضه‌ای).
- آشکارسازی وجود تعارض و تضاد بین دستگاهی و حتی درون دستگاهی.

این روندها و الگوها نشان می‌دادند که بحران آب در ایران نه یک حادثه مقطعی، بلکه نتیجه تداوم رفتارها و سیاست‌های مشابه در چندین دهه است.

سطح سوم: ساختارها

در این سطح، ساختارهای نهاد و حکمرانی قرار دارند که این روندها و الگوهای تکرار شونده را شکل می‌دهند و به نوعی دلایل اصلی وقوع روندها هستند. به سخنی دیگر، حکمرانی جاری در مدیریت منابع و مصارف آب عامل اصلی وقوع روندها و الگوهای ذکر شده در بخش قبلی بوده است. برای نمونه، بررسی وضعیت مدیریت آب در حوضه‌های زاینده رود و کارون نشان داده است با اینکه در هر دو حوضه قابلیت

دستیابی به مدیریت مناسب در شرایط بحرانی وجود داشته ولی حکمرانی موجود موفق نبوده است (Najafabadi *et al.*, 2024). از مهم‌ترین مصادیق این نوع ساختار نهادی و حکمرانی می‌توان به این موارد اشاره کرد:

- تعدد سازمان‌های متولی آب با وظایف پراکنده و متعارض.
- فقدان مدیریت یکپارچه حوضه‌های آبریز.
- تمرکز بر پروژه‌های عمرانی به‌عنوان شاخص موفقیت مدیریتی.
- ضعف قوانین و مقررات در کنترل برداشت‌ها.
- ناکارآمدی در اجرای قوانین موجود (تحویل حجمی آب و ...).
- نبود سازوکارهای مشارکت ذی‌نفعان و ذی‌مدخلان در فرآیند تصمیم‌گیری.
- درپیش گرفتن سیاست‌های یارانه‌ای (برای انرژی، آب، نهاده‌های کشاورزی)؛ مشوق برداشت بی‌رویهٔ آب.
- سیاست‌های ارزآوری و صادرات محصولات پرآب‌بر (محصولات باغی، سبزی و تابستانی).
- توسعه بدون توجه به آمایش سرزمین؛ استقرار صنایع و کشاورزی در مناطق کم‌آب.

سطح چهارم: ذهنیت‌ها و ارزش‌های دیرین

مدل‌های ذهنی ریشه‌های فرهنگی و ارزشی دارند که در عمیق‌ترین سطح، باورها، ارزش‌ها و ذهنیت‌هایی را می‌سازند، این باورها رفتارها و ساختارهای نهادی را شکل می‌دهند. از جمله این مدل های ذهنی و باورها در مدیریت منابع آب در ایران می توان به مواردی به شرح زیر اشاره کرد:

- باور به بی‌پایانی منابع طبیعی از جمله آب.
- باور به خودکفایی بدون تعیین حدود و ثغور.
- تفکر بخشی و جزئی‌نگر به جای تفکر سیستمی مبتنی بر کل نگری و روابط بین اجزا.
- باور به برتری راه‌حل‌های فنی و سازه‌ای.
- باور به تقدم منافع بخشی و منطقه‌ای بر منافع جمعی و ملی.
- باور به تقدم منافع حزبی و سیاسی بر منافع ملی و سرزمینی.
- اعتقاد به نگاه کوتاه‌مدت و بخشی در سیاست‌گذاری به جای توجه به پایداری بلندمدت.
- نگاه سیاسی به آب به‌عنوان ابزاری برای رضایت اجتماعی و سیاسی.
- باور به افزایش تولید به‌عنوان شاخص اصلی توسعه، حتی با تخریب منابع طبیعی.
- داشتن ذهنیت سازه‌محور و فناوری‌محور، تصور اینکه هر بحران با یک پروژه مهندسی حل می‌شود.
- داشتن ذهنیت سیاسی و اقتصادی مبتنی بر توزیع منابع به جای مدیریت پایدار.

بدین ترتیب دیده می‌شود مطابق شکل (۶) هریک از مصادیق وضعیت بحرانی آب که به‌صورت مشکل قابل مشاهده برای عموم ظاهر شده است، تنها همان نوک کوه یخ است که منتج از الگوهای تکرارشوندهٔ برآمده از ساختارهای نهادی و حکمرانی جزیره‌ای در لایه های زیرین است که خود ریشه در ارزش‌ها و مدل های ذهنی اجتماعی و سیاسی دارد.

تحلیل صورت گرفته بر اساس مدل مذکور نشان می‌دهد که برای حل بحران آب در ایران، به جای نشانه‌های سطحی باید به ریشه‌های ساختاری و ذهنی توجه کرد. این تغییر در سیاست‌ها و پروژه‌ها باز هم موثر نخواهد بود بلکه باید تغییر در ارزش‌ها، ذهنیت‌ها و ساختارهای نهادی صورت گیرد و بدون تغییر در این سطوح، اصلاح بحران آب ممکن نخواهد بود..

شکل ۶- تحلیل ریشه‌های مصادیق بحران آب ایران بر اساس مدل کوه یخی

Fig.6- Analyzing the Roots of Iran's Water Crisis Based on the Iceberg Model

جمع بندی و نتیجه گیری

امروزه وضعیت بحرانی آب در ایران فارغ از استناد به هر نوع شاخص علمی برای تعیین سطح تنش آبی در کشور، در قالب مصادیق متعدد مانند کم آبی، فرونشست، و خشک شدن سدها، چاه‌ها، تالاب ها و رودخانه همانند قلهٔ کوه یخی به‌صورت آشکار و قابل لمس و قابل مشاهده برای عام و خاص است. به عبارتی دیگر، وضعیت از سطح شاخص‌ها فراتر رفته و در قالب رویدادهای آشکار و پیامدهای اجتماعی، اقتصادی و امنیتی خود را نمایان ساخته است. استمرار این روند می‌تواند امنیت غذایی، زیست‌محیطی و حتی امنیت اجتماعی و ملی کشور را با تهدید جدی مواجه کند. عوامل بسیار متنوع و متعددی موجب شده است تا مدیریت منابع و مصارف آب کشور با چالش‌ها و تهدیدهای جدی یاد شده مواجه باشد. پیش‌تر هم گفته شد این عوامل شامل دو گروه کلی عوامل طبیعی و عوامل انسان زاد مرتبط با مدیریت منابع آب هستند که نقش عوامل مدیریتی پررنگ تر و تعیین کننده تر است. به عبارتی، مدیریت و برنامه ریزی منابع آب بر مبنای بهره‌برداری حداکثری از منابع آب بوده است (Mousavi *et al.*, 2017). گرچه عوامل طبیعی و اقلیمی در شرایط بحرانی امروز آب در ایران تا حدودی دخیل هستند، لیکن وضعیت بحرانی یا حتی فراتر از بحرانی آب در ایران تنها ناشی از کمبود منابع طبیعی نیست، بلکه حاصل ساختارهای نهادی، الگوهای مدیریتی و ذهنیت‌های توسعه‌ای است که طی دهه‌ها شکل گرفته‌اند (Maleki *et al.*, 2025). حتی اگر خشکسالی‌های اخیر هم رخ نمی‌داد، وقوع چنین وضعیتی در آینده‌ای نزدیک بسیار محتمل بود. همان طورکه گفته شد منشأ اصلی و اساسی عوامل انسان زاد نیز ریشه در باورها و مدل‌های ذهنی دارد که حکمرانی ناموفق امروزی محصول آنهاست. نبود تفکر سیستمی در مدل‌های ذهنی و باورهای توسعه‌ای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان بخش آب بارزترین و مهم‌ترین مصداق این

مسئله است. به عبارتی، تمام رویدادهای قابل مشاهدهٔ امروزی، حاصل روندها و الگوهای تکرار شوندهٔ برآمده از ساختاهاری نهادی و حکمرانی برآمده از رویکردها و باورهای جزئی نگر و فقدان رویکرد سیستمی دیروز بوده است. رویکردی که جامع‌نگری، تعامل و ارتباط بین اجزا، چند علیتی، دوراندیشی، پیامدمحور بودن و پویایی از مهم‌ترین ویژگی‌های آن است.

راهکارهای پیشنهادی برای برون رفت از بحران

بحران‌ها معمولاً حاصل برهم‌کنش مجموعه‌ای از عوامل هستند و تا زمانی که این عوامل به‌درستی شناسایی نشوند، ارائه هرگونه راهکار نمی‌تواند اثربخش باشد. بحران آب نیز از این قاعده مستثنی نیست. همان‌گونه که در بخش‌های پیشین و در چارچوب مدل مفهومی "کوه یخی" تشریح شد، وضعیت نامطلوب کنونی منابع آب ایران ریشه در لایه‌های عمیق‌تری مانند الگوهای ذهنی، ساختارهای نهادی و الگوهای رفتاری دارد و رویدادهای قابل مشاهده تنها نمود سطحی این عوامل هستند. راهکارهای پیشنهادی این پژوهش نیز بر همین مبنا تدوین شده‌اند؛ به این معنا که از عمیق‌ترین سطح یعنی مدل‌های ذهنی و ساختارهای شکل‌دهنده وضعیت موجود آغاز می‌شوند و تا سطح رویدادها و اقدامات اجرایی امتداد می‌یابند. تنها با چنین رویکردی می‌توان به آینده‌ای امیدوار بود که در آن آب، به‌عنوان حیاتی‌ترین منبع، به شکلی پایدار و کارآمد و عادلانه در دسترس همگان قرار گیرد. بدین ترتیب، مجموعه‌ای از اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه متناسب با سطح مسئله در نظریهٔ کوه یخی ولی برعکس آنچه در تحلیل کوه یخی برای شناخت مسئله به‌کار می رود، از علت به معلول یعنی از باورها به رویدادها به ترتیب از عمیق ترین سطح و به شرح زیر پیشنهاد می‌شود:

تغییر و اصلاح در باورها و ذهنیت ها

همانطوریکه اشاره شد ریشهٔ اصلی و اساسی بسیاری از مشکلات مدیریت آب که بصورت رویدادهایی قابل مشاهده هستند و حتی اشکالات مطرح شده در ساختارهای نهادی و حکمرانی، در باور و ذهنیت‌های سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری بوده است. پایداری و اثربخشی هرگونه برنامهٔ اصلاحی یا راهکار پیشنهادی مستلزم اصلاح یا تغییر در این باور و ذهنیت‌هاست و بدون تغییر در این سطح، اصلاح بحران آب ممکن نخواهد بود. برخی از مصادیق این باورها در بخش قبلی بیان شدند که عمده ترین موارد آنها به شرح زیر قابل بیان هستند.

- تغییر نگرش به تفکر سیستمی
- توسعه بر مبنای توان اکولوژیک
- اصلاح نگاه کوتاه‌مدت سیاسی
- اصلاح فرهنگ مصرف و ذهنیت اجتماعی

مهم‌ترین تغییر در این مرحله، تغییر نگرش از رویکرد رایج تفکر خطی و جزئی‌نگر به تفکر سیستمی و کل‌نگر است. شاید بتوان گفت تفکر سیستمی حلقهٔ مفقوده‌ای بوده است که نبود آن منشأ اصلی مشکلات امروزی است. تغییر رویکرد به تفکر سیستمی می‌تواند اجزای از هم جدا افتادهٔ چرخه مدیریت آب را به هم پیوند دهد و زمینه‌ساز تحول در حکمرانی درست منابع آب شود. این رویکرد با تأکید بر کل‌نگری، بازخوردها، پویایی‌های زمانی و روابط غیرخطی امکان درک بهتر پیچیدگی‌های منابع آب را فراهم می‌آورد. با ایجاد زبان مشترک میان رشته‌ها و نهادها، بستری برای گفت‌وگوی مؤثر، تصمیم‌گیری مشارکتی و سیاست‌گذاری پایدار ایجاد می‌کند (Hjorth and Madani, 2013; Rosely Voulvoulis, 2024). در واقع، بهره‌گیری از رویکرد تفکر سیستمی به نوعی اتخاذ سیاست بی طرفی آب[1] در حکمرانی و پرهیز از نگاه بخشی و جزیره‌ای به مسائل است که می‌تواند مسیر حرکت را از ناکارآمدی‌های موجود به سوی

[1] Water Neutrality Governance

حکمرانی مؤثر و پایدار منابع آب هموار سازد (Zhou *et al.*, 2025). البته نهادینه‌سازی تفکر سیستمی نیازمند اصلاحات ساختاری، آموزش تخصصی، مشارکت ذی‌نفعان و تغییر در ارزش‌ها و شاخص‌های توسعه است. بدون این تحول، سیاست‌های آب همچنان در سطح نشانه‌ها باقی خواهند ماند و بحران‌ها بازتولید خواهند شد. بنابراین، تفکر سیستمی نه یک انتخاب، بلکه ضرورتی حیاتی برای آیندهٔ مدیریت آب در ایران است (Alamanos *et al.*, 2025). علاوه بر این، بسیاری از سیاست‌های آبی در ایران تحت تأثیر ملاحظات سیاسی و اجتماعی کوتاه‌مدت هستند. پروژه‌های بزرگ سدسازی یا انتقال آب اغلب به‌عنوان نماد موفقیت مدیریتی معرفی می‌شوند، در حالی که پیامدهای بلندمدت آن‌ها بر منابع آب و محیط زیست نادیده گرفته می‌شود. این نگاه کوتاه‌مدت مانع از شکل‌گیری رویکردهای پایدار و سیستمی می‌شود.

علاوه بر تغییر نگرش به تفکر سیستمی، ضروری است هستهٔ مرکزی تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری کشور به‌طور شفاف و قاطع اراده خود را در موضوع‌های کلیدی روشن سازد. این موضوع‌ها شامل پایان دادن به بهره‌برداری بی‌حد و حصر از منابع طبیعی، بازنگری در سیاست‌های خودکفایی کشاورزی بر اساس توان اکولوژیک، ترجیح منافع ملی بر منافع گروهی، سیاسی و منطقه‌ای، پرهیز از توسعهٔ یکجانبه سازه‌ای و سخت‌افزاری، و حرکت به‌سوی توسعهٔ مبتنی بر آمایش سرزمین و ظرفیت‌های زیست‌محیطی است. چنین رویکردی باید بر اساس مصالح کلی و امنیت ملی تعریف شود تا مدیریت آب از یک مسئله بخشی به یک اولویت راهبردی و ملی ارتقا یابد. بسیاری از سیاست‌های آبی در ایران تحت تأثیر ملاحظات سیاسی و اجتماعی کوتاه‌مدت و بدون توجه به ظرفیت های طبیعی و توان اکولوژیک هستند. پروژه‌های بزرگ سدسازی یا انتقال آب ، تولید بیشتر و صادرات محصولات کشاورزی اغلب نماد موفقیت مدیریتی معرفی می‌شوند، در حالی که پیامدهای بلندمدت آن‌ها بر منابع آب و محیط زیست نادیده گرفته می‌شود. این نگاه کوتاه‌مدت مانع از شکل‌گیری رویکردهای پایدار و سیستمی می‌شود. نمونهٔ بارز آن، پروژه‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای است که در کوتاه‌مدت نیازهای برخی استان‌ها را تأمین می‌کند، اما در بلندمدت موجب تخریب اکوسیستم‌های حوضهٔ مبدأ و افزایش تعارضات اجتماعی می‌شود (Hjorth and Madani, 2013; Maleki and Akbari, 2025). در این راستا پیگیری‌های حقوقی و تصمیم‌گیری حاکمیتی به شرح زیر پیشنهاد می شود:

- **توسعه بر اساس توان اکولوژیک تعیین حد و میزان استفاده از منابع طبیعی:** با روی‌آوردن به مطالعات و پژوهش‌های کاربردی آمایش سرزمین و به‌طور اخص آمایش آب در سطح دشت‌ها و استان‌های کشور، ظرفیت حدی هر منطقه یا ناحیه به طور قانونی و نهادی مشخص و هرگونه سیاست توسعه‌ای در چارچوب ظرفیت‌های طبیعی منطقه و کشور تعریف و اجرا شود. بدین معنی که کشاورزی، صنعت و شهرسازی تنها در مناطقی گسترش یابند که از منظر توان طبیعی و زیست‌محیطی قابل توجیه هستند.
- **تعیین پتانسیل خودکفایی :**خودکفایی در تولید محصولات کشاورزی اگر بدون توجه به محدودیت‌های آبی و اکولوژیک دنبال شود، بحران را تشدید می‌کند. بنابراین لازم است تصمیم سازان پتانسیل خودکفایی را مشخص و تصمیم گیران حد خودکفایی را در قالب سناریوهای مختلف در چارچوب توان اکولوژیک و با لحاظ‌کردن تجارت و امنیت غذایی و امنیت ملی تعیین کنند.
- **ترجیح دادن منافع ملی بر منافع گروهی، سیاسی و منطقه‌ای:** بسیاری از بحران‌های آب ناشی از تصمیم‌هایی بوده‌اند که منافع کوتاه‌مدت گروه‌ها یا مناطق خاص را بر منافع ملی ترجیح داده‌اند. هستهٔ تصمیم‌گیری باید به‌طور شفاف اعلام کند که منافع

ملی و امنیت پایدار کشور بر هر منفعت بخشی مقدم است. در این راستا تدوین قوانین و ضوابط شفاف و قابل اجرا و پایش ضروری است.

- **پرهیز از توسعهٔ یکجانبه سازه‌ای و سخت‌افزاری:** تجربه نشان داده است تمرکز صرف بر سدسازی و انتقال آب بدون توجه به مدیریت تقاضا و پیامدهای زیست‌محیطی، بحران را عمیق‌تر می‌کند. بنابراین، باید روشن شود که توسعهٔ سازه‌ای تنها بخشی از راه‌حل است و باید در کنار مدیریت نرم‌افزاری، مشارکت اجتماعی و فناوری‌های نوین قرار گیرد.
- **توجه به مصالح و امنیت ملی:** باید روشن شود که مدیریت آب نه یک موضوع بخشی، بلکه یک موضوع امنیت ملی است. تصمیمات باید با نگاه به مصالح کلی کشور اتخاذ شوند، زیرا بحران آب می‌تواند به مهاجرت، نابرابری اجتماعی و حتی تهدیدهای امنیتی منجر شود.

اصلاح ساختارهای نهادی و حکمرانی

پیش از این هم گفته شد که هرگونه اصلاح در ساختارهای نهادی و حکمرانی پس از اصلاح در مدل‌های ذهنی و باورها امکان پذیر است. ساختارهای نهادی و حکمرانی باید بر اساس اصول نگرش سیستمی برای رسیدن به حکمرانی مطلوب تغییر یابند. در این راستا، اقدامات زیر ضروری و اجتناب ناپذیر به نظر می رسد:

- اصلاح ساختار حکمرانی در راستای ایجاد نهاد ملی هماهنگ‌کننده.
- مدیریت یکپارچهٔ منابع آب.
- تمرکز بر مدیریت تقاضا.
- تدوین نظام حقوق آب به شکلی شفاف و اولویت‌بندی تخصیص.
- توسعهٔ سامانه‌های پایش و داده‌محوری.
- بهبود نظام حکمرانی داده و آمار منابع آب.
- مشارکت اجتماعی و حکمرانی چندسطحی.
- ایجاد هماهنگی و همگرایی بین اهداف اسناد بالادستی.

مدیریت منابع آب در ایران تحت تأثیر تعدد نهادهای متولی است. وزارت نیرو، وزارت جهاد کشاورزی، سازمان محیط زیست، شهرداری‌ها و دیگر نهادها که هریک بخشی از مسئولیت را بر عهده دارد و در اغلب موارد نیز تعارض یا حتی تضاد منافع بین آنها هم به‌صورت بین نهادی و هم درون نهادی بسیار مشهود است. این پراکندگی نهادی موجب می‌شود تا تصمیمات در سطح بخشی اتخاذ شوند و نگاه کل‌نگر سیستمی جای خود را به سیاست‌های جزیره‌ای بدهد. تشکیل یک نهاد ملی اجرایی در کنار تقویت ساختار شورای عالی آب، با اختیارات فراگیر می‌تواند سیاست‌های وزارتخانه‌ها و سازمان‌های مختلف را یکپارچه و تصمیمات را بر اساس ظرفیت اکولوژیک حوضه اتخاذ و تمهیدات لازم را برای اعمال وظایف قانونی و تنظیم امور اجرایی در چارچوب سیاست‌ها و ضوابط تعیین شده فراهم کند. تجربهٔ کشورهای پیشرو نشان می‌دهد حکمرانی مبتی بر مدیریت واحد و یکپارچه می‌تواند به کاهش تعارضات و افزایش کارایی منجر شود. در واقع این نوع حکمرانی راهبردی است کلیدی برای عبور از بحران‌های پیچیده منابع آب که به جای مدیریت بخشی و جزیره‌ای، بر تعامل بین کشاورزی، صنعت، محیط زیست، و جامعه تمرکز دارد. تحقق حکمرانی مطلوب مستلزم اصلاح ساختارهای نهادی، یکپارچه‌سازی وظایف سیاست‌گذاری، تنظیم‌گری و اجرا، تقویت سازوکارهای مشارکت ذی‌نفعان، و بهره‌گیری هدفمند از تجربه‌های تطبیقی بین‌المللی است (Maleki and Akbari, 2025).

گذار از سیاست عرضه‌محور به تقاضامحور یکی دیگر از اصلاحات ساختاری است. سیاست‌های پنج دههٔ اخیر عمدتاً بر مدیریت عرضه با سدسازی و انتقال آب و توسعهٔ کشاورزی آبی متمرکز بوده‌است. رویکرد عرضه‌محور با فشار بر منابع آب و خاک موجب افت کمی و کیفی این دو نهادهٔ حیاتی تولید و تشدید مخاطرات زیست محیطی مانند خشک شدن

تالاب‌ها، افت شدید سطح آب های زیرزمینی و فراگیر شدن پدیدهٔ فرنشست در اغلب مناطق و دشت‌های کشور شده است. تغییر رویکرد به مدیریت تقاضا و بهره‌وری، کلید اصلاح پایدار است. بدون اصلاح اساسی در سیستم حکمرانی آب، هیچ فرصتی برای اجرای راه‌حل‌های سیستمی و کاهش‌دادن یا پایان دادن به بحران آب در ایران وجود ندارد (Samadi Froushani, *et al*., 2022).

تدوین قوانین شفاف و اولویت بندی تخصیص آب یکی دیگر از موارد اصلاح ساختاری برای تدوین نظام حقوق آب است. تخصیص آب در بسیاری از مناطق به جای قوانین شفاف و پایدار بر اساس عرف و فشار اجتماعی است. این امر موجب برداشت بی‌رویه و رقابت ناسالم بین بخش‌ها شده است. قوانین باید اولویت شرب، محیط‌زیست و کشاورزی را به‌صورت شفاف مشخص کنند. گرچه نظام تخصیص به‌شدت متاثر از سنت‌ها و الگوهای تجربی استفاده از آب است، ولی مسائل پیچدهٔ امروزی و فشارهای روبه‌رشد فعلی بر منابع آب تدوین و اجرای نظام تخصیص سنجیده را بیش از پیش ضروری می‌نماید. تدوین چنین نظامی، موجب می‌شود تا برنامهٔ تخصیص آب در شرایط گوناگون به‌ویژه در بحرانی عملکرد خوبی داشته باشد و خود را با حداقل هزینه با تغییر شرایط تطبیق دهد (Molle and Berkoff, 2007; OECD, 2015; Gupta, *et al*., 2024).

مشارکت کشاورزان و جوامع محلی در مدیریت منابع آب به همراه ارتقای دانش و توانمندی مدیران محلی و کشاورزان برای اجرای سیاست‌های پایدار ، اثربخشی سیاست‌ها را افزایش می‌دهد و حکمرانی چندسطحی موجب می‌شود مدیریت آب در سه سطح ملی، استانی و محلی هماهنگ شود تا تصمیمات متناسب با شرایط منطقه‌ای اتخاذ گردد (Naeem *et al*., 2023).

یکی از پیش‌شرط‌های اساسی در مدیریت پایدار منابع آب، دسترسی به داده‌های دقیق، معتبر و به‌روز است. پراکندگی اطلاعات بین نهادهای مختلف و نبود استانداردهای مشترک موجب شده تا تصمیم‌ها اغلب بر پایهٔ داده‌های ناقص یا متناقض گرفته شود. پژوهش‌های بین‌المللی نشان می‌دهند که کیفیت تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب ارتباط مستقیم با کیفیت داده‌های هیدرولوژیک و سامانه‌های پایش دارد. به عبارتی دیگر، منابع آب را نمی‌توان مدیریت کرد مگر اینکه مشخص شود کجا هستند، چه کمیت و کیفیتی دارند و در آیندهٔ قابل پیش‌بینی چقدر متغیر خواهند بود (Stewart, 2015). به همین دلیل ایجاد پایگاه‌های داده ملی و فرابخشی که اطلاعات منابع آب سطحی و زیرزمینی، کیفیت آب، الگوی مصرف و شاخص‌های اجتماعی و اقتصادی را گردآوری کنند، ضرورتی انکارناپذیر است. تجربه‌های جهانی مانند پایگاه داده سازمان فائو[1] نشان می‌دهد که طراحی چنین سامانه‌هایی بر اساس استانداردهای بین‌المللی نه‌تنها شفافیت و اعتماد اجتماعی را افزایش می‌دهد، بلکه زمینه‌ساز هماهنگی نهادی و اتخاذ سیاست‌های پایدار در سطح ملی خواهد بود . پایش بلادرنگ داده‌ها با استفاده از فناوری‌های نوین امکان ثبت تغییرات منابع آب را در زمان واقعی فراهم می‌سازد و تصمیم‌گیران را قادر می‌سازد تا بر پایهٔ شواهد علمی اقدام کنند (Chen, 2024). همان‌طور که یونسکو در گزارش جهانی آب تأکید کرده است، داده‌های معتبر و سامانه‌های پایش مستمر زیربنای مدیریت پایدار منابع آب و مقابله با فشارهای رو به رشد بر این منابع حیاتی هستند (UNESCO, 2019).

در سال‌های اخیر اسناد متعددی مانند برنامهٔ هفتم توسعه، سند سازگاری با کم‌آبی، نقشهٔ راهِ آب، سند امنیت غذایی و سند الگوی کشت تدوین و منتشر شده‌اند. هر یک از این اسناد هدف‌ها و رویکردهای خاص خود را دنبال می‌کند، اما نبود هماهنگی و همگرایی میان آنها موجب پراکندگی سیاست‌ها و کاهش اثربخشی اقدامات شده است. ضروری است یک سازوکار نهادی برای یکپارچه‌سازی

[1] FAO AQUASTAT

هدف‌ها و هم‌راستاسازی برنامه‌ها ایجاد شود تا تمامی اسناد بالادستی در چارچوبی مشترک و منسجم عمل کنند. این هماهنگی نه‌تنها از تعارضات بین‌بخشی جلوگیری می‌کند، بلکه منابع مالی و اجرایی کشور را به‌سوی تحقق هدف‌های ملی در حوزهٔ آب و امنیت غذایی هدایت خواهد کرد.

اقدامات تطبیقی و پیشگرانه

همانطور که پیش از این بیان شد، روندها و الگوهای تکرار شونده در مدل کوه یخی بلافاصله زیر رویدادهای قابل مشاهده قرار دارند که نتیجهٔ لایهٔ زیرین خود یعنی ساختارهای نهادی هستند. به عبارتی دیگر، بحران‌های امروز در مدیریت منابع آب حاصل تداوم روندها و الگوهای نادرست طی زمان هستند. بدون تردید مدیریت پایدار منابع آب نیازمند اصلاح روندها و الگوهای مصرف، تولید و تصمیم‌گیری است. ماهیت راه‌حل‌ها و اقدامات اصلاحی در این سطح، از نوع پیشگیری و تطبیق است تا چرخه‌های مخرب به چرخه‌های سازگار تبدیل شوند. مهم‌ترین اقدام‌ها در این مرحله عبارت‌اند از:

- **اصلاح الگوی مصرف و تقاضا:** لازم است روند مصرف خانگی، کشاورزی و صنعتی از الگوی پرمصرف به الگوی بهره‌ور، از طریق آموزش، قیمت‌گذاری واقعی و فناوری‌های کم‌مصرف تغییر یابد و اصلاح شود.
- **اصلاح الگوی کشت و تولید:** در این راستا جایگزینی محصولات پرآب‌بر با محصولات سازگار با اقلیم و بازار، و هدایت روندهای تولید به سمت بهره‌وری و ارزش افزودهٔ بیشتر می تواند بسیار موثر باشد.
- **اصلاح روندهای توسعه شهری و صنعتی:** برنامه ریزی و اقدام عملی برای جلوگیری از تمرکز صنایع آب‌بر در مناطق خشک و هدایت توسعه به مناطقی با ظرفیت اکولوژیک مناسب توصیه می شود.
- **سازگاری با شرایط اقلیمی:** بحران آب در قرن ۲۱ بیش از هر چیز با تغییرات اقلیمی گره خورده است. بنابراین، سازگاری با تغییرات اقلیمی نه یک انتخاب، بلکه یک ضرورت برای مدیریت پایدار منابع آب محسوب می‌شود. مدیریت تقاضا، بازچرخانی آب، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های مقاوم، استفاده از فناوری‌های آبیاری هوشمند در کشاورزی، توسعه آبخوانداری از جمله راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت و سازگاری با اقلیم هستند.

همانطوریکه اشاره شد، اصلاحات در سطح روندها و الگوها، نقش پیشگیرانه دارند و مانع از آن می‌شوند که بحران‌ها به سطح رویدادهای آشکار مانند فرونشست زمین یا خشکیدگی تالاب‌ها برسند. در واقع، با تغییر مسیر الگوهای تکرارشونده، می‌توان آینده‌ای پایدارتر برای منابع آب کشور رقم زد.

علاج بخشی رویدادها

در کنار برنامه‌ریزی برای اصلاحات بنیادین در سطوح عمیق‌ترِ مدل کوه یخی یعنی باورها، الگوهای ذهنی و ساختارهای نهادی، ضروری است که برای مدیریت پیامدهای ملموس و روزمرهٔ بحران آب نیز اقدامات مستقیم و علاج‌بخش طراحی و اجرا شود. این اقدامات نقش مهمی در کاهش فشارهای فوری بر جوامع، بخش‌های اقتصادی و محیط‌زیست دارند و باید هم‌زمان یا حتی با اولویت زمانی بیشتر، متناسب با شرایط هر مسئله، به اجرا درآیند. در این سطح، تمرکز بر اقداماتی با ماهیت کنترل و علاج بخشی است که بتوانند به‌سرعت اثر قابل مشاهده ایجاد کنند. از جمله این اقدامات می توان به مواردی نظیر؛ افزایش بهره‌وری و کاهش اتلاف در بخش‌های مختلف، اصلاح الگوی تولید و مصرف، مدیریت تقاضا، و تنوع‌بخشی به منابع آب با بهره‌گیری از رویکردهای فناورانه و نوآورانه اشاره کرد. این مداخلات باید مسئله‌محور، متناسب با ویژگی‌های هر منطقه و مبتنی بر تحلیل دقیق وضعیت باشند تا بتوانند ضمن کاهش شدت بحران، فرصت و زمان لازم برای اجرای اصلاحات عمیق‌تر را فراهم کنند. جزئیات اجرایی هر اقدام،

بسته به ماهیت مسئله و شرایط محلی، قابل طراحی و برنامه‌ریزی است. اما نکته قابل توجه در اینجا این است که این اقدامات لازم است با رویکرد سیستمی و در امتداد اصلاحات ساختاری و ذهنی قرار گیرند، تا از تکرار چرخه بحران جلوگیری شود.

در مجموع و با عنایت به مطالب عنوان شده می توان گفت بحران آب ایران چالشی است ملی چندبخشی و اساسی‌ترین اقدام تصمیم به تغییر رویکرد از بخشی نگری و جزئی نگری به رویکرد کل نگر تفکر سیستمی است. تجربه‌های جهانی نشان دادند که تفکر سیستمی در مدیریت منابع آب رویکردی است جامع که با تاکید و تکیه بر مدیریت یکپارچه و حوضه‌ای، مشارکت ذی‌نفعان و جوامع محلی، استفاده از ابزارهای تحلیلی سیستمی، توجه به تاب‌آوری اجتماعی و اکولوژیک امکان تصمیم‌گیری مشارکتی و سیاست‌گذاری پایدار را فراهم می‌آورد. بدین ترتیب با توجه به تجربه‌های موجود و شرایط حاکم بر وضعیت منابع و مصارف آب به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان می‌توان گفت گذار از مدیریت بخشی و سازه‌ای به رویکرد سیستمی، نه یک انتخاب بلکه ضرورتی حیاتی برای پایداری منابع آب است.

تشکر و قدردانی

از داوران محترم که با پیشنهادات خود موجبات ارتقای کیفی مقاله را فراهم کردند، سپاسگزاری می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

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

منابع مالی

نویسندگان هیچ گونه حمایت مالی برای تحقیق، تألیف و انتشار این مقاله دریافت نکرده‌اند.

دسترسی به داده ها

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

مشارکت نویسندگان

نویسنده نسخه منتشر شده مقاله را خوانده و با آن موافقت کرده است.

منابع

Abdullaev, I., Wegerich, K., and Kazbekov, J. 2020. History of water management in the Aral Sea basin. Water for sustainable development in Central Asia. 8–24.

Ackoff, R. L. (1970). A Concept of Corporate Planning. Wiley-Interscience.

Alamanos, A., Xenarios, S., Assubayeva, A., et al. 2025. Systems-thinking innovations for water security. Frontiers in Water, 6:149269

Alexander, David E. (1999). Encyclopedia of Environmental Science. Springer. ISBN 0-412-74050-8.

Athari, Z., Pezeshki Rad, G., Abbasi, E., Alibaygi, A., & Westholm, E. (2017). Designing a model for integrated watershed management in Iran. Water Policy, 19(6), 1143–1159.

Barbrook-Johnson, P., Penn, A.S. (2022). Systems Mapping. How to build and use causal models of systems. Palgrave Macmillan, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-01919-7_4

Berndtsson, R.; Tussupova, K. (2020). The Future of Water Management in Central Asia. Water, 12(8), 2241. https://doi.org/10.3390/w12082241

Bozorg-Haddad, O. and Seifollahi, S. (2019). Introduction to Uncertainty Analysis in Water Resources Systems. Tehran University Press

Chen, Y. (2024). Real-time data monitoring of water resources environment based on computer remote data collection and image analysis. Optical and Quantum Electronics, 56(618). https://doi.org/10.1007/s11082-024-05618-7

Chen, Y., Colloff, M. J., Lukasiewicz, A., & Pittock, J. (2021). A trickle, not a flood: Environmental watering in the Murray–Darling Basin, Australia. Marine and Freshwater Research, 72(5), 601–619. https://doi.org/10.1071/MF20172

European Parliament and Council. (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities, L 327, 1–73. Available at: EUR-Lex

Faghihipour, J. and Keshavarz, M. (2019). Systems Thinking of Leadership as the Foundation of the Organization, Tehran, Dar Al-Fonun Publications, First Edition.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (n.d.). AQUASTAT – FAO's global information system on water and agriculture. Retrieved from http://www.fao.org/aquastat

Grigg, N. S. (2023). Systems engineering and water resources management: A closer relationship is needed. Systems Engineering, 26(5), 557–570. https://doi.org/10.1002/sys.21725

Gleick, P. H. (2003). Global freshwater resources: Soft-path solutions for the 21st century. Science, 302(5650), 1524–1528.

Gupta, J., Müller, A. B., Bosch, H., van Vliet, L., & Karg, A. (2024). SDG 16 and water (re)allocation: Promoting the rule of law for water justice. Science-Policy Brief for the Multistakeholder Forum on Science, Technology and Innovation for the SDGs. United Nations.

Hjorth, P., & Madani, K. (2013). Systems Analysis to Promote Frames and Mental Models for Sustainable Water Management. In Sciforum Electronic Conference Series (Vol. 3). Sciforum.net. https://doi.org/10.3390/wsf3-f003

Ison, R., Blackmore, C., & Iaquinto, B. (2013). Managing systemic change: systems thinking and policy making in the water sector. Water Policy.

Kallis, G., and Butler, D. (2001). The EU Water Framework Directive: Measures and implications. Water Policy, 3(2), 125–142. https://doi.org/10.1016/S1366-7017(01)00007-1

Kim, D. H. (1994). Systems Archetypes II: Using Systems Archetypes to Take Effective Action, Vol. 2. Waltham, MA: Pegasus Communications.

Kim, D. H. (1999). Introduction to Systems Thinking. Pegasus Communications.

Loucks, D. P., and van Beek, E. (2017). Water resource systems planning and management: An introduction to methods, models, and applications. Cham: Springer.

Maleki Ghaleh, H., Ardakanian, R., Bagheri, A. (2025). Diagnosis of Existing Laws Affecting Water Resources Management in Iran with a System Dynamics Approach. Iranian Water Resources Research. Volume 21, Issue 3 - Serial Number 75

Maleki P. and Akbari, M. (2025). Requirements for Establishing an Effective Governance System for Water and Soil Resources in Iran: A Systematic Review. Iranian Water Resources Research. Volume 21, Issue 3 - Serial Number 75

McLean, S., Gemma J. M., Adam, H., Karl, D., Colin, S. and Paul M. S. 2019. Beyond the Tip of the Iceberg: Using Systems Archetypes to Understand Common and Recurring Issues in Sports Coaching. Sec. Physical Education and Pedagogy. Volume 1, https://doi.org/10.3389/fspor.2019.00049

Meadows, D. (2008). Thinking in Systems: A Primer. Chelsea Green Publishing.

Mokhtari, Gh. 2015. Systems thinking; Principles, Tools and Methods. University of Ghom Press

Molle, F., & Berkoff, J. (2007). Water resources allocation: Policy and socioeconomic issues in agriculture. Wallingford, UK: CABI Publishing.

Mousavi, S J. Water resources Management; A System Aproach.2017. Amikabir University of thechnology Press.

Nabiafjadi, S., Sharifzadeh, M., Shabanali Fami, H., Ahmadvand, M. (2024). A Comparative Analysis of Good Water Governance in Iran's Water-Poor Basins. Water Resources Management, 38, 6025–6044.

Naeem, K.; Zghibi, A.; Elomri, A.; Mazzoni, A.; Triki, C. A Literature Review on System Dynamics Modeling for Sustainable Management of Water Supply and Demand. Sustainability 2023, 15(8), 6826. https://doi.org/10.3390/su15086826

Nile S. Grigg, 2024, Systems engineering and water resources management: A closer relationship is needed, Systems Engineering, Volume27, Issue2, pp: 440-444, https://doi.org/10.1002/sys.21725

OECD. (2015). Water resources allocation: Sharing risks and opportunities. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development Publishing.

Pahl-Wostl, C. (2007). Transitions towards adaptive management of water facing climate and global change. Water Resources Management.

Prajapati, S. 2021. Synthetic Thinking vs Analytical Thinking. Innopreneurs. https://innopreneurs.substack.com/p/synthetic-thinking-vs-analytical

Perry, C. 2017. Does improved irrigation technology save water? A review of the evidence. FAO. Rome. Italy.

Rosely, W.I.H., Voulvoulis, N. 2024. System Thinking for Sustainable Water Management: The Use of System Tools in Sustainability Transitions. Water Resour Manage 38, 1315–1337 (2024). https://doi.org/10.1007/s11269-023-03723-6

Ross D. Arnold, Jon P. Wade,2015. A Definition of Systems Thinking: A Systems Approach, Procedia Computer Science, Volume 44, Pages 669-678, https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.050

Samadi-Foroushani, M., Keyhanpour, M.J., Musavi-Jahromi, S.H., & Ebrahimi, H. (2022). Integrated Water Resources Management Based on Water Governance and Water-food-energy Nexus in Iran. Water Resources Management, 36, 6093–6113.

Senge, P. M. (1990). The Fifth Discipline: The Art & Practice of The Learning Organization. Currency. Amazon

Stave, K. A. (2003). A system dynamics model to facilitate public understanding of water management options in Las Vegas, Nevada. Journal of Environmental Management, 67(3), 303–313.

Stewart, B. (2015). Measuring what we manage – the importance of hydrological data to water resources management. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, 366, 80–85. https://doi.org/10.5194/piahs-366-80-2015

Tidwell, V. C., Passell, H. D., Conrad, S. H., & Thomas, R. P. (2004). System dynamics modeling for community-based water planning: Application to the Middle Rio Grande. Aquatic Sciences, 66(4), 357–372.

U.S. Bureau of Reclamation. (2022). Colorado River Simulation System (CRSS) and Colorado River Mid-term Modeling System (CRMMS): General Modeling Information. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation. Retrieved from. https://www.usbr.gov/lc/region/g4000/riverops/model-info.html

UNESCO. (2019). World water development report 2019: Leaving no one behind. Paris: UNESCO Publishing.

Yazdanian, N., & Mohammadjani, E. (2014). Analysis of the water crisis in Iran and the requirements for its management. Ravand Quarterly, Vol. 21, No.65–66, pp:117–144.

Yıldız, D. (2023). Why is a systems-thinking approach needed to address the global water problems? World Water Management, Diplomacy & Science News. TRIS: 12018-10030

Zhou, K., Puchol-Salort, P., Pluchinotta, I., Beriro, D., Zimmermann, N., & Mijic, A. (2025). Systems thinking in water neutrality governance: Moving from system failures to resilient urban water systems. Journal of Cleaner Production, 512, 145655. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145655