Water Resources and Climate Change
University of Qom
Online ISSN: 3092-6769
https://wrcc.qom.ac.ir/

Integrated Water Resources Management in the Era of Climate Change: The Role of Meteorological Forecasting and Human Capital in Enhancing the Resilience of Water Systems

Ayub Gravand[1], Hamze Farajollahi Moghadam[2], Bahman Gholami[3], Mohammad Bagher Koopaii[4]✉

1. Department of Business Administration, Payam Noor University, Tehran, Iran. E-mail: garavand.auob@pnu.ac.ir
2. Department of Business Administration, Payam Noor University, Tehran, Iran. E-mail: farajolahi435@pnu.ac.ir
3. Department of Business Administration, Payam Noor University, Tehran, Iran. E-mail: bgholami@pnu.ac.ir
4. Corresponding Author, Department of Social Sciences, Faculty of Humanities, Payam Noor University, Tehran, Iran. E-mail: mohammadkoopai@pnu.ac.ir

Article Info

Article type:
Review Article

Article history:
Received 18 Dec 2025
Revised 24 Feb 2026
Accepted 17 Mar 2026
Published 29 Mar 2026

Keywords:
Integrated Water Resources Management,
Climate Change,
Meteorological and Climate Forecasting,
Human Capital,
Resilience of Water Systems.

ABSTRACT

Climate change, by altering precipitation patterns, increasing the frequency and intensity of extreme events, and intensifying hydrological uncertainty, has created unprecedented challenges for water resources management. In response, Integrated Water Resources Management (IWRM) has emerged as the dominant framework. However, existing evidence indicates that the prevailing focus of the literature has been largely on technical and data-driven dimensions, while comparatively limited attention has been paid to the role of human capital alongside meteorological and climate forecasting. The objective of this study is to provide a critical review and synthesis of the existing literature, with a particular emphasis on the interconnections among climate forecasting, human capital, and the resilience of water systems. This research adopts an analytical review approach, examining peer-reviewed articles published over the past decade in leading international databases. Selected studies were analyzed based on their relevance to integrated water resources management, climate change, meteorological forecasting, and human capacity, and were evaluated through qualitative and comparative methods. The findings indicate that, despite the critical importance of meteorological and climate forecasts in reducing flood and drought risks, their effectiveness in informing water management decisions depends fundamentally on the presence of skilled human capital and flexible institutional structures. Empirical evidence suggests that water systems supported by strong human capacity demonstrate greater resilience in the face of climate variability and change. This study underscores the necessity of adopting a human-centered and adaptive approach to water resources management. It demonstrates that the meaningful integration of climate forecasting with human resource management within the IWRM framework plays a pivotal role in enhancing the resilience and sustainability of water systems in the era of climate change.

Cite this article: Gravand A, Farajollahi Moghadam H, Gholami B, Koopaii MB. Integrated water resources management in the era of climate change: The role of meteorological forecasting and human capital in enhancing the resilience of water systems. Water Resources and Climate Change. (2026); 2(1): 45-58. https://doi.org/10.22091/wrcc.2026.14903.1031.

Publisher: University of Qom.
© The Authors.
https://doi.org/10.22091/wrcc.2026.14903.1031

Integrated Water Resources Management in the Era of Climate Change: The Role of Meteorological Forecasting and Human Capital in Enhancing the Resilience of Water Systems

Ayub Gravand[1], Hamze Farajollahi Moghadam[2], Bahman Gholami[3], Mohammad Bagher Koopaii[4]✉

1. Department of Business Administration, Payam Noor University, Tehran, Iran. E-mail: garavand.auob@pnu.ac.ir
2. Department of Business Administration, Payam Noor University, Tehran, Iran. E-mail: farajolahi435@pnu.ac.ir
3. Department of Business Administration, Payam Noor University, Tehran, Iran. E-mail: bgholami@pnu.ac.ir
4. Corresponding Author, Department of Social Sciences, Faculty of Humanities, Payam Noor University, Tehran, Iran. E-mail: mohammadkoopai@pnu.ac.ir

Extended Abstract

Background and Objective

Climate change increasingly stresses global water systems by altering precipitation patterns, raising temperatures, intensifying evapotranspiration, and increasing the frequency and severity of floods and droughts. These changes undermine the reliability of historical hydrological records that have guided water planning and infrastructure design, exposing managers and policymakers to heightened uncertainty, non-stationarity, and complex trade-offs among competing water uses. Integrated Water Resources Management (IWRM) has been promoted as a comprehensive framework to balance social, economic, and environmental objectives through coordinated management of water, land, and related resources.

Despite its policy prominence, IWRM's effectiveness under climate change remains uneven. Advances in meteorological and climate forecasting—from short-term weather predictions to seasonal and long-term projections—offer substantial potential to enhance adaptive capacity and reduce water-related risks. Yet, the uptake of such forecasts in decision-making is often limited, as most research focuses on technical improvements in models and data, while the human and institutional dimensions shaping how forecasts are interpreted and applied remain underexplored. In particular, human capital—including expertise, skills, experience, organizational learning, and leadership—has not been systematically integrated into climate-informed water management, despite its critical role in decision-making under uncertainty.

This review presents an integrative perspective that situates climate forecasts within a human-centered, governance-oriented framework. It argues that water system resilience under climate change depends not solely on data or technology, but on the dynamic interplay between climate information, institutional arrangements, and human capacity. Synthesizing interdisciplinary insights, the study highlights how human capital can enhance the effective use of climate forecasts within IWRM, thereby strengthening the resilience and sustainability of water systems.

Methodology

This study adopts an analytical narrative review, drawing on peer-reviewed literature from the past decade. Relevant articles were identified through Web of Science, Scopus, and

ScienceDirect using keywords related to climate change, water resources management, IWRM, meteorological and climate forecasting, human capital, governance, and resilience. Supplementary policy reports and foundational conceptual papers provided additional theoretical context.

The literature was assessed across three dimensions: (i) climate change impacts on water resources and hydrological uncertainties; (ii) the use of meteorological and climate forecasts in water management; and (iii) the role of human capital, institutional capacity, and governance in adaptive responses. The review employed a comparative and interpretive approach, examining how different studies conceptualize resilience, decision-making, and capacity building. Case studies from diverse socio-economic and climatic contexts—including developed and developing regions, as well as arid and semi-arid environments—illustrated empirical patterns and practical implications. The analysis identified cross-cutting themes, critical knowledge gaps, and avenues for future research and policy development.

Findings

The review highlights several interrelated findings. First, climate change has intensified hydrological variability and uncertainty, challenging conventional, infrastructure-centric water management and undermining the reliability of historical records, thereby necessitating flexible, anticipatory, and adaptive decision-making. Second, meteorological and climate forecasts offer significant potential to support proactive water management—improving drought preparedness, flood mitigation, reservoir operation, and water allocation—but their effectiveness is highly context-dependent and often constrained by institutional and human factors rather than forecast skill alone.

Third, human capital is pivotal for effective climate information use. Organizations with skilled personnel, interdisciplinary expertise, and strong leadership better interpret probabilistic forecasts, manage uncertainty, and integrate climate data into decisions, whereas limited capacity, poor training, high staff turnover, and weak learning mechanisms impede actionable use. Fourth, the interaction of human capital with governance structures shapes adaptive capacity. Participatory processes, cross-sectoral coordination, and sustained engagement with climate service providers enhance trust and relevance, promoting forecast-informed decisions. Evidence shows that investments in both climate services and capacity-building improve system resilience, reducing vulnerability and accelerating recovery.

Finally, the literature remains skewed toward technological solutions, with limited empirical research on human-centered interventions. Systematic evaluations of training, organizational reform, and learning-based approaches are particularly scarce in developing and water-scarce regions.

Conclusion

This review underscores the need to reconceptualize climate-informed water resources management as a human-centered, adaptive process. While meteorological and climate forecasts are vital for navigating uncertainty, their effectiveness depends on skilled human resources and supportive institutional frameworks. Integrated Water Resources Management (IWRM) provides a useful overarching structure, but its success under climate change requires explicitly embedding human capital as a key component of system resilience.

Findings suggest that future water policies and management strategies should move beyond a narrow focus on technological solutions toward integrated investments in data, institutions, and human capacity. Strengthening education, professional training, organizational learning, and leadership within water agencies can enhance the translation of climate information into actionable decisions. Research priorities include interdisciplinary and empirical studies examining how human capacity development interacts with climate services to shape adaptive outcomes. Ultimately, resilient water systems depend not only on improved forecasts but also on well-prepared people and institutions capable of learning, adapting, and responding to an uncertain future.

Keywords: Integrated Water Resources Management, Climate Change, Meteorological and Climate Forecasting, Human Capital, Resilience of Water Systems.

Cite this article: Gravand A, Farajollahi Moghadam H, Gholami B, Koopaii MB. Integrated water resources management in the era of climate change: The role of meteorological forecasting and human capital in enhancing the resilience of water systems. Water Resources and Climate Change. (2026); 2(1): 45-58. https://doi.org/10.22091/wrcc.2026.14903.1031.

Declarations

- **Ethical Approval**

■ The paper is not currently being considered for publication elsewhere. All authors have been personally and actively involved in substantial work leading to the paper, and will take public responsibility for its content.

- **Competing interests**

■ Conflict of Interest - None

- **Availability of data and materials**

■ Data will be made available on the request.

- **Authors Contributions**

Ayub Gravand performed the calculations. Hamze Farajollahi Moghadam approved the analytical methods. Bahman Gholami supervised the findings of this work. Mohammad Bagher Koopaii discussed the results, and contributed to the final version of the paper.

- **Acknowledgements**

■ The authors would like to thank all participants in the present study

- **Funding**

■ This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

منابع آب و تغییر اقلیم
دانشگاه قم
شاپای الکترونیکی: ۶۷۶۹-۳۰۹۲
https://wrcc.qom.ac.ir/

مدیریت یکپارچه منابع آب در عصر تغییر اقلیم: نقش پیش‌بینی‌های هواشناسی و سرمایه انسانی در تاب‌آوری سامانه‌های آبی

ایوب گراوند[۱]، حمزه فرج‌اللهی مقدم[۲]، بهمن غلامی[۳]، محمدباقر کوپایی[۴]✉

۱. گروه مهندسی دانشکده مدیریت، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: garavand.auob@pnu.ac.ir
۲. گروه مهندسی دانشکده مدیریت، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: farajolahi435@pnu.ac.ir
۳. گروه مهندسی دانشکده مدیریت، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: bgholami@pnu.ac.ir
۴. نویسنده مسئول، گروه علوم اجتماعی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: mohammadkoopai@pnu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله مروری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۲۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۲۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۰۹

کلیدواژه‌ها:
مدیریت یکپارچه منابع آب، تغییر اقلیم، پیش‌بینی‌های هواشناسی و اقلیمی، سرمایه انسانی، تاب‌آوری سامانه‌های آبی.

چکیده

تغییر اقلیم با دگرگون‌سازی الگوهای بارش، افزایش رخدادهای حدی و تشدید عدم‌قطعیت آب شناسی، چالش‌های بی‌سابقه‌ای را برای مدیریت منابع آب ایجاد کرده است. در پاسخ به این شرایط، مدیریت یکپارچه منابع آب به‌عنوان چارچوب غالب مطرح شده است، با این حال شواهد نشان می‌دهد که تمرکز غالب مطالعات بر ابعاد فنی و داده‌محور بوده و نقش سرمایه انسانی در کنار پیش‌بینی‌های هواشناسی و اقلیمی کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. هدف این تحقیق، مرور و تحلیل انتقادی ادبیات موجود با تمرکز بر پیوند میان پیش‌بینی‌های اقلیمی، سرمایه انسانی و تاب‌آوری سامانه‌های آبی است. این مطالعه به‌صورت مروری تحلیلی انجام شده و مقالات علمی منتشر شده در دهه اخیر از پایگاه‌های معتبر بین‌المللی مورد بررسی قرار گرفتند. منابع انتخاب شده براساس ارتباط با مدیریت یکپارچه منابع آب، تغییر اقلیم، پیش‌بینی‌های هواشناسی و ظرفیت انسانی تحلیل و به‌صورت کیفی و تطبیقی ارزیابی شدند. نتایج نشان می‌دهند که پیش‌بینی‌های هواشناسی و اقلیمی، علی‌رغم اهمیت بالا در کاهش ریسک سیلاب و خشک‌سالی، تنها در صورت وجود سرمایه انسانی توانمند و ساختارهای نهادی منعطف می‌توانند به تصمیم‌های مدیریتی مؤثر تبدیل شوند. شواهد تجربی بیانگر آن است که سامانه‌های آبی با ظرفیت انسانی قوی، عملکرد تاب‌آورتری در مواجهه با تغییرات اقلیمی دارند. این تحقیق بر ضرورت رویکردی انسان‌محور و تطبیقی در مدیریت منابع آب تأکید می‌کند و نشان می‌دهد که ادغام معنادار پیش‌بینی‌های اقلیمی با مدیریت منابع انسانی در چارچوب مدیریت یکپارچه منابع آب، نقش کلیدی در ارتقای تاب‌آوری و پایداری سامانه‌های آبی در عصر تغییر اقلیم ایفا می‌کند.

استناد: گراوند ایوب، غلامی بهمن، حمزه فرج‌اللهی مقدم، محمدباقر کوپایی. مدیریت یکپارچه منابع آب در عصر تغییر اقلیم: نقش پیش‌بینی‌های هواشناسی و سرمایه انسانی در تاب‌آوری سامانه‌های آبی. *منابع آب و تغییر اقلیم*. ۱۴۰۵؛ ۲(۱): ۴۵-۵۸.
http//doi.org/10.22091/wrcc.2026.14903.1031

ناشر: دانشگاه قم.
© نویسندگان.
شناسه دیجیتال: https://doi.org/10.22091/wrcc.2026.14903.1031

۱- مقدمه

بحران جهانی آب در دهه‌های اخیر به یکی از جدی‌ترین چالش‌های توسعه پایدار تبدیل شده است، به‌گونه‌ای که تغییر اقلیم به‌عنوان یک عامل تشدیدکننده، پایداری سامانه‌های آبی در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و جهانی را به‌طور بی‌سابقه‌ای تحت تأثیر قرار داده است. افزایش دمای متوسط جهانی، تغییر الگوهای بارش، افزایش فراوانی و شدت رخدادهای حدی نظیر خشک‌سالی‌ها و سیلاب‌ها و هم‌چنین جابه‌جایی فصلی بارندگی‌ها، موجب شده‌اند که چرخه آب‌شناسی از وضعیت تاریخی خود، فاصله گرفته و وارد مرحله‌ای از ناپایداری ساختاری شود. این تحولات نه‌تنها کمیت منابع آب تجدیدپذیر را کاهش داده‌اند، بلکه کیفیت آب، قابلیت پیش‌بینی جریان‌ها و امنیت تأمین آب برای بخش‌های کشاورزی، شهری و صنعتی را نیز به‌طور هم‌زمان تهدید می‌کنند [۱].

شواهد هواشناسی و اقلیم‌شناسی نشان می‌دهند که عدم‌قطعیت در الگوهای بارش و رواناب در حال افزایش است و بسیاری از حوضه‌های آبریز جهان با شرایطی مواجه‌اند که در آن داده‌های تاریخی دیگر مبنای قابل اعتمادی برای برنامه‌ریزی بلندمدت محسوب نمی‌شوند [۲]. در چنین شرایطی، مدیریت منابع آب که به‌طور عمده بر فرض ایستایی اقلیم و ثبات رژیم‌های آب‌شناسی بنا شده بود، کارایی خود را از دست داده و نیازمند بازنگری اساسی شده است [۳].

رویکردهای سنتی مدیریت منابع آب که اغلب به‌صورت بخشی، مهندسی‌محور و مبتنی‌بر کنترل عرضه توسعه یافته‌اند، در مواجهه با پیچیدگی‌های ناشی از تغییر اقلیم با محدودیت‌های جدی روبه‌رو هستند [۴]. تمرکز صرف بر توسعه زیرساخت‌های فیزیکی نظیر سدها و انتقال بین‌حوضه‌ای، بدون توجه کافی به تعاملات اجتماعی، نهادی و اقلیمی، در بسیاری از موارد منجر به افزایش آسیب‌پذیری سامانه‌های آبی شده است. افزون‌بر این، ضعف هماهنگی نهادی، نبود سازوکارهای مشارکتی و نادیده‌گرفتن نقش تصمیم‌گیری انسانی، از عوامل کلیدی ناکارآمدی این رویکردها به‌شمار می‌روند [۵]. در پاسخ به این چالش‌ها، مفهوم مدیریت یکپارچه منابع آب[1] به‌عنوان چارچوبی غالب و پذیرفته‌شده در سطح جهانی مطرح شده است. مدیریت یکپارچه منابع آب بر مدیریت هماهنگ آب، زمین و منابع مرتبط با هدف بیشینه‌سازی رفاه اقتصادی و اجتماعی به‌صورت عادلانه و بدون به‌خطر انداختن پایداری زیست بوم‌ها تأکید دارد. این رویکرد با عبور از نگاه بخشی، تلاش می‌کند تصمیم‌گیری آبی را در بستر تعاملات محیط‌زیستی، اجتماعی و نهادی بازتعریف کند. با وجود پذیرش گسترده مدیریت یکپارچه منابع آب، بسیاری از مطالعات نشان می‌دهند که اجرای عملی آن، به‌ویژه در شرایط تغییر اقلیم، هم‌چنان با چالش‌های جدی مواجه است [۶].

یکی از مهم‌ترین این چالش‌ها، شکاف بین تولید دانش علمی، به‌ویژه داده‌ها و پیش‌بینی‌های هواشناسی و اقلیمی، و استفاده مؤثر از آن در فرآیندهای تصمیم‌گیری مدیریتی است. در بسیاری از موارد، اطلاعات اقلیمی به‌صورت فنی تولید می‌شوند، اما به‌دلیل محدودیت‌های انسانی، نهادی و ارتباطی، به سیاست و عمل تبدیل نمی‌شوند [۷].

ادبیات موجود به‌طور عمده بر توسعه مدل‌ها، سامانه‌های پیش‌بینی و ابزارهای فناورانه تمرکز دارد، در حالی که نقش عامل انسانی به‌عنوان واسط اصلی تفسیر، اعتمادسازی و به‌کارگیری این اطلاعات کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. سرمایه انسانی، شامل دانش تخصصی، مهارت‌های تصمیم‌گیری، تجربه مدیریتی و ظرفیت یادگیری سازمانی، نقشی تعیین‌کننده در موفقیت یا شکست سیاست‌های سازگاری آبی ایفا می‌کند. نادیده‌گرفتن این بُعد انسانی باعث شده است که بسیاری از سامانه‌های مدیریت آب، علی‌رغم دسترسی به داده‌های پیشرفته هواشناسی، از تاب‌آوری کافی در برابر شوک‌های اقلیمی برخوردار نباشند [۸].

[1]- Integrated Water Resources Management – IWRM

بر این اساس، شکاف مهمی در ادبیات علمی قابل شناسایی است که به بررسی نظام‌مند تعامل میان پیش‌بینی‌های هواشناسی، چارچوب مدیریت یکپارچه منابع آب و مدیریت منابع انسانی پرداخته باشد. درک این تعامل می‌تواند مسیرهای جدیدی برای افزایش تاب‌آوری سامانه‌های آبی و بهبود تصمیم‌گیری تطبیقی در شرایط عدم‌قطعیت اقلیمی فراهم آورد.

هدف اصلی این تحقیق مروری، تبیین نقش هم‌افزای پیش‌بینی‌های هواشناسی و سرمایه انسانی در چارچوب مدیریت یکپارچه منابع آب و بررسی تأثیر آن بر تاب‌آوری سامانه‌های آبی در عصر تغییر اقلیم است. این تحقیق به‌دنبال پاسخ به سؤالات کلیدی زیر است: چگونه تغییرات اقلیمی ماهیت مدیریت منابع آب را دگرگون کرده است؟ پیش‌بینی‌های هواشناسی چه نقشی در تصمیم‌گیری آبی ایفا می‌کنند و چه محدودیت‌هایی دارند؟ سرمایه انسانی چگونه می‌تواند شکاف بین داده و عمل را پر کند؟ و در نهایت، چگونه می‌توان با ادغام این مؤلفه‌ها، تاب‌آوری سامانه‌های آبی را تقویت کرد؟

۲- چارچوب نظری

چارچوب نظری این تحقیق بر این فرض اساسی استوار است که تاب‌آوری سامانه‌های منابع آب در عصر تغییر اقلیم، حاصل برهم‌کنش پویا میان سه مؤلفه کلیدی شامل پویایی‌های اقلیمی و هواشناسی، ساختارهای مدیریتی مبتنی‌بر مدیریت یکپارچه منابع آب، و سرمایه انسانی و ظرفیت نهادی است. برخلاف رویکردهای کلاسیک که هریک از این مؤلفه‌ها را به‌صورت مجزا بررسی می‌کنند، این چارچوب نظری بر ماهیت بین‌رشته‌ای و انسان‌محور مدیریت منابع آب تأکید دارد.

۲-۱- تغییر اقلیم و عدم‌قطعیت هیدرو-اقلیمی به‌عنوان بستر نظری

در سطح نخست، تغییر اقلیم به‌عنوان نیروی محرک اصلی در چارچوب نظری در نظر گرفته می‌شود. افزایش دما، تغییر الگوهای مکانی و زمانی بارش، و تشدید رخدادهای حدی، منجر به افزایش عدم‌قطعیت آب‌شناسی شده‌اند. این عدم‌قطعیت، پیش‌فرض ایستایی[۲] که زیربنای بسیاری از مدل‌ها و سیاست‌های سنتی مدیریت آب بوده است را به چالش کشیده و ضرورت گذار به رویکردهای تطبیقی و انعطاف‌پذیر را برجسته می‌سازد. در این چارچوب، تغییر اقلیم نه‌تنها یک متغیر محیطی، بلکه عاملی ساختاری است که کل سامانه تصمیم‌گیری منابع آب را دگرگون می‌کند [۹].

۲-۲- مدیریت یکپارچه منابع آب به‌عنوان چارچوب نهادی-سامانه‌ای

در سطح دوم، مدیریت یکپارچه منابع آب به‌عنوان چارچوب نظری غالب برای پاسخ به پیچیدگی‌های ناشی از تغییر اقلیم در نظر گرفته می‌شود. مدیریت یکپارچه منابع آب بر یکپارچگی افقی (بین بخش‌ها مانند کشاورزی، صنعت و شرب) و عمودی (بین سطوح محلی، ملی و حوضه‌ای) تأکید دارد و مدیریت منابع آب را در بستر تعاملات بوم‌شناسی، اجتماعی و اقتصادی تعریف می‌کند. در چارچوب نظری این تحقیق، مدیریت یکپارچه منابع آب نقش «بستر نهادی» را ایفا می‌کند که امکان ادغام داده‌های هواشناسی، دانش اقلیمی و تصمیم‌گیری مدیریتی را فراهم می‌سازد [۱۰].

با این حال، ادبیات نشان می‌دهد که مدیریت یکپارچه منابع آب به‌تنهایی تضمین‌کننده تاب‌آوری نیست و موفقیت آن به میزان انعطاف‌پذیری نهادی، کیفیت حکمرانی و ظرفیت اجرایی وابسته است [۱۰]. از این منظر،

[2]- Stationarity

مدیریت یکپارچه منابع آب یک چارچوب نهفته است که کارآمدی آن به متغیرهای انسانی و سازمانی وابسته است.

۲-۳- پیش‌بینی‌های هواشناسی و اقلیمی به‌عنوان ورودی دانشی سامانه

در سطح سوم، پیش‌بینی‌های هواشناسی و اقلیمی به‌عنوان ورودی‌های دانشی سامانه مدیریت منابع آب تعریف می‌شوند. پیشرفت‌های اخیر در مدل‌سازی اقلیمی، پیش‌بینی‌های فصلی و سامانه‌های هشدار زودهنگام، ظرفیت نهفته بالایی برای کاهش خطرپذیری خشک‌سالی و سیلاب فراهم کرده‌اند. در چارچوب نظری این تحقیق، این داده‌ها نقش «توانمندساز تصمیم‌گیری» را دارند، نه عامل تصمیم‌گیر. نکته کلیدی در این چارچوب آن است که داده‌های هواشناسی به‌طور ذاتی با عدم‌قطعیت همراه هستند و ارزش عملی آن‌ها تنها در صورتی محقق می‌شود که بتوانند به تصمیمات مدیریتی قابل‌اجرا ترجمه شوند. بنابراین، فاصله میان تولید داده و استفاده از داده، یک گلوگاه نظری و عملی محسوب می‌شود [۱۱].

۲-۴- سرمایه انسانی و مدیریت منابع انسانی به‌عنوان عامل پیونددهنده

عنصر محوری چارچوب نظری تحقیق، سرمایه انسانی است که به‌عنوان عامل پیونددهنده میان دانش اقلیمی و ساختارهای مدیریتی عمل می‌کند. سرمایه انسانی در این چارچوب شامل دانش تخصصی، مهارت‌های تحلیلی، تجربه میدانی، توانایی تصمیم‌گیری تحت عدم‌قطعیت، رهبری سازمانی و ظرفیت یادگیری نهادی است. این مؤلفه تعیین می‌کند که آیا پیش‌بینی‌های هواشناسی به‌درستی تفسیر، اعتمادسازی و در سیاست‌گذاری منابع آب به‌کار گرفته شوند یا خیر. براساس این چارچوب، مدیریت منابع انسانی نه یک مؤلفه حاشیه‌ای، بلکه یک متغیر کلیدی در افزایش یا کاهش تاب‌آوری سامانه‌های آبی است. آموزش اقلیم‌محور، توسعه مهارت‌های بین‌رشته‌ای، و تقویت تعامل بین کارشناسان هواشناسی و مدیران آب، از سازوکارهای اصلی ارتقای این سرمایه انسانی محسوب می‌شوند [۸].

۲-۵- تاب‌آوری سامانه‌های آبی به‌عنوان خروجی نهایی چارچوب

در نهایت، تاب‌آوری سامانه‌های آبی به‌عنوان خروجی چارچوب نظری تعریف می‌شود. تاب‌آوری در این تحقیق مفهومی چندبعدی است که ابعاد فنی (زیرساخت و فناوری)، نهادی (حکمرانی و قوانین)، و انسانی–اجتماعی (ظرفیت یادگیری و تطبیق) را در بر می‌گیرد. چارچوب نظری پیشنهاد می‌کند که تاب‌آوری زمانی محقق می‌شود که تعامل مؤثری میان داده‌های هواشناسی، چارچوب مدیریت یکپارچه منابع آب و سرمایه انسانی برقرار باشد [۱۲].

بر این اساس، چارچوب نظری تحقیق نشان می‌دهد که مدیریت منابع آب در عصر تغییر اقلیم نیازمند گذار از رویکردهای داده‌محور صرف به رویکردهای انسان‌محور و دانش‌محور است. در این چارچوب، انسان نه به‌عنوان منبع خطا، بلکه به‌عنوان عنصر کلیدی تفسیر، تطبیق و نوآوری در سامانه‌های آبی در نظر گرفته می‌شود. این دیدگاه، مبنای نظری لازم برای بررسی تجربی و سیاستی نقش سرمایه انسانی در تاب‌آوری منابع آب را فراهم می‌سازد.

۳- پیشینه پژوهش

گیل‌گارسیا[3] و همکاران یک مدل میان‌رشته‌ای «قابل اقدام» برای مدیریت تخصیص آب تحت عدم‌قطعیت اقلیمی ارائه کردند و نشان دادند که ترکیب مدل‌های آب‌شناسی با تحلیل حساسیت نهادی می‌تواند سناریوهای عملیاتی‌تری برای تخصیص آب فراهم سازد. این تحقیق بر نیاز به شفاف‌سازی منابع عدم‌قطعیت و وارد کردن پارامترهای سازمانی و رفتاری در مدل‌های تصمیم‌گیری تأکید می‌کند و پیشنهاد می‌دهد که خروجی‌های پژوهشی باید به‌صورتی

[3]- Gil-García

تولید شوند که قابلیت ترجمه سریع به اقدامات مدیریتی را داشته باشند [۱۳].

جکسون‌بلیک[۴] و همکاران در بررسی موردی‌های عملی نشان دادند که پیش‌بینی‌های فصلیمی‌توانند منافع قابل‌توجهی برای مدیریت منابع آب داشته باشند اما ارزش عملی آن‌ها به «مهارت پیش‌بینی» و نیز وجود سازوکارهای نهادی برای به‌کارگیری نتایج بستگی دارد. مطالعه آن‌ها بر اهمیت فرآیندهای ترجمه علم به سیاست و نیاز به تعاملات مستمر میان تولیدکنندگان پیش‌بینی و کاربران نهایی تأکید می‌کند [۱۴].

سیامپیتیلو[۵] و همکاران مروری نظام‌مند بر راه‌بردهای مدیریت منابع آب در برابر آثار تغییر اقلیم انجام دادند و نشان دادند که راه‌کارهای مبتنی‌بر تقاضا، بهبود بهره‌وری و انعطاف‌پذیری نهادی از جمله مؤثرترین مداخلات بوده‌اند. این تحقیق کمبود پژوهش‌هایی که به‌صورت هم‌زمان نقش پیش‌بینی‌های هواشناسی و ظرفیت انسانی را مورد آزمون کمی قرار دهند، برجسته می‌سازد [۴].

گزارش پیشرفت مدیریت یکپارچه منابع آب از سازمان ملل متحد در امور آب[۶] نشان می‌دهد که با وجود پیشرفت‌های سیاستی در سطح جهانی، پیاده‌سازی مدیریت یکپارچه منابع آب در بسیاری از کشورها هنوز ناقص است و عوامل کلیدی ناکامی شامل ضعف هماهنگی بین‌بخشی، کمبود داده‌های قابل‌اعتماد و محدودیت‌های ظرفیت نهادی هستند. این سند با اتکا بر داده‌های گسترده جهانی، نیاز به سرمایه‌گذاری در توسعه ظرفیت انسانی و شبکه‌سازی نهادی برای تحقق اهداف، هدف توسعه پایدار شماره شش[۷] را تأکید می‌کند [۱۵].

تاپاس[۸] و همکاران تلاش کردند تا تصمیم‌گیری‌های کشاورزی و مدیریت آب را با مدل‌های آب‌شناسی یکپارچه اتخاذ نمایند و نتایج نشان دادند که واردکردن رفتار بازیگران محلی (به‌عنوان کشاورزان) به مدل‌ها می‌تواند پیش‌بینی اثرات سیاستی را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای تغییر دهد. نتایج این پژوهش گویا است که بدون مدل‌سازی رفتار انسانی، پیش‌بینی‌های فنی ممکن است نتیجه‌گیری‌های گمراه‌کننده تولید کنند [۱۶].

هانگنیبو[۹] و همکاران در گزارشی عملیاتی/تطبیقی از گروه مشورتی تحقیقات بین‌المللی کشاورزی به چگونگی «ترجمه» پیش‌بینی‌های فصلی به اطلاعات عملی برای مدیران آب پرداختند و چارچوب‌هایی برای طراحی بسته‌های اطلاعاتی مناسب هر دسته کاربر ارائه کردند. آن‌ها نشان دادند که قالب‌بندی پیام، بازه زمانی ارائه و کانال ارتباطی مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده پذیرش پیش‌بینی‌ها در سطوح محلی هستند [۱۷].

در پژوهشی، کریمی و همکاران فصل‌های مرتبط در متون حکمرانی آب ضمن تحلیل تطبیقی، نقش سازوکارهای تطبیقی و حکمرانی انعطاف‌پذیر را در تسهیل انطباق با تغییر اقلیم برجسته کرده‌اند؛ به‌ویژه آنکه سامانه‌های حکمرانی که توان یادگیری، پاسخ سریع و هماهنگی میان‌بخشی را دارند بهتر از بقیه با شوک‌های آب شناسی کنار می‌آیند. این مطالعات نشان می‌دهد که ساختارهای نهادی و قوانین می‌توانند مانع یا تسهیل‌کننده استفاده از داده‌های اقلیمی باشند [۱۸].

دیلینگ[۱۰] و همکاران پژوهش‌هایی را گردآوری کرده‌اند که اهمیت ظرفیت سازگاری در سامانه‌های آب شهری و روستایی را نشان می‌دهد؛ ظرفیت‌هایی که شامل منابع مالی، مهارت فنی، شبکه‌های اجتماعی و رهبری محلی است. مرور آن‌ها تأکید می‌کند که سرمایه انسانی، نه‌تنها فناوری، تعیین‌کننده توانایی سازمان‌ها در تطبیق و یادگیری از تجارب است [۱۹].

در پژوهشی ترکیبی از منگیستو[۱۱] و همکاران، روش‌های یادگیری ماشین و مدل‌های فرآیندی، اثرات تغییر اقلیم بر آسیب‌پذیری منابع آب را در یک حوضه نمونه

[4]- Jackson-Blake
[5]- Ciampittiello
[6]- UN-Water
[7]- Sustainable Development Goal (SDG) 6
[8]- Tapas
[9]- Houngnibo
[10]- Dilling
[11]- Mengistu

شبیه‌سازی کردند و نتیجه گرفتند که ادغام روش‌های داده‌محور با مدل‌سازی سنتی، دقت برآوردهای آتی را ارتقا می‌دهد؛ با این‌حال پژوهش آن‌ها نیز بر محدودیت‌های عملیاتی، نیاز به داده‌های محلی با کیفیت و نیز نقش تصمیم‌سازان محلی در اعتبارسنجی نتایج تأکید دارد [۲۰].

مطالعات انجام‌شده در حوضه‌های آبریز آفریقا نشان می‌دهد که ادغام پیش‌بینی‌های فصلی بارش با ظرفیت انسانی محلی، نقش مهمی در کاهش خسارات ناشی از خشکسالی و بهبود برنامه‌ریزی تخصیص آب داشته است. این پژوهش‌ها تأکید می‌کنند که موفقیت استفاده از پیش‌بینی‌ها بیش از دقت فنی، به آموزش کاربران نهایی و اعتماد نهادی وابسته است [۲۱].

۴- روش شناسی پژوهش

این مطالعه به‌عنوان یک تحقیق مروری نظام‌مند–تحلیلی طراحی شده است که هدف آن تلفیق انتقادی ادبیات علمی مرتبط با مدیریت یکپارچه منابع آب در بستر تغییر اقلیم، نقش پیش‌بینی‌های هواشناسی و اهمیت سرمایه انسانی در ارتقای تاب‌آوری سامانه‌های آبی است. با توجه به ماهیت بین‌رشته‌ای موضوع و تنوع رویکردهای نظری و کاربردی در این حوزه، از ترکیبی از مرور نظام‌مند و تحلیل روایتی استفاده شده است تا ضمن حفظ شفافیت روش‌شناختی، امکان تفسیر مفهومی و استخراج الگوهای کلان فراهم شود. این رویکرد به‌ویژه برای موضوعاتی مناسب است که هدف آن‌ها فقط تجمیع آماری نتایج نیست، بلکه تبیین روابط پیچیده میان دانش اقلیمی، ساختارهای مدیریتی و عوامل انسانی را دنبال می‌کنند.

جستجوی منابع علمی به‌صورت نظام‌مند در پایگاه‌های داده معتبر بین‌المللی شامل Web of Science، Scopus، Science Direct، و Google Scholar انجام شد. محدودیت زمانی خاصی برای گردآوری مطالعات وجود نداشت، تا هم پژوهش‌های پایه‌ای و هم دستاوردهای نوین پوشش داده شوند. راهبرد جستجوی مبتنی‌بر ترکیب کلیدواژه‌ها و عبارات تخصصی با استفاده از عملگرهای بولی بود و شامل مفاهیمی نظیر مدیریت یکپارچه منابع آب، تغییر اقلیم، پیش‌بینی‌های هواشناسی و اقلیمی، حکمرانی آب، سرمایه انسانی، مدیریت منابع انسانی و تاب‌آوری سامانه‌های آبی می‌شد. جستجو در عنوان، چکیده و کلیدواژه‌های تحقیقات صورت گرفت تا جامعیت فرآیند بازیابی منابع افزایش یابد.

برای انتخاب مطالعات مرتبط و با کیفیت، معیارهای ورود و خروج مشخصی اعمال شد. تحقیقات داوری‌شده که به بررسی مدیریت منابع آب در شرایط تغییر اقلیم پرداخته و به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم به نقش پیش‌بینی‌های هواشناسی، حکمرانی نهادی یا عامل انسانی اشاره داشتند، در مرور گنجانده شدند. در مقابل، مطالعاتی که تنها بر جنبه‌های فنی یا آب‌شناسی بدون ارتباط با تصمیم‌گیری مدیریتی یا اجتماعی تمرکز داشتند، هم‌چنین منابع غیرعلمی، تحقیقات فاقد متن کامل و مطالعات تکراری از فرآیند مرور حذف شدند. این غربالگری به‌منظور افزایش انسجام مفهومی و تمرکز تحقیق بر اهداف اصلی پژوهش انجام گرفت.

فرآیند انتخاب تحقیقات در سه مرحله متوالی شامل بررسی عنوان و چکیده، ارزیابی متن کامل و انتخاب نهایی براساس میزان انطباق با سؤالات پژوهش صورت پذیرفت. این فرآیند با الهام از دستورالعمل پریسما[12] انجام شد تا شفافیت و قابلیت بازتولید روش پژوهش حفظ شود، هرچند تمرکز اصلی مطالعه بر سنتز مفهومی و تحلیلی بوده و نه انجام متاتحلیل آماری. پس از انتخاب نهایی، داده‌های کلیدی هر مطالعه به‌صورت نظام‌مند استخراج شد. این داده‌ها شامل اهداف پژوهش، چارچوب نظری، روش‌شناسی، نحوه استفاده از پیش‌بینی‌های هواشناسی یا داده‌های اقلیمی، میزان توجه به سرمایه انسانی و یافته‌های اصلی مرتبط با تاب‌آوری سامانه‌های آبی بودند.

[12]- PRISMA

تحلیل داده‌ها برپایه تحلیل محتوای کیفی و سنتز مفهومی انجام شد. در این مرحله، مفاهیم تکرارشونده، الگوهای غالب و تفاوت‌های رویکردی میان مطالعات شناسایی و روابط میان تغییر اقلیم، پیش‌بینی‌های هواشناسی، مدیریت یکپارچه منابع آب و سرمایه انسانی به‌صورت انتقادی تحلیل شد. به‌جای تجمیع نتایج به‌صورت کمی، تمرکز بر تفسیر عمیق یافته‌ها و بازتعریف نقش عامل انسانی به‌عنوان واسط اصلی بین دانش اقلیمی و تصمیم‌گیری مدیریتی قرار گرفت. این رویکرد امکان شناسایی شکاف‌های پژوهشی و محدودیت‌های رویکردهای موجود را فراهم ساخت.

در نهایت، براساس نتایج تحلیل، یک چارچوب مفهومی یکپارچه توسعه داده شد که نشان می‌دهد چگونه پیش‌بینی‌های هواشناسی به‌عنوان ورودی‌های دانشی، چارچوب مدیریت یکپارچه منابع آب به‌عنوان بستر نهادی و سرمایه انسانی به‌عنوان عامل پیونددهنده، به‌صورت هم‌افزا در ارتقای تاب‌آوری سامانه‌های آبی نقش ایفا می‌کنند. این چارچوب نه‌تنها مبنای نظری تحقیق را تقویت می‌کند، بلکه زمینه‌ساز ارائه توصیه‌های سیاستی و مدیریتی برای بهبود حکمرانی آب در شرایط عدم‌قطعیت اقلیمی است. با وجود تلاش برای جامعیت، محدودیت‌هایی نظیر تمرکز بر منابع انگلیسی‌زبان و ناهمگونی روش‌های پژوهشی مطالعات منتخب وجود دارد که در تفسیر نتایج مدنظر قرار گرفته‌اند.

۴-۱- تغییر اقلیم و پیامدهای آن بر سامانه‌های منابع آب

تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن حاضر، تأثیرات عمیق و چندلایه‌ای بر سامانه‌های منابع آب در سراسر جهان بر جای گذاشته است. شواهد علمی نشان می‌دهد که افزایش دمای متوسط جهانی و تغییر الگوهای مکانی و زمانی بارش، چرخه آب‌شناسی را از وضعیت تاریخی خود خارج کرده و موجب افزایش ناپایداری در دسترسی به منابع آب شده است [۱]. در بسیاری از مناطق، افزایش فراوانی و شدت بارش‌های حدی در کنار طولانی‌تر شدن دوره‌های خشک‌سالی، هم‌زمان خطر سیلاب‌های مخرب و کم‌آبی مزمن را تشدید کرده است [۱]. افزایش دما نقش مستقیمی در تشدید تبخیر و تعرق ایفا می‌کند و حتی در مناطقی که تغییر قابل‌توجهی در میزان بارش مشاهده نشده است، باعث کاهش منابع آب تجدیدپذیر شده است. این فرآیندها توازن میان عرضه و تقاضای آب را بر هم زده و فشار فزاینده‌ای بر منابع سطحی و زیرزمینی وارد کرده‌اند. پیامد مستقیم این تغییرات، افزایش عدم قطعیت آب‌شناسی و ناپایداری جریان رودخانه‌ها است، به‌گونه‌ای که اتکای صرف به داده‌های تاریخی برای پیش‌بینی آینده دیگر قابل اعتماد نیست [۲۲].

تغییر زمان‌بندی اوج جریان‌ها و دگرگونی رژیم‌های فصلی رواناب، چالش‌های جدی برای مدیریت مخازن، کنترل سیلاب و تخصیص پایدار منابع آب ایجاد کرده است [۲۳]. این افزایش عدم‌قطعیت، پیش‌بینی‌پذیری بلندمدت را با محدودیت مواجه ساخته و نیاز به رویکردهای تطبیقی و انعطاف‌پذیر در مدیریت منابع آب را برجسته می‌کند. در چنین شرایطی، تصمیم‌گیری آبی بیش از گذشته نیازمند استفاده هوشمندانه از اطلاعات اقلیمی و ظرفیت انسانی برای تفسیر و به‌کارگیری این داده‌ها است.

پیامدهای تغییر اقلیم بر منابع آب تنها به ابعاد فیزیکی محدود نمی‌شود و اثرات گسترده اجتماعی-اقتصادی به‌همراه دارد. کاهش قابلیت اطمینان منابع آب، امنیت آب، غذا و انرژی را به‌طور هم‌زمان تحت تأثیر قرار داده و پیوند آب–غذا–انرژی را به یکی از محورهای اصلی آسیب‌پذیری توسعه پایدار تبدیل کرده است. در سطح نهادی و منطقه‌ای، تشدید کم‌آبی و نوسانات منابع آب رقابت میان بخش‌های مختلف مصرف و مناطق مختلف را افزایش داده و در صورت نبود سازوکارهای حکمرانی یکپارچه، می‌تواند به تعارضات بین‌بخشی و منطقه‌ای منجر شود. این مجموعه شواهد نشان می‌دهد که تغییر اقلیم، مدیریت منابع آب را به مسئله‌ای فراتر از کنترل فنی تبدیل کرده و آن را به چالشی پیچیده، چندبعدی و وابسته به تصمیم‌گیری انسانی بدل ساخته است [۲۴].

۴-۲- مدیریت یکپارچه منابع آب: مفاهیم، اصول و تکامل

مدیریت یکپارچه منابع آب به‌عنوان چارچوبی جامع و بین‌بخشی برای اداره منابع آب تعریف می‌شود که هدف آن دست‌یابی به توسعه پایدار، بهبود رفاه اجتماعی و حفاظت از زیست‌بوم‌ها است. این رویکرد بر هماهنگی میان بخش‌های مختلف مصرف آب (کشاورزی، شهری، صنعتی و زیست‌محیطی) و بین سطوح مختلف حکمرانی (محلی، منطقه‌ای و ملی) تأکید دارد که مبتنی‌بر چند اصل کلیدی است: مدیریت منابع آب به‌صورت یکپارچه در کل حوضه آبریز، مشارکت فعال ذی‌نفعان در فرآیند تصمیم‌گیری، توجه به پایداری زیست‌بوم، و تلفیق سیاست‌ها و برنامه‌ها با نیازهای اقتصادی و اجتماعی. این اصول، امکان هماهنگی میان توسعه اقتصادی و حفاظت از منابع آب را فراهم می‌کنند [۶]. تکامل مدیریت یکپارچه منابع آب در سه دهه گذشته نشان می‌دهد که این رویکرد ابتدا به‌عنوان پاسخ به ناکارآمدی مدیریت بخشی آب مطرح شد و به‌تدریج شامل مفاهیم حکمرانی، ظرفیت نهادی، سرمایه انسانی و کاربرد فناوری‌های نوین شد [۱۵]. مطالعات اخیر بر اهمیت انعطاف‌پذیری نهادی، تطبیق با تغییر اقلیم و استفاده از اطلاعات پیش‌بینی هواشناسی به‌عنوان عناصر مکمل مدیریت یکپارچه منابع آب تأکید دارند [۱۰].

با وجود پذیرش گسترده مدیریت یکپارچه منابع آب در سطح سیاست‌گذاری جهانی، چالش‌های اجرایی هم چنان پابرجا هستند؛ از جمله محدودیت‌های ظرفیت انسانی، ضعف هماهنگی بین‌بخشی، کمبود داده‌های قابل اعتماد و مشکلات ترجمه دانش علمی به تصمیم‌های عملیاتی. این مسائل نشان می‌دهند که موفقیت مدیریت یکپارچه منابع آب تنها با تلفیق اصول فنی و نهادی همراه با توسعه سرمایه انسانی تحقق می‌یابد [۶].

تحقیقات اخیر بر این نکته تأکید دارند که مدیریت یکپارچه منابع آب نباید فقط یک چارچوب فنی یا مدیریتی باشد، بلکه یک فرآیند یادگیرنده و تطبیقی است که در آن تعامل میان داده‌ها، سیاست‌ها و ظرفیت انسانی می‌تواند تاب‌آوری سامانه‌های آبی را در مواجهه با تغییر اقلیم افزایش دهد. این دیدگاه، مدیریت یکپارچه منابع آب را به بستری برای ادغام فناوری، علم اقلیمی و حکمرانی انعطاف‌پذیر تبدیل کرده است می‌یابد [۶].

۴-۳- نقش پیش‌بینی‌های هواشناسی و اقلیمی در مدیریت منابع آب

پیش‌بینی‌های هواشناسی و اقلیمی، به‌عنوان ابزارهای کلیدی کاهش خطرپذیری و افزایش تاب‌آوری در مدیریت منابع آب شناخته می‌شوند. این پیش‌بینی‌ها امکان برنامه‌ریزی بهتر برای مقابله با خشک‌سالی‌ها، سیلاب‌ها و تغییرات فصلی جریان‌های آب را فراهم می‌آورند و به تصمیم‌گیرندگان آبی اجازه می‌دهند منابع محدود را بهینه تخصیص دهند [۲۵].

تحقیقات نشان می‌دهند که ارزش عملی پیش‌بینی‌ها تنها در صورتی محقق می‌شود که به‌طور مناسب با ساختارهای مدیریتی و ظرفیت انسانی ادغام شوند.

در بسیاری از مناطق، فقدان تعامل میان تولیدکنندگان پیش‌بینی و کاربران نهایی باعث شده است که داده‌های فنی با عدم‌قطعیت بالا، به تصمیمات عملیاتی تبدیل نشوند. به‌همین دلیل، فرآیند ترجمه دانش و ایجاد کانال‌های ارتباطی مناسب، نقش تعیین‌کننده‌ای در بهره‌برداری مؤثر از پیش‌بینی‌ها دارد [۲۵].

علاوه‌بر این، ادبیات اخیر نشان می‌دهد که استفاده هم‌زمان از پیش‌بینی‌های فصلی و بلندمدت، همراه با سنجش ظرفیت نهادی و مهارت‌های انسانی، می‌تواند موجب افزایش انعطاف‌پذیری سامانه‌های آب و کاهش آسیب‌پذیری در برابر شوک‌های اقلیمی شود. بنابراین، پیش‌بینی‌های هواشناسی و اقلیمی نه‌تنها ابزاری فنی، بلکه بخشی از فرآیند تصمیم‌گیری تطبیقی و انسان‌محور در مدیریت منابع آب به‌شمار می‌روند [۲۶].

۴-۴- سرمایه انسانی و مدیریت منابع انسانی در سامانه‌های آبی

سرمایه انسانی یکی از ارکان بنیادین حکمرانی مؤثر آب محسوب می‌شود و شامل دانش تخصصی، مهارت‌های تحلیلی، تجربه مدیریتی و توان تصمیم‌گیری تحت شرایط عدم قطعیت است. مطالعات نشان می‌دهند که بدون توسعه این ظرفیت‌ها، حتی پیشرفته‌ترین سیاست‌ها و ابزارهای فنی مدیریت منابع آب نیز به نتایج پایدار منجر نخواهند شد [۲۷]. مدیریت منابع انسانی در سامانه‌های آبی نقش کلیدی در افزایش ظرفیت تطبیقی نهادها ایفا می‌کند، به‌ویژه در شرایطی که تغییر اقلیم موجب ناپایداری و پیچیدگی فزاینده در تصمیم‌گیری شده است. سازمان‌هایی که از نیروی انسانی آموزش‌دیده، منعطف و یادگیرنده برخوردارند، توان بیش‌تری در پاسخ‌گویی به شوک‌های اقلیمی و مدیریتی دارند [۲۸].

ادبیات تطبیق با تغییر اقلیم نشان می‌دهد که سرمایه انسانی حلقه واسط میان اطلاعات اقلیمی و اقدام مدیریتی است. توانایی تفسیر پیش‌بینی‌های هواشناسی، ارزیابی خطرپذیری و تبدیل داده‌ها به تصمیم‌های عملیاتی، بیش از آن‌که به فناوری وابسته باشد، به مهارت‌ها و تجربه نیروی انسانی بستگی دارد [۲۹]. شکاف میان تولید دانش علمی و استفاده عملی از آن در مدیریت منابع آب، اغلب ناشی از محدودیت‌های منابع انسانی و ضعف ارتباطات سازمانی است. مطالعات تأکید می‌کنند که تقویت مهارت‌های ارتباطی، کار تیمی بین‌رشته‌ای و تعامل میان متخصصان هواشناسی و مدیران آب، نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش این شکاف دارد [۳۰]. رویکردهای نوین مدیریت آب بر اهمیت یادگیری سازمانی، آموزش مستمر و توسعه رهبری در نهادهای آبی تأکید دارند. سامانه‌هایی که مدیریت منابع انسانی را به‌عنوان یک فرآیند پویا و راهبردی تلقی می‌کنند، در بلندمدت از تاب‌آوری بیش‌تری در برابر تغییر اقلیم و فشارهای اجتماعی–اقتصادی برخوردار می‌شوند [۳۱].

۴-۵- پیوند پیش‌بینی‌های هواشناسی و سرمایه انسانی در چارچوب تاب‌آوری

تاب‌آوری سامانه‌های آبی در برابر تغییر اقلیم تا حد زیادی به توانایی آن‌ها در بهره‌برداری مؤثر از اطلاعات هواشناسی و اقلیمی وابسته است، به‌گونه‌ای که پیش‌بینی‌ها به‌عنوان ابزار کاهش خطرپذیری تنها زمانی کارآمد هستند که در فرآیندهای تصمیم‌گیری مدیریتی ادغام شوند. این ادغام مستلزم وجود سرمایه انسانی توانمند برای تفسیر عدم قطعیت‌ها و انتخاب گزینه‌های تطبیقی مناسب است [۳۲]. مطالعات نشان می‌دهند که فاصله میان تولید پیش‌بینی‌های اقلیمی و استفاده عملی از آن‌ها، به‌طور عمده ناشی از محدودیت‌های انسانی و نهادی است نه کمبود داده. مدیران و کارشناسانی که آموزش اقلیم‌محور و مهارت‌های بین‌رشته‌ای دارند، قادرند اطلاعات پیچیده هواشناسی را به تصمیم‌های عملیاتی در مدیریت خشک‌سالی، سیلاب و تخصیص منابع آب تبدیل کنند [۳۳].

سرمایه انسانی به‌عنوان محرک اصلی ظرفیت تطبیقی، نقش واسط میان علم اقلیم و حکمرانی آب را ایفا می‌کند. پژوهش‌ها تأکید می‌کنند که تجربه مدیریتی، یادگیری سازمانی و رهبری مؤثر، تعیین‌کننده میزان اعتماد به پیش‌بینی‌ها و تمایل به استفاده از آن‌ها در سیاست‌گذاری آبی هستند [۳۴]. در چارچوب تاب‌آوری، مدیریت منابع آب از رویکردهای ایستا به سمت تصمیم‌گیری تطبیقی و یادگیرنده حرکت می‌کند. در این فرآیند، تعامل مستمر میان تولیدکنندگان پیش‌بینی‌های هواشناسی و کاربران نهایی، همراه با تقویت ظرفیت انسانی، موجب افزایش انعطاف‌پذیری سامانه‌های آبی در مواجهه با شوک‌های اقلیمی می‌شود [۳۵]. ادبیات اخیر نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری در توسعه منابع انسانی، از طریق آموزش، شبکه‌سازی و ارتقای مهارت‌های ارتباطی، یکی از مؤثرترین راه‌بردها برای افزایش تاب‌آوری سامانه‌های آبی است. این رویکرد امکان می‌دهد پیش‌بینی‌های هواشناسی نه‌تنها به‌عنوان داده‌های فنی، بلکه به‌عنوان مؤلفه‌ای از یک فرآیند

تصمیم‌گیری انسان‌محور و تطبیقی مورد استفاده قرار گیرند [۳۶].

۴-۶- پیامدهای سیاستی و مدیریتی

شواهد علمی نشان می‌دهد که مواجهه مؤثر با چالش‌های تغییر اقلیم در حوزه منابع آب، مستلزم بازنگری اساسی در سیاست‌ها و رویه‌های مدیریتی است. نخستین پیامد سیاستی، ضرورت حرکت از مدیریت بخشی و واکنشی به سمت حکمرانی یکپارچه، تطبیقی و مبتنی‌بر تاب‌آوری است. سیاست‌گذاران باید چارچوب مدیریت یکپارچه منابع آب را به‌گونه‌ای تقویت کنند که استفاده از اطلاعات هواشناسی و اقلیمی به‌صورت نهادمند در فرآیندهای تصمیم‌گیری کوتاه‌مدت و بلندمدت ادغام شود [۷].

از منظر مدیریتی، نتایج مرور ادبیات نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری صرف در زیرساخت‌های فیزیکی و فناوری‌های پیش‌بینی بدون توجه به ظرفیت انسانی، اثربخشی محدودی خواهد داشت. بنابراین، توسعه سرمایه انسانی باید به‌عنوان یک اولویت راهبردی در سیاست‌های آبی مورد توجه قرار گیرد؛ به‌ویژه از طریق آموزش‌های تخصصی، ارتقای مهارت‌های بین‌رشته‌ای، و تقویت توان تحلیل عدم‌قطعیت در میان مدیران و کارشناسان منابع آب. این رویکرد امکان می‌دهد داده‌های پیچیده اقلیمی به تصمیم‌های عملیاتی و انعطاف‌پذیر تبدیل شوند [۵].

در سطح نهادی، پیامد مهم دیگر، لزوم تقویت هماهنگی بین‌بخشی و تعامل میان نهادهای هواشناسی، سازمان‌های متولی آب و سایر ذی‌نفعان است. ایجاد سازوکارهای رسمی برای تبادل داده، هم‌تولیدی دانش و مشارکت ذی‌نفعان می‌تواند شکاف میان علم و سیاست را کاهش داده و اعتماد به پیش‌بینی‌های اقلیمی را افزایش دهد. هم‌چنین، سیاست‌های آبی باید از رویکردهای یادگیرنده و بازخوردمحور حمایت کنند تا امکان اصلاح مستمر تصمیم‌ها در مواجهه با عدم‌قطعیت‌های اقلیمی فراهم شود [۲۶].

در نهایت، مرور ادبیات نشان می‌دهد که ادغام پیش‌بینی‌های هواشناسی با مدیریت منابع انسانی در چارچوب تاب‌آوری، می‌تواند به کاهش تعارضات آبی، افزایش امنیت آب و بهبود پایداری اجتماعی–اقتصادی منجر شود. از این منظر، سیاست‌های موفق آبی آن‌هایی هستند که هم‌زمان به علم، نهاد و انسان توجه کرده و مدیریت منابع آب را به‌عنوان یک فرآیند پویا، چندبعدی و انسان‌محور در نظر می‌گیرند.

۴-۷- شکاف‌های پژوهشی و مسیرهای آینده

مرور نظام‌مند ادبیات نشان می‌دهد که با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در حوزه مدیریت یکپارچه منابع آب و توسعه پیش‌بینی‌های هواشناسی و اقلیمی، شکاف‌های پژوهشی مهمی هم‌چنان باقی مانده است. نخستین شکاف اساسی، غلبه رویکردهای فنی‌محور در مطالعات منابع آب است؛ به‌گونه‌ای که تمرکز اصلی بر بهبود مدل‌های اقلیمی، دقت پیش‌بینی‌ها و زیرساخت‌های داده‌ای بوده، در حالی که نقش عامل انسانی، رفتار سازمانی و فرآیندهای تصمیم‌گیری به‌طور نظام‌مند مورد توجه قرار نگرفته است. این عدم‌توازن موجب شده است که بسیاری از دستاوردهای علمی به سطح اجرا و سیاست‌گذاری منتقل نشوند.

شکاف مهم دیگر، کمبود پژوهش‌های تجربی میان‌رشته‌ای است که به‌صورت هم‌زمان تعامل میان پیش‌بینی‌های اقلیمی، سرمایه انسانی و ساختارهای نهادی را بررسی کنند. بخش عمده مطالعات موجود یا در حوزه علوم اقلیم متمرکز هستند یا در چارچوب علوم مدیریتی و حکمرانی آب قرار می‌گیرند و ارتباط عملی میان این دو حوزه به‌ندرت به‌طور عمیق تحلیل شده است. این خلأ پژوهشی، به‌ویژه در زمینه درک چگونگی استفاده واقعی مدیران آب از اطلاعات اقلیمی در شرایط عدم‌قطعیت، مشهود است.

از منظر جغرافیایی، ادبیات موجود تمرکز بیش‌تری بر کشورهای توسعه‌یافته دارد و شواهد تجربی از مناطق در حال توسعه، به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک، محدود

است. این در حالی است که این مناطق بیش‌ترین آسیب‌پذیری را در برابر تغییر اقلیم و بحران آب دارند و ویژگی‌های نهادی و انسانی آن‌ها با کشورهای توسعه‌یافته تفاوت‌های اساسی دارد. در نتیجه، تعمیم نتایج مطالعات موجود به این مناطق با عدم‌قطعیت همراه است.

در مسیرهای آینده پژوهش، نیاز به توسعه چارچوب‌های مفهومی و تحلیلی احساس می‌شود که تاب‌آوری سامانه‌های آبی را به‌عنوان برهم‌کنش میان داده‌های اقلیمی، ظرفیت انسانی و حکمرانی نهادی در نظر بگیرند.

پژوهش‌های آینده می‌توانند با استفاده از روش‌های ترکیبی، شامل تحلیل‌های کیفی، مطالعات موردی تطبیقی و مدل‌سازی سناریومحور، درک عمیق‌تری از نقش سرمایه انسانی در بهره‌برداری مؤثر از پیش‌بینی‌های هواشناسی فراهم آورند.

در نهایت، تمرکز بر آموزش، یادگیری سازمانی و ارزیابی اثربخشی مداخلات ظرفیت‌سازی به‌عنوان یک حوزه پژوهشی نوظهور، می‌تواند به پر کردن شکاف میان علم و عمل کمک کند. چنین رویکردی نه‌تنها به توسعه دانش نظری در مدیریت منابع آب منجر می‌شود، بلکه زمینه‌ساز طراحی سیاست‌ها و راه‌بردهای عملی برای افزایش تاب‌آوری سامانه‌های آبی در عصر تغییر اقلیم خواهد بود.

۵- نتیجه‌گیری

این تحقیق مروری نشان داد که مدیریت منابع آب در عصر تغییر اقلیم دیگر نمی‌تواند بر الگوهای سنتی، تصمیم‌گیری‌های ایستا و اتکای صرف به داده‌های تاریخی استوار باشد. پیچیدگی فزاینده چرخه آب‌شناسی، افزایش عدم‌قطعیت و هم‌زمانی مخاطراتی هم‌چون خشک‌سالی و سیلاب، ضرورت بازتعریف رویکردهای مدیریتی را برجسته می‌سازد.

در این چارچوب، مدیریت یکپارچه منابع آب نه‌تنها به‌عنوان یک الگوی فنی، بلکه به‌مثابه یک فرآیند حکمرانی پویا و تطبیقی مطرح می‌شود که نیازمند هم‌افزایی میان علم، نهاد و انسان است.

یافته‌های این مرور تأکید می‌کنند که پیش‌بینی‌های هواشناسی و اقلیمی، با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در دقت و پوشش زمانی، به‌تنهایی تضمین‌کننده تصمیم‌گیری مؤثر نیستند.

ارزش واقعی این اطلاعات زمانی محقق می‌شود که در بسترهای نهادی مناسب قرار گیرند و توسط نیروی انسانی توانمند، آگاه به عدم‌قطعیت‌ها و مجهز به مهارت‌های تحلیلی و مدیریتی، مورد استفاده قرار گیرند. از این منظر، سرمایه انسانی به‌عنوان حلقه اتصال میان داده‌های اقلیمی و اقدام مدیریتی، نقشی تعیین‌کننده در عملکرد سامانه‌های آبی ایفا می‌کند.

مرور شواهد تجربی نشان می‌دهد که سامانه‌هایی که به‌طور هم‌زمان در توسعه ظرفیت انسانی، یادگیری سازمانی و تعامل میان تولیدکنندگان و کاربران اطلاعات اقلیمی سرمایه‌گذاری کرده‌اند، توانسته‌اند تاب‌آوری بالاتری در برابر شوک‌های اقلیمی از خود نشان دهند.

این تاب‌آوری نه حاصل یک مداخله منفرد، بلکه نتیجه هم‌زمانی سیاست‌های تطبیقی، ساختارهای نهادی منعطف و تصمیم‌گیری انسان‌محور است. در مقابل، نادیده‌گرفتن بعد انسانی، حتی در حضور فناوری‌های پیشرفته، می‌تواند به تداوم شکاف میان علم و عمل و کاهش اثربخشی سیاست‌های آبی منجر شود.

در مجموع، این تحقیق استدلال می‌کند که آینده مدیریت منابع آب در شرایط تغییر اقلیم، در گرو گذار از نگاه ابزارمحور به رویکردی یکپارچه، یادگیرنده و انسان‌محور است. ادغام معنادار پیش‌بینی‌های هواشناسی با مدیریت منابع انسانی در چارچوب مدیریت یکپارچه منابع آب، می‌تواند مسیر دست‌یابی به سامانه‌های آبی تاب‌آورتر، کارآمدتر و عادلانه‌تر را هموار سازد. چنین رویکردی نه‌تنها پاسخ‌گوی چالش‌های کنونی بحران آب است، بلکه بنیانی برای تصمیم‌گیری پایدار در مواجهه با عدم‌قطعیت‌های آینده فراهم می‌کند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده و این موضوع مورد تأیید ایشان است.

مشارکت نویسندگان

ایوب گراوند محاسبات را انجام داد. بهمن غلامی روش‌های تحلیلی را تایید کرد، حمزه فرج‌اللهی مقدم بر یافته‌های این پژوهش نظارت داشت، محمدباقر کوپایی نتایج را بحث نمود و در نسخه نهایی مقاله مشارکت داشت.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه کمک هزینه خاصی دریافت نکرده است.

سپاسگزاری

از داوران محترم به‌خاطر ارائه نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

References

[1] Parmesan C, Morecroft MD, Trisurat Y. Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability GIEC. 2022.

[2] Scanlon BR, Fakhreddine S, Rateb A, de Graaf I, Famiglietti J, Gleeson T, Grafton RQ, Jobbagy E, Kebede S, Kolusu SR. Global water resources and the role of groundwater in a resilient water future. Nature Reviews Earth & Environment. 2023; 4(2): 87-101.

[3] Abbas M, Zhao L, Wang Y. Perspective impact on water environment and hydrological regime owing to climate change: A review. Hydrology. 2022; 9(11): 203.

[4] Ciampittiello M, Marchetto A, Boggero A. Water resources management under climate change: A review. Sustainability. 2024; 16(9): 3590.

[5] Zhuang W. Eco-environmental impact of inter-basin water transfer projects: a review. Environmental Science and Pollution Research. 2016; 23(13): 12867-12879. **https://doi.org/10.1007/s11356-016-6854-3.**

[6] Nagata K, Shoji I, Arima T, Otsuka T, Kato K, Matsubayashi M, Omura M. Practicality of integrated water resources management (IWRM) in different contexts. International Journal of Water Resources Development. 2022; 38(5): 897-919. **https://doi.org/10.1080/07900627.2021.1900683**.

[7] Mohammed IN, Bolten JD, Souter NJ, Shaad K, Vollmer D. Diagnosing challenges and setting priorities for sustainable water resource management under climate change. Scientific Reports. 2022; 12(1): 796. **https://doi.org/10.1038/s41598-021-04721-5**.

[8] Pishvayi R, Saligheh M, Akbary M. The role of human capital in climatic drought management, using fitness indicators, in the villages of Kermanshah District. Geography, Environment, Sustainability. 2022; 12(1): 75-88. **https://doi.org/10.24057/2071-9388-2022-087.**

[9] Clark MP, Wilby RL, Gutmann ED, Vano JA, Gangopadhyay S, Wood AW, Fowler HJ, Prudhomme C, Arnold JR, Brekke LD. Characterizing uncertainty of the hydrologic impacts of climate change. Current Climate Change Reports. 2016; 2(2): 55-64. **https://doi.org/10.1007/s40641-016-0037-5**.

[10] Ludwig F, van Slobbe E, Cofino W. Climate change adaptation and Integrated Water Resource Management in the water sector. Journal of Hydrology. 2014; 518: 235-242. **https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.068**.

[11]

[12] Wilby RL. Resilience viewed through the lens of climate change and water management. Water. 2020; 12(9): 2510. **https://doi.org/10.3390/w12092510**.

[13] Gil-García L, Montilla-López NM, Gutiérrez-Martín C, Sánchez-Daniel Á, Saiz-Santiago P, Polanco-Martínez JM, Pindado J, Pérez-Blanco CD. Actionable human-water systems modeling under uncertainty. Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 2024; 2024: 1-34. **https://doi.org/10.5194/hess-2024-45**.

[14] Jackson-Blake LA, Clayer F, de Eyto E, French A, Frías MD, Mercado-Bettín D, Moore T, Puértolas L, Poole R, Rinke K. Opportunities for seasonal forecasting to support water management outside the tropics. Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 2021; 2021: 1-22. **https://doi.org/10.5194/hess-2021-451**.
[15] UNESCO World Water Assessment Programme. *The United Nations World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace*. Paris: UNESCO; 2024. ISBN 978-92-3-100657-9. **https://doi.org/10.18356/9789213589113**.
[16] Tapas MR, Howard G, Etheridge R, Mair M, Peralta AL. Integrating human decision-making into a hydrological model to accurately estimate the impacts of agricultural policies. *Communications Earth & Environment*. 2025; 6(1): 412. **https://doi.org/10.1038/s43247-025-02325-x**.
[17] Houngnibo MCM, Minoungou B, Agossou G-T, Ali A, Segnon AC, Ladi Tchoho MD, Zougmoré RB. Translating seasonal forecasts into actionable information for adaptation planning in agriculture and water sectors in West Africa: Approach and application in Niger. AICCRA Info Note. 2023. Available from: **https://hdl.handle.net/10568/136153**.
[18] Karimi V, Karamidehkordi E, Tan Y. Water governance, climate change adaptation, and sustainable development: a future perspective. *Current Directions in Water Scarcity Research*. 2024; 8: 219-232. **https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23631-0.00015-7**.
[19] Dilling L, Daly ME, Travis WR, Ray AJ, Wilhelmi OV. The role of adaptive capacity in incremental and transformative adaptation in three large U.S. urban water systems. *Global Environmental Change*. 2023; 79: 102649. **https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102649**.
[20] Mengistu TD, Chang SW, Chung I-M. Modeling and prediction of climate change impacts on water resources vulnerability: a multi-model approach. *Journal of Environmental Management*. 2025; 388:126025. **https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126025**.
[21] Ziervogel G, Johnston P, Matthew M, Mukheibir P. Using climate information for supporting climate change adaptation in water resource management in South Africa. *Climatic Change*. 2010; 103(3-4): 537-554. **https://doi.org/10.1007/s10584-009-9771-3**.
[22] Klusak P, Agarwala M, Burke M, Kraemer M, Mohaddes K. Rising temperatures, falling ratings: The effect of climate change on sovereign creditworthiness. *Management Science*. 2023 Dec; 69(12): 7468–7491. **https://doi.org/10.1287/mnsc.2023.4869**.
[23] Muelchi R, Rössler O, Schwanbeck J, Weingartner R, Martius O. River runoff in Switzerland in a changing climate–runoff regime changes and their time of emergence. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2021; 25(6): 3071-3086. **https://doi.org/10.5194/hess-25-3071-2021**.
[24] Patel S, Dey A, Singh SK, Singh R, Singh HP. Socio-economic impacts of climate change. In: Kumar P, Sharma P, Rani M, editors. *Climate Impacts on Sustainable Natural Resource Management*. Hoboken: Wiley; 2021. p. 237–267.
[25] Bogner K, Liechti K, Bernhard L, Monhart S, Zappa M. Skill of hydrological extended range forecasts for water resources management in Switzerland. *Water Resources Management*. 2018; 32(3): 969–984. **https://doi.org/10.1007/s11269-017-1849-5**.
[26] Rogers DP, Tsirkunov VV. *Weather and Climate Resilience: Effective Preparedness through National Meteorological and Hydrological Services*. Directions in Development. Washington, DC: World Bank; 2013. **https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0026-9**.
[27] Blokland M, Alaerts G, Kaspersma J, Hare M, editors. *Capacity Development for Improved Water Management*. Boca Raton, FL: CRC Press; 2019. **https://doi.org/10.1201/b10532**.
[28] Hill Clarvis MH, Engle NL. Adaptive capacity of water governance arrangements: a comparative study of barriers and opportunities in Swiss and US states. *Regional Environmental Change*. 2015; 15(3): 517–527. **https://doi.org/10.1007/s10113-013-0547-y**.
[29] Carraro C, De Cian E, Tavoni M. Human capital, innovation, and climate policy: An integrated assessment. *Environmental Modeling & Assessment*. 2014; 19(2): 85–98. **https://doi.org/10.1007/s10666-013-9385-z**.
[30] Arnold JR, Clark MP, Wood A, Gutmann ED, Nijssen B, Brekke LD. Bridging the gap between climate science and water-resource applications. In: *AGU Fall Meeting Abstracts* 2015; San Francisco, CA, USA. American Geophysical Union; 2015.

[31] Medema W, Light S, Adamowski J. Integrating adaptive learning into adaptive water resources management. *Environmental Engineering and Management Journal*. 2014; 13(7): 1801–1811. **https://doi.org/10.30638/eemj.2014.198**.

[32] Srivastav AL, Dhyani R, Ranjan M, Madhav S, Sillanpää M. Climate-resilient strategies for sustainable management of water resources and agriculture. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021; 28(31): 41576-41595. **https://doi.org/10.1007/s11356-021-14332-4**.

[33] Samaniego L, Thober S, Wanders N, Pan M, Rakovec O, Sheffield J, Wood EF, Prudhomme C, Rees G, Houghton-Carr H. Hydrological forecasts and projections for improved decision-making in the water sector in Europe. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2019; 100(12): 2451-2472. **https://doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0274.1**.

[34] Akamani K. Adaptive water governance: Integrating the human dimensions into water resource governance. *Journal of Contemporary Water Research & Education*. 2016; 158(1): 2-18. **https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2016.03200.x.**

[35] Jafari G, Omidvar B, Ardestani M. A resilience-based framework for attuning integrated water resources management strategies in social-ecological systems of river basins. *Journal of Water and Climate Change*. 2025; 16(11): 3545-3565. **https://doi.org/10.2166/wcc.2024.XXX**.

[36] Dewulf A, Brugnach M, Termeer C, Ingram H. Bridging knowledge frames and networks in climate and water governance. In: Termeer C, Dewulf A, Biesbroek R, editors. *Water Governance as Connective Capacity*. Abingdon: Routledge; 2016. p. 229-247. **https://doi.org/10.4324/9781315683899**.