

Journal of Aquifer and Qanat

Autumn And Winter 2025, Vol. 5, No. 2, pp 121-138

10.22077/jaaq.2025.8975.1100

Participatory Groundwater Governance (PGM): Charting a Course for Sustainable Innovation in the Face of Climate Change

Mahsa Mardani¹ | Moein Tosan² | Malihe Falaki^{3✉}

1. PhD Candidate in Water Resources Management and Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.
2. PhD Candidate in Water Resources, University of Birjand, Birjand, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, and member of the Drought and Climate Change Research Group, University of Birjand, Birjand, Iran.
4. ✉Corresponding Author: Falaki@birjand.ac.ir

Received:
17 February 2025

Accepted:
26 March 2025

Published:
19 March 2025

Keywords:

Participatory Groundwater Management, Climate Change, Water Governance, Water Resources Sustainability, Stakeholder Participation.

Extended abstract

Abstract

Groundwater resources are critical for global water security, ecological health, and sustainable socio-economic development. However, these resources face unprecedented threats from climate change and anthropogenic pressures. Traditional water management approaches often lack the capacity to address these complex challenges effectively. Participatory Groundwater Management (PGM) has emerged as a transformative paradigm in water governance, emphasizing the active involvement of all relevant stakeholders. Despite its growing recognition, a comprehensive and systematic analysis of the knowledge architecture of PGM, including its conceptual structure, research trends, and future priorities, is lacking. This research aims to address this gap by conducting a detailed bibliometric analysis of the PGM field to map its intellectual landscape and identify key research directions.

Materials and Methods

This study employed a quantitative and qualitative bibliometric approach to analyze the research field of participatory groundwater management. The Web of Science Core Collection (WoSCC) database was selected as the primary data source to ensure access to a comprehensive collection of high-quality scientific publications.

Cite this article: Mardani, M., Tosan, M. & Falaki, M. (2025). Participatory Groundwater Governance (PGM): Charting a Course for Sustainable Innovation in the Face of Climate Change. *Journal of Aquifer and Qanat Title*, 5 (2), 121-138. DOI: <http://doi.org/10.22077/jaaq.2025.8975.1100>



Copyright: © 2025 by the authors. Licensee Journal of Aquifer and Qanat. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

A targeted search strategy using relevant keywords such as "Participatory Groundwater Management, " "Community-based Groundwater Management, " "Collaborative Groundwater Governance, " and "Groundwater Co-management" was implemented to retrieve relevant documents published between 2003 and February 2025. The initial search results were refined based on specific criteria, including document type (articles, review articles, and proceedings papers), subject relevance (direct relation to PGM and its various dimensions), and publication language (English). The final dataset of 484 documents was analyzed using a combination of descriptive statistics, keyword co-occurrence analysis (using VOSviewer), and temporal trend analysis of frequent keywords (using Biblioshiny). Descriptive analysis provided an overview of the dataset's characteristics. Keyword co-occurrence analysis mapped the conceptual structure and identified thematic clusters. Temporal trend analysis examined the evolution of research topics over time.

Results

The bibliometric analysis revealed several key findings. Descriptive statistics showed a significant annual growth rate of 11.03% in PGM publications and an average of 19.48 citations per document, indicating the growing importance and impact of this field. Keyword co-occurrence analysis identified five main thematic clusters: 1) Groundwater Pollution and Quality (focusing on contamination and GIS applications), 2) Agriculture and Water Resource Sustainability (emphasizing the nexus of agriculture, aquifers, and climate change), 3) Participatory Governance and Policymaking (highlighting collaborative approaches and institutional frameworks), 4) Adaptation and Participatory Knowledge (stressing climate change adaptation and stakeholder involvement), and 5) Watershed Modeling and Quality (focusing on the impact of climate change on water quality at the watershed level). Density visualization of keywords further emphasized the strong influence of contemporary environmental and socio-political issues on PGM research, with keywords like "groundwater, " "management, " "climate change, " "governance, " and "sustainability" showing high density. The journal Water and Hydrogeology Journal were identified as the most productive sources. The United States emerged as the leading country in PGM research. Temporal trend analysis of frequent keywords revealed a continuous core of research focused on fundamental hydrological aspects, a growing focus on climate change and its impacts, an increasing emphasis on participatory management and social dimensions, and the emergence of new topics such as energy, GIS, risk, variability, and removal.

Conclusion

This bibliometric study provides a comprehensive overview of the knowledge architecture of participatory groundwater management. The increasing publication rate and citation impact demonstrate the growing recognition of PGM as a crucial paradigm for sustainable water governance. The identified thematic clusters highlight the multifaceted nature of PGM research, encompassing technical, environmental, social, economic, and institutional dimensions. The temporal trend analysis reveals an evolving research landscape, with increasing attention to climate change, participatory approaches, and emerging technologies. Future research should focus on risk management and resilience, the application of innovative technologies, strengthening community-based and participatory approaches, addressing sustainability and equity issues, and further developing coherent conceptual and methodological frameworks for PGM. This study contributes to a deeper understanding of the foundations, trends, and frontiers of PGM research, providing valuable insights for researchers, policymakers, and practitioners in the field of water resource management.



حکمرانی مشارکتی آب‌های زیرزمینی (PGM): ترسیم مسیر نوآوری پایدار در مواجهه با تغییرات اقلیمی

مهسا مردانی^۱ | معین توسن^۲ | ملیحه فلکی^۳

۱. دانشجوی دکتری مهندسی و مدیریت منابع آب، گروه مهندسی عمران، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲. دانشجوی دکتری منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۳. استادیار، گروه تولید و مهندسی ژنتیک گیاهی، دانشگاه بیرجند و عضو گروه پژوهشی خشک‌سالی و تغییر اقلیم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

✉ نویسنده مسئول: Falaki@birjand.ac.ir

چکیده

مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی (PGM) به‌عنوان رویکردی نوظهور در حکمرانی منابع آب، به‌دنبال پاسخ‌گویی به چالش‌های فزاینده پایداری این منابع حیاتی در عصر آنتروپوسن است. پژوهش حاضر، با اتخاذ روش‌شناسی کتاب‌سنجی، به واکاوی نظام‌مند معماری دانش حوزه PGM می‌پردازد. با تحلیل داده‌های کتاب‌شناختی ۴۸۴ مدرک نمایه شده در پایگاه Web of Science (۲۰۰۳-۲۰۲۵)، ساختار مفهومی، روندهای موضوعی و قطب‌های فعال پژوهشی این حوزه ژرف‌کاوی می‌گردد. نتایج این تحلیل کمی و کیفی، گسترش چشمگیر و تثبیت جایگاه PGM در ادبیات علمی را با نرخ رشد سالانه ۱۱/۰۳٪ و میانگین استناد ۱۹/۴۸ به‌ازای هر مدرک نشان می‌دهد. تحلیل هم‌وقوعی کلمات کلیدی، پنج خوشه مفهومی متمایز را نمایان می‌سازد: (۱) آلودگی و کیفیت آب زیرزمینی با تمرکز بر کاربرد GIS، (۲) پایداری منابع آب در بخش کشاورزی و تأثیر تغییرات اقلیمی، (۳) حکمرانی مشارکتی و سیاست‌گذاری چند سطحی، (۴) سازگاری با تغییرات اقلیمی و نقش دانش و مشارکت ذینفعان، و (۵) مدل‌سازی حوضه آبریز و کیفیت منابع. کلیدواژه‌های کانونی "حکمرانی"، "همکاری"، "تغییرات اقلیمی"، "پایداری" و "مدیریت آب زیرزمینی" به‌عنوان مضامین مسلط و پرتکرار در این حوزه شناسایی شدند. تحلیل روند انتشار کلمات کلیدی، گذار از رویکردهای فنی-هیدرولوژیکی صرف به‌سمت پارادایم جامع‌نگر و بوم‌شناختی با تأکید بر ابعاد اجتماعی-سیاسی، سازگاری و تاب‌آوری را آشکار می‌سازد. نشریات *Water* و *Hydrogeology Journal* به‌عنوان منابع پیشرو و مؤسسات پژوهشی ایالات متحده آمریکا به‌عنوان قطب‌های اصلی تولید دانش در این حوزه معرفی می‌گردند. این پژوهش تحلیلی، با ارائه نقشه‌ای جامع از معماری دانش PGM، مبانی نظری مستحکمی را برای توسعه رویکردهای مشارکتی اثربخش‌تر، هدایت پژوهش‌های آتی و ارتقای حکمرانی پایدار منابع آب زیرزمینی فراهم می‌سازد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۰۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹

کلیدواژه‌ها:

پایداری منابع آب،
تغییر اقلیم،
حکمرانی آب،
مدیریت مشارکتی آب
زیرزمینی،
مشارکت ذینفعان.

مقدمه

منابع آب زیرزمینی، به عنوان یک ذخیره استراتژیک و مؤلفه بنیادین در تعادل هیدرولوژیکی سیاره‌ای، نقش محوری در تأمین امنیت آبی، بهره‌وری اکولوژیکی و توسعه پایدار اجتماعی-اقتصادی در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و جهانی ایفا می‌نمایند (Akbarpour et al., 2024). این منابع حیاتی، فراتر از کارکردهای سنتی در تأمین آب شرب بهداشتی و آبیاری کشاورزی، طیف وسیعی از خدمات اکوسیستمی حیاتی را ارائه می‌دهند، از جمله تثبیت جریان پایه رودخانه‌ها، تغذیه مستمر تالاب‌های حیاتی، حفظ تنوع زیستی اکوسیستم‌های وابسته به آب‌های زیرزمینی، و ایفای نقش حائل در برابر تنش‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی (Hose et al., 2023). به این ترتیب، آب‌های زیرزمینی به عنوان یک بخش تفکیک‌ناپذیر از سیستم پیچیده زمین، به طور مستقیم و غیرمستقیم بر تاب‌آوری اقلیمی، امنیت غذایی و سلامت اکوسیستم‌های جهانی تأثیرگذار می‌باشند (Tosan, Khashei-Siuki, et al., 2024). با این وجود، در عصر آن‌تروپوسین و تحت سیطره‌ی فشارهای آن‌تروپوژنیک فزاینده، سیستم‌های آب زیرزمینی به طور بی‌سابقه‌ای در معرض تهدیدات چندگانه و هم‌افزا قرار گرفته‌اند (Dey et al., 2023). تغییرات اقلیمی شتابان، با ایجاد نوسانات شدید در رژیم‌های بارشی و افزایش شدت و تواتر پدیده‌های حدی همچون خشکسالی‌های طولانی‌مدت و سیلاب‌های ناگهانی، تجدیدپذیری طبیعی این منابع را به شدت متأثر ساخته (Bolan et al., 2024) و از سوی دیگر، توسعه نامتوازن و شتاب‌زده‌ی شهرنشینی و صنعتی‌شدن (Jakob, 2022)، همراه با گسترش افسارگسیخته‌ی کشاورزی صنعتی و نهاده‌محور و تخلیه غیراصولی و بی‌رویه‌ی پساب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، منجر به افزایش بی‌سابقه در برداشت‌های بی‌رویه و تخریب ساختار و کارکرد کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در مقیاس جهانی گردیده است (Tosan, Dastourani, et al., 2024). در این شرایط بحرانی و عدم قطعیت فزاینده، پارادایم‌های مدیریت سنتی منابع آب که مبتنی بر رویکردهای متمرکز، تکنوکراتیک و عمدتاً مهندسی-محور بوده و محدود به دیدگاه‌های بخشی و تک‌بعدی می‌باشند، به طور فزاینده‌ای فاقد ظرفیت و کارایی لازم جهت مواجهه

اثربخش و پایدار با چالش‌های پیچیده، چندوجهی و درهم‌تنیده مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی در قرن بیست و یکم شناخته می‌شوند (Bouazzi, 2024). در مواجهه با این محدودیت‌های پارادایمی و ضرورت گذار به رویکردهای نوین و کارآمدتر، مفهوم "مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی" (Participatory Groundwater Management - PGM) "به عنوان یک پارادایم تحول‌آفرین در حوزه حکمرانی نوین منابع آب در دهه‌های اخیر ظهور و توسعه یافته است" (Nandi & Swain, 2024). با اتکا به مبانی نظری مستحکم و اثبات‌شده همچون نظریه کنش جمعی (collective action theory) و مدل‌های حکمرانی چند سطحی (Multi-Level Governance Models)، بر این فرض بنیادین استوار است که مدیریت بهینه، عادلانه و پایدار منابع آب زیرزمینی، مستلزم تعبیه سازوکارهای ساختارمند و نظام‌مند جهت مشارکت فعال، فراگیر و معنادار کلیه ذینفعان کلیدی و مرتبط، از جمله جوامع محلی و بومی، نهادهای دولتی در سطوح ملی، منطقه‌ای و محلی، بخش خصوصی و نگاه‌های اقتصادی مرتبط، و سازمان‌های جامعه مدنی و نهادهای غیردولتی فعال در حوزه آب و محیط زیست، در تمامی مراحل چرخه‌ی مدیریت، از جمله تصمیم‌سازی و سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی و تخصیص منابع، اجرا و پایش طرح‌ها و برنامه‌ها، و ارزیابی و بازنگری مستمر می‌باشد (Asprilla-Echeverria, 2021; KC et al., 2022). با وجود پتانسیل‌های نظری و دستاوردهای تجربی قابل توجه رویکرد PGM در ارتقا سطح حکمرانی پایدار و افزایش تاب‌آوری سیستم‌های منابع آب زیرزمینی در اقصی نقاط جهان، معماری دانش مرتبط با این حوزه پژوهشی نوین، شامل ساختار مفهومی منسجم و پویا، روندهای غالب و نوظهور پژوهشی، جبهه‌های پیشروی تحقیقات، و خلأها و اولویت‌های آتی در تولید و اشاعه دانش، هنوز به نحو جامع و نظام‌مندی در بوته‌ی نقد، تحلیل و واکاوی علمی قرار نگرفته است (Vora, 2024). تدوین و تبیین نظام‌مند این معماری دانش، نه تنها به غنای بنیان‌های نظری و توسعه‌ی پارادایم PGM کمک شایانی می‌نماید، بلکه انتقال اثربخش و تسهیل تبادل دانش بین‌رشته‌ای، شناسایی دقیق‌تر و عمیق‌تر خلأهای پژوهشی، و هدایت هدفمند و هم‌افزای پژوهش‌های آتی را

مواد و روش‌ها

این پژوهش، با اتخاذ رویکردی کمی و کیفی مبتنی بر اصول علم‌سنجی، به نقشه‌برداری از ساختار مفهومی، شناسایی روندهای موضوعی و تعیین قطب‌های فعال در حوزه پژوهشی مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی اقدام نموده است.

منبع داده و استراتژی جستجو

به‌منظور دسترسی به جامع‌ترین مجموعه از انتشارات علمی مرتبط، پایگاه داده Web of Science Core Collection (WoSCC) به‌عنوان منبع اصلی داده در این پژوهش انتخاب گردید. WoSCC، به‌عنوان یکی از معتبرترین و جامع‌ترین پایگاه‌های استنادی علوم، امکان دسترسی به طیف گسترده‌ای از مجلات علمی معتبر، مقالات کنفرانس‌ها، و سایر انواع مدارک علمی را در سطح بین‌المللی فراهم می‌آورد. جستجو در پایگاه WoSCC با استفاده از کلیدواژه‌های تخصصی مرتبط با موضوع پژوهش، شامل ترکیباتی از عبارات "Participatory Groundwater Management"، "Community-based Groundwater Management"، "Collaborative Groundwater Management"، "Groundwater Co-Governance"، و "Groundwater management" مترادف‌های مرتبط در حوزه‌های علوم اجتماعی، علوم محیطی و مهندسی منابع آب صورت پذیرفت. بازه زمانی جستجو، به‌منظور پوشش جامع تحولات پژوهشی در این حوزه، از سال ۲۰۰۳ تا فوریه ۲۰۲۵ در نظر گرفته شد. شایان ذکر است، به‌منظور حصول اطمینان از جامعیت جستجو، استراتژی‌های جستجوی مختلفی (ترکیبی از جستجوی عنوان، چکیده و کلمات کلیدی) به کار گرفته شد و نتایج جستجو به‌صورت دوره‌ای به‌روزرسانی گردید.

معیارهای انتخاب و پالایش داده‌ها

نتایج اولیه جستجو در پایگاه WoSCC، شامل طیف وسیعی از مدارک علمی مرتبط و غیر مرتبط با موضوع پژوهش بود. به‌منظور پالایش داده‌ها و تمرکز بر مدارک مرتبط با حوزه مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی، معیارهای انتخاب زیر اعمال گردید:

نوع سند علمی: به‌منظور تمرکز بر پژوهش‌های اصیل و مروری، انواع مدارک "مقاله مجله (Article)"، "مقاله

در جهت پاسخ‌گویی به‌هنگام و مؤثر به چالش‌های پیچیده و چندبعدی پیش‌روی حکمرانی پایدار منابع آب زیرزمینی به‌طور قابل ملاحظه‌ای تسهیل و تسریع خواهد کرد.

در راستای پاسخ‌گویی به ضرورت‌های علمی و عملی یادشده، پژوهش حاضر با به‌کارگیری دقیق و نظام‌مند روش‌شناسی تحلیل کتاب‌سنجی (Bibliometric Analysis) به واکاوی عمیق، جامع و چندوجهی معماری دانش حوزه مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی مبادرت نموده است. این مطالعه‌ی تحلیلی کمی و کیفی، با استخراج، سازماندهی و پردازش داده‌های کتاب‌شناختی مرتبط با ۴۸۴ سند علمی نمایه شده در پایگاه استنادی

Web of Science (WoS) Core Collection در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۵، در پی تبیین و تشریح ساختار مفهومی حوزه PGM از طریق تحلیل شبکه‌های هم‌وقوعی کلمات کلیدی، شناسایی روندهای موضوعی و الگوهای تحول پژوهشی با بررسی تغییرات زمانی فراوانی و جهت‌گیری کلمات کلیدی، و تعیین مراکز ثقل تولید و انتشار دانش و شناسایی قطب‌های فعال پژوهشی با استفاده از تحلیل وابستگی سازمانی و منابع انتشار می‌باشد. انتظار می‌رود نتایج کمی و کیفی حاصل از این پژوهش روش‌مند و نظام‌مند، نمایی جامع، تفصیلی و روشن از معماری دانش PGM ارائه داده و درک عمیق‌تر و دقیق‌تری از بنیان‌های مفهومی، روندهای پژوهشی و جبهه‌های نوآوری در این حوزه‌ی حیاتی و راهبردی فراهم آورد. همچنین، یافته‌های کلیدی این مطالعه‌ی علم‌سنجی می‌تواند بنیان‌های مستحکمی را جهت تدوین سیاست‌های دانش‌بنیان و مبتنی بر شواهد، هدایت هدمند و اولویت‌بندی تحقیقات آتی، و ارتقا سطح اثربخشی و کارایی رویکردهای مشارکتی در حکمرانی پایدار و مسئولانه منابع آب زیرزمینی در سطوح مختلف تصمیم‌گیری و اجرا بنا نهاده و به جامعه علمی، سیاست‌گذاران و دست‌اندرکاران مدیریت منابع آب یاری رساند. در بخش‌های آتی مقاله، روش‌شناسی دقیق و گام‌به‌گام تحقیق کتاب‌سنجی به تفصیل تبیین و تشریح گردیده و سپس نتایج حاصل از تحلیل‌های کمی و کیفی در قالب خوشه‌های موضوعی، روندهای زمانی، مراکز فعال پژوهشی و مسیرهای نوآوری آتی به‌صورت مستند، مصور و نظام‌مند ارائه و به‌گونه‌ای جامع و تفصیلی تجزیه و تحلیل خواهند شد.

مروری (Review Article) و "مقاله کنفرانس (Proceedings Paper)" به عنوان مدارک اصلی انتخاب گردیدند. سایر انواع مدارک نظیر یادداشت‌های ویراستاری، نامه‌ها و کتاب‌ها از دامنه پژوهش خارج شدند.

ارتباط موضوعی: مدارک انتخاب‌شده باید به‌طور مستقیم به موضوع مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی و ابعاد مختلف آن (اجتماعی، اقتصادی، فنی، نهادی و محیطی) مرتبط باشند. مقالاتی که صرفاً به جنبه‌های فنی هیدرولوژی آب‌های زیرزمینی و یا مسائل مرتبط با کیفیت آب بدون در نظر گرفتن ابعاد مشارکتی می‌پردازند، از مجموعه داده‌ها حذف گردیدند.

زبان انتشار: با توجه به ماهیت بین‌المللی پژوهش و تمرکز بر نشریات معتبر نمایه شده در WoSCC، زبان انگلیسی به عنوان زبان اصلی انتشار مدارک در نظر گرفته شد.

پس از اعمال معیارهای انتخاب و پالایش، مجموعه نهایی مدارک مورد تحلیل برای ورود به مرحله تحلیل کتاب‌سنجی آماده گردید.

روش‌های تحلیل کتاب‌سنجی

به منظور تحلیل ساختار مفهومی و روندهای موضوعی حوزه مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی، از ترکیبی از روش‌های کمی و کیفی کتاب‌سنجی بهره گرفته شد:

تحلیل توصیفی: در این مرحله، به منظور ارائه تصویری کلی از ویژگی‌های مجموعه داده‌ها، شاخص‌های توصیفی نظیر بازه زمانی انتشار مقالات، نرخ رشد سالانه اسناد، میانگین سن اسناد، میانگین استناد به‌ازای هر سند، تعداد کلمات کلیدی و میزان همکاری بین‌المللی نویسندگان با استفاده از نرم‌افزار Biblioshiny محاسبه و گزارش گردید (Tosan et al., 2025). این شاخص‌ها، دید جامعی از کمیت، کیفیت و پویایی پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه PGM فراهم نمود.

تحلیل هم‌وقوعی کلمات کلیدی: به منظور نقشه‌برداری از ساختار مفهومی حوزه پژوهش و شناسایی خوشه‌های موضوعی اصلی، تحلیل هم‌وقوعی کلمات کلیدی نویسندگان با استفاده از نرم‌افزار VOSviewer انجام پذیرفت (Tosan, Khashei Siuki, et al., 2024). در این تحلیل، کلمات کلیدی با حداقل فراوانی تکرار ۱۰ بار از میان تمامی کلمات کلیدی نویسندگان استخراج گردید و

بر اساس الگوریتم VOS، شبکه‌ای از ارتباطات هم‌وقوعی کلمات کلیدی ترسیم شد. سپس، با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی VOSviewer، کلمات کلیدی به پنج خوشه موضوعی اصلی تقسیم شدند که هر خوشه نمایانگر یک حوزه مفهومی متمایز در پژوهش‌های PGM بود. به منظور غنای بصری و تفسیری تحلیل، از سه نوع تجسم شبکه‌ای (Network Visualization)، هم‌پوشانی (Overlay Visualization) و تراکم (Density Visualization) در VOSviewer بهره گرفته شد. تجسم شبکه‌ای، روابط هم‌وقوعی بین کلمات کلیدی را نمایش می‌دهد، تجسم هم‌پوشانی، روند زمانی انتشار کلمات کلیدی را نشان می‌دهد، و تجسم تراکم، مناطق پرتراکم کلمات کلیدی مرتبط را برجسته می‌سازد.

تحلیل روند زمانی انتشار کلمات کلیدی پرتکرار: به منظور بررسی تحولات زمانی و شناسایی روندهای پژوهشی حوزه PGM، روند انتشار سالانه پرتکرارترین کلمات کلیدی (با فراوانی بالای ۵ بار) مورد تحلیل قرار گرفت. شاخص‌های چارک اول (Q1)، میانه (Median) و چارک سوم (Q3) سال انتشار برای هر کلمه کلیدی محاسبه و به منظور درک بهتر سیر تکاملی موضوعات پژوهشی و ظهور حوزه‌های جدید، مورد تفسیر قرار گرفت.

روایی و پایایی روش‌شناسی

روایی و پایایی روش‌شناسی پژوهش حاضر از طریق به‌کارگیری استانداردهای پذیرفته‌شده در حوزه علم‌سنجی و اتخاذ رویکردی نظام‌مند و شفاف تضمین گردید. انتخاب پایگاه داده WoSCC به عنوان منبع اصلی داده، استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی Biblioshiny و VOSviewer، به‌کارگیری معیارهای مشخص و شفاف برای انتخاب و پالایش داده‌ها، و تفسیر دقیق و مستند یافته‌ها بر اساس شواهد کمی و کیفی، از جمله اقداماتی بود که در راستای ارتقای اعتبار و دقت پژوهش به انجام رسید.

نتایج و بحث

اطلاعات کلیدی و روندهای موضوعی تحقیق

اطلاعات اصلی ارائه شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که تحقیقات مشاهده شده از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۵ انجام شده است و ۲۸۹ سند از ۴۸۴ منبع، مانند مجلات و کتاب‌ها، منشأ گرفته‌اند. نرخ رشد سالانه اسناد به ۱۱/۰۳ درصد

۲۲۰۵ نویسنده در این اسناد مشارکت داشتند که ۵۱ مورد از آن، توسط یک نویسنده نوشته شده است. همکاری بین نویسندگان نیز به‌طور قابل توجهی رخ می‌دهد، با میانگین ۴/۸۴ نویسنده در هر سند و نرخ همکاری بین‌المللی ۳۵/۷۴ درصد. در مورد انواع اسناد، ۳۳۲ مقاله و ۵۶ مقاله کنفرانس وجود دارد.

رسیده است که نشان دهنده افزایش علاقه به موضوع مشاهده شده در آن دوره است. میانگین سن اسناد ۷/۳ سال است، با میانگین ۱۹/۴۸ استناد به‌ازای هر سند، که نشان دهنده سطح پایداری از ارتباط و تأثیر این آثار است. علاوه بر این، این اسناد شامل ۱۳۶۰ کلمه کلیدی تکمیلی و ۱۵۸۷ کلمه کلیدی نویسنده هستند که تنوع و پیچیدگی موضوع مورد بررسی را برجسته می‌کنند. تعداد

جدول ۱. اطلاعات کلی اسناد منتشرشده.

Table 1. Main Information of Publication.

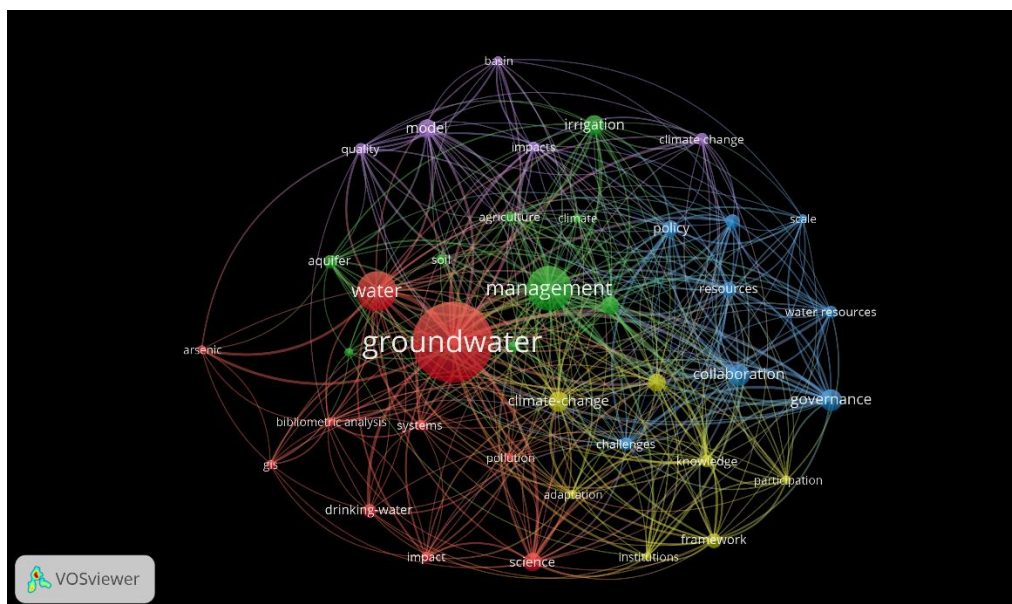
Description	Results
MAIN INFORMATION ABOUT DATA	
Timespan	2003:2025
Sources (Journals, Books, etc)	289
Documents	484
Annual Growth Rate %	11.03
Document Average Age	7.3
Average citations per doc	19.48
References	28073
DOCUMENT CONTENTS	
Keywords Plus (ID)	1360
Author's Keywords (DE)	1587
AUTHORS	
Authors	2205
Authors of single-authored docs	51
AUTHORS COLLABORATION	
Single-authored docs	51
Co-Authors per Doc	4.84
International co-authorships %	35.74
DOCUMENT TYPES	
article	332
article; book chapter	17
article; data paper	1
article; early access	3
article; proceedings paper	9
editorial material	14
proceedings paper	56
review	48

بنفش. سه نوع مختلف تجسم - تجسم شبکه، تجسم هم‌پوشانی و تجسم تراکم - این یافته‌های نقشه‌برداری کتاب‌سنجی را ارائه می‌دهند. هر اصطلاح توسط یک دایره رنگی شناسایی می‌شود که اندازه آن با میزان دفعات ظاهر شدن کلمه کلیدی در عنوان و چکیده مطابقت دارد. این

تحلیل هم‌وقوعی کلمات کلیدی

۳۹ کلمه کلیدی، با حداقل ۱۰ بار ظاهر شدن از مجموع ۲۷۴۵ کلمه کلیدی، معیارها را برآورده کردند (شکل ۱). این کلمات کلیدی سپس به پنج خوشه تقسیم می‌شوند که هر کدام با رنگ متفاوتی برای نشان دادن رابطه آن با خوشه‌های دیگر مشخص شده‌اند: قرمز، آبی، زرد، سبز و

اصطلاحات بیشتر در عناوین و چکیده‌ها ظاهر می‌شوند که اندازه فونت و شکل دایره بزرگ‌تر باشد.



شکل ۱. شبکه هم‌وقوعی کلمات کلیدی در انتشارات پیرامون حکمرانی مشارکتی آب‌های زیرزمینی.

Fig 1. Co-occurrence Network of Keywords in Publications on Collaborative Groundwater Governance.

مشارکتی و چارچوب‌های نهادی برای مدیریت مؤثر منابع، در مرکز توجه این خوشه قرار دارند.

خوشه ۴: سازگاری و دانش مشارکتی: این خوشه مستقیماً به‌ضرورت سازگاری با تغییرات اقلیمی در مدیریت آب زیرزمینی و نقش نهادها، دانش و مشارکت در این فرآیند اشاره دارد. دانش و مشارکت دینفعان به‌عنوان ارکان اصلی سازگاری در این خوشه برجسته شده‌اند.

خوشه ۵: مدل‌سازی حوضه آبریز و کیفیت: این خوشه بر تحلیل اثرات تغییرات اقلیمی بر کیفیت آب در سطح حوضه آبریز از طریق مدل‌سازی تمرکز دارد. رویکرد حوضه آبریزی و مدل‌های علمی به‌عنوان ابزارهای کلیدی برای درک و مدیریت اثرات تغییر اقلیم بر کیفیت آب در این خوشه مطرح شده‌اند.

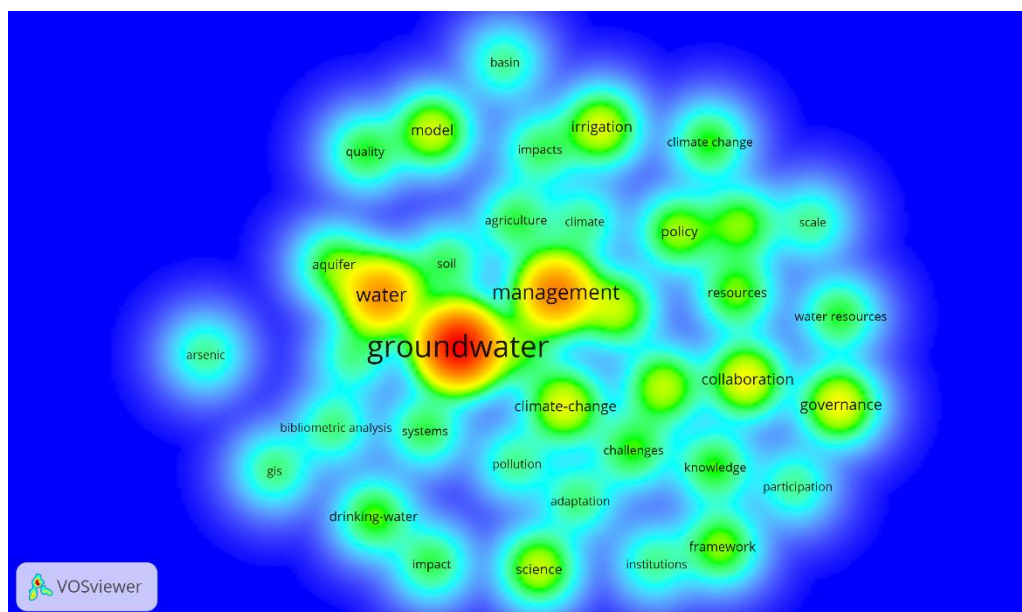
این تحلیل نشان می‌دهد که پژوهش‌های مرتبط با مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی، حوزه‌ای چندوجهی و بین‌رشته‌ای را شامل می‌شود که ابعاد فنی-محیطی، اجتماعی-اقتصادی، نهادی-حکمرانی و روش‌شناختی را در بر می‌گیرد (Villada-Canela et al., 2021). معماری دانش مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی نیازمند توجه به این ابعاد متنوع و ایجاد انسجام و یکپارچگی بین دانش‌های مربوط به هر حوزه است (Noor et al., 2022).

تحلیل خوشه‌های کلمات کلیدی مقالات مرتبط با "واکاوی معماری دانش مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی" در نرم‌افزار VOSviewer، پنج حوزه مفهومی کلیدی را مشخص نمود که هر کدام جنبه‌ای مهم از این حوزه پژوهشی را نمایان می‌سازند:

خوشه ۱: آلودگی و کیفیت آب زیرزمینی: این خوشه بر مسائل مربوط به آلودگی آب زیرزمینی، به‌ویژه آرسنیک، و کاربرد GIS برای تحلیل و مدیریت این آلودگی‌ها متمرکز است. این نشان‌دهنده دغدغه اصلی در مورد پیامدهای زیست‌محیطی و بهداشتی آلودگی و ضرورت رویکردهای علمی و سیستماتیک برای مقابله با آن است.

خوشه ۲: کشاورزی و پایداری منابع آب: این خوشه بر ارتباط بین کشاورزی، آبخوان‌ها و تغییرات اقلیمی در مدیریت آب زیرزمینی تأکید دارد. نقش بخش کشاورزی به‌عنوان مصرف‌کننده اصلی و ضرورت مدیریت پایدار منابع در این بخش، همراه با توجه به تغییرات اقلیمی، از مضامین اصلی این خوشه است.

خوشه ۳: حکمرانی مشارکتی و سیاست‌گذاری: این خوشه بر چالش‌های حکمرانی منابع آب و اهمیت همکاری و سیاست‌گذاری در سطوح مختلف تأکید دارد. رویکردهای



شکل ۲. نمودار تراکمی کلمات کلیدی در انتشارات پیرامون حکمرانی مشارکتی آب‌های زیرزمینی.

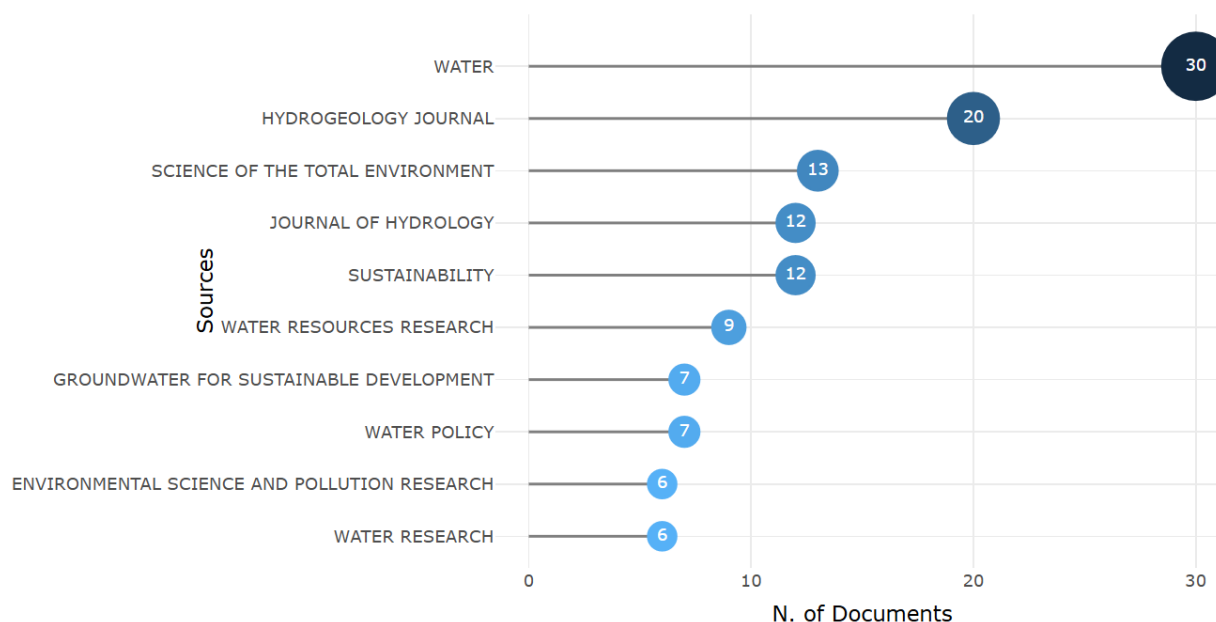
Fig 2. Density Visualization of Keywords in Publications on Collaborative Groundwater Governance.

et al., 2022). در عین حال، تغییرات اقلیمی به‌طور فزاینده‌ای فشار بر منابع آب زیرزمینی را افزایش داده و پایداری را به یک هدف محوری در مدیریت این منابع تبدیل کرده است (Barbieri et al., 2023). بنابراین، این کلمات کلیدی پرتکرار نشان‌دهنده تمرکز پژوهش‌ها بر یافتن راه‌حل‌های جامع، مشارکتی و پایدار برای مدیریت آب‌های زیرزمینی در مواجهه با چالش‌های پیچیده امروزی هستند.

روند انتشار سالانه مقالات بر اساس منابع پژوهشی

بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از Biblioshiny، ده منبع مجله وجود دارد که بیشترین تعداد نشریات علمی را در موضوع "مدیریت مشارکتی آب زیرزمینی" در پایگاه داده وب آف ساینس ثبت کرده‌اند. اطلاعات مربوط به مجلاتی که بیشترین تعداد نشریات علمی را در مورد "مدیریت مشارکتی آب زیرزمینی" دارد، در شکل ۲ نشان داده شده است.

نتایج تحلیل کلمات کلیدی با استفاده از نمودار چگالی در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج تحلیل کلمات کلیدی با استفاده از تصویرسازی چگالی، عمق تحقیق را نشان می‌دهد، به‌طوری که هرچه رنگ ظاهرشده در دایره زنده‌تر و قوی‌تر باشد، تحقیقات بیشتری مرتبط با آن کلمه کلیدی وجود دارد. این نمودار نشان می‌دهد که پژوهش‌های مربوط به مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی به‌شدت تحت تأثیر مسائل کلان محیطی و اجتماعی-سیاسی معاصر قرار دارند. مدیریت آب زیرزمینی به‌عنوان یک منبع حیاتی اما آسیب‌پذیر، نیازمند رویکردهای حکمرانی قوی و سیاست‌گذاری کارآمد است تا اطمینان حاصل شود که این منبع به‌طور پایدار و عادلانه مدیریت شود (Thomann et al., 2022). همکاری بین ذینفعان مختلف (دولت، جامعه محلی، بخش خصوصی، سازمان‌های مردم‌نهاد) برای دستیابی به مدیریت مؤثر ضروری است، چرا که تصمیمات مربوط به آب زیرزمینی اثرات گسترده‌ای بر جامعه و اقتصاد دارد (Moghaddasi



شکل ۳. آنالیز پرکاربردترین نشریات در زمینه انتشارات حکمرانی مشارکتی آب‌های زیرزمینی. شکل

Fig 3. Analysis of the Most Used Journals in the Field of Collaborative Groundwater Governance Publications.

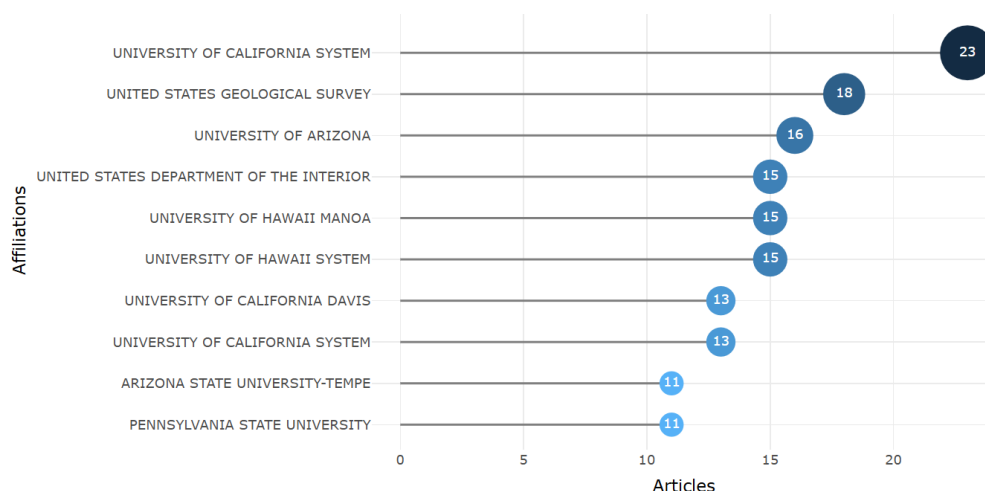
دانشگاه‌های ممتاز با سابقه طولانی در علوم مرتبط نسبت داد (Niles et al., 2024). غلبه دانشگاه‌ها در کنار سازمان‌های دولتی پژوهشی در این لیست، بیانگر هم‌افزایی قوی میان تولید دانش نظری و نیازهای عملیاتی و سیاست‌گذاری در این حوزه است (Mannix et al., 2022).

این تمرکز بالای فعالیت پژوهشی در مؤسسات آمریکایی، نه‌تنها اهمیت حیاتی مدیریت آب‌های زیرزمینی برای این کشور را برجسته می‌سازد، بلکه نقش پیشگامانه ایالات متحده در توسعه دانش و رویکردهای نوآورانه در این زمینه را نیز تایید می‌کند. حضور این مؤسسات، با تخصص‌های متنوع از مدیریت آب در مناطق خشک گرفته تا سیاست‌گذاری محیطی و مدل‌سازی حوضه‌های آبریز، یک شبکه قوی از ظرفیت علمی و پژوهشی را در حوزه مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی به نمایش می‌گذارد که می‌تواند به‌عنوان مرجعی ارزشمند برای پژوهشگران و سیاست‌گذاران در سراسر جهان عمل نماید.

بر اساس داده‌های شکل ۳، مرتبط‌ترین منابع در زمینه پژوهش مشاهده‌شده، نشریه Water با ۳۰ مقاله و نشریه Hydrogeology با ۲۰ مقاله می‌باشند. نشریات SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT و JOURNAL OF HYDROLOGY نیز به ترتیب ۱۳، ۱۲ و ۱۲ مقاله ارائه می‌کنند که تنوع در منابع اطلاعات مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

سازمان‌ها، دانشگاه‌ها و مؤسسات پژوهشی فعال

بررسی ده مؤسسه برتر در زمینه پژوهش پیرامون مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی، به وضوح نشان می‌دهد که ایالات متحده آمریکا به‌عنوان کانون اصلی این حوزه پژوهشی در جهان شناخته می‌شود (شکل ۴). این پیشتازی آمریکا را می‌توان به عواملی چون نیاز مبرم مناطق وسیعی از این کشور به مدیریت کارآمد منابع آب زیرزمینی در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک، سرمایه‌گذاری کلان در پژوهش‌های منابع آب، و وجود



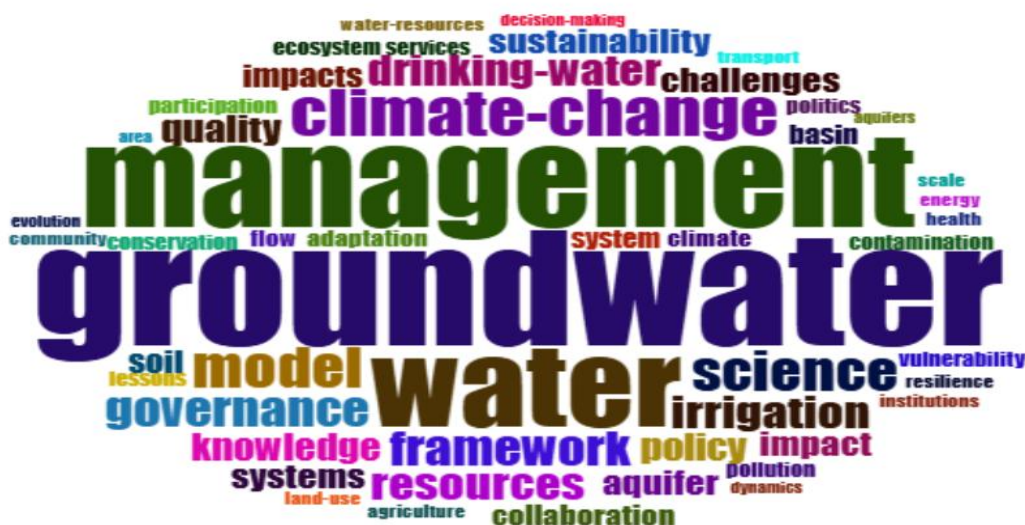
شکل ۴. آنالیز سازمان‌های فعال در زمینه انتشارات حکمرانی مشارکتی آب‌های زیرزمینی.

Fig 4. Analysis of Active Organizations in the Field of Collaborative Groundwater Governance Publications.

از سوی دیگر، تکرار قابل توجه کلیدواژه‌هایی چون "حکمرانی"، "سیاست‌گذاری"، "همکاری"، "مشارکت" و "نهاده‌ها" بیانگر اهمیت فزاینده ابعاد اجتماعی-سیاسی و ضرورت اتخاذ رویکردهای مشارکتی در مدیریت پایدار آب‌های زیرزمینی است. مضامین مرتبط با "کیفیت"، "آلودگی"، "آسیب‌پذیری" و "اثرات" نیز دلالت بر نگرانی‌های جدی در مورد تهدیدات زیست‌محیطی و لزوم توجه به پیامدهای اکولوژیکی و بهداشتی مدیریت (یا سوءمدیریت) آب‌های زیرزمینی دارند.

تحلیل کلمات کلیدی

با بررسی لیست پرتکرارترین کلمات کلیدی در حوزه پژوهشی "واکاوی معماری دانش مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی"، می‌توان دریافت که این حوزه به‌شدت متأثر از چالش‌های معاصر و رویکردهای نوین در مدیریت منابع آب است. کلمات کلیدی با فراوانی بالا، مانند "آب زیرزمینی"، "مدیریت"، "آب"، "تغییرات اقلیمی"، "مدل" و "علم" نشان‌دهنده تمرکز اصلی پژوهش‌ها بر مسائل بنیادین هیدرولوژیکی و نیاز به رویکردهای علمی و کمی در فهم و پیش‌بینی رفتار سیستم‌های آب زیرزمینی است.



شکل ۵. آنالیز ابر کلمات کلیدی در زمینه انتشارات حکمرانی مشارکتی آب‌های زیرزمینی.

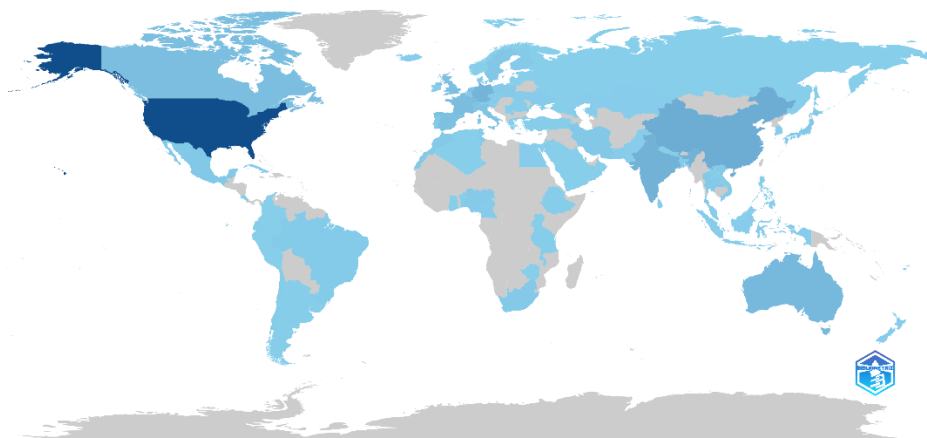
Fig 5. Analysis of the Keyword Cloud in the Field of Collaborative Groundwater Governance Publications.

جهان است. تسلط کشورهای توسعه‌یافته غربی (ایالات متحده، آلمان، استرالیا، فرانسه، کانادا، بریتانیا، اسپانیا، هلند) در این فهرست، نشان‌دهنده سرمایه‌گذاری‌های کلان و دیرینه این جوامع در زیرساخت‌های پژوهشی و دانشگاهی مرتبط با علوم محیطی و منابع آب است. این کشورها با دارا بودن مراکز تحقیقاتی پیشرفته، دانشگاه‌های معتبر با رتبه‌بندی جهانی در رشته‌های مهندسی محیط زیست، هیدرولوژی، و علوم اجتماعی مرتبط با حکمرانی محیطی، و همچنین دسترسی به منابع مالی قابل توجه برای حمایت از پژوهش‌های بلندمدت، بستر مناسبی را برای تولید دانش و انتشار یافته‌های پژوهشی در نشریات معتبر فراهم کرده‌اند. علاوه بر این، سابقه طولانی‌تر دغدغه‌های زیست‌محیطی و توسعه پایدار در این جوامع و وجود نهادهای مدنی و دولتی فعال در حوزه حفاظت از منابع آب، به شکل‌گیری اولویت‌های پژوهشی و جهت‌دهی به تحقیقات در راستای مدیریت پایدار و مشارکتی منابع آب زیرزمینی منجر شده است (Haggerty et al., 2023; Scanlon et al., 2023).

همچنین با تأکید بر کلیدواژه‌هایی نظیر "چارچوب"، "دانش"، "یادگیری"، "مقیاس"، "انطباق‌پذیری"، "پایداری" و "تاب‌آوری"، می‌توان دریافت که پژوهش‌های این حوزه به‌دنبال توسعه معماری دانش منسجم و کارآمدی برای مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی می‌باشند. این معماری دانش، مستلزم درک سیستماتیک از پیچیدگی‌های سیستم‌های آب زیرزمینی، به‌کارگیری مدل‌های علمی و چارچوب‌های تحلیلی، تسهیل تبادل دانش و همکاری بین ذینفعان، و اتخاذ رویکردهای انطباقی و تاب‌آور در مواجهه با تغییرات اقلیمی و عدم قطعیت‌های آینده است. بنابراین، این لیست کلمات کلیدی پرتکرار، به‌خوبی ماهیت بین‌رشته‌ای و چندوجهی حوزه مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی را منعکس نموده و ضرورت رویکردهای جامع، دانش‌بنیان، مشارکتی و پایدار را در این عرصه حیاتی برجسته می‌سازد.

تحلیل منطقه مورد مطالعه

شکل ۶ به وضوح نمایانگر قطب‌های اصلی تولید دانش و نوآوری در عرصه مدیریت منابع آب زیرزمینی در سطح



شکل ۶. کشورهای فعال در زمینه انتشارات حکمرانی مشارکتی آب‌های زیرزمینی.

Fig 6. Active Countries in the Field of Collaborative Groundwater Governance Publications.

رویکردهای نوین و کارآمد در مدیریت منابع آب می‌باشند (Dangar et al., 2021; Han & Currell, 2022). سرمایه‌گذاری‌های اخیر دولت‌های چین و هند در توسعه زیرساخت‌های پژوهشی و دانشگاهی، تربیت نیروی متخصص در حوزه علوم محیطی و مهندسی آب، و همچنین توجه ویژه به موضوعات مربوط به امنیت آب و

در کنار کشورهای توسعه‌یافته، حضور چین و هند به‌عنوان قدرت‌های اقتصادی نوظهور و پرجمعیت در این لیست، حائز اهمیت است. این دو کشور با مواجهه با چالش‌های عظیم کمبود آب، آلودگی گسترده منابع آب سطحی و زیرزمینی به‌دلیل توسعه صنعتی و کشاورزی فزاینده، و پیامدهای تغییرات اقلیمی بر منابع آب، به‌شدت نیازمند

(Climate-change, Quality, Policy, Challenges, Impacts, Soil, Impact).

این دسته از کلمات کلیدی، دارای روند انتشار صعودی و تمرکز فزاینده در سال‌های اخیر هستند. "تغییرات اقلیمی" با افزایش چشمگیر فراوانی و سال‌های انتشار جدید (چارک اول ۲۰۱۹، میانه ۲۰۲۱، چارک سوم ۲۰۲۲)، به وضوح نشان‌دهنده تبدیل شدن تغییرات اقلیمی به محرک اصلی پژوهش‌های مرتبط با آب‌های زیرزمینی است (Yaqubi et al., 2024). "کیفیت"، "چالش‌ها" و "اثرات" نیز بر نگرانی‌های جدی در مورد تهدیدات زیست‌محیطی، پیچیدگی‌های مدیریتی و پیامدهای منفی آلودگی و بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی دلالت دارند (Tosan & Beyranvand, 2023). "سیاست‌گذاری" و "خاک" نیز نشان‌دهنده گسترش دامنه پژوهش‌ها به حوزه‌های سیاست‌گذاری عمومی و تعاملات آب-خاک هستند. روند انتشار این کلمات کلیدی، بیانگر تغییر پارادایم پژوهشی از تمرکز صرف بر جنبه‌های هیدرولوژیکی به سمت توجه بیشتر به ابعاد زیست‌محیطی، اجتماعی و سیاسی مدیریت آب‌های زیرزمینی در عصر تغییرات اقلیمی است.

۳- مفاهیم مرتبط با مدیریت مشارکتی و ابعاد اجتماعی: منابع، آبیاری، آب آشامیدنی، سیاست، مقیاس، اجتماع، مشارکت (Resources, Irrigation, Drinking-water, Politics, Scale, Community, Participation).

این کلمات کلیدی، به‌طور مستقیم‌تر به ابعاد مدیریت مشارکتی و جنبه‌های اجتماعی و انسانی حوزه پژوهشی مرتبط هستند. "منابع"، "آبیاری" و "آب آشامیدنی" نشان‌دهنده کاربردهای کلیدی آب‌های زیرزمینی و دغدغه‌های مربوط به تأمین نیازهای اساسی جامعه و بخش کشاورزی است (Tosan & Maroosi, 2024). "سیاست" و "مقیاس" نیز بیانگر اهمیت ملاحظات سیاسی و سطوح مختلف تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب هستند. "اجتماع" و "مشارکت" با روند انتشار جدیدتر (چارک اول ۲۰۲۰ و بعد)، نشان‌دهنده توجه فزاینده پژوهش‌ها به رویکردهای اجتماع‌محور و مشارکت ذینفعان در مدیریت آب‌های زیرزمینی است. این روند، گویای تکامل حوزه پژوهشی به سمت رویکردهای جامع‌تر و انسان‌محور تر است که درک و مشارکت جوامع محلی را

توسعه پایدار، موجب شده است تا این دو کشور به بازیگران مهمی در عرصه پژوهش‌های مدیریت آب‌های زیرزمینی تبدیل شوند. به‌علاوه، تنوع نظام‌های سیاسی-اجتماعی و الگوهای حکمرانی در چین و هند نسبت به کشورهای غربی، می‌تواند منجر به رویکردهای متفاوت و نوآورانه‌تری در زمینه مدیریت مشارکتی منابع آب زیرزمینی شود که در نشریات معتبر نیز بازتاب یافته است (Mukherji, 2022).

تحلیل روند انتشار کلمات کلیدی پرتکرار در حوزه مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی

شکل ۳ نه تنها پرتکرارترین کلمات کلیدی در حوزه پژوهشی مورد نظر را مشخص می‌کند، بلکه با ارائه چارک اول، میانه و چارک سوم سال انتشار برای هر کلمه، تصویری پویا از تحولات زمانی و روند پژوهش در این حوزه را ترسیم می‌نماید. با تحلیل این داده‌ها، می‌توان دریافت که تمرکز پژوهشی در این حوزه به تدریج در حال تغییر و تکامل بوده و موضوعات جدیدی در کانون توجه قرار گرفته‌اند.

۱- هسته‌ی بنیادین و مستمر: آب زیرزمینی، مدیریت، آب، مدل، چارچوب، علم (Groundwater, Management, Water, Model, Framework, Science).

این کلمات کلیدی با بیشترین فراوانی و روند انتشار نسبتاً پایدار در طول زمان، نشان‌دهنده هسته بنیادین و مستمر حوزه پژوهشی مدیریت آب‌های زیرزمینی هستند. "آب زیرزمینی" و "مدیریت" به‌عنوان کلمات کلیدی با بالاترین فراوانی، موضوع اصلی و قانونی این حوزه را تعریف می‌کنند. تکرار قابل توجه "آب" و "مدل" بیانگر اهمیت رویکردهای هیدرولوژیکی و مدل‌سازی کمی در فهم و پیش‌بینی رفتار سیستم‌های آب زیرزمینی است. "چارچوب" و "علم" نیز دلالت بر تلاش‌های پژوهشی برای توسعه چارچوب‌های نظری و روش‌شناسی منسجم و مبتنی بر دانش علمی در این حوزه دارند. سال‌های میانه و چارک سوم نسبتاً جدید (۲۰۱۷-۲۰۲۳) برای این کلمات، نشان می‌دهد که این مفاهیم همچنان در کانون توجه پژوهشگران بوده و پویایی و استمرار خود را حفظ کرده‌اند.

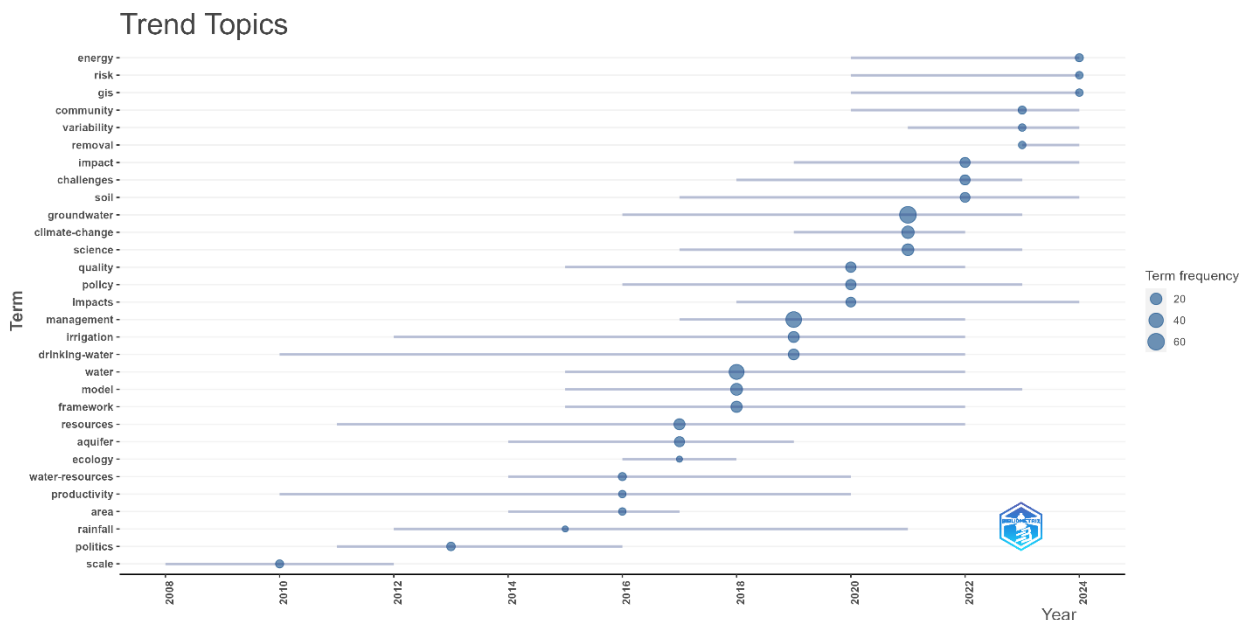
۲- روند صعودی و تمرکز فزاینده: تغییرات اقلیمی، کیفیت، سیاست‌گذاری، چالش‌ها، اثرات، خاک، اثر

انرژی بر منابع آب اشاره داشته باشد. "GIS" نیز بیانگر کاربرد سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در تحلیل فضایی و مدیریت مکانی منابع آب زیرزمینی است. "ریسک" و "تغییرپذیری" بر توجه فزاینده به مدیریت ریسک‌های مرتبط با منابع آب زیرزمینی و عدم قطعیت‌های ناشی از تغییرات اقلیمی و سایر عوامل دلالت دارند. "حذف" که با جدیدترین سال انتشار (چارک اول، میانه و چارک سوم ۲۰۲۳-۲۰۲۴) مشخص شده، می‌تواند به فناوری‌های نوین حذف آلاینده‌ها از آب‌های زیرزمینی یا حذف موانع و چالش‌های مدیریتی اشاره داشته باشد و به نظر می‌رسد یکی از جبهه‌های پیشروی پژوهش‌های آتی در این حوزه باشد.

در فرآیندهای مدیریت منابع آب زیرزمینی ضروری می‌داند.

۴- موضوعات نوظهور و روندهای آتی: انرژی، GIS، ریسک، تغییرپذیری، حذف (Energy, GIS, Risk, Variability, Removal).

این دسته از کلمات کلیدی، دارای جدیدترین سال‌های انتشار هستند و به نظر می‌رسد موضوعات نوظهور و روندهای آتی پژوهش در حوزه مدیریت آب‌های زیرزمینی را نمایندگی می‌کنند. "انرژی" و "GIS" نشان‌دهنده به‌کارگیری فناوری‌های نوین و رویکردهای بین‌رشته‌ای در پژوهش‌های جدید هستند (Mahdian Moghadam & Tosan). "انرژی" می‌تواند به پیوند آب-انرژی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در مدیریت آب یا اثرات مصرف



شکل ۷. آنالیز روند پژوهشی در زمینه انتشارات حکمرانی مشارکتی آب‌های زیرزمینی.

Fig 7. Analysis of the Research Trend in the Field of Collaborative Groundwater Governance Publications.

بهره‌برداری بی‌رویه، پژوهش‌های آتی احتمالاً به توسعه چارچوب‌ها و روش‌های مدیریت ریسک، ارزیابی آسیب‌پذیری سیستم‌های آب زیرزمینی، و افزایش تاب‌آوری جوامع و اکوسیستم‌ها در برابر شوک‌ها و تنش‌های مرتبط با آب توجه بیشتری خواهند داشت.

- به‌کارگیری فناوری‌های نوین و رویکردهای بین‌رشته‌ای: استفاده از فناوری‌های نوین مانند GIS، سنجش از دور، اینترنت اشیا (IoT)، هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در تحلیل داده‌ها، مدل‌سازی و پایش منابع آب زیرزمینی

روندهای تحقیقات آتی و معماری دانش مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی

با در نظر گرفتن روند انتشار کلمات کلیدی پرتکرار، می‌توان روندهای تحقیقات آتی و مسیرهای نوآوری در حوزه "واکاوی معماری دانش مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی" را به شرح زیر پیش‌بینی نمود:

- تمرکز بیشتر بر مدیریت ریسک و تاب‌آوری: با توجه به افزایش تهدیدات ناشی از تغییرات اقلیمی، آلودگی و

گسترش خواهد یافت. همچنین، همکاری‌های بین‌رشته‌ای بین هیدرولوژیست‌ها، مهندسان محیط زیست، علوم اجتماعی، اقتصاددانان و متخصصان علوم داده برای حل مسائل پیچیده مدیریت آب‌های زیرزمینی اهمیت فزاینده‌ای خواهد یافت.

• توسعه رویکردهای اجتماع‌محور و مشارکتی: پژوهش‌های آتی به تقویت مشارکت ذینفعان مختلف، جوامع محلی و دانش بومی در فرآیندهای تصمیم‌گیری و مدیریت آب‌های زیرزمینی تأکید بیشتری خواهند داشت. توسعه مدل‌های حکمرانی مشارکتی، مکانیسم‌های تبادل دانش و سازوکارهای حل منازعات در حوزه آب‌های زیرزمینی از اولویت‌های پژوهشی خواهد بود.

• تمرکز بر پایداری و عدالت: با توجه به اهداف توسعه پایدار و ضرورت توزیع عادلانه منابع و منافع، پژوهش‌های آتی به ارزیابی پایداری رویکردهای مختلف مدیریت آب‌های زیرزمینی، تحلیل ابعاد اجتماعی-اقتصادی و عدالت‌محور مدیریت منابع آب، و توسعه شاخص‌ها و معیارهای پایداری و عدالت در این حوزه توجه بیشتری مبذول خواهند داشت.

• واکاوی معماری دانش موجود و توسعه چارچوب‌های منسجم‌تر: با انباشت دانش در حوزه‌های مختلف مرتبط با مدیریت آب‌های زیرزمینی، نیاز به واکاوی ساختار دانش موجود، شناسایی شکاف‌های دانشی، و توسعه چارچوب‌های مفهومی و روش‌شناسی منسجم‌تر و جامع‌تر برای مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی افزایش خواهد یافت. این امر مستلزم ادغام دانش از رشته‌های مختلف، توسعه مدل‌های یکپارچه و ارائه راهکارهای عملی و قابل پیاده‌سازی برای مدیریت پایدار و مشارکتی منابع آب زیرزمینی خواهد بود.

نتیجه‌گیری

در دنیای امروز، مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی نه فقط یک رویکرد مدیریتی مطلوب، بلکه ضرورتی اجتناب‌ناپذیر برای تضمین پایداری منابع آب و امنیت آبی جوامع بشری محسوب می‌گردد. این تحلیل جامع، به وضوح گویای بلوغ و پویایی فزاینده حوزه PGM در دانش جهانی است، حوزه‌ای که در دو دهه اخیر با نرخ رشد سالانه قابل توجه ۱۱/۰۳٪ و میانگین استناد چشمگیر

۱۹/۴۸ به‌ازای هر سند علمی، به‌سرعت در حال تثبیت جایگاه خود به‌عنوان یک پارادایم مسلط در حکمرانی منابع آب زیرزمینی بوده است. بررسی ساختار مفهومی حوزه PGM از منظر تحلیل هم‌وقوعی کلمات کلیدی، پنج خوشه متمایز و در عین حال به‌هم‌پیوسته را نمایان ساخت که هر یک، جنبه‌ای بنیادین از این حوزه پژوهشی را نمایندگی می‌کنند: خوشه نخست، با محوریت آلودگی و کیفیت آب‌های زیرزمینی و کاربرد فناوری GIS، بر دغدغه‌های فنی-محیطی و ضرورت رویکردهای علم‌بنیان در مواجهه با چالش‌های آلودگی تأکید دارد. خوشه دوم، با تمرکز بر پیوند بین کشاورزی، آبخوان‌ها و تغییرات اقلیمی، بر تعاملات پیچیده نظام‌های اکولوژیکی-اجتماعی و ضرورت مدیریت پایدار منابع آب در بخش کشاورزی دلالت دارد. خوشه سوم، با کلیدواژه‌های حکمرانی مشارکتی و سیاست‌گذاری چند سطحی، ابعاد نهادی-حکمرانی و سازوکارهای همکاری و سیاست‌گذاری را در مدیریت منابع آب زیرزمینی برجسته می‌سازد. خوشه چهارم، با محوریت سازگاری با تغییرات اقلیمی و نقش دانش و مشارکت ذینفعان، بر ضرورت انطباق‌پذیری و تاب‌آوری در برابر تغییرات اقلیمی و اهمیت مشارکت فعال جوامع محلی و دانش بومی تأکید دارد. و نهایتاً، خوشه پنجم با تمرکز بر مدل‌سازی حوضه آبریز و کیفیت، بر نقش ابزارهای کمی و رویکردهای سیستماتیک در درک و پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی دلالت دارد. به‌طور هم‌زمان، شناسایی مفاهیم کانونی نظیر "حکمرانی"، "همکاری"، "تغییرات اقلیمی"، "پایداری" و "مدیریت آب زیرزمینی" به‌عنوان پرتکرارترین کلمات کلیدی، تأییدی بر ماهیت چندوجهی و بین‌رشته‌ای حوزه PGM و ضرورت رویکردهای جامع، دانش‌بنیان و مشارکتی در این عرصه به‌شمار می‌رود. تحلیل روند زمانی انتشار کلمات کلیدی، گذار پارادایمی از تمرکز صرف بر رویکردهای فنی-هیدرولوژیکی به‌سمت نگاهی جامع‌نگر و بوم‌شناختی به مدیریت آب‌های زیرزمینی در عصر تغییرات اقلیمی را به وضوح نمایان ساخت. روندهای آتی پژوهشی، به‌طور فزاینده‌ای به توسعه چارچوب‌های مدیریت ریسک و تاب‌آوری، به‌کارگیری فناوری‌های نوین و رویکردهای بین‌رشته‌ای، تقویت رویکردهای اجتماع‌محور و مشارکتی، و تمرکز بر پایداری و عدالت معطوف خواهند

Bolan, S., Padhye, L. P., Jasemizad, T., Govarthan, M., Karmegam, N., Wijesekara, H., Amarasiri, D., Hou, D., Zhou, P., & Biswal, B. K. (2024). Impacts of climate change on the fate of contaminants through extreme weather events. *Science of The Total Environment*, 909, 168388.

Bouazzi, K. (2024). Immunity through technification? A critical review of water governance discourses in Tunisia. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 11(6), e1757.

Dangar, S., Asoka, A., & Mishra, V. (2021). Causes and implications of groundwater depletion in India: A review. *Journal of Hydrology*, 596, 126103.

Dey, U., Raj, D., Mondal, M., Roy, P., Mukherjee, A., Mondal, N. K., & Das, K. (2023). Microplastics in groundwater: An overview of source, distribution, mobility constraints and potential health impacts during the anthropocene. *Groundwater for Sustainable Development*, 101036.

Haggerty, R., Sun, J., Yu, H., & Li, Y. (2023). Application of machine learning in groundwater quality modeling-A comprehensive review. *Water Research*, 233, 119745.

Han, D., & Currell, M. J. (2022). Review of drivers and threats to coastal groundwater quality in China. *Science of The Total Environment*, 806, 150913.

Hose, G. C., Di Lorenzo, T., Fillinger, L., Galassi, D. M. P., Griebler, C., Hahn, H. J., Handley, K. M., Korbel, K., Reboleira, A. S., & Siemensmeyer, T. (2023). Assessing groundwater ecosystem health, status, and services. *Groundwater ecology and evolution*, 501-524.

Jakob, M. (2022). Globalization and climate change: State of knowledge, emerging issues, and policy implications. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 13(4), e771.

KC, S., Shrestha, S., Nguyen, T. P. L., Das Gupta, A., & Mohanasundaram, S. (2022). Groundwater governance: a review of the assessment methodologies. *Environmental Reviews*, 30(2), 202-216.

Mahdian Moghadam, N., & Tosan, M. Study of Socio-Economic Effects of Saffron Cultivation in Torbat Heydarieh and Neyshabur. International Conference on Management, Culture and Economic Development ,

Mannix, D. H., Birkenholtz, T. L., Abrams, D. B., & Cullen, C. (2022). Uncertain Waters: Participatory groundwater modelling in Chicago's suburbs. *Geoforum*, 132, 182-194.

Moghaddasi, P., Kerachian, R., & Sharghi, S. (2022). A stakeholder-based framework for improving the resilience of groundwater resources in arid regions. *Journal of Hydrology*, 609, 127737.

Mukherji, A. (2022). Sustainable groundwater management in India needs a water-energy-food

شد. بدیهی است، معماری دانش PGM در آینده، بر ادغام دانش از حوزه‌های متنوع، هم‌افزایی ظرفیت‌های تکنولوژیک، و توسعه رویکردهای حکمرانی انطباقی و مشارکتی برای تحقق پایداری منابع آب زیرزمینی استوار خواهد بود. پژوهش حاضر، با ارائه نقشه‌ای جامع و تحلیل ساختارمند از معماری دانش مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی، گامی اساسی در جهت تعمیق درک نظری، تبیین روندهای پژوهشی و شناسایی مسیرهای نوآوری در این حوزه برداشته است. یافته‌های این پژوهش می‌تواند به‌عنوان مبنایی مستحکم برای تدوین برنامه‌های پژوهشی آتی، توسعه رویکردهای سیاستی اثربخش‌تر، و پیاده‌سازی مدل‌های موفق PGM در مقیاس‌های مختلف مورد بهره‌برداری قرار گیرد. با این حال، ضروری است اذعان شود که پژوهش کتاب‌سنجی حاضر، محدودیت‌هایی نیز دارد. به‌ویژه، تمرکز بر پایگاه داده Web of Science و محدودیت زبانی به انگلیسی، می‌تواند دیدگاه جامع از کل طیف پژوهش‌های انجام‌شده در سطح جهانی را به‌طور کامل منعکس ننماید. لذا، پژوهش‌های آتی می‌توانند با توسعه دامنه تحلیل به سایر پایگاه‌های داده و ادبیات منتشرشده به زبان‌های غیر انگلیسی، و همچنین با به‌کارگیری روش‌های تحلیل کیفی مکمل، به تعمیق و تکمیل یافته‌های پژوهش حاضر بپردازند و تصویری جامع‌تر و غنی‌تر از معماری دانش مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی ارائه نمایند. در نهایت، امید است نتایج این پژوهش، گامی مؤثر در راستای ارتقای دانش، سیاست‌گذاری و عملکرد در عرصه حیاتی مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی به‌شمار آید.

منابع

Akbarpour, A., Dastourani, M., Tosan, M., & Gharib, M. (2024). Performance analysis of finite element method in groundwater studies based on Web of Science using R Biblioshiny. *Journal of Auifer and Qanat*, 4(2), 131-148.

Asprilla-Echeverria, J. (2021). The social drivers of cooperation in groundwater management and implications for sustainability. *Groundwater for Sustainable Development*, 15, 100668.

Barbieri, M., Barberio, M. D., Banzato, F., Billi, A., Boschetti, T., Franchini, S., Gori, F., & Petitta, M. (2023). Climate change and its effect on groundwater quality. *Environmental Geochemistry and Health*, 45(4), 1133-1144.

- Tosan, M., & Maroosi, A. (2024). Investigating the performance of artificial rabbit optimization hybrid algorithm (ANN-ARO) in forecasting reference evapotranspiration with limited climatic parameters. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 12(1), 47-66.
- Villada-Canela, M., Muñoz-Pizza, D. M., García-Searcy, V., Camacho-López, R., Daesslé, L. W., & Mendoza-Espinosa, L. (2021). Public participation for integrated groundwater management: the case of maneadero Valley, Baja California, Mexico. *Water*, 13(17), 2326.
- Vora, S. (2024). Learning Together for Groundwater Management. *International Journal of the Commons*, 18(1), 507-521.
- Yaqubi, M., Yaghoobzadeh, M & ,Tosan, M. (2024). Factor analysis and ranking of saffron production, processing and market challenges in Torbat Heydarieh, Iran. *Saffron Agronomy and Technology*, 12(1).
- nexus approach. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 44(1), 394-410.
- Nandi, S., & Swain, S. (2024). Role of groundwater systems in fulfilling sustainable development goals: A focus on SDG6 and SDG13. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 100576.
- Niles, M. T., Wagner, C. R. H., Aristizábal, N., Hricko, C. R., Petrucci, A. N., & Rodríguez-Cruz, L. A. (2024). Individual and collective political efficacy predict farmer engagement and support for groundwater policies: implications from the California Sustainable Groundwater Management Act. *Ecology and Society*, 29(1).
- Noor, R., Inam, A., Zahra, S. M., Shoaib, M., Riaz, R., Sarwar, A., Asif, M & ,Ahmad, S. (2022). A methodological framework for modeling sustainability visions: A case study of groundwater management in Faizpur distributary, Pakistan. *Agricultural Water Management*, 271, 107822 .
- Scanlon, B. R., Fakhreddine, S., Rateb, A., de Graaf ,I., Famiglietti, J., Gleeson, T., Grafton, R. Q., Jobbagy, E., Kebede, S., & Kolusu, S. R. (2023). Global water resources and the role of groundwater in a resilient water future. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4(2), 87-101.
- Thomann, J. A., Werner, A. D., & Irvine, D. J. (2022). Developing adaptive management guidance for groundwater planning and development. *Journal of Environmental Management*, 322, 116052 .
- Tosan, M., & Beyranvand, Z. (2023). The role of flood analysis in different return periods using empirical relationships for small watersheds in the stability of aquifers. *Journal of Auifer and Qanat*, 4(1), 169-180 .
- Tosan, M., Dastourani, M., Akbarpour, A., & Gharib, M. R. (2024). Global trend analysis of numerical simulation application in groundwater based on WoS database using VOSviewer and Biblioshiny between 1997 and 2023. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 12(2), 79-104 .
- Tosan, M., Gharib, M. R., Attar, N. F., & Maroosi, A. (2025). Enhancing Evapotranspiration Estimation: A Bibliometric and Systematic Review of Hybrid Neural Networks in Water Resource Management. *Computer Modeling in Engineering & Sciences (CMES)*, 142(2).
- Tosan, M., Khashei-Siuki, A., Maroosi, A., & Gharib, M. R. (2024). A review of smart water management for sustainable agriculture based on the internet of things. *Water Management in Agriculture*, 11(1), 145-166 .
- Tosan, M., Khashei Siuki, A., Sangari, M., & Rezvani Moghaddam, P. (2024). Analysis of the global research trend of saffron (*Crocus sativus* L.) between 2000-2023. *Saffron Agronomy and Technology*, 12(2), 115-138 .

