Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Global trend analysis of numerical simulation application in groundwater based on WoS database using VOSviewer and Biblioshiny between 1997 and 2023

Moein Tosan[*1], Mehdi Dastourani[2], Abolfazl Akbarpour[3], Mohammad Reza Gharib[4]

1. PhD. Student, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran, Email: moein.tosan@birjand.ac.ir
2. Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand University of Birjand, Birjand, Iran, Email: mdastourani@birjand.ac.ir
3. Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birjand University of Birjand, Birjand, Iran, Email: akbarpour@birjand.ac.ir
4. Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Technical and Engineering Faculty, University of Torbet Heydarieh University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran. Email: m.gharib@torbath.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article history
Received: 20 March 2024
Revised: 19 April 2024
Accepted: 26 April 2024
Published online: 3 September 2024

Keywords:
Bibliometrix, coupling map, emerging research, knowledge management.

ABSTRACT

Groundwater resources are facing unprecedented pressures due to overexploitation and contamination. Effective management necessitates robust tools for understanding and predicting groundwater behavior. Numerical simulation models have emerged as indispensable instruments in this regard. This study employs a bibliometric analysis to explore research trends, influential authors, and journals within the field of numerical simulation and groundwater from 1997 to 2023. The analysis, based on the Web of Science Core Collection, reveals a substantial increase in research output over the past two decades. Journal of Hydrology, Water Resources Research, and Water emerged as the most prolific journals in the field. Wang Y was identified as the most productive author. While early research predominantly focused on spatial distribution and finite element methods, recent studies have shifted towards addressing complex hydrological processes such as inrush flow, drainage, and watershed management. The analysis also highlights the growing importance of computational advancements, including the integration of distributed parameters and isotopic analysis, in enhancing the accuracy and applicability of groundwater models. The findings underscore the need for continued research to address emerging challenges in groundwater management, with a particular emphasis on inrush currents and evolutionary algorithms as promising areas for future exploration.

Citation: 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.
DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1

Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association
© Author(s)

***Corresponding author:** Mehdi Dastourani
Address: Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand University of Birjand, Birjand, Iran.
Tel: +989151636750
Email: mdastourani@birjand.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Global trend analysis of numerical simulation application in groundwater based on WoS database using VOSviewer and Biblioshiny between 1997 and 2023

Moein Tosan[*1], Mehdi Dastourani[2], Abolfazl Akbarpour[3], Mohammad Reza Gharib[4]

1. PhD. Student of Water Resources, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran, Email: moein.tosan@birjand.ac.ir
2. Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand University of Birjand, Birjand, Iran, Email: mdastourani@birjand.ac.ir
3. Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birjand University of Birjand, Birjand, Iran, Email: akbarpour@birjand.ac.ir
4. Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Technical and Engineering Faculty, University of Torbet Heydarieh University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran. Email: m.gharib@torbath.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Due to the quantitative and qualitative reduction of underground water, its management and protection measures have become a challenging issue. These actions can be evaluated by developing different models for simulating groundwater flow that are also used as decision support systems (DCS) (Omar et al., 2020a). Groundwater management includes the efficient and effective management of groundwater resources at a quantitative and qualitative level. A groundwater model similar to a real groundwater system can be simple (if prepared based on one-dimensional analytical solutions), or very complex (if prepared in a multi-layered three-dimensional form). Groundwater models can predict the future behavior of the system under constant and variable conditions. To develop an efficient model, it is always recommended to start with a simple model and then increase its complexity step by step until the concept of the model meets the modeling objectives. A good conceptual model should describe reality in a simple way that meets modeling goals and management requirements.

Methodology: In this research, a bibliometric analysis was conducted to investigate publication patterns, prominent countries, influential journals, and prominent authors in the field of numerical simulation and groundwater. Among other literature review methods, bibliometric analysis is different in that it includes extracting information about the behavior and dynamics of the domain of knowledge, visualization of published scientific articles and evaluation of efficiency, validity and the reliability of the research process. Bibliometric analysis is a method that involves identifying, managing and applying the main analytical tools in a specific field of study. For our scientometric analysis of numerical simulation research on groundwater, Web of Science Core Collections accessible through the Web of Science (WOS) database have been used. WOS has wide acceptance among researchers and has proven to be a valuable tool for conducting scientometric analysis in recent research. It is among the most widely used databases in academic research and bibliography, and the retrieval of full citation records is constantly updated with new additions.

Results and Discussion: From 1997 to 2023, a total of 2334 scientific documents related to numerical simulation and groundwater were identified in the WOS database, including 1912 (79.70%) research papers, 411 (17.13%) conference papers, 41 (7.17%) is a review article and other forms of publication. Biblioshiny results show that the number of documents has started to increase since 2008. The 10 journals with the most relevant publications on "numerical simulation" and "groundwater" based on Biblioshiny's analysis are shown in Figure 7(a). A scientometric analysis of "numerical simulation" and "groundwater" studies for 1997-2023 identified JOURNAL OF HYDROLOGY with the highest number of fully relevant articles (133), followed by WATER RESOURCES RESEARCH and WATER. A total of 7436 authors published 2334 research papers on "numerical simulation" and "groundwater". Wang Y was the most productive author with 28 articles (relative value 5.32), followed by Liu Y. (relative value 5.38) and Zhang Y. (relative value 67.11). Based on the bibliometric analysis, some of the topics that were more prevalent in the early years of "numerical simulation"

***Corresponding author:** Mehdi Dastourani
Address: Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand University of Birjand, Birjand, Iran.
Tel: +989151636750
Email: mdastourani@birjand.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]

ISSN (Online): 2783-1531 - ISSN (Print): 2423-5970

and "underground water" research, have recently been less studied in scientific societies; including: spatial distribution, finite elements, stochastic analysis, mass transfer, variable density, unsaturated flow and macrodispersion. Also, some words have recently advanced and can be used as a basis for the authors' research, some of the most important of which include inrush (flow), drainage (groundwater), algorithm, permeability, management, watershed, hydraulic conductivity, and transport. They are soluble substances.

Conclusion: Underground aquifers have always been an important source of water supply in the world, especially in semi-arid and dry regions with low rainfall and lack of surface water resources. In recent decades, due to the increase in population, the need for water has increased dramatically and the rainfall is low, the underground aquifers have been seriously threatened due to the excessive exploitation of underground water. However, good planning and management as a result of a good understanding of the behavior of underground aquifers can help to solve this issue and ensure their sustainable and optimal use for us and our future generations. Recent years have seen extensive technological advances in groundwater hydrology. The present scientometric research shows the recent increasing interest of institutions, journals, researchers, countries and funding agencies in "numerical simulation" and "groundwater" research. With the discovery of numerous applications of models based on numerical simulation in groundwater studies, more academic articles have been published in this field. One of the areas of technological growth in the development and use of numerical simulation models has been distributed parameters for the analysis of flow and solute transport in groundwater systems. These advances are somewhat paralleled by the development and wider availability of faster, larger, more capable, yet less expensive computer system memories. Another area of major technological growth has been in the use of isotopic Analyses in groundwater hydrology, where isotopic measurements are used to help interpret and define groundwater flow paths, age, recharge zones, seepage, and interactions with surface waters. Quantitative and qualitative evaluation of research articles and extracting deep insights are of great importance. The role of scientific research is important in understanding the methods and special applications of numerical simulation in groundwater studies. Based on the findings of the research, the study of inrush currents and the performance of evolutionary algorithms can be one of the hot spots of the future.

Ethical Considerations

Data Availability Statement: The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Funding: The authors declare that they have no competing interests. This research received no external funding.

Authors' contribution: M. Tosan, M. Dastourani, A. Akbarpour, and M.R. Gharib, as the authors of the paper, conducted all parts of the research and wrote the whole manuscript.

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

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران ایران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

آنالیز روند جهانی کاربرد شبیه‌سازی عددی در آب‌های زیرزمینی بر اساس پایگاه داده WoS با استفاده از VOSviewer و Biblioshiny بین سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۲۳

معین توسن*[۱]، مهدی دستورانی[۲]، ابوالفضل اکبرپور[۳] و محمدرضا قریب[٤]

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، moein.tosan@birjand.ac.ir
۲. دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، mdastourani@birjand.ac.ir
۳. استاد، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، akbarpour@birjand.ac.ir
۱. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربت‌حیدریه، تربت حیدریه، ایران، m.gharib@torbath.ac.ir

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۰۱ فروردین ۱۴۰۳
بازنگری: ۳۱ فروردین ۱۴۰۳
پذیرش: ۰۷ اردیبهشت ۱۴۰۳
انتشار برخط: ۱۳ شهریور ۱۴۰۳

واژه‌های کلیدی:
بیبلیومتریک، VOSviewer، مدیریت دانش، Biblioshiny

چکیده

آب زیرزمینی یک سیستم پیچیده و باز است که تحت تأثیر شرایط طبیعی و فعالیت‌های انسانی است. فرآیندهای هیدرولوژیکی طبیعی از طریق معادلات نسبتاً ساده حاکم بر جریان در مدل‌های آب زیرزمینی مفهوم‌سازی می‌شوند. مدل‌های مبتنی بر شبیه‌سازی آب‌های زیرزمینی که در سال‌های اخیر رواج یافته است، به‌عنوان یک ابزار بسیار مفید برای درک سیستم‌های آب زیرزمینی منطقه‌ای، مدیریت منابع آب زیرزمینی و برنامه‌ریزی برای مصرف آب در آینده شناخته می‌شود. هدف از این پژوهش، آشکارسازی موضوعات پژوهشی در حوزه شبیه‌سازی عددی آب‌های زیرزمینی در پایگاه WoS طی بازه زمانی ۱۹۹۷ تا ۲۰۲۳ است که با بهره‌مندی از نرم‌افزارهای علم‌سنجی انجام شد. جامعه پژوهش حاضر شامل ۲۳۳۴ مقاله است. تحلیل داده‌ها و ترسیم ساختار فکری دانش نیز با استفاده از نرم‌افزارهای مجموعه R Biblioshiny و VOSviewer انجام شد. مطالعات پیرامون "آب زیرزمینی" و "شبیه‌سازی عددی" در ۴۷۶ مجله منتشر شده است که JOURNAL OF HYDROLOGY با ۱۴۱ سند منتشرشده بیش‌ترین مقالات و WATER RESOURCES RESEARCH از کشور امریکا بیش‌ترین استناد را داشت. تجزیه و تحلیل علم‌سنجی، مولدترین کشورها را مشخص کرد و چین با ۱۰۰۱ انتشارات تک کشوری (SCP)، ۱۶۳ انتشارات چند کشوری (MCP) و فراوانی قابل‌توجه ۰/۴۹۹ در صدر قرار داشت. بر اساس یافته‌های این پژوهش، برخی کلمات کلیدی در زمینه کاربرد شبیه‌سازی عددی در آب زیرزمینی، اخیراً بیش از پیش روند شده و می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای تحقیقات نویسندگان قرار گیرد که تعدادی از مهم‌ترین آن‌ها شامل (جریان) تهاجمی (inrush)، زهکشی (آب زیرزمینی)، الگوریتم، نفوذپذیری، مدیریت، حوضه، هدایت هیدرولیکی و حمل مواد محلول است.

استناد: توسن، معین، دستورانی، مهدی، اکبرپور، ابوالفضل، و قریب، محمدرضا. (۱۴۰۳). آنالیز روند جهانی کاربرد شبیه‌سازی عددی در آب‌های زیرزمینی بر اساس پایگاه داده WoS با استفاده از VOSviewer و Biblioshiny بین سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۲۳. *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۲(۲)، ۱۰۴-۷۹.

DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

© نویسندگان

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]

مقدمه

آب‌های زیرزمینی به‌عنوان قابل‌توجه‌ترین و در دسترس‌ترین منبع آب شیرین روی زمین، اساساً برای محافظت از سلامت انسان، توسعه اقتصادی و خدمات اکوسیستمی مهم هستند (Tosan et al., 2024 ؛X. Xie et al., 2023). حدود ۳۰ درصد از سطح زمین را مناطق خشک و نیمه‌خشک (با میانگین بارندگی سالانه بین ۲۵ تا ۵۰۰ میلی‌متر) تشکیل می‌دهد که نزدیک به ۴۰۰ میلیون نفر در این مناطق زندگی می‌کنند (Farahmand et al., 2023) (Tosan et al., 2023). منابع آب زیرزمینی برای مناطق نیمه‌خشک و خشک حیاتی است؛ چراکه از این منابع در سطح وسیع برای آبیاری در کشاورزی، مصارف شهری، فعالیت‌های صنعتی و حفظ یک اکوسیستم سالم بهره‌برداری می‌شود (Wang et al., 2023). علاوه‌بر این، سطح آب‌های زیرزمینی در درازمدت محیط تشکیل خاک را تعیین می‌کند، ازجمله بافت خاک، رژیم رطوبتی و محتوای مواد آلی، که به‌طور متوالی بر ترکیب گونه‌ها و پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارد. بنابراین، تحقیقات آب زیرزمینی هرگز یک بخش جدا شده از چرخه اکوهیدرولوژیکی نیست، بلکه یک جزء حیاتی مرتبط با سایر موضوعات مانند هواشناسی، آب‌های سطحی، اکولوژی و اقتصاد است (Triplett & Condon, 2023).

فشار بر منابع آب در مناطق خشک با گذشت زمان آشکارتر می‌شود (Tosan et al., 2023). مطالعات اولیه ماهواره‌های GRACE بر روند کاهش ذخیره آب تأکید داشته و بیش‌ترین کاهش را به بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی نسبت می‌دهد. با این‌حال، تجزیه و تحلیل‌های اخیر بر تنوع موجودیت آب در زمین (TWS[1]) پویا در بسیاری از سفره‌های آب در سطح جهان تأکید می‌کنند (Wang et al., 2023). کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی نیز مسائل مربوط به کمبود آب را تشدید می‌کند؛ به‌عنوان نمونه، تخمین زده می‌شود که تقریباً ۹۴ تا ۲۲۰ میلیون نفر در معرض آب‌های زیرزمینی حاوی سطوح بالایی از As قرارگرفته‌اند که اکثر این افراد (۹۴ درصد) در آسیا است (Guo et al., 2024).

با توجه به کاهش کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی، اقدامات مدیریتی و حفاظتی آن به یک موضوع چالش‌برانگیز تبدیل شده است (Akbarpour et al., 2024). این اقدامات را می‌توان با توسعه مدل‌های مختلف برای شبیه‌سازی جریان آب‌زیرزمینی که به‌عنوان سیستم‌های پشتیبانی تصمیم (DSS[2]) نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند ارزیابی کرد (Omar et al., 2020a). مدیریت آب‌زیرزمینی شامل مدیریت کارآمد و مؤثر منابع آب زیرزمینی در سطح کمی و کیفی است. مدل آب زیرزمینی مشابه سیستم واقعی آب زیرزمینی می‌تواند ساده (اگر بر اساس راه‌حل‌های تحلیلی یک‌بعدی تهیه شود)، یا بسیار پیچیده باشد (درصورتی‌که به شکل سه‌بعدی چندلایه تهیه شود). مدل‌های آب زیرزمینی می‌توانند در شرایط ثابت و متغیر، رفتار آینده سیستم را پیش‌بینی کنند (Leone et al., 2024). برای توسعه یک مدل کارآمد، همیشه توصیه می‌شود تا زمانی که مفهوم مدل اهداف مدل‌سازی را برآورده کند، با یک مدل ساده شروع شود و سپس پیچیدگی آن را گام به گام افزایش داد. یک مدل مفهومی خوب باید واقعیت را به روشی ساده توصیف کند که اهداف مدل‌سازی و الزامات مدیریت را برآورده نماید (Shahverdi & Maestre, 2023). در مسائل جریان آب زیرزمینی، شرایط مرزی نه‌تنها یک محدودیت ریاضی است، بلکه منابع و چاه‌های درون سیستم را نیز نشان می‌دهد. انتخاب شرایط مرزی برای توسعه مدل‌های دقیق حیاتی است (Zhang et al., 2023). شکل (۱-الف) نمونه‌ای از گردش‌کار یک مدل‌سازی عددی آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. بدون شک بهترین رویکرد برای درک رفتار یک سیستم آبخوان، انجام مجموعه‌ای از مطالعات میدانی بلندمدت برای هر منطقه خاص است. بااین‌حال، به‌دلیل محدودیت در بودجه و زمان تحقیق، این امر عملاً غیرممکن است. مدل‌ها و شبیه‌سازی‌های عددی نشان داده‌اند که درزمینه پدیده‌های طبیعی در زمان محدود نتایج رضایت‌بخشی ایجاد می‌کنند. به‌خصوص با مشهود بودن ابر رایانه‌های با قابلیت محاسباتی بالا، استفاده از این مدل‌های عددی بسیار رایج شده است (Omar et al., 2020b).

شبیه‌سازی عددی ابزاری قدرتمند برای مطالعه مسائل آب زیرزمینی است (H. Li et al., 2024). مدل‌های آب زیرزمینی عمدتاً برای منابع آب زیرزمینی در دیدگاه مدیریتی در نظر گرفته می‌شوند (Ejaz et al., 2023). مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی پاسخ‌های آب‌های زیرزمینی ایجاد شده‌اند. این مدل‌ها شامل –اما نه محدود به– حسابداری آب، ابزار ارزیابی خاک و آب (SWAT)، ارزیابی هیدرولوژیک عملکرد مکان‌نگارها (HELP)، MODFLOW، MT3DMS، FEFLOW، SEAWAT، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و منطق فازی هستند. آن‌ها ممکن است به مدل‌های عددی مبتنی بر فیزیک (مبتنی بر فرآیند) و مدل‌های غیر عددی (تجربی) تقسیم شوند (M. Li et al., 2024). مدل‌های عددی جریان آب زیرزمینی مبتنی بر فیزیک، ابزار اصلی در مطالعه ویژگی‌های جریان سیال هستند. علاوه‌بر این، آن‌ها قادر به شبیه‌سازی پاسخ‌های هیدرولوژیکی سفره‌های زیرزمینی، با در نظر گرفتن سطح آب زیرزمینی یا نرخ تخلیه (دبی) چشمه،

[1] Total water storage
[2] Decision support system

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]

نسبت به نیروهای بیرونی شامل عوامل انسانی (مانند پمپاژ) و طبیعی (مثلاً تغذیه) هستند. استفاده از مدل‌های عددی برای حل مسائل پیچیده مدیریتی آب‌های زیرزمینی با ظهور رایانه‌های قدرتمند و نرم‌افزارهای کاربرپسند فراگیر شده است (Bubakran et al., 2023). این مدل‌ها بر اساس دانش عمیق فرآیندهای فیزیکی آبخوان است. در واقع، آن‌ها توسط مدل‌های زمین‌شناسی و ترکیبی از داده‌های زمین‌شناسی، ژئوفیزیک و ژئوشیمیایی توسعه یافته‌اند (Das et al., 2024).

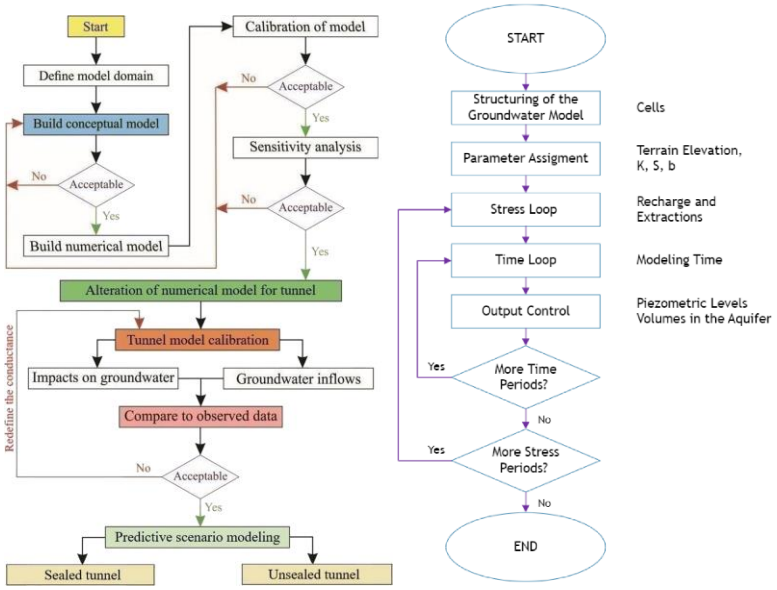
مدل‌های عددی جریان آب زیرزمینی معمولاً به‌عنوان یک ابزار کلیدی برای درک نحوه عملکرد کل سیستم آب زیرزمینی، ارزیابی ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی، پیش‌بینی اثرات آبیاری آب‌های زیرزمینی و یک راهنمای مؤثر در اتخاذ تصمیمات مربوط به مدیریت منابع آب استفاده می‌شوند. در مناطق خشک، پیچیدگی واقعی سیستم‌های آب زیرزمینی و فرآیندهای جریان به‌راحتی تخمین زده نمی‌شود و ویژگی‌های متنوع سفره‌های زیرزمینی ممکن است در مقیاس‌های فضایی مختلف، متفاوت بوده و اغلب به‌دلیل محدودیت داده‌ها، ناشناخته باشند. مدل‌های عددی آب زیرزمینی به‌طور مداوم به‌روز شده و نتایج واقعی‌تر و دقیق‌تری را با مقیاس بزرگ‌تر و وضوح بالاتر به ما ارائه می‌دهند. علاوه‌بر این، مدل‌های آب زیرزمینی در سال‌های اخیر به‌طور فزاینده‌ای با سایر مدل‌های سطح زمین، تغییرات اقلیمی، بارش–رواناب، فرآیند اکولوژیکی و مسیریابی رودخانه‌ها ادغام شده‌اند (Farahmand et al., 2023). تلاش‌های انجام‌شده در مدل‌سازی، درک ما را از سیستم‌های آب زیرزمینی، فرآیندهای جریان و تعامل با سایر اجزای چرخه آب افزایش می‌دهد.

مدل عددی می‌تواند بر اساس رویکرد تفاضل محدود (MODFLOW)، مدل ردیابی ذرات (MODPATH)، مدل انتقال سه‌بعدی مدولار (MT3DMS[1])، رویکرد اجزای محدود (SPEED2D) و یا مدل انتقال جریان چند فازی (UTCHEM) باشد. تعداد زیادی تکنیک عددی برای شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی و انتقال آلاینده از طریق محیط متخلخل وجود دارد. تکنیک‌های عددی مهم عبارت‌اند از روش‌های تفاضل محدود (FDM[2])، روش‌های اجزا محدود (FEM[3]) و روش‌های حجم محدود (FVM) (Banaei et al., 2021). مدل‌های عددی آب زیرزمینی متفاوتی وجود دارد که بسته به مسئله موردبررسی ممکن است مدل خاصی انتخاب شود. FEFLOW[4] یک مدل جریان و انتقال آب زیرزمینی مبتنی بر اجزای محدود است که از سال ۱۹۷۹ درحال‌توسعه بوده است (Omar et al., 2020a). این مدل قادر به انجام بسیاری از عملکردها مانند جریان اشباع متغیر، جرم و انتقال حرارت با چگالی متغیر سیال و انتقال واکنشی چندگونه[5] است. از سوی دیگر، MODFLOW به‌عنوان یکی از رایج‌ترین مدل‌های عددی جریان آب زیرزمینی مبتنی بر فیزیکی، یک مدل سه‌بعدی جریان آب زیرزمینی تفاضل محدود مدولار است که نسخه اولیه آن در سال ۱۹۸۳ به زبان برنامه‌نویسی FORTRAN توسط سازمان زمین‌شناسی ایالات‌متحده در دسترس قرار گرفت (Navarro-Farfán et al., 2024). این مدل می‌تواند جریان ثابت و ناپایدار را در سفره‌های محدود و نامحدود با در نظر گرفتن اثرات چاه‌ها، رودخانه‌ها، زهکش‌ها، مرزهای وابسته به هد، تغذیه و تبخیر و تعرق شبیه‌سازی نماید. این روش، هدهای هیدرولیکی را برای هر سلول در حوزه آبخوان و مراحل زمانی مختلف در نظر می‌گیرد.

پرکاربردترین مدل جریان آب زیرزمینی MODFLOW است که معادلات حاکم بر جریان آب زیرزمینی را از طریق روش تفاضل محدود (FDM) حل می‌کند (L. Zhang et al., 2024) و معمولاً بر اساس رویکرد مبتنی بر هد (HOA[6]) درزمینه جریان سه‌بعدی آب زیرزمینی از آن استفاده می‌شود. به این ترتیب یک تقریب عددی امیدوارکننده از هد به‌عنوان مهم‌ترین متغیر ناشناخته را نشان می‌دهد. با این‌حال، سه مؤلفه سرعت جریان ممکن است با استفاده از این روش به‌طور دقیق اندازه‌گیری نشود. بنابراین، یک رویکرد سرعت محور وجود دارد که ممکن است به‌عنوان جایگزینی برای قابلیت محاسبه سرعت آب زیرزمینی در شرایط صلب استفاده شود. درواقع، در دوران معاصر، رویکرد سرعت محور ممکن است به‌عنوان پایه‌ای برای نسخه‌های به‌روز شده MODFLOW در نظر گرفته شود (Rajaeian et al., 2024). علاوه‌بر این، بسته به این‌که چه مشکلی قرار است حل شود، ممکن است از رویکردهای تحلیلی دیگری نیز بهره‌برداری شود؛ به‌عنوان مثال، رویکرد تحلیلی شار هیپورهیک (AHF) ممکن است در MODFLOW برای تعیین کمیت شار آب در ناحیه هیپورهیک ارائه شود. درواقع، تراوش عمودی و افقی آب از طریق بستر رودخانه و ساحل رودخانه، به‌ترتیب، ممکن است با استفاده از AHF محاسبه شود (Van Der Weiden et al., 2023). شکل (۱–ب) نمونه‌ای از گردش‌کار نرم‌افزار MODFLOW را در شبیه‌سازی عددی آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهد.

[1] modular three-dimensional multispecies transport model
[2] finite difference methods
[3] finite element method
[4] Finite Element subsurface FLOW simulation system
[5] Multispecies reactive transport
[6] head-oriented approach

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]



شکل ۱-الف) گردش‌کار مدل‌سازی عددی آب‌های زیرزمینی (Golian et al., 2021)، ب) گردش‌کار نرم‌افزار MODFLOW (Navarro-Farfán et al., 2024)

Fig 1. a) Numerical groundwater modeling workflow, b) MODFLOW software workflow (Golian et al., 2021)

با ایجاد مدل‌های عددی می‌توان مطالعاتی درزمینه کنترل انتقال آلاینده‌ها انجام داد. برای کنترل مؤثر انتقال آلاینده‌ها در آب‌های زیرزمینی، محققان مجموعه‌ای از اقدامات را پیشنهاد کرده‌اند. جذب هیدرولیک و تجزیه و تحلیل ساده یک روش مؤثر و رایج برای کنترل آلودگی است (H. Li et al., 2024). با شسته شدن ساکن اورانیوم، یک منطقه جذب به‌تدریج در اطراف چاه‌های پمپاژ و تزریق تشکیل می‌شود. همان‌طور که میدان جریان آب زیرزمینی تثبیت می‌شود، درنهایت به حداکثر اندازه پوشش جذب می‌رسد (Nikoletos & Katsifarakis, 2024). اندازه منطقه جذب با سرعت پمپاژ، هدایت هیدرولیکی، موقعیت چاه‌ها و شرایط مرزی مرتبط است. تحلیل منطقه جذب را می‌توان به سه نوع تقسیم کرد: تحلیلی، نیمه‌تحلیلی و عددی. مدل‌سازی تحلیلی در ابتدا توسط مسکات پیشنهاد شد (Ouaf & Abouzeid, 2024). بیر تحقیقات مسکات را با استفاده از نظریه پتانسیل پیچیده گسترش داد (Krowne, 2024). بسیاری از محققان از اصل برهم‌نهی (Superposition Principle) برای گسترش این روش به سیستم چند چاهی در آبخوان محدود و نامحدود استفاده می‌کنند (Chen et al., 2024). این روش هم‌چنین برای کنترل آلاینده‌های نفتی (H. Li et al., 2024) و طراحی تعداد، مکان و ساختار چاه‌های پمپاژ (H. Li et al., 2023) استفاده می‌شود. برای موقعیت‌های پیچیده‌تر، یک روش نیمه‌تحلیلی و عددی برای یک سیستم چاه نیمه‌تراوا پیشنهاد شده است. به‌عنوان مثال، در پژوهشی مشکل منطقه جذب یک سیستم چاه نیمه‌تراوا مورد بحث قرار گرفته است (Zhou et al., 2022). علاوه‌بر این، مشکل منطقه جذب هیدرولیکی در سفره‌های ناهمسانگرد نیز مورد مطالعه قرار گرفته است (S. Zhang et al., 2024). روش عددی نیز برای محاسبه منطقه جذب استفاده می‌شود و با یک طرح برنامه‌ریزی خطی برای یافتن مکان چاه و نرخ پمپاژ بهینه تحت محدودیت حداقل هزینه بهینه‌سازی می‌شود (Bae et al., 2024). با توسعه فناوری شبیه‌سازی عددی، روش‌های جذب هیدرولیکی همراه با MODFLOW و MT3D برای کنترل اثر مهاجرت آلاینده‌ها به کار گرفته شد (H. Xie et al., 2023). به‌ویژه تلاش برخی از محققین پیرامون روند استخراج اورانیوم در محل قابل توجه است (Kurmanseiit et al., 2023) (Aizhulov et al., 2022).

فرونشست زمین ناشی از برداشت آب‌های زیرزمینی به یک معضل جهانی تبدیل شده است. با افزایش تقاضا برای آب زیرزمینی، فرونشست زمین در سراسر جهان مورد پایش و تحقیق قرار گرفته است (Manafiazar et al., 2024). ابزارهای تحقیقاتی در این زمینه، عمدتاً شامل تحقیقات مکانیزم فرونشست زمین (Chen et al., 2023)، شبیه‌سازی عددی (Ataei et al., 2024) و روش‌های نظارت هوشمند (Guzy & Malinowska, 2020) است. شبیه‌سازی عددی می‌تواند به‌طور مؤثر الگوهای فرونشست زمین را پیش‌بینی نماید (Lo et al., 2022). در سال‌های اخیر، روند افزایش سطح آب زیرزمینی در بسیاری از نقاط جهان مشاهده شده است؛ ازجمله در شهرهای بیجینگ چین، لندن انگلستان (Allocca et al., 2023)، نیویورک ایالات‌متحده آمریکا (Lombardi & Lualdi, 2023)، توکیو ژاپن (Allocca et al., 2021)، آسوان مصر (Allocca et al., 2021)، لاگوس نیجریه (X. Li et al., 2023)، مدینه عربستان سعودی (Abd-Elaty et al., 2023)، میلان ایتالیا (Allocca et al., 2023) (Barazzetti, 2024) و سایر شهرها. در روند افزایش سطح آب زیرزمینی، فضای خالی خاک به‌تدریج توسط آب اشغال شده و درصد اشباع خاک به‌تدریج به ۱۰۰ درصد افزایش می‌یابد. افزایش سطح آب زیرزمینی در زمین، به‌معنی خیس‌شدن

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]

خاک‌های غیراشباع است. رفتارهای مکانیکی خاک غیراشباع نه‌تنها تحت تأثیر تنش مؤثر است؛ بلکه با مکش در خاک نیز مرتبط است. روش عددی روشی مؤثر برای تحقیق در مورد مسائل مربوط به بررسی افزایش سطح آب زیرزمینی به‌شمار می‌رود.

آب‌های زیرزمینی نقش حیاتی در انتقال رادیونوکلئیدهای مضر به محیط انسانی در طی دفع نهایی زباله‌های رادیواکتیو ایفا می‌کنند (Zou & Cvetkovic, 2023) (L. Li et al., 2023). استفاده از فناوری شبیه‌سازی عددی برای سنتز اطلاعات هیدروژئولوژیکی، شناخت رژیم‌های تغذیه، جریان، گردش و تکامل آب‌های زیرزمینی، پیش‌بینی ویژگی‌های سیستم‌های جریان آب زیرزمینی برای مدت زمان طولانی برای دفع مؤثر HLW ضروری است، که به یک مطالعه مهم در انتخاب مکان و ارزیابی مخزن دفع پسماند رادیواکتیوی سطح بالا (HLW[1]) تبدیل شده است (Ringel et al., 2024). تحقیقات در مقیاس حوضه‌ای نشان داده‌اند که تأثیر جریان آب زیرزمینی جانبی بر فرآیندهای سطح زمین با افزایش دقت مدل و پیچیدگی توپوگرافی افزایش می‌یابد. از طریق تحلیل تشخیصی مدل عددی، تحقیقات بسیاری نتیجه گرفته‌اند که جریان آب زیرزمینی جانبی انتقال رطوبت از قله‌ها به دره‌ها را ترویج می‌دهد، که منجر به خنک‌تر شدن رطوبت و حد مرز پایین‌تر جوی در مناطق همگرایی توپوگرافی می‌شود (Amanambu et al., 2020).

تحلیل کتاب‌سنجی چارچوب‌ها، ابزارها و روش‌های مختلف را برای مطالعه و تحلیل استنادات نشریات علمی ترکیب می‌کند که منجر به توسعه معیارهای مختلف برای دستیابی به بینش‌هایی در مورد ساختار فکری یک رشته علمی گسترده و ارزیابی میزان تأثیر مجلات علمی، مطالعات و پژوهشگران است (Farooq, 2024). ارزیابی‌های تجربی تحقیقات مدیریت دانش با ظهور پایگاه‌های اطلاعاتی مانند WOS، که نقش حیاتی در انجام جستجوهای مرتبط با مجلات، مقالات و استنادها ایفا می‌کنند، امکان‌پذیرتر شده است. نتایج یک تحلیل کتاب‌سنجی می‌تواند به محققان کمک کند تا روندهای نوظهور در مقاله، عملکرد مجلات، مولدترین نویسندگان و الگوهای همکاری را درک نمایند. شناخت کنونی از حساسیت مقیاس جهانی سیستم‌های آب زیرزمینی به تغییرات اقلیمی محدود است. با استفاده از مدل‌های آب زیرزمینی در ترکیب با مجموعه داده‌های هیدرولوژیکی، می‌توان مقیاس‌های زمانی پویا پاسخ‌های سیستم آب زیرزمینی به تغییرات آب و هوا را بررسی کرد. نشان داده شده است که تقریباً نیمی از جریان‌های آب زیرزمینی جهانی می‌توانند با تغییرات تغذیه به دلیل تغییرات اقلیمی در مقیاس‌های زمانی انسانی (حدود ۱۰۰ سال) متعادل شوند، مناطقی که تراز آب نسبت به تغییرات تغذیه حساس‌تر هستند، طولانی‌ترین زمان پاسخ‌دهی به آب‌های زیرزمینی را دارند. به‌طور خاص، بررسی جریان آب زیرزمینی در مناطق خشک نشان داده شده است که نسبت به مناطق مرطوب کم‌تر به تغییرات اقلیمی پاسخ می‌دهد؛ بنابراین، استراتژی‌های سازگاری باید حافظه هیدرولیکی سیستم‌های آب زیرزمینی را در نظر بگیرند، که می‌تواند اثرات تغییرات آب و هوایی را بر منابع آب در بسیاری از مناطق مهار کند؛ اما ممکن است به میراث طولانی، اما در ابتدا پنهان، اثرات انسانی و آب و هوایی بر جریان رودخانه‌ها و اکوسیستم‌های وابسته به آب‌های زیرزمینی منجر شود (Cuthbert et al., 2019). بر اساس توضیحات ارائه‌شده، ارزیابی کمی و کیفی مقالات پژوهشی و استخراج بینش‌های عمیق پیرامون عملکرد شبیه‌سازی عددی در آب‌های زیرزمینی از اهمیت بالایی برخوردار است. در واقع نقش تحقیقات علمی در درک روش‌ها و کاربردهای ویژه شبیه‌سازی عددی در مطالعات آب‌زیرزمینی، اهمیت دارد.

هدف این مطالعه از سؤالات زیر ناشی می‌شود، یعنی تجزیه و تحلیل روندهای تحقیق و برجسته کردن الگوهای توسعه دانش پیرامون شبیه‌سازی عددی آب‌های زیرزمینی و ادغام کلیه انتشارات با استفاده از برنامه‌های کاربردی Biblioshiny و VOSviewer در تجسم داده‌های مربوط به روندهای تحقیقاتی. این مطالعه کتاب‌سنجی به دنبال پاسخ به سؤالات تحقیق زیر است:

(۱) کدام نویسندگان و مجلات در شبیه‌سازی عددی آب‌های زیرزمینی غالب هستند؟

(۲) شبکه همکاری‌های علمی فعال در موضوع شبیه‌سازی عددی آب‌های زیرزمینی چگونه است؟

(۳) موضوعات مورد بحث در تحقیقات اخیر پیرامون شبیه‌سازی عددی آب‌های زیرزمینی کدام‌اند؟

مواد و روش تحقیق

در میان روش‌های مختلف علم‌سنجی، تحلیل کتاب‌سنجی (بیبلیومتریک) از این جهت متفاوت است که شامل استخراج اطلاعات پیرامون رفتار و پویایی قلمرو دانش (Mahajan et al., 2024)، تجسم مقالات علمی منتشرشده (Baidya & Saha, 2024) و ارزیابی کارایی، روایی و پایایی فرآیند تحقیق (Kraus et al., 2024) است. تحلیل کتاب‌سنجی روشی است که شامل شناسایی، مدیریت و به‌کارگیری ابزارهای تحلیلی اصلی در یک زمینه مطالعاتی خاص است (Pranajaya et al., 2024). برای تجزیه و تحلیل علم‌سنجی خود در مورد تحقیقات شبیه‌سازی عددی روی آب‌های زیرزمینی، از مجموعه‌های اصلی Web of Science که از طریق پایگاه داده Web of Science

[1] High level waste

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]

(WOS) قابل دسترسی است، استفاده شده است. WOS از مقبولیت گسترده‌ای در میان محققان برخوردار است و ثابت کرده است که در تحقیقات اخیر ابزاری ارزشمند برای انجام تحلیل علم‌سنجی به‌شمار می‌رود (Rasera et al., 2023). این پایگاه در میان پرکاربردترین پایگاه‌های اطلاعاتی در تحقیقات آکادمیک و کتاب‌سنجی قرار دارد و بازیابی سوابق استنادی کامل را با افزودن‌های جدید به‌طور مداوم به‌روزرسانی می‌کند (AlRyalat et al., 2019).

برای به‌دست آوردن داده‌های علم‌سنجی مربوط به "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی"، یک جستجو در پایگاه استنادی WOS اجرا شد. پارامترهای جستجو شامل بازه زمانی ۱ ژانویه ۱۹۹۷ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۲۳ بود و به‌طور خاص قسمت "موضوع" را در قسمت جستجوی WOS هدف قرار می‌داد. جستجوی مورد استفاده «شبیه‌سازی عددی» و «آب زیرزمینی» بود. پس از آن، درمجموع ۲۳۳۴ سند علمی شناسایی و برای تجزیه و تحلیل بیشتر انتخاب شدند. این نشریات، که شامل سوابق کامل است، سپس استخراج و برای تجزیه و تحلیل بعدی ذخیره شدند. استخراج و ذخیره داده‌ها در ۱۹ فوریه ۲۰۲۴ برای کاهش اختلافات احتمالی ناشی از به‌روزرسانی روزانه پایگاه داده انجام شد.

برای انجام تحلیل کتاب‌سنجی از نرم‌افزار کتاب‌سنجی Biblioshiny در RStudio استفاده شد. برتری Biblioshiny در این واقعیت نهفته است که در مقایسه با سایر ابزارهای کتاب‌سنجی، مجموعه کاملی از تکنیک‌ها و تجسم‌های آماری را ارائه می‌کند که تجزیه و تحلیل عملکرد و نقشه‌برداری مفهومی حوزه موردمطالعه را امکان‌پذیر می‌سازد (Veloutsou & Liao, 2023). برای استخراج الگوهای دیگر، در این بررسی از VOSviewer برای ارائه جزئیات جامع در تحقیقات مبتنی بر "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" استفاده شد. نرم‌افزار VOSViewer که برای تولید و تجسم نقشه‌های علم‌سنجی ایجاد شده است، برای مطالعه نقشه انتشارات بین‌المللی استفاده شد، این گزینه را برای خوانندگان فراهم می‌کند تا با استفاده از یک تابع متن‌کاوی هنگام نقل قول از مقاله یا مشکل، یک شبکه یا رابطه را توسعه و تجسم کنند (Rasera et al., 2023). نقشه‌های گرافیکی Bibliometrics می‌تواند اطلاعات خاصی را با استفاده از VOSViewer ارائه و نمایش دهند. محققان به‌راحتی می‌توانند با نمایش یک نقشه علم‌سنجی عظیم، یک رابطه را تفسیر کنند، و اخیراً این نرم‌افزار به‌طور گسترده در مطالعات علم‌سنجی مورد استفاده قرار گرفته است.

پژوهش حاضر از Biblioshiny و VOSviewer برای انجام تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده از ۲۳۳۴ سند به‌دست آمده از طریق جستجو در پایگاه داده WOS استفاده شد. این اسناد به‌عنوان یک فایل محدودشده از پایگاه داده WOS استخراج شد. برخی از وظایف اولیه، مانند کاوش الگوهای انتشار، با استفاده از خود پایگاه داده WOS انجام شد. این مطالعه از ابزارهای مرتبط با کتاب‌سنجی، مانند تجزیه و تحلیل روندهای مفهومی کلی و ایده‌هایی که می‌تواند در هر بخش نمایش داده شود، استفاده می‌کند.

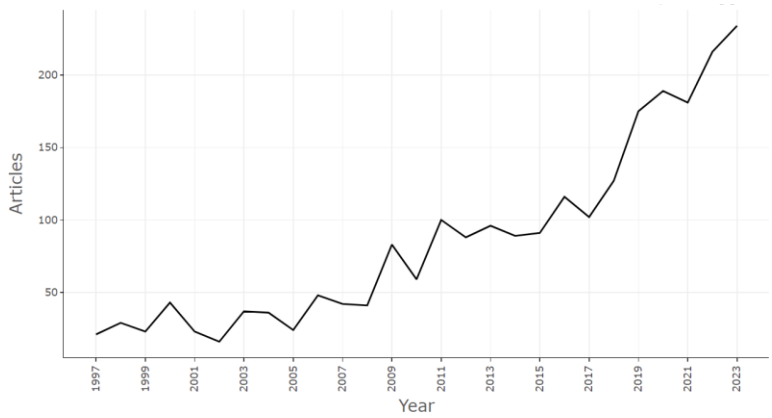
نتایج و بحث

خروجی انتشارات

بر اساس پژوهش انجام شده، از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۲۳ میلادی، در مجموع ۲۳۳۴ سند علمی مربوط به شبیه‌سازی عددی و آب زیرزمینی از پایگاه داده WOS استخراج شد. این اسناد علمی شامل ۱۹۱۲ (۷۹/۷۰ درصد) مقاله پژوهشی، ۴۱۱ (۱۷/۱۳ درصد) مقاله کنفرانسی، ۴۱ (۷/۱۷ درصد) مقاله مروری و سایر اشکال انتشارات بود. مدل Biblioshiny نشان داد تعداد اسناد علمی در زمینه کاربرد شبیه‌سازی عددی در آب زیرزمینی از سال ۲۰۰۸ شروع به افزایش کرده است (شکل ۱) به‌طوری که بیش‌ترین تعداد مقاله (۲۲۰) در سال ۲۰۲۲ منتشر شد و پس از آن ۱۹۸ انتشار در سال ۲۰۲۰ منتشر شد. این نشان‌دهنده توجه روزافزون محققان دنیا به "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" است. اغلب این انتشارات، یعنی ۲۳۳۴ سند علمی، معادل ۹۸/۲۴ درصد به زبان انگلیسی نوشته شده است و سایر مقالات، چینی (۲۱)، آلمانی (۱۰) و ... بودند. از بین تمامی مقالات، ۷۰۱ مقاله (۳۰ درصد) دارای دسترسی آزاد بودند. از نظر موضوعی، ترکیب انتشارات شامل مهندسی منابع آب (۳۲/۹۸ درصد)، محیط‌زیست (۳۱/۳۲ درصد)، زمین‌شناسی (۷/۲۱ درصد)، مهندسی مواد (۱۰/۰۷ درصد)، مهندسی عمران (۱۳/۲۹ درصد) و سایر علوم (۵/۱۳ درصد) بود (شکل ۳–الف). در شکل (۳–ب) نیز، بر اساس طبقه‌بندی موضوعی WoS ترکیب انتشارات را نشان می‌دهد.

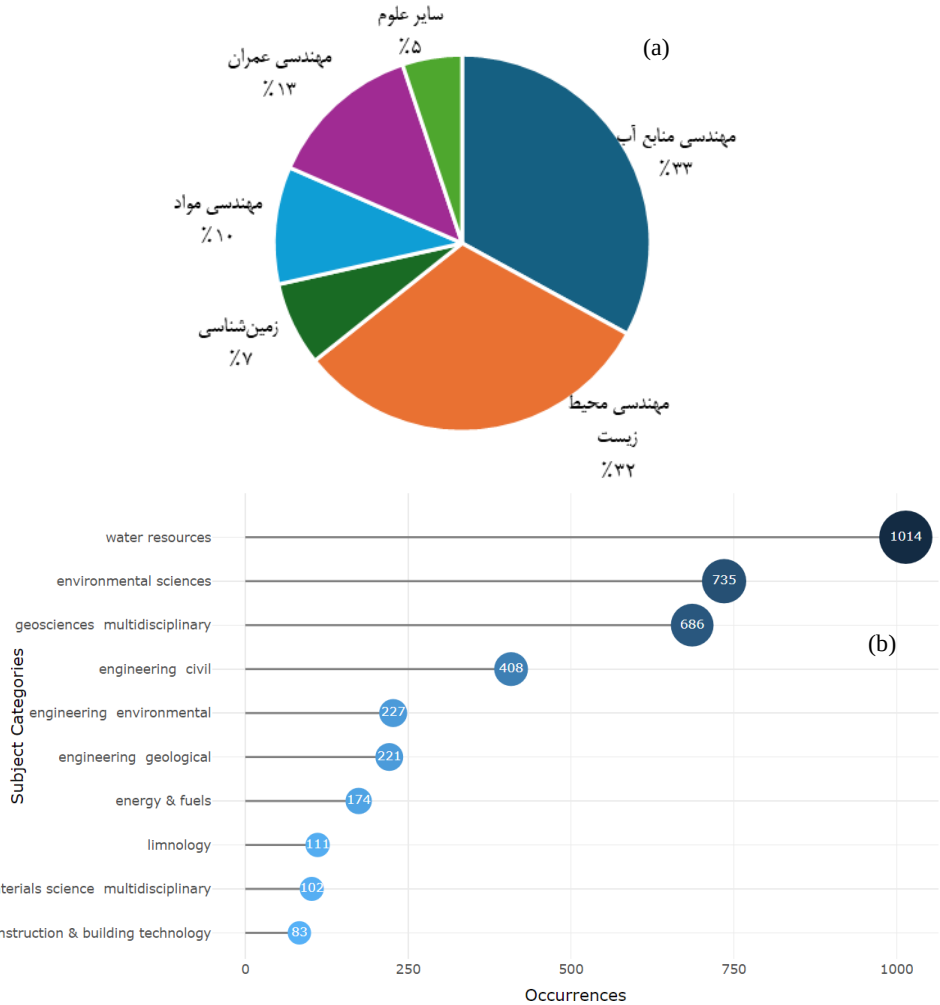
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]



شکل ۲ – تعداد تحقیقات سالانه چاپ‌شده درزمینه شبیه‌سازی عددی و آب زیرزمینی از سال ۱۹۹۷ الی ۲۰۲۳

Figure 2- The number of annual research published in the field of numerical simulation and Groundwaterfrom 1997 to 2023.



شکل ۳– (الف) دسته‌بندی موضوعی اسناد چاپ‌شده پیرامون شبیه‌سازی عددی و آب زیرزمینی در علوم مختلف، (ب) ۱۰ دسته موضوعی برتر اسناد چاپ‌شده پیرامون شبیه‌سازی عددی و آب زیرزمینی بر اساس طبقه‌بندی WoS

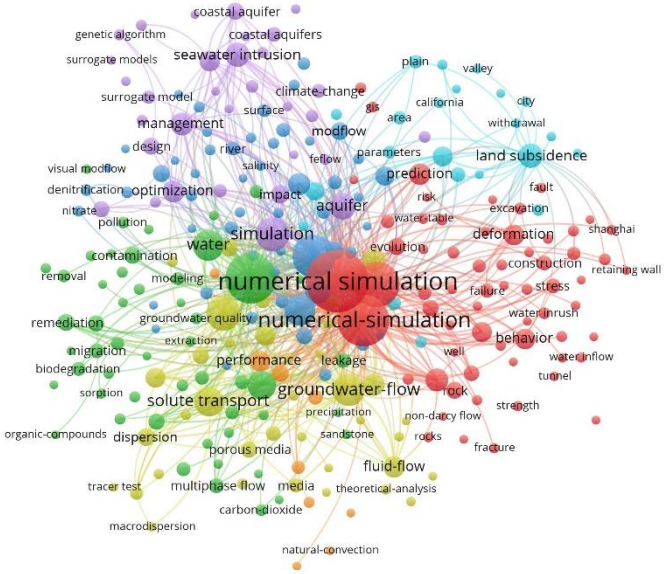
Figure 3- (a) thematic classification of documents published about numerical simulation and Groundwaterin different sciences, (b) thematic classification of documents published about numerical simulation and Groundwaterbased on WoS classification

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]

تحلیل کلمات کلیدی

شبکه تصویری کلمات کلیدی با استفاده از نرم‌افزار VOSviewer و با فرکانس بیش از ۱۰ در شکل ۴ نشان داده است. این شبکه به ۷ خوشه تقسیم و در رنگ‌های مختلف نشان داده شده است. بزرگ‌ترین خوشه که به رنگ قرمز نمایش داده می‌شود، که در آن کلمات کلیدی هم‌چون مدل‌سازی، آبخوان، نفوذپذیری، نشت، رفتار، دگردیسی، پیش‌بینی و ... درج شده است.

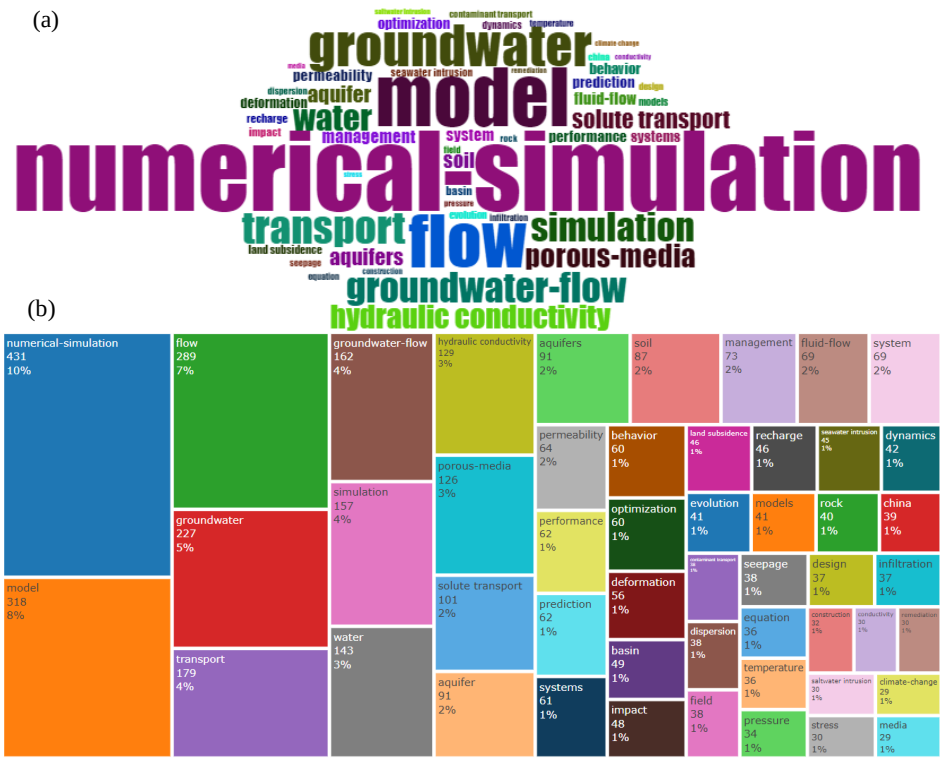


شکل ٤- تحلیل علم‌سنجی کلمه کلیدی شبیه‌سازی عددی و آب زیرزمینی در انتشارات. بزرگی حلقه‌ها نشان‌دهنده بسامد وقوع آن‌هاست. خطوط به‌هم‌پیوسته‌ای که حلقه‌ها را به هم متصل می‌کنند نشان‌دهنده هم‌زمانی آن‌ها در همان نشریه است. با افزایش فراوانی دو کلمه کلیدی که باهم ظاهر می‌شوند، فاصله بین حلقه‌های مربوطه به نسبت کاهش می‌یابد.

Figure 4- Bibliometric analysis of numerical simulation and Groundwaterkeywords in publications. The magnitude of rings denotes their occurrence frequency. The interlinking lines that connect the rings serve to denote their co-occurrence within the same publication. As the frequency of two given keywords appearing together increases, the distance between the corresponding rings decreases proportionally.

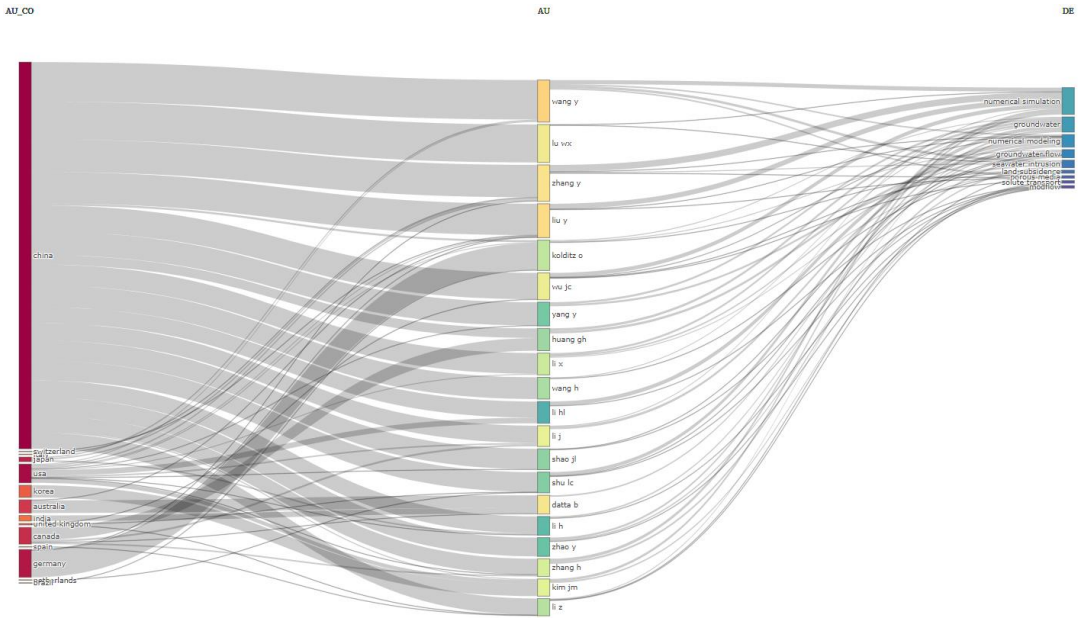
بر اساس شکل ۴، تحلیل شبکه هم‌روی کلمات کلیدی این امکان را فراهم می‌کند که درک کنیم که کلمات کلیدی با بیش‌ترین فراوانی عبارت‌اند از: (الف) "جریان" (۴۵۱)، (ب) "مدل‌سازی" (۳۲۵)، (پ) "انتقال" (۴۳۴)؛ (ت) "آبخوان" (۲۰۰)؛ (ث) "هدایت هیدرولیکی" (۱۴۹)؛ (ج) "انتقال مواد محلول" (۱۳۲)؛ (چ) «خاک» (۹۳)؛ (ح) "پیشروی آب دریا" (۸۷)؛ (خ) «فرونشست زمین» (۸۶)؛ (د) «مدل‌سازی عددی» (۷۸)؛ (ذ) "مدیریت" (۷۷)؛ (ر) "نفوذپذیری" (۷۶)؛ (ز) "بهینه‌سازی" (۷۳) بودند. علاوه‌بر این، دو کلمه کلیدی «مدل‌سازی» و «جریان» دارای بیش‌ترین قدرت پیوند تجمعی (۱۵۶۶ و ۱۳۵۲) بودند. در شکل ۵ یک ابر کلمه و یک نقشه درختی از تحقیقات در حوزه "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" نشان داده شده است. در شکل (۵–ب)، هر گروه با یک مستطیل نشان داده شده است که مساحت آن متناسب با مقدار استفاده شده برای پرتکرارترین کلمات است. بر اساس شکل ۶ که نشان‌دهنده ارتباط سه‌جانبه بین (الف) کشورها (AU_CO)، (ب)، نویسندگان (AU) و (ج) کلمات کلیدی (DE) است، کشورهای چین، آلمان، امریکا و کانادا بیش‌ترین تولیدات علمی را در حوزه "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" داشته‌اند. بر اساس این نمودار، مطالعات بخش بزرگی از محققان دنیا بر موضوع نسبتاً جدید پیشروی آب دریا هدایت شده است.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]



شکل ۵- ابر کلمه و نقشه درختی پرکاربردترین کلمات کلیدی در تحقیقات مبتنی بر "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی"

Figure 5- Word cloud of the most frequently used keywords in numerical simulation and Groundwaterbased research.



شکل ٦- رابطه یافت شده در تحقیقات مبتنی بر "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" بین کشورها، نویسندگان و کلمات کلیدی.

Figure 6- Relationship found in numerical simulation and groundwater based research between countries, authors, and keywords.

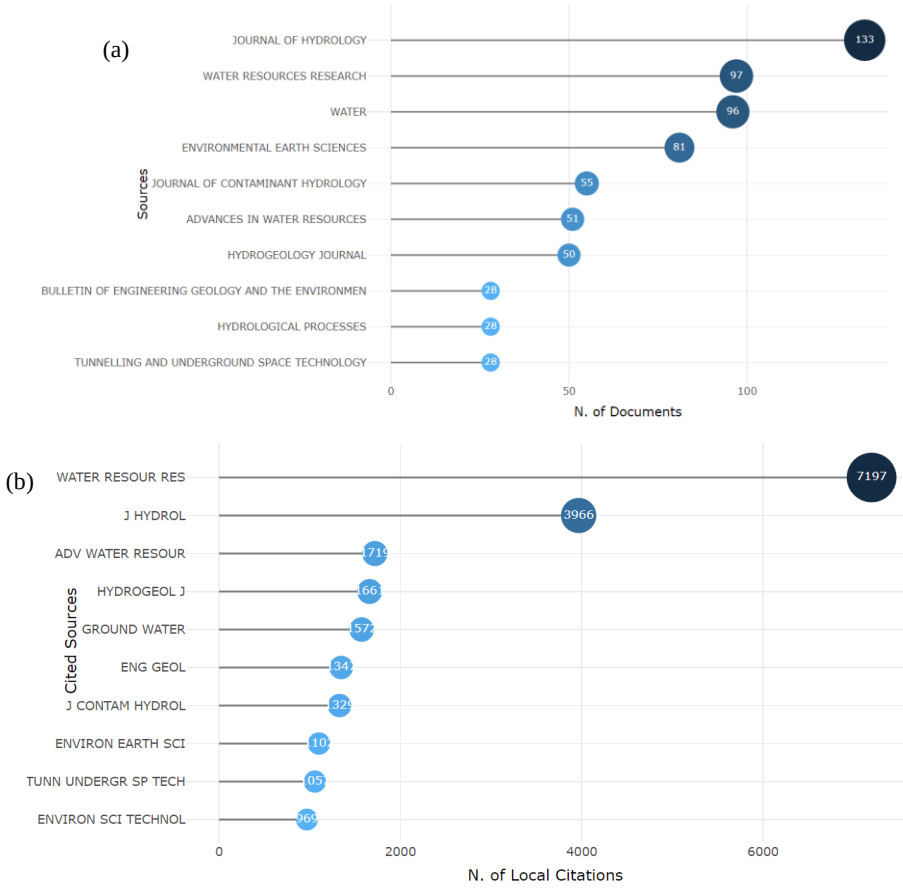
تحلیل استنادها و انتشارات

مقالات پر استناد مربوط به "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" در جدول ۱ نشان می‌دهد. میانگین تعداد استنادها در این مقالات، ۲۰۳ بود. بر اساس جدول ۱، مقاله "فرآیندهای نفوذ آب دریا، تحلیل و مدیریت: پیشرفت‌های اخیر و چالش‌های آتی" که در سال ۲۰۱۳ در انتشارات Elsevier به چاپ رسیده است، بیش‌ترین استناد (۹۷۷) را دریافت کرد. مطالعات پیرامون "آب زیرزمینی" و "شبیه‌سازی عددی" در ۴۷۶ مجله منتشر شده است که ۷۳ مورد از آن‌ها بیش از پنج مقاله منتشر کرده‌اند. ده مجله برتر درمجموع ۵۸۶ مقاله منتشر کردند که

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]

۲۵/۱ درصد از مقالات را به خود اختصاص دادند. مجله JOURNAL OF HYDROLOGY با مجموع ۱۴۱ مقاله به بالاترین رتبه دست‌یافت که ۶/۰۴ درصد از کل انتشارات را به خود اختصاص داده است.

هم‌چنین ۱۰ نشریه با مرتبط‌ترین انتشارات پیرامون "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" بر اساس تحلیل Biblioshiny در شکل ۷ (الف) نشان داده شده است. تحلیل علم‌سنجی مطالعات "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" برای ۲۰۲۳-۱۹۹۷ نشریه JOURNAL OF HYDROLOGY را با بیش‌ترین تعداد مقالات کاملاً مرتبط (۱۳۳) شناسایی کرد و پس از آن WATER RESOURCES RESEARCH و WATER قرار دارند. شکل ۷ (ب) نیز ۱۰ مجله برتر استناد شده را بر اساس استنادات محلی Biblioshiny نشان می‌دهد که تحقیقاتی را در مورد "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" منتشر کرده‌اند. تحلیل علم‌سنجی، WATER RESOURCES RESEARCH از کشور امریکا را بانفوذترین مجله در حوزه مطالعات "آب زیرزمینی" و "شبیه‌سازی عددی" در سراسر جهان معرفی کرد. مجلات JOURNAL OF HYDROLOGY (کشور هلند) و ADVANCES IN WATER RESOURCES (بریتانیا) نیز به‌عنوان دومین و سومین مجله پر ارجاع شناخته شد.



شکل ۷- فعال‌ترین مجلات، شامل (الف) ده مجله برتر با بیش‌ترین مقالات منتشرشده درزمینه "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" و (ب) ده مجله برتر با پراستنادترین مقالات درزمینه "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" براساس استناد محلی (TLCS). (TLCS (امتیاز کل استناد محلی) - چند بار مقالات نویسنده موجود در این مجموعه توسط مقالات دیگر نیز در مجموعه استناد شده است)

Figure 7- The most active journals, including (a) the top ten journals with the most published articles on numerical simulation and Groundwaterand (b) the top ten journals with the most cited articles on numerical simulation and groundwater based on local citations (TLCS). (TLCS (Total Local Citation Score) - how many times the author's articles in this collection have been cited by other articles in the collection

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]

جدول ۱- ۵۰ مقاله با حداکثر تعداد استناد مربوط به "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" بر اساس Web of Science

Table 1- 50 articles with the maximum number of citations related to numerical simulation and Groundwaterbased on Web of Science

Rank	Article Title	Document Type	Journal	Country of the corresponding author	Times Cited	Publisher	PY
1	Seawater intrusion processes, investigation and management: Recent advances and future challenges	Article	ADVANCES IN WATER RESOURCES	Australia	977	ELSEVIER SCI LTD	2013
2	Review: Regional land subsidence accompanying groundwater extraction	Review	HYDROGEOLOGY JOURNAL	USA	579	SPRINGER	2011
3	TOUGHREACT -: A simulation program for non-isothermal multiphase reactive geochemical transport in variably saturated geologic media:: Applications to geothermal injectivity and CO2 geological sequestration	Article	COMPUTERS & GEOSCIENCES	USA	514	PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD	2006
4	Large-scale impact of CO2 storage in deep saline aquifers: A sensitivity study on pressure response in stratified systems	Article	INTERNATIONAL JOURNAL OF GREENHOUSE GAS CONTROL	USA	425	ELSEVIER SCI LTD	2009
5	Variable-density flow and transport in porous media: approaches and challenges	Review	ADVANCES IN WATER RESOURCES	Germany	377	ELSEVIER SCI LTD	2002
6	Vadose zone flow model parameterisation using cross-borehole radar and resistivity imaging	Article	JOURNAL OF HYDROLOGY	England	313	ELSEVIER SCIENCE BV	2002
7	Variable-density groundwater flow and solute transport in heterogeneous porous media: approaches, resolutions and future challenges	Article	JOURNAL OF CONTAMINANT HYDROLOGY	Australia	297	ELSEVIER SCIENCE BV	2001
8	Numerical simulation of infiltration, evaporation and shallow groundwater levels with the Richards equation	Article	JOURNAL OF HYDROLOGY	Netherlands	282	ELSEVIER	2000
9	Caputo-Fabrizio Derivative Applied to Groundwater Flow within Confined Aquifer	Article	JOURNAL OF ENGINEERING MECHANICS	Romania	217	ASCE-AMER SOC CIVIL ENGINEERS	2017
10	Hillslope-storage Boussinesq model for subsurface flow and variable source areas along complex hillslopes: 1. Formulation and characteristic response	Article	WATER RESOURCES RESEARCH	Netherlands	212	AMER GEOPHYSICAL UNION	2003
11	Determining natural groundwater influx to a tropical river using radon, chlorofluorocarbons and ionic environmental tracers	Article	JOURNAL OF HYDROLOGY	Australia	215	ELSEVIER SCIENCE BV	2003
12	Coupled groundwater flow and transport .1. Verification of variable density flow and transport models	Article	ADVANCES IN WATER RESOURCES	GERMANY	203	ELSEVIER SCI LTD	1998
13	Variations of hydraulic properties of granular sandstones during water inrush: Effect of small particle migration	Article	ENGINEERING GEOLOGY	England	195	ELSEVIER SCIENCE BV	2017
14	Coupled multiphase flow and poromechanics: A computational model of pore pressure effects on fault slip and earthquake triggering	Article	WATER RESOURCES RESEARCH	USA	201	AMER GEOPHYSICAL UNION	2014
15	Numerical simulation of biodegradation controlled by transverse mixing	Article	JOURNAL OF CONTAMINANT HYDROLOGY	USA	189	ELSEVIER SCIENCE BV	1999
16	Modeling of fault reactivation and induced seismicity during hydraulic fracturing of shale-gas reservoirs	Article	JOURNAL OF PETROLEUM SCIENCE AND ENGINEERING	USA	200	ELSEVIER	2013
17	GSSHA: Model to simulate diverse stream flow producing processes	Article	JOURNAL OF HYDROLOGIC ENGINEERING	USA	199	ASCE-AMER SOC CIVIL ENGINEERS	2004

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]

جدول ۱- ادامه

Table 1- Continued

Rank	Article Title	Document Type	Journal	Country of the corresponding author	Times Cited	Publisher	PY
18	Characteristics of dewatering induced drawdown curve under blocking effect of retaining wall in aquifer	Article	JOURNAL OF HYDROLOGY	China	157	ELSEVIER SCIENCE BV	2016
19	Numerical solutions for the Robin time-fractional partial differential equations of heat and fluid flows based on the reproducing kernel algorithm	Article	INTERNATIONAL JOURNAL OF NUMERICAL METHODS FOR HEAT & FLUID FLOW	Jordan	148	EMERALD GROUP PUBLISHING LTD	2018
20	A process-based, distributed hydrologic model based on a large-scale method for surface-subsurface coupling	Article	ADVANCES IN WATER RESOURCES	USA	165	ELSEVIER SCI LTD	2010
21	Worldwide application of aquifer thermal energy storage - A review	Review	RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS	Germany	150	PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD	2018
22	An improved SPH method for saturated soils and its application to investigate the mechanisms of embankment failure: Case of hydrostatic pore-water pressure	Article	INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL AND ANALYTICAL METHODS IN GEOMECHANICS	Japan	150	WILEY-BLACKWELL	2013
23	Regional groundwater discharge: phreatophyte mapping, groundwater modelling and impact analysis of land-use change	Article	JOURNAL OF HYDROLOGY	Belgium	163	ELSEVIER SCIENCE BV	2003
24	Simulation of industrial-scale CO2 storage: Multi-scale heterogeneity and its impacts on storage capacity, injectivity and leakage	Article	INTERNATIONAL JOURNAL OF GREENHOUSE GAS CONTROL	USA	146	ELSEVIER SCI LTD	2012
25	A critical review of groundwater budget myth, safe yield and sustainability	Review	JOURNAL OF HYDROLOGY	Netherlands	146	ELSEVIER SCIENCE BV	2009
26	Long-term variations of CO2 trapped in different mechanisms in deep saline formations: A case study of the Songliao Basin, China	Article	INTERNATIONAL JOURNAL OF GREENHOUSE GAS CONTROL	China	157	ELSEVIER SCI LTD	2009
27	Three-dimensional numerical modelling on localised leakage in segmental lining of shield tunnels	Article	COMPUTERS AND GEOTECHNICS	China	143	ELSEVIER SCI LTD	2020
28	Simulating solute transport in porous or fractured formations using random walk particle tracking: A review	Article; Proceedings Paper	VADOSE ZONE JOURNAL	France	145	SOIL SCI SOC AMER	2005
29	Numerical simulation of hydrodynamics and bank erosion in a river bend	Article	WATER RESOURCES RESEARCH	Italy	151	AMER GEOPHYSICAL UNION	2008
30	Numerical simulation on mining-induced water inrushes related to geologic structures using a damage-based hydromechanical model	Article	ENVIRONMENTAL EARTH SCIENCES	China	137	SPRINGER	2011
31	Geologic heterogeneity and a comparison of two geostatistical models: Sequential Gaussian and transition probability-based geostatistical simulation	Article	ADVANCES IN WATER RESOURCES	USA	150	ELSEVIER SCI LTD	2007
32	Identification of groundwater pollution sources using GA-based linked simulation optimization model	Article	JOURNAL OF HYDROLOGIC ENGINEERING	India	132	ASCE-AMER SOC CIVIL ENGINEERS	2006
33	Deformation, failure and permeability of coal-bearing strata during longwall mining	Article	ENGINEERING GEOLOGY	China	136	ELSEVIER SCIENCE BV	2016

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]

جدول ۱- ادامه

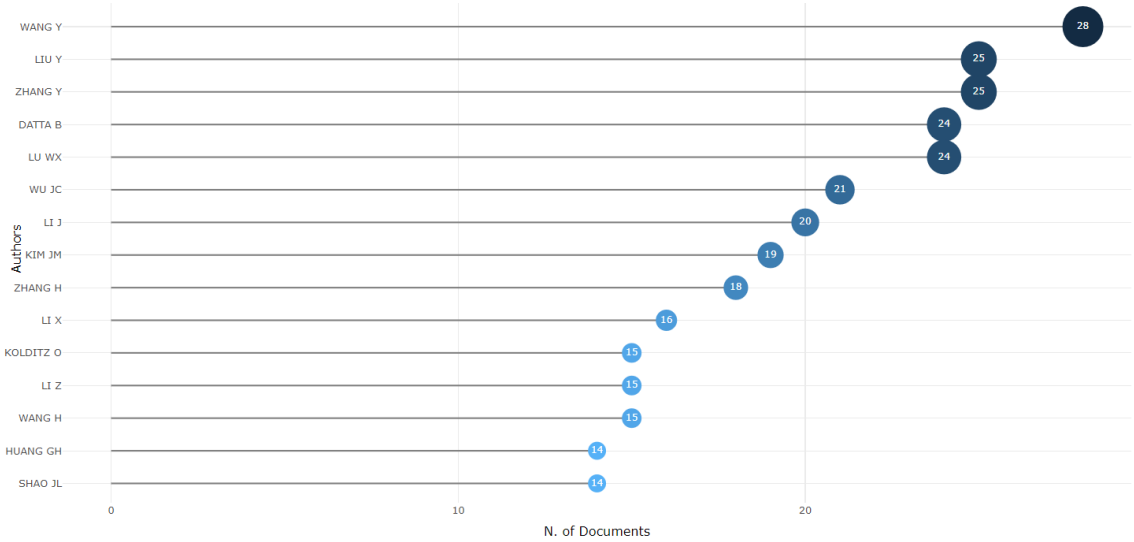
Table 1- Continued

Rank	Article Title	Document Type	Journal	Country of the corresponding author	Times Cited	Publisher	PY
34	Finite element modeling of borehole heat exchanger systems Part 2. Numerical simulation	Article	COMPUTERS & GEOSCIENCES	Germany	126	PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD	2011
35	Numerical investigation of groundwater outbursts near faults in underground coal mines	Article	INTERNATIONAL JOURNAL OF COAL GEOLOGY	China	132	ELSEVIER	2011
36	Saltwater Intrusion Management of Coastal Aquifers. I: Linked Simulation-Optimization	Article	JOURNAL OF HYDROLOGIC ENGINEERING	Australia	123	ASCE-AMER SOC CIVIL ENGINEERS	2009
37	Numerical simulation of ground heat and water transfer for groundwater heat pump system based on real-scale experiment	Article	ENERGY AND BUILDINGS	Japan	131	ELSEVIER SCIENCE SA	2010
38	New piecewise-continuous hydraulic functions for modeling preferential flow in an intermittent-flood-irrigated field	Article	WATER RESOURCES RESEARCH	USA	128	AMER GEOPHYSICAL UNION	1997
39	Numerical simulation of mining-induced fracture evolution and water flow in coal seam floor above a confined aquifer	Article	COMPUTERS AND GEOTECHNICS	China	124	ELSEVIER SCI LTD	2015
40	Optimal management of coastal aquifers using linked simulation optimization approach	Article	WATER RESOURCES MANAGEMENT	India	117	SPRINGER	2005
41	Reach-scale isotope tracer experiment to quantify denitrification and related processes in a nitrate-rich stream, midcontinent United States	Article	LIMNOLOGY AND OCEANOGRAPHY	USA	141	WILEY	2004
42	Numerical simulation and prediction of regional land subsidence caused by groundwater exploitation in the southwest plain of Tehran, Iran	Article	ENGINEERING GEOLOGY	Iran	117	ELSEVIER SCIENCE BV	2016
43	Evaluation of the blocking effect of retaining walls on groundwater seepage in aquifers with different insertion depths	Article	ENGINEERING GEOLOGY	China	119	ELSEVIER SCIENCE BV	2014
44	A quantitative methodology to assess the risks to human health from CO2 leakage into groundwater	Article	ADVANCES IN WATER RESOURCES	USA	129	ELSEVIER SCI LTD	2012
45	Steady-state freshwater-seawater mixing zone in stratified coastal aquifers	Article	JOURNAL OF HYDROLOGY	USA	118	ELSEVIER	2013
46	A fully coupled thermal-hydraulic-mechanical model with two-phase flow for coalbed methane extraction	Article	JOURNAL OF NATURAL GAS SCIENCE AND ENGINEERING	China	129	ELSEVIER SCI LTD	2016
47	Convection in groundwater below an evaporating salt lake .2. Evolution of fingers or plumes	Article	WATER RESOURCES RESEARCH	AUSTRALIA	114	AMER GEOPHYSICAL UNION	1997
48	Riparian biogeochemical hot moments induced by stream fluctuations	Article	WATER RESOURCES RESEARCH	USA	125	AMER GEOPHYSICAL UNION	2012
49	Evaluation of hydraulic parameters from pumping tests in multi-aquifers with vertical leakage in Tianjin	Article	COMPUTERS AND GEOTECHNICS	China	110	ELSEVIER SCI LTD	2015
50	Finite element modeling of borehole heat exchanger systems Part 2. Numerical simulation	Article	COMPUTERS & GEOSCIENCES	Germany	126	PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD	2011

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

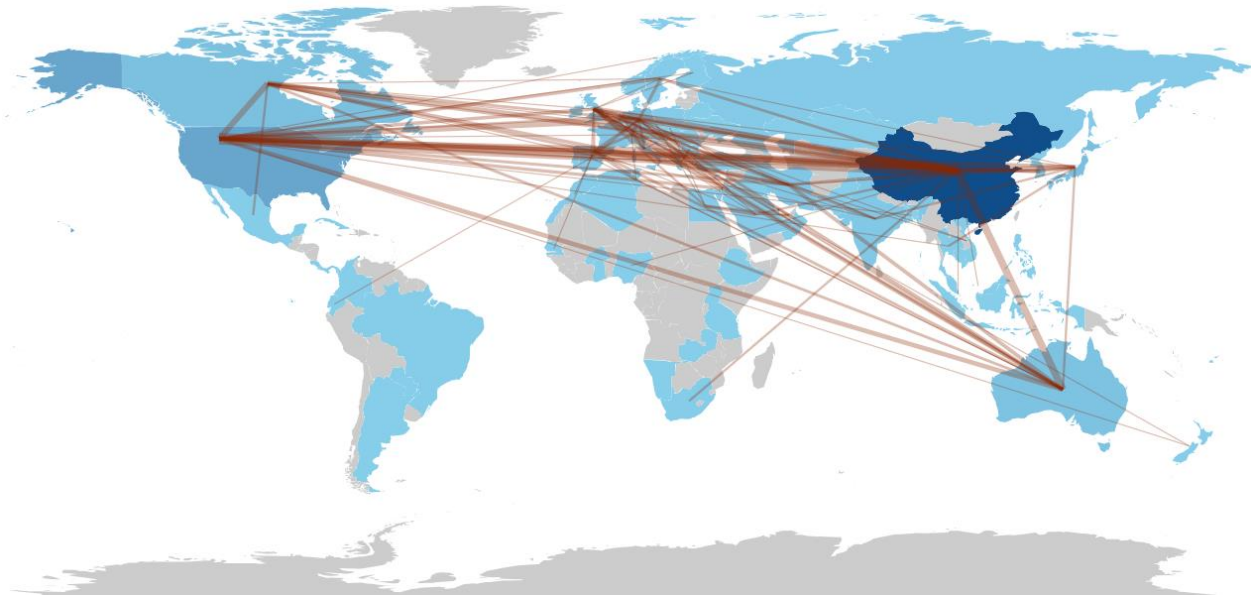
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]

بر اساس پژوهش انجام شده، به‌طور کلی ۷۴۳۶ نویسنده ۲۳۳۴ مقاله تحقیقاتی را پیرامون "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" منتشر کردند. Wang Y با ۲۸ مقاله (ارزش نسبی ۵/۳۲) سازنده‌ترین نویسنده بود و پس از آن Liu Y. (با ارزش نسبی ۵/۳۸) و Zhang Y (با ارزش نسبی ۶۷/۱۱) قرار گرفتند. نویسندگان مرتبط برتر در شکل ۸ نشان داده شده‌اند. شکل ۹ یک نمایش تصویری با تولید نقشه choropleth ارائه می‌دهد که منعکس‌کننده همکاری‌های کشورها از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۲۳ است. همکاری‌های برجسته‌ای بین چین با کشورهایی هم‌چون امریکا، استرالیا، کانادا و بریتانیا مشهود بود. روابط قابل‌توجهی نیز بین پژوهشگران کشورهای امریکا، کانادا و آلمان وجود داشت. هم‌چنین بیش‌ترین همکاری‌های پژوهشی کشور ایران با کشورهای استرالیا، کانادا، چین و فرانسه بود.



شکل ۸- برترین نویسندگان همکار در زمینه "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی".

Figure 8- Top co-authors in the field of numerical simulation and groundwater.



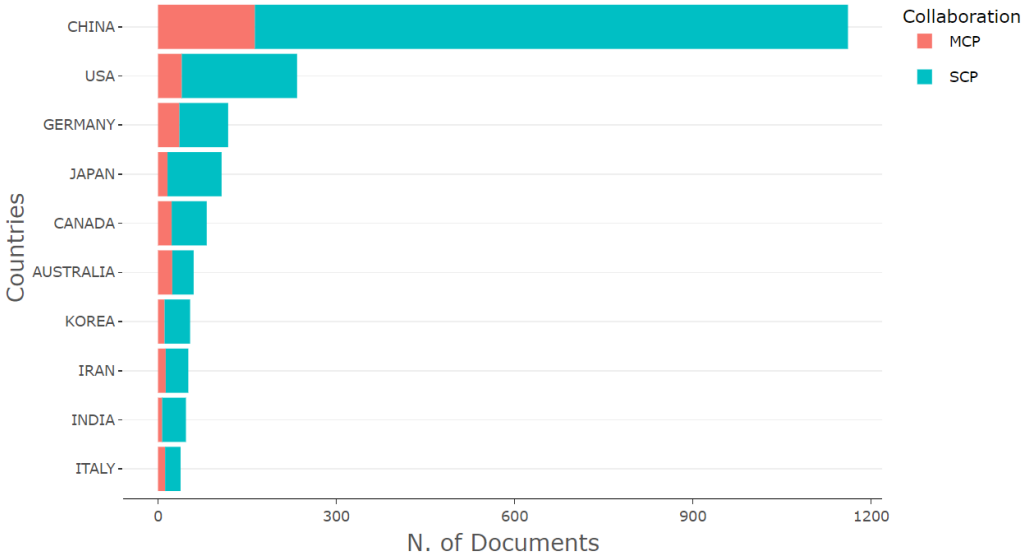
شکل ۹- تحلیل پویا پیرامون میزان فعالیت هر کشور و هم‌چنین میزان همکاری کشورها در زمینه تحقیقات توسط نقشه choropleth

Figure 9. Dynamic analysis around the activity level of each country and also the level of countries' collaboration on numerical simulation and groundwater researches represented by the choropleth map

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]

مطالعه خروجی انتشارات در رابطه با کشورهای نویسندگان مربوطه و مشارکت فعال در تحقیقات مبتنی بر "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" در شکل ۱۰ نشان داده شده است، چین با ۱۰۰۱ انتشارات تک کشوری (SCP[1])، ۱۶۳ انتشارات چند کشوری (MCP[2]) و بالاترین فراوانی، ۰/۴۹۹، در صدر قرار داشت. امریکا و آلمان نیز به‌ترتیب با ۱۹۴ و ۸۲ سند تک‌کشوری، ۴۰ و ۳۶ سند چندکشوری و فراوانی ۰/۱۰۰ و ۰/۰۵۱ در رتبه‌های بعدی قرار دارند.



شکل ۱۰- کشورهای نویسندگان مسئول با همکاری بین کشوری (MCP) و همکاری درون کشوری (SCP).

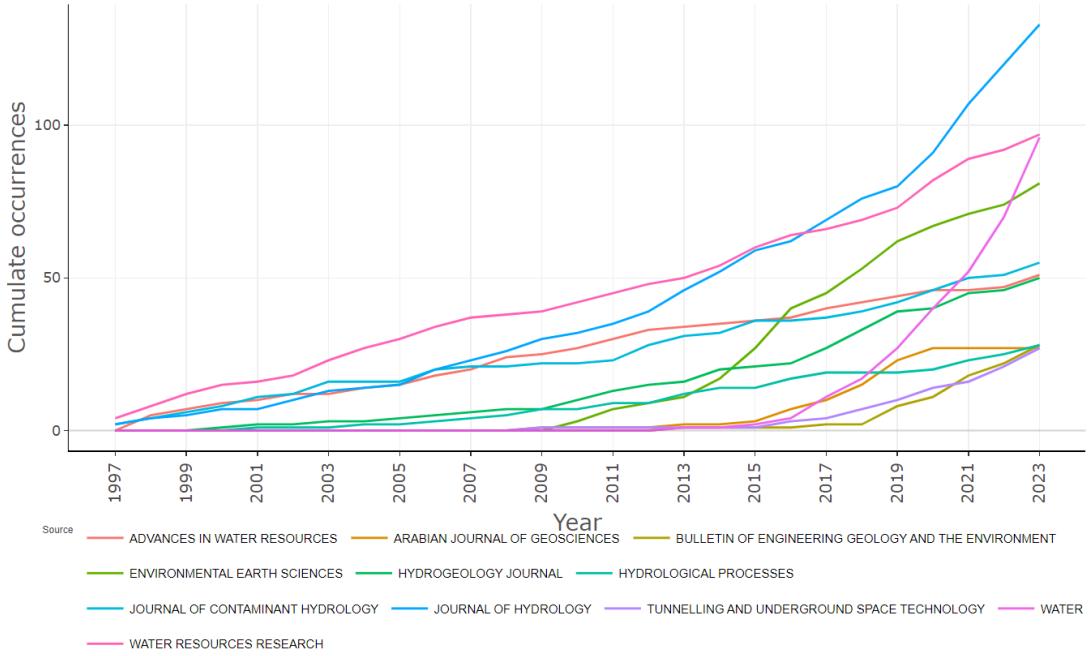
Figure 10- Corresponding authors' countries representing inter-country (MCP) collaboration and intra-country (SCP) collaboration.

نمودار افزایشی نشان داده شده در شکل ۱۱، که رشد تجمعی مقالات را از ۱۲ منبع اصلی نشان می‌دهد، الگوهای جالب‌توجهی را نشان می‌دهد. در میان این منابع، "JOURNAL OF HYDROLOGY" قوی‌ترین رشد را نشان داده است، به‌طوری‌که انتشارات آن از سال ۲۰۰۷ به بعد افزایش قابل‌توجهی داشته است و از سال ۲۰۱۶ به بعد بیش‌ترین مقاله را به خود اختصاص داده است. بررسی سایر منابع نیز نشان می‌دهد از سال ۲۰۰۸ به‌مرور تعداد انتشارات درزمینه "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" در نشریات مختلف با رشد قابل‌توجهی مواجه بوده است و تا هم‌اکنون روند صعودی آن ادامه داشته است. این روندها بر علاقه رو به رشد و زمینه‌های متنوع تحقیق در حوزه "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" در منابع معتبر مختلف تأکید می‌کند.

طبق تحلیل استنادات در VOSviewer، چانهوای لو[3] و دانشگاه برکلی کالیفرنیا به‌ترتیب به‌عنوان نویسنده و سازمانی که بیش‌ترین استناد را دارند، شناخته شده‌اند. دانشگاه برکلی کالیفرنیا در ۲۵ مقاله ۱۸۸۷ استناد به‌دست آورده است، درحالی‌که دانشگاه زمین‌شناسی چین در ۱۰۵ مقاله، با ۱۴۱۲ استناد در جایگاه چهارم پراستنادترین دانشگاه‌ها قرار دارد. چین بیش‌ترین تعداد مقاله استناد شده را دارد، یعنی ۱۱۸۶ مقاله با کسب ۱۲۶۵۹ استناد، پس از آن امریکا و استرالیا به‌ترتیب با ۳۶۲ و ۱۰۱ مقاله و ۱۱۳۹۹ و ۳۹۰۲ استناد قرار دارند (شکل ۱۲). تعداد استنادات کشور ایران نیز ۱۰۲۸ بود.

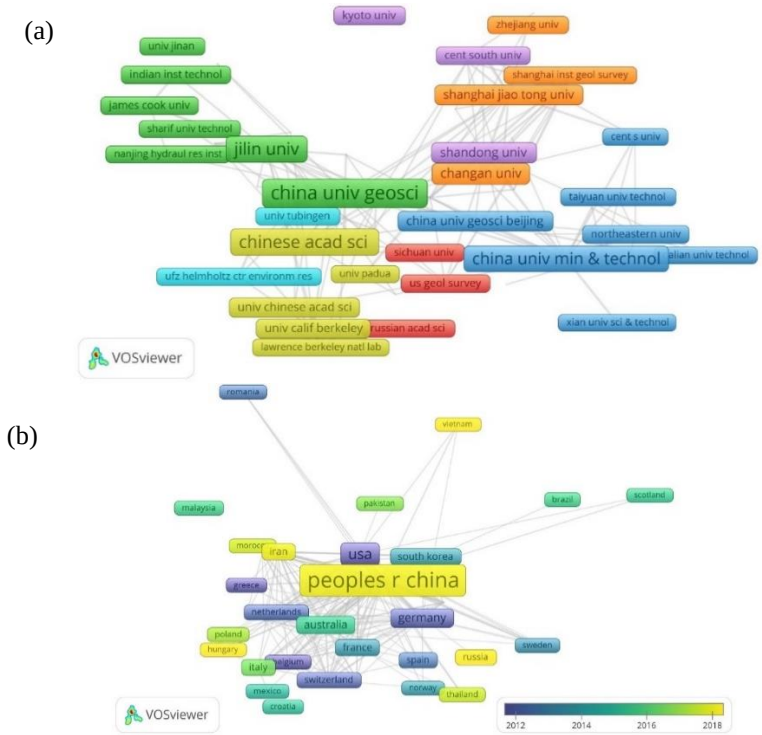
[1] Single country publications
[2] Multiple country publications
[3] Chunhui Lu

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]



شکل ۱۱- رشد تجمعی پژوهش‌ها پیرامون "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" منتشرشده در ۱۰ منبع برتر دنیا

Figure 11. The cumulative growth of the published numerical simulation and groundwater research in the top 10 sources in the dataset



شکل ۱۲- آنالیز استناددهی (الف) استناددهی سازمانی: دانشگاه علوم پزشکی مشهد بیش‌ترین استناددهی را دریافت نمود (۱۰۳۵۵) که در خوشه سبزرنگ نشان داده شده است. (ب) استناددهی کشورها. رنگ‌های مختلف نشان‌دهنده گروه‌بندی‌های متمایز است و اندازه حلقه‌ها تعداد استناددهی‌ها را نشان می‌دهد.

Figure 12- Citations analysis (A) Organization citations. Mashhad University of Medical Sciences received maximum citations (10355) presented in green cluster (B) Countries citations. The various colors represent distinct groupings, and the size of the rings represents the number of citations.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

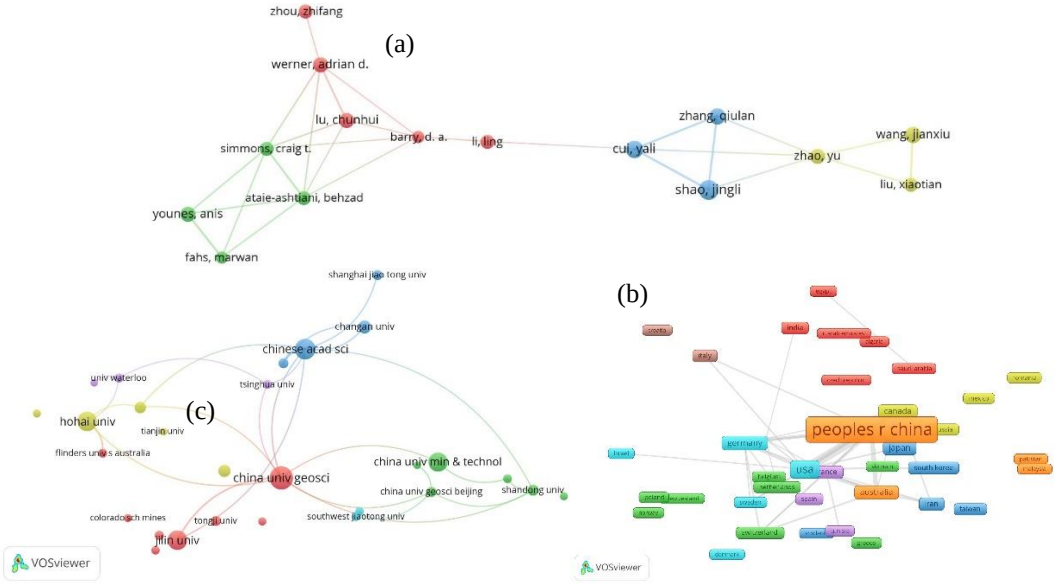
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]

آنالیز نویسندگان مشترک

تعداد انتشاراتی که دو محقق با هم تألیف کرده‌اند با آنالیز نویسندگان مشترک نشان شده است. انتشار مقالات در مورد "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" شامل مشارکت ۷۴۳۶ نویسنده بود. از این میان، lu, wenxi دارای ۲۴ مقاله با ۲۷۶ استناد و مجموع قدرت پیوند ۳۱ در رتبه اول و datta, bithin با ۲۲ مقاله و ۶۴۱ استناد و مجموع قدرت پیوند ۱۴ در جایگاه دوم قرار دارد. این معیار، نشان‌دهنده قدرت کلی پیوندهای نویسنده همکار یک محقق خاص با سایر محققان است. جستجوی منابع نشان می‌دهد که ۲۰۵۸ سازمان مقالات مرتبط را منتشر کرده‌اند و ۱۷۸ سازمان از این سازمان‌ها حداقل پنج سند منتشرشده دارند. دانشگاه china univ geosci با ۱۰۵ مقاله مرتبط ۱۴۱۲ استناد با قدرت پیوند ۷۵ تولید کرده است و پس از آن chinese acad sci با ۸۷ سند و ۸۸۷ استناد با قدرت پیوند ۹۹ قرار دارد. بیش‌ترین تعداد مقاله برای کشور چین با ۱۱۸۶ و پس از آن امریکا با ۳۶۲ و آلمان با ۱۴۳ مقاله ثبت شده است. هم‌چنین ایران با ۶۵ مقاله در جایگاه هفتم جهان قرار داشت. قدرت پیوند کشور اول ۲۳۳ و برای کشور دوم ۲۰۹ بود (شکل ۱۳).

آنالیز هم‌زمانی استنادات

آنالیز هم‌زمانی استنادات به دو سند اشاره می‌کند که هر دو به یک مقاله مشترک استناد کنند. به‌همین ترتیب، هم‌استناد زمانی اتفاق می‌افتد که دو سند با هم توسط یک سند سوم مشترک ذکر شوند. شکل‌های ۱۳(الف) و ۱۳(ب) به‌ترتیب نقشه جفت علم‌سنجی اسناد و منابع را نشان می‌دهند. از ۲۳۳۴ سند، ۱۲۶۴ مورد این آستانه را برآورده کردند، یعنی حداقل تعداد استنادها برای تحلیل یک سند، پنج مورد بود. درمجموع هفت خوشه به‌دست آمد. Werner و همکاران (۲۰۱۳) دارای بالاترین استناد ۹۱۷ است که قدرت پیوند تجمعی ۹۴۳ را نشان می‌دهد، پس از آن Galloway و همکاران (۲۰۰۲) با ۵۲۲ استناددهی و قدرت پیوند کل ۳۷۴ است. به‌طور مشابه در بخش نشریات نیز از ۷۳۶ منبع، ۸۹ منبع آستانه را برآورده کردند. حداقل تعداد اسناد برای یک منبع ۵ بود. بیش‌ترین تعداد اسناد به‌ترتیب مربوط به نشریات Journal of hydrology، Water resources research و Water است که استنادات مربوط به آن‌ها نیز به‌ترتیب ۴۲۳۰، ۳۶۷۴ و ۵۶۹ است. در بخش استنادات مشترک نیز در مجموع ۵ خوشه از منابع استناد شده شناسایی شد که دو گروه بزرگ از منابع استناد شده به‌ترتیب شامل ۲۸ و ۲۶ سند هستند (شکل ۱۴پ).

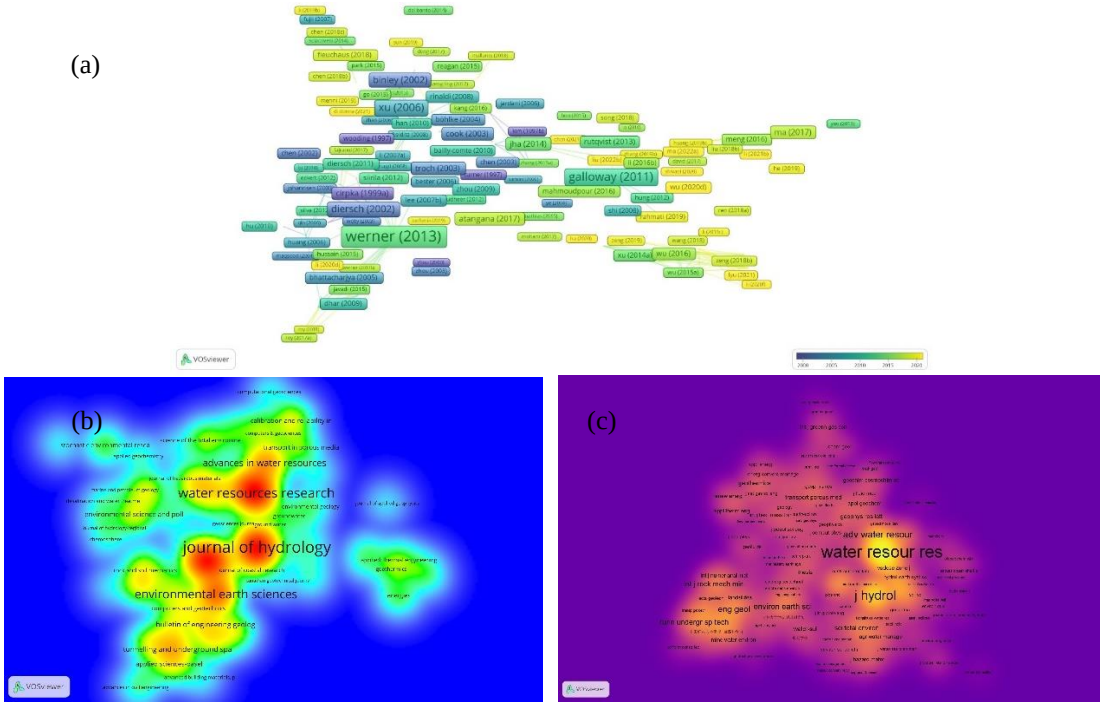


شکل ۱۳- تحلیل نویسنده همکار (الف) نقشه نویسنده همکار ۱۴ نویسنده که درزمینه تألیفات "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" بیش‌ترین همکاری را داشته‌اند (ب) نقشه نویسنده همکار سازمان‌های بین‌المللی را شناسایی می‌کند. (پ) نقشه نویسنده همکار کشورها.

Figure 13. Co-authorship analysis (A) co-authorship map, which identifies 14 authors who collaborated in numerical simulation and groundwater publications (B) co-authorship map of international organizations. (C) the co-authorship map of countries.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]

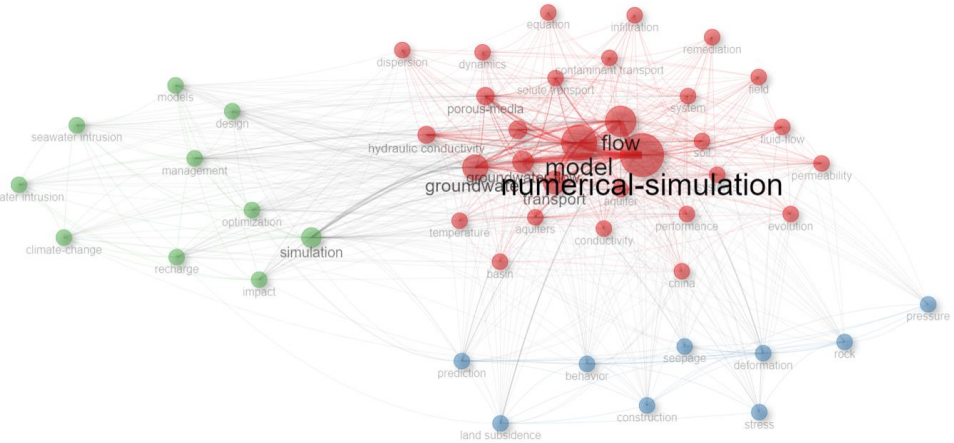


شکل ١٤- تحلیل پیوند علم‌سنجی (اسناد (الف) و منابع (ب)) و استنادات مشترک (منابع (ج)). رنگ‌های مختلف نشان‌دهنده زمینه‌های تحقیقاتی متمایز است. اندازه حلقه‌ها به‌عنوان شاخصی از میزان هم استنادی عمل می‌کند. فاصله بین حلقه‌ها نشان‌دهنده درجه همبستگی بین دو حلقه است.

Figure 14. Analysis of bibliographic coupling (documents (a) and sources (b)) and co-citation (sources (c)). the various colors represent distinct research fields. The size of the rings serves as an indicator of the quantity of co-citations. The inter-ring distance denotes the degree of correlation between the two rings.

آنالیز هم‌زمانی همه کلمات کلیدی

یک شبکه از کلمات کلیدی مشترک که اغلب در مطالعات روی "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" استفاده می‌شود در شکل ۱۵ نشان داده شده است که بر اساس Bibioshiny به‌دست آمده است. سه خوشه را به رنگ قرمز، آبی و سبز نشان می‌دهد. این چهار خوشه و موقعیت‌های گره‌ای آن‌ها بر اساس مقادیر اندازه‌گیری‌های بین، نزدیکی و رتبه مقاله بود.



شکل ١٥- تجسم شبکه هم کلمه: رنگ‌های مختلف نشان‌دهنده خوشه‌های کلمات است. اندازه برچسب نشان می‌دهد که هر کلمه کلیدی چقدر تکرار می‌شود. هر دسته از کلمات کلیدی اغلب باهم فهرست می‌شوند.

Figure 15- Visualization of the co-word network: different colors represent clusters of words. Tag size indicates how often each keyword is repeated. Each category of keywords is often listed together.

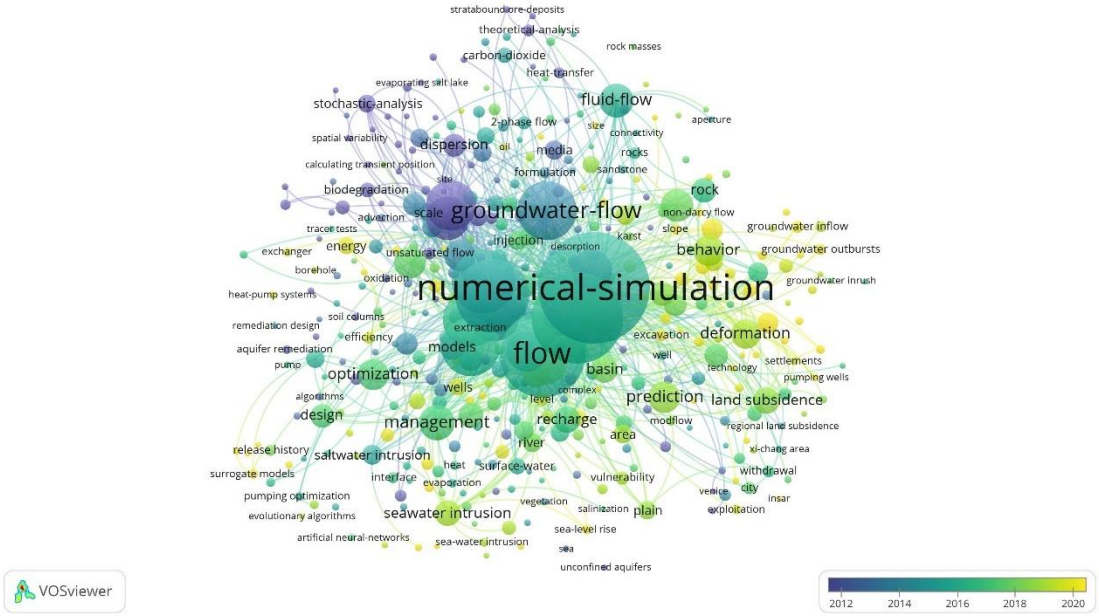
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]

روندهای موجود و پیشنهادات آتی

به‌منظور آنالیز روند استفاده از کلمات کلیدی، شش خوشه از هم رخدادی همه کلید واژه‌ها به‌دست آمد. شکل ۶ نقشه شبکه‌ای از موضوعات روند را بر اساس کلمات کلیدی استفاده‌شده نشان می‌دهد. بنفش نشان‌دهنده موضوعات تحقیقاتی است که در گذشته مورد بررسی قرار گرفته‌اند، درحالی‌که رنگ زرد نشان‌دهنده موضوعات موردعلاقه اخیر هستند. کلمات کلیدی (مسائل) سازه‌ای، انرژی، فشار، دگردیسی، نفوذ آب دریا، هجوم (آب زیرزمینی) و الگوریتم‌ها در دایره‌های زرد نشان‌دهنده تحقیقات اخیر است (شکل ۱۶).

حوزه "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" در طول سال‌ها شاهد تغییر پویا در موضوعات تحقیقاتی بوده است. شکل ۱۷ گرایش‌های موضوعی را نشان می‌دهد که از کلمات کلیدی نویسندگان برای آیتم‌های منابع استخراج شده است. این خط یک جدول زمانی روند موضوع را نشان می‌دهد و شعاع دایره متناسب با تعداد اسنادی است که از یک روند موضوع پیروی می‌کنند. هرچه رنگ دایره تیره‌تر باشد، گرایش موضوعی ارجاعات بیش‌تری دریافت می‌کند. بر اساس شکل ۱۷ برخی از موضوعاتی که در سال‌های ابتدایی گسترش تحقیقات "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" رواج بیش‌تری داشتند، اخیراً کمتر در مجامع علمی مورد بررسی هستند؛ ازجمله: توزیع فضایی، اجزای محدود، تحلیل تصادفی، انتقال انبوه، چگالی متغیر، جریان غیر اشباع و پراکندگی ماکرو (Macrodispersion). هم‌چنین برخی کلمات اخیراً بیش از پیش روند شده و می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای تحقیقات نویسندگان قرار گیرد که تعدادی از مهم‌ترین آن‌ها شامل (جریان) تهاجمی (inrush)، زهکشی (آب زیرزمینی)، الگوریتم، نفوذپذیری، مدیریت، حوضه، هدایت هیدرولیکی و حمل مواد محلول هستند (شکل ۱۷).

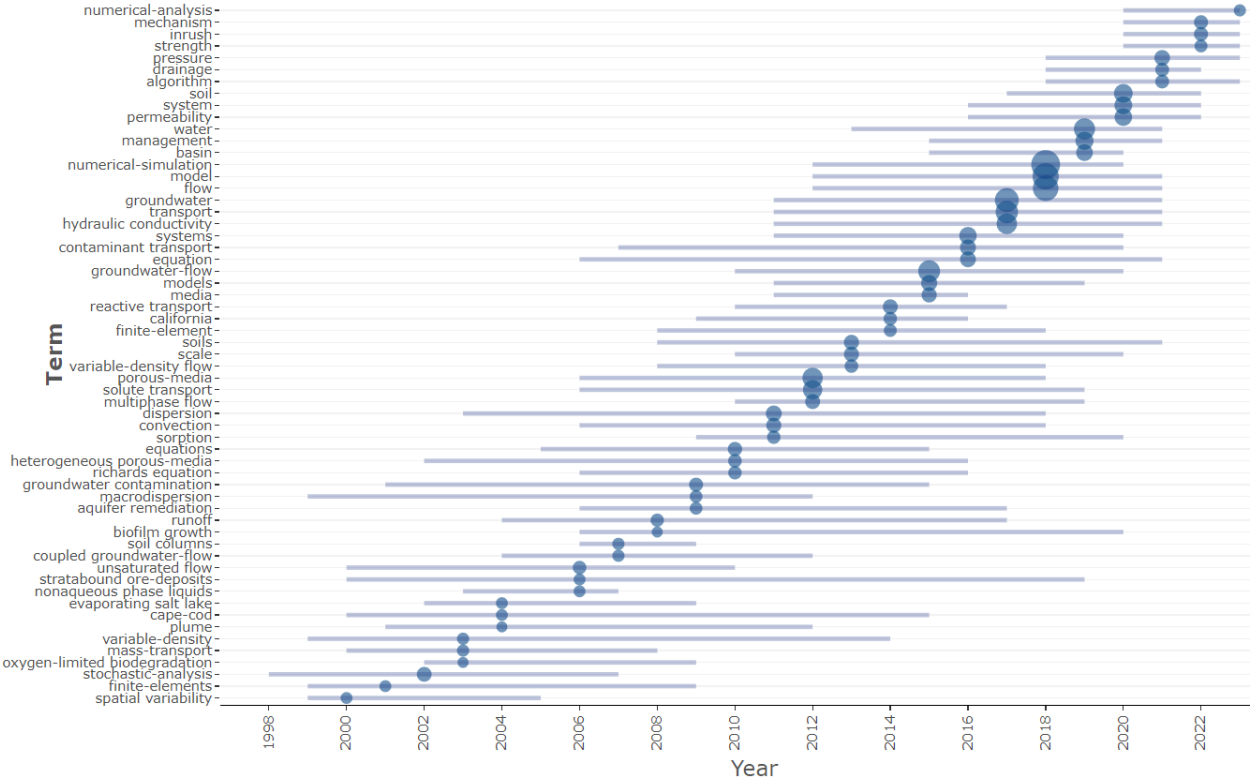


شکل ۱۶- تحلیل کتاب‌سنجی کلمات کلیدی: نقشه روند شبکه موضوعات با توجه به کلمات کلیدی. اندازه حلقه‌ها نشان‌دهنده فراوانی تکرار به‌عنوان کلمات کلیدی است. فاصله بین دو حلقه همبستگی آن‌ها را نشان می‌دهد. رنگ زرد نشان‌دهنده تحقیقات جدید بوده، درحالی‌که رنگ بنفش بیانگر تحقیقات سال‌های گذشته است.

Figure 16- Keyword bibliometric analysis: topic network trend map according to keywords. The size of the circles indicates the frequency of repetition as keywords. The distance between two circles shows their correlation.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]



شکل ۱۷- موضوعات پرطرفدار کلمات کلیدی اخیر در تحقیقات "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۲۳.

Figure 17- Trend Topics of Keywords on numerical simulation and Groundwater research from 1997 to 2023.

نتیجه‌گیری

سفره‌های زیرزمینی همواره از منابع مهم تأمین آب در جهان به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک و خشک با میزان بارندگی کم و کمبود منابع آب سطحی بوده‌اند. در دهه‌های اخیر به‌دلیل افزایش جمعیت، نیاز به آب به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته و از طرف دیگر با کاهش بارش‌ها و بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، سفره‌های زیرزمینی به‌طور جدی مورد تهدید قرار گرفته است؛ با این‌حال، برنامه‌ریزی و مدیریت خوب درنتیجه درک خوب رفتار سفره‌های زیرزمینی می‌تواند به حل این موضوع و تضمین استفاده پایدار و بهینه از آن‌ها برای ما و نسل‌های بعدی ما کمک کند. در سال‌های اخیر پیشرفت‌های فن‌آورانه گسترده در هیدرولوژی آب‌های زیرزمینی مشاهده شده است. پژوهش علم‌سنجی حاضر نشان‌دهنده علاقه روزافزون اخیر مؤسسات، مجلات، محققان، کشورها و آژانس‌های تأمین مالی به تحقیقات "شبیه‌سازی عددی" و "آب زیرزمینی" است. با کشف کاربردهای پرشمار مدل‌های مبتنی بر شبیه‌سازی عددی در مطالعات آب زیرزمینی مقالات دانشگاهی بیش‌تری در این زمینه منتشر شده است. یکی از حوزه‌های رشد فن‌آوری در توسعه و استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی عددی، پارامترهای توزیع‌شده برای تحلیل جریان و انتقال املاح در سیستم‌های آب زیرزمینی بوده است. این پیشرفت‌ها تا حدودی با توسعه و دسترسی گسترده‌تر به حافظه‌های سریع‌تر، بزرگ‌تر، توانمندتر و در عین حال کم‌هزینه‌تر سیستم‌های رایانه‌ای مشابه است. یکی دیگر از حوزه‌های رشد فن‌آورانه عمده در استفاده از تحلیل‌های ایزوتوپی در هیدرولوژی آب‌های زیرزمینی بوده است، که در آن اندازه‌گیری‌های ایزوتوپی برای کمک به تفسیر و تعریف مسیرهای جریان آب زیرزمینی، سن، نواحی تغذیه، نشت و برهم‌کنش با آب‌های سطحی استفاده می‌شود. ارزیابی کمی و کیفی مقالات پژوهشی و استخراج بینش‌های عمیق از اهمیت بالایی برخوردار است. نقش تحقیقات علمی در درک روش‌ها و کاربردهای ویژه شبیه‌سازی عددی در مطالعات آب‌زیرزمینی، اهمیت دارد. بر اساس یافته‌های پژوهش، مطالعه جریان‌های تهاجمی (inrush) و عملکرد الگوریتم‌های تکاملی می‌تواند از نقاط داغ آینده باشد. تجزیه و تحلیل علم‌سنجی، علی‌رغم محاسن متعدد، بر مجموعه‌ای محدود از داده‌ها و تکنیک‌های بیبلیومتریک تکیه می‌کنند و فقط درک بخشی از زمینه موردمطالعه را ارائه می‌نمایند؛ از طرفی با وجود آن‌که راهنماهای معتبری در مورد بررسی‌های سیستماتیک ادبیات موجود است، اما این منابع وسعت و عمق کافی در ارتباط با روش کتاب‌سنجی ارائه نمی‌کنند، که از محدودیت‌های پژوهش حاضر به حساب می‌آید.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

حمایت مالی: این پژوهش از حمایت مالی استفاده نشده است.

مشارکت نویسندگان: معین توسن، مهدی دستورانی، ابوالفضل اکبرپور و محمدرضا قریب.

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

منابع

۱. اکبرپور، ابوالفضل، دستورانی، مهدی، توسن، معین و قریب، محمدرضا. (۱۴۰۳). تحلیل کارایی اجزای محدود در مطالعات آب زیرزمینی بر اساس Web of Science با استفاده از R Biblioshiny. *آبخوان و قنات*، ۴(۲)، ۱۳۱-۱۴۸. **doi: 10.22077/jaaq.2024.7481.1071**

۲. توسن، معین و بیرانوند، زینب. (۱۴۰۲). نقش تحلیل سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف برای حوزه‌های کوچک فاقد ایستگاه در پایداری آبخوان‌ها. *آبخوان و قنات*، ۴(۱)، ۱۶۹-۱۸۰. **doi: 10.22077/jaaq.2023.6998.1054**

۳. توسن، معین، ماروسی، علی و خزیمه‌نژاد، حسین. (۱۴۰۳). بررسی عملکرد الگوریتم هیبریدی بهینه‌سازی خرگوش مصنوعی (ANN-ARO) در پیش‌بینی تبخیر و تعرق مرجع با پارامترهای اقلیمی محدود. *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۲(۱)، ۴۷-۶۶. **URL: http://jircsa.ir/article-1-536-fa.html**

References

1. Abd-Elaty, I., Kuriqi, A., Pugliese, L., Zelenakova, M., & El Shinawi, A. (2023). Mitigation of urban waterlogging from flash floods hazards in vulnerable watersheds. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, *47*, 101429. doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101429
2. Aizhulov, D., Tungatarova, M & ,.Kaltayev, A. (2022). Streamlines based stochastic methods and reactive transport simulation applied to resource estimation of roll-front uranium deposits exploited by in-situ leaching. *Minerals*, *12*(10), 1209. doi.org/10.3390/min12101209
3. 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. doi:10.22077/jaaq.2024.7481.1071. [In Persian].
4. Allocca, V., Castellucci, L., Coda, S., Coromaldi, M., De Vita, P., & Marzano, E. (2023). Integrating hydrogeological and economic analyses of groundwater flooding in an urban aquifer: the plain of Naples (Italy) as a case study. *International Journal of Environmental Studies*, *80*(5), 1400-1416. doi.org/10.1080/00207233.2023.2180197
5. Allocca, V., De Vita, P., Calcaterra, D., di Martire, D., & Coda, S. (2021). Rising groundwater levels in the Neapolitan area and its impacts on civil engineering structures, agricultural soils and archaeological sites. doi.org/10.7343/as-2022-560
6. AlRyalat, S. A., Saleh, M., Alaqraa, M., Alfukaha, A., Alkayed, Y., Abaza, M., Saa, H. A., & Alshamiry, M. (2019). The impact of the open-access status on journal indices: a review of medical journals. *F1000Research*, *8*. doi:10.12688/f1000research.17979.1
7. Amanambu, A. C., Obarein, O. A., Mossa, J., Li, L., Ayeni, S. S ,.Balogun, O., Oyebamiji, A., & Ochege, F. U. (2020). Groundwater system and climate change: Present status and future considerations. *Journal of Hydrology*, *589*, 125163. doi:10.1016/j.jhydrol.2020.125163
8. Ataei, P., Takhtravan, A., Gheibi, M., Chahkandi, B., Faramarz, M. G., Wacławek ,S., Fathollahi-Fard, A. M., & Behzadian, K. (2024). An intelligent decision support system for groundwater supply management and electromechanical infrastructure controls. *Heliyon*, *10* (3). doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25036
9. Bae, M. S., Kim, J.-H., & Lee, S. (2024). Hydraulic containment of TCE contaminated groundwater using pulsed pump-and-treat: Performance evaluation and vapor intrusion risk assessment. *Environmental Pollution*, 123683. doi:10.1016/j.envpol.2024.123683
10. Baidya, A., & Saha, A. K. (2024). Exploring the research trends in climate change and sustainable development: A bibliometric study. *Cleaner Engineering and Technology*, 100720. doi.org/10.1016/j.clet.2023.100720
11. Banaei, S. M. A., Javid, A. H., & Hassani, A. H. (2021). Numerical simulation of groundwater contaminant transport in porous media. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18(1), 151-162. doi.org/10.1007/s13762-020-02825-7
12. Barazzetti, L. (2024). Spatio-temporal analysis of georeferenced time-series applied to structural monitoring. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, *14*(1), 163-18. doi.org/10.1007/s13349-023-00743-z
13. Bubakran, K. S., Novinpour, E. A., & Aghdam, F. S. (2023). A comparative study of artificial neural networks and support vector machines for predicting groundwater levels in the Ziveh Aquifer–West Azerbaijan, NW Iran. *Arabian Journal of Geosciences*. 16(4), 287. doi:10.1007/s12517-023-11180-z.
14. Chen, H., Xue, Y., & Qiu, D. (2023). Numerical simulation of the land subsidence induced by groundwater mining. *Cluster Computing*, *26*(6), 3647-3656. doi.org/10.1007/s10586-022-03771-4

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]

15. Chen, M., Jiang, Z., Feng, G., Chen, M., & Du, Z. (2024). Improving the efficiency of in situ uranium leaching (remediation) with periodic injection and extraction: Insight from reactive transport modeling and field test. *Journal of Hydrology*, *630*, 130767. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130767
16. Cuthbert, M., Befus, K., Hartmann, J., Lehner, B., Gleeson, T., & Moosdorf, N. (20 .(۱۹Global'water table ratio'and'groundwater response time'raster data. doi:10.1038/s41558-018-0386-4
17. Das, M., Bhattacharjya, R. K., & Kartha, S. A. (2024). ANN-SFLA based parameter estimation method for an unsaturated–saturated simulation model. *Modeling Earth Systems and Environment*, *10*(1), 751-765. doi:10.1007/s40808-023-01797-0
18. Ejaz, F., Guthke, A., Wöhling, T., & Nowak, W. (2023). Comprehensive uncertainty analysis for surface water and groundwater projections under climate change based on a lumped geo-hydrological model. *Journal of Hydrology*, *626*, 130323. doi:10.1016/j.jhydrol.2023.130323
19. Farahmand, A., Hussaini, M. S., Jawadi, H. A., Abrunhosa, M., & Thomas, B. F. (2023). Multi-criteria decision process to identify groundwater potential zones using geospatial tools in the Arghandab river basin, Afghanistan. *Environmental Earth Sciences*, *82*(14), 362. doi:10.21203/rs.3.rs-2561944/v1
20. Farooq, R. (2024). A review of knowledge management research in the past three decades: a bibliometric analysis. *VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems*, *54*(2), 339-378. doi:10.1108/VJIKMS-08-2021-0169
21. Golian, M., Abolghasemi, M., Hosseini ,A., & Abbasi, M. (2021). Restoring groundwater levels after tunneling: a numerical simulation approach to tunnel sealing decision-making. *Hydrogeology Journal*. doi:10.1007/s10040-021-02315-1
22. Guo, J., Cao, W., Lang, G., Sun, Q., Nan, T., Li, X., Ren, Y., & Li, Z. (2024). Worldwide Distribution, Health Risk, Treatment Technology, and Development Tendency of Geogenic High-Arsenic Groundwater. *Water*, *16*(3), 478. doi.org/10.3390/w16030478
23. Guzy, A., & Malinowska, A. A. (2020). State of the art and recent advancements in the modelling of land subsidence induced by groundwater withdrawal. *Water*, *12*(7), 2051. doi.org/10.3390/w12072051
24. Kraus, S., Bouncken, R. B., & Yela Aránega, A. (2024). The burgeoning role of literature review articles in management research: an introduction and outlook. *Review of Managerial Science*, 1-16. doi:10.1007/s11846-024-00729-1
25. Krowne ,C. M. (2024). Physics, electrochemistry, chemistry, and electronics of the vanadium redox flow battery by analyzing all the governing equations. *Physical Chemistry Chemical Physics*, *26*(4), 2823-2862 .
26. Kurmanseiit, M. B., Tungatarova, M. S., Royer, J.-J ,.Aizhulov, D. Y., Shayakhmetov, N. M., & Kaltayev, A. (2023). Streamline-based reactive transport modeling of uranium mining during in-situ leaching: Advantages and drawbacks. *Hydrometallurgy*, *220*, 106107. doi.org/10.3390/min12111340
27. Leone, G., Ginolfi, M., Esposito, L., & Fiorillo, F. (2024). Relationships between River and Groundwater Flow in an Alluvial Plain by Time Series Analysis and Numerical Modeling. *Water Resources Management*, 1-18. doi:10.21203/rs.3.rs-3672775/v1
28. Li, H., Tang, Z., & Xiang, D. (2023). The Research on Controlling Groundwater Pollution Caused by In-Situ Leaching Uranium: A Case Study in Bayan-Uul Area, Northern China .
29. Li, H., Tang, Z., & Xiang, D. (2024). Study on Numerical Simulation of Reactive-Transport of Groundwater Pollutants Caused by Acid Leaching of Uranium: A Case Study in Bayan-Uul Area, Northern China. *Water*, *16*(3), 500. doi.org/10.3390/w16030500
30. Li, L., Zhang, Q., Zhou, Z., Cui, Y., Zhao, Y., Zhao, J., & Shao, J. (2023). Regional groundwater flow pattern in fractured bedrock with a high-level radioactive waste repository: numerical simulation of the Xinchang site, northwestern China. *Hydrogeology Journal*, *31*(8), 2159-2176. 10.1007/s10040-023-02714-6
31. Li, M., Xie, Y., Dong, Y., Wang, L., & Zhang, Z. (2024). Recent progress on groundwater recharge research in arid and semiarid areas of China. *Hydrogeology Journal*, 2(1), 30-39. doi:10.1007/s10040-023-02656-z
32. Li, X., Lu, D., Lin, Q., Kong, F., & Du, X. (2023). A simple numerical simulation method for unsaturated stratum under the water environmental load. *Computers and Geotechnics*, *154*, 105177. doi:10.1007/s10040-023-02656-z
33. Lo, W., Purnomo, S. N., Dewanto, B. G., Sarah, D & ,.Sumiyanto. (2022). Integration of numerical models and InSAR techniques to assess land subsidence due to excessive groundwater abstraction in the coastal and lowland regions of semarang city. *Water*, *14*(2), 201. doi.org/10.3390/w14020201
34. Lombardi, F., & Lualdi, M. (2023). Testing of a GPR equipment to assess the integrity condition of a subway tunnel located under groundwater level. *Near Surface Geophysics*, *21*(6), 473-485. doi:10.1002/nsg.12249
35. Mahajan, P. S., Raut, R. D., Kumar, P. R., & Singh, V. (2024). Inventory management and TQM practices for better firm performance: a systematic and bibliometric review. *The TQM Journal*, *36*(2), 405-430. doi.org/10.1108/tqm-04-2022-0113
36. Manafiazar, A., Khamehchiyan, M., Nadiri, A. A., & Sharifikia, M. (2024). Learning simple additive weighting parameters for subsidence vulnerability indices in Tehran plain (Iran) by artificial intelligence methods. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, *28*(1), 108-127. doi:10.1080/19648189.2023.2205914
37. Navarro-Farfán, M. d. M., García-Romero, L., Martínez-Cinco, M. A., Hernández-Hernández, M. A., & Sánchez-Quispe ,S. T. (2024). Comparison between MODFLOW groundwater modeling with traditional and distributed recharge. *Hydrology*, *11*(1), 9. doi.org/10.3390/hydrology11010009

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]

38. Nikoletos, I., & Katsifarakis, K. (2024). The method of images revisited: Approximate solutions in wedge-shaped aquifers of arbitrary angle. *Water Resources Research*, *60*(2), e2022WR034347. doi:10.1029/2022WR034347
39. Omar, P. J., Gaur, S., Dwivedi, S., & Dikshit, P. (2020a). A modular three-dimensional scenario-based numerical modelling of groundwater flow. *Water Resources Management*, *34*(6), 1913-1932. doi:10.1007/s11269-020-02538-z
40. Ouaf ,M. E., & Abouzeid, M. (2024). Chemically reacted blood Cu O nanofluid flow through a non-Darcy porous media with radially varying viscosity. *Scientific Reports*, *14*(1), 1650. doi.org/10.1038/s41598-023-48692-3
41. Pranajaya, E., Alexandri, M. B., Chan, A., & Hermanto, B. (2024). Examining the influence of financial inclusion on investment decision: A bibliometric review. *Heliyon*. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e25779
42. Rajaeian, S., Ketabchi, H., & Ebadi, T. (2024). Investigation on quantitative and qualitative changes of groundwater resources using MODFLOW and MT3DMS: a case study of Hashtgerd aquifer, Iran. *Environment, Development and Sustainability*, *26*(2), 4679-4704. doi:10.1007/s10668-022-02904-4
43. Rasera, J. B., da Silva, R. F., Mourão Filho, F. d. A. A., Delbem, A. C. B., Saraiva, A. M., Sentelhas, P. C., & Marques, P. A. A. (2023). Climate change and citriculture: A bibliometric analysis. *Agronomy*, 13(3), 723. doi.org/10.3390/agronomy13030723
44. Ringel, L. M., Illman, W. A., & Bayer, P. (2024). Recent developments, challenges, and future research directions of tomographic characterization of fractured aquifers. *Journal of Hydrology*. 130709. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130709
45. Shahverdi, K., & Maestre, J. M. (2023). Holistic Framework for Canal Modernization: Operation Optimization, and Economic and Environmental Analyses. *Water Resources Management*, *37*(15), 6145-6164. doi:10.1007/s11269-023-03647-1
46. Triplett, A., & Condon, L. E. (2023). Climate-warming-driven changes in the cryosphere and their impact on groundwater–surface-water interactions in the Heihe River basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, *27*(14), 2763-2785. doi.org/10.5194/hess-27-2763-2023
47. Tosan, M., Maroosi, A., Khozeymehnezhad, H. (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. URL: http://jircsa.ir/article-1-536-fa.html [In Persian].
48. 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. doi: 10.22077/jaaq.2023.6998.1054 [In Persian].
49. Tosan, M., Khashei-Siuki, A., Maroosi, A., & Gharib, M. R. (2023). A Review of Smart Water Management for Sustainable Agriculture Based on the Internet of Things. *Water Management in Agriculture*.
50. Van Der Weiden, M., van Haperen, A. M., Kanters, T. J., & Wassen, M. (2023). Ecohydrogeochemistry of the Slikken van Flakkee, a former tidal wetland in the Netherlands. *Plant Ecology*, *224*(5), 417-434. doi.org/10.1007/s11258-023-01299-0
51. Veloutsou, C., & Liao, J. (2023). Mapping brand community research from 2001 to 2021: Assessing the field's stage of development and a research agenda. *Psychology & Marketing*, *40*(3), 431-454. doi.org/10.1002/mar.21782
52. Wang, T., Wu, Z., Wang, P., Wu, T., Zhang, Y., Yin, J., Yu, J., Wang, H., Guan, X., & Xu, H. (2023). Plant-groundwater interactions in drylands: A review of current research and future perspectives. *Agricultural and Forest Meteorology*, *341*, 109636. 10.1016/j.agrformet.2023.109636
53. Xie, H., Yu, M., Yan, H., Thomas, H. R., Chen, Y., & Chen, Y. (2023). Analytical model for the design of permeable reactive barriers considering solute transport in a dual-domain system. *Journal of Environmental Engineering*, *149*(9), 04023046. doi:10.1061/JOEEDU.EEENG-7159
54. Xie, X., Shi, J., Pi, K., Deng, Y., Yan, B., Tong, L., Yao, L., Dong, Y., Li, J., & Ma, L. (2023). Groundwater quality and public health. *Annual Review of Environment and Resources*, *48*, 395-418. doi.org/10.1146/annurev-environ-112321-114701
55. Zhang, L., Li, X., Han, J., Lin, J., Dai, Y., & Liu, P. (2024). Identification of surface water-groundwater nitrate governing factors in Jianghuai hilly area based on coupled SWAT-MODFLOW-RT3D modeling approach. *Science of The Total Environment*, *9.168830*, *12*. doi:10.1016/j.scitotenv.2023.168830
56. Zhang, Q., Qian, H., Xu, P., Liu, R., Ke, X., Furman, A., & Shang, J. (2023). A numerical assessment and prediction for meeting the demand for agricultural water and sustainable development in irrigation area. *Remote Sensing*, *15*(3), 571. doi.org/10.3390/rs15030571
57. Zhang, S., Wang, X.-S., Han, P.-F., & Jiang, X.-W. (2024). New particle tracking method for 2D steady-state groundwater flow around wells: A modified algorithm using the stream function. *Journal of Hydrology*, 130928. doi: 10.1016/j.jhydrol.2024.130928
58. Zhou, N., Lu, S., Cai, Y., & Zhao ,S. (2022). Site Investigation and Remediation of Sulfate-Contaminated Groundwater Using Integrated Hydraulic Capture Techniques. *Water*, *14*(19), 2989. doi.org/10.3390/w14192989
59. Zou, L., & Cvetkovic, V. (2023). Disposal of high-level radioactive waste in crystalline rock: On coupled processes and site development. *Rock Mechanics Bulletin*, *2*(3), 100061. doi.org/10.1016/j.rockmb.2023.100061

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.6.1]