



Scientometric Analysis of Research Trends and Identification of Knowledge Gaps in Land Subsidence Studies in Iran

Seyede Zeynab Safavi¹ , Alireza Mahmoodi^{2*} , Elmira Asadi-Fard³ , Esmaeil Soheili⁴

1. MSc Student, Department of Range and watershed management, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Darab, Iran .E-mail: seyedehzeynabsafavi@gmail.com.
2. Assistant Professor, Department of Range and watershed management, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Darab, Iran. E-mail: alirezam Mahmoodi@saadi.shirazu.ac.ir
3. Ph.D., Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modaser University, Noor, Mazandaran, Iran. E-mail: Elma.asadifard@gmail.com.
4. Assistant Professor, Department of Range and watershed management, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Darab, Iran. E-mail: Es.sohaili@gmail.com.

Article Info

Article type:
Review Article

Article history:

Received 09 April 2026
Revised 05 May 2026
Accepted 02 June 2026
Available online 22 June 2026

Keywords:

Land Subsidence,
Scientometrics,
Research Gap,
Content Analysis,
Critical Review,
Iran.

ABSTRACT

Objective: Land subsidence is a national crisis in Iran, necessitating a systematic analysis of the state of research. This study aimed to develop a critical-analytical scientometric review by integrating quantitative and qualitative data to provide a comprehensive picture of the knowledge production structure, trends, focuses, and, most importantly, the major research gaps in this field.

Method: This research is a scientometric review. A systematic search was conducted in Google Scholar and Ganj databases to collect all relevant scientific documents (articles, theses) on landsubsidence in Iran from 2001 to July 2025. After screening, 547 final documents were critically examined based on quantitative scientometric criteria (temporal and geographical distribution, document type, institutional affiliation) and through qualitative content analysis grounded in a four-pillar conceptual framework (groundwater, remote sensing, modeling, geotechnical-human factors).

Results: The findings indicate a significant growth in research publications since 2015, with the highest number of documents related to 1401 (89 documents) and 1403 (86 documents). In terms of document type, theses and dissertations accounted for the largest share with 243, followed by domestic scientific-research articles with 224, while the share of international articles was only 37, indicating a deep gap in the maturity and scientific publication of this field. However, three major structural gaps were identified: first, a gap in integrated coverage due to an unbalanced geographical focus on Tehran and Mashhad and neglect of other critical areas, including the Mahyar and Najafabad plains of Isfahan; second, an excessive thematic focus on groundwater and remote sensing and relative neglect of fault and construction factors; And third, the gap in implementation resulting from the weakness of predictive modeling studies and the inadequate linking of findings to policy-making and executive management processes.

Conclusions: This review demonstrates that despite quantitative growth, the quality of knowledge production in this field requires a strategic transformation. Overcoming the subsidence crisis necessitates a shift towards 1) Enhancing quality and international publication, 2) Designing integrated studies with balanced geographical-thematic coverage, and 3) Strengthening the science-policy-practice nexus. The results of this study can serve as a roadmap for targeting future research investments and effective policymaking.

Cite this article Safavi, S. Z., Mahmoodi, A., Asadi-Fard, A., Soheili, A. (2026). Bibliometric analysis of research trends and identification of knowledge gaps in the studies of land subsidence in Iran. *Journal of Ecohydrology*, 13(2), 1296-1315. <https://doi.org/10.22059/ije.2026.412357.1910>



© Seyedeh Zeinab Safavi, Alireza Mahmoodi, Elmira Asadi-Fard, Esmaeil Soheili.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ije.2026.412357.1910>

Introduction

Land subsidence, a complex geodynamic process, is considered one of the most significant contemporary anthropogenic natural hazards. This phenomenon, which has reached a critical stage in Iran due to the excessive exploitation of groundwater, has far-reaching consequences, including infrastructure damage and threats to food security. Recent research has utilized technologies like InSAR and artificial intelligence (machine and deep learning) for monitoring and modeling this phenomenon, but scientific dispersion has hindered a comprehensive understanding of trends and research gaps. Therefore, scientometrics, as a tool for quantitative and qualitative analysis of scientific outputs, is employed to map the knowledge dynamics, key actors, trends, and existing gaps in the field of land subsidence in Iran. The objective of this scientometric review is to identify the structure, trends, foci, and research gaps by analyzing publication patterns, spatial and institutional distribution of studies, and examining the direction of research in terms of hydrogeological factors, remote sensing, modeling, and tectonic and human factors. This study offers strategic recommendations for future research to bridge the gap between accumulated knowledge and management needs.

Research Methodology

This study, employing a critical scientometric approach and integrating quantitative and qualitative methods, analyzed 547 scientific documents published from 2001 to 2025 (1380–1404) on land subsidence in Iran. The primary goal was to analyze and map the research structure, trends, foci, and gaps by searching Google Scholar and the Iranian Scientific Information Database using relevant Persian and English keywords. Quantitative analysis included examining the temporal publication trend, document type, geographical distribution, institutional affiliation, publication venues, and highly prolific researchers. In the qualitative analysis, the content of the documents was explored based on a conceptual framework comprising hydrogeological factors, remote sensing, modeling, and tectonic-human factors. The results revealed significant gaps in scientific output, geographical and thematic coverage, and the application of findings. Limitations such as incomplete access to international databases and the absence of a comprehensive research system were considered in this study.

Findings

The remarkable growth in scientific publications on land subsidence in Iran (547 documents from 2001 to 2024), particularly after 2015, with the highest number of documents related to 1401 (89 documents) and 1403 (86 documents), indicates increasing scientific attention to this crisis. The majority of studies have focused on hydrogeological factors (315 documents) and remote sensing technologies (InSAR), confirming the link between groundwater level decline and subsidence in different plains such as Tehran, Varamin, and Mashhad. In terms of document type, theses and dissertations constituted the largest share with 243 items, followed by domestic scientific research articles with 224. In contrast, only 37 publications were indexed internationally, highlighting a substantial gap in the scientific maturity and international visibility of this research field. However, the neglect of factors like urban construction and the impact of faults, coupled with an imbalanced geographical focus on metropolises and the overlooking of other critical plains, has led to incomplete analyses and challenges in national planning. Limited access to centralized research projects and international resources also affects the generalizability of the results. Therefore, targeted research, addressing geographical and thematic gaps, encouraging international publication, and establishing integrated information systems are essential for translating knowledge into practical solutions for controlling this national crisis.

Conclusion

This study, through a comprehensive scientometric analysis of 547 scientific documents on land subsidence in Iran published between 2001 and 2025, clearly confirms the upward trend in publications over this period but simultaneously highlights three major significant research gaps. First, the focus of research has been disproportionately concentrated on metropolises such as Tehran and Mashhad, which hinders a comprehensive national understanding of the crisis across all affected plains. Second, human and tectonic factors including urban construction activities and the role of active faults have received far less attention compared to hydrogeological and remote sensing studies. Third, identifying leading institutions (Islamic Azad University, University of Tehran, University of Tabriz) and prolific researchers (e.g., Dr. Maryam Dehghan) reveals the existing scientific capacities that can be mobilized for future research. Therefore, to effectively combat land subsidence in Iran, it is essential to prioritize targeted research that addresses both geographical and thematic gaps, while also transforming theses into applicable and policy oriented projects. These actions are crucial for bridging the gap between academic knowledge and practical crisis management.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest regarding the writing and publication of the content and results of this research.

Ethical Considerations

The data and results used in this research will be made available through correspondence with the corresponding author.



تحلیل علم‌سنجی روندهای پژوهشی و شناسایی خلأهای دانشی در مطالعات فرونشست زمین ایران

سیده زینب صفوی^۱، علیرضا محمودی^۲، المیرا اسدی فرد^۳، اسماعیل سهیلی^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی اکوهیدرولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، داراب، ایران. رایانامه: seyedehzeynabsafavi@gmail.com
۲. نویسنده مسئول و استادیار بخش مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، داراب، ایران. رایانامه: alirezamahmoodi@saadi.shirazu.ac.ir
۳. دانش آموخته دکتری علوم و مهندسی محیط زیست، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران. رایانامه: Elma.asadifard@gmail.com
۴. استادیار بخش مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، داراب، ایران. رایانامه: Es.sohaili@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مروری	موضوع: پدیده فرونشست زمین به عنوان یک بحران ملی در ایران، مستلزم تحلیل نظام‌مند وضعیت پژوهش‌های انجام شده است. این مطالعه با هدف اصلی تدوین یک مرور علم‌سنجی انتقادی - تحلیلی انجام شد تا با تلفیق داده‌های کمی و کیفی، تصویری جامع از ساختار تولید علم، روندها، تمرکزها و به‌ویژه شکاف‌های پژوهشی کلان در این حوزه ترسیم کند.
تاریخچه مقاله:	هدف: پژوهش حاضر یک مرور علم‌سنجی است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۱/۲۰	روش تحقیق: با جست‌وجوی نظام‌مند در پایگاه‌های Google Scholar و گنج، کلیه مدارک علمی مرتبط (مقاله، پایان‌نامه، کتاب) با موضوع فرونشست ایران در بازه ۱۳۸۰ تا تیر ۱۴۰۴ گردآوری شد. پس از غربالگری، ۵۴۷ مدرک نهایی براساس معیارهای علم‌سنجی کمی (توزیع زمانی، جغرافیایی، نوع مدرک، وابستگی نهادی) و با تحلیل محتوای کیفی بر مبنای یک چارچوب مفهومی چهارمحوری به صورت انتقادی بررسی شدند.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۲/۱۵	یافته‌ها: نتایج بیانگر رشد قابل توجه انتشار تحقیقات از سال ۱۳۹۴ بوده، به طوری که بیشترین تعداد مدارک مربوط به سال‌های ۱۴۰۱ (۸۹ مدرک) و ۱۴۰۳ (۸۶ مدرک) است. از نظر نوع مدرک، پایان‌نامه‌ها و رساله‌ها با ۲۴۳ مورد بیشترین سهم را به خود اختصاص داده‌اند و پس از آن مقالات علمی - پژوهشی داخلی با ۲۲۴ مورد قرار دارند، در حالی که سهم مقالات بین‌المللی تنها ۳۷ مورد بوده که نشان‌دهنده شکاف عمیق در بلوغ و انتشار علمی این حوزه است. با این وجود، سه شکاف ساختاری کلان شناسایی شد: نخست، شکاف در پوشش یکپارچه به واسطه تمرکز جغرافیایی نامتوازن بر تهران و مشهد و غفلت از کانون‌های بحرانی دیگر از جمله دشت‌های مهبیار و نجف‌آباد اصفهان؛ دوم، تمرکز موضوعی افراطی بر آب زیرزمینی و سنجش از دور و بی‌توجهی نسبی به عوامل گسل و ساخت‌وساز و سوم، شکاف در کاربردی‌سازی ناشی از ضعف مطالعات مدل‌سازی پیش‌بینانه و پیوند ناکافی یافته‌ها با فرایندهای سیاست‌گذاری و مدیریت اجرایی
کلیدواژه‌ها:	نتیجه‌گیری: این مرور نشان می‌دهد با وجود کمیت رو به رشد، تولید علم در این حوزه از نظر کیفی نیازمند یک تحول راهبردی است. عبور از بحران فرونشست مستلزم حرکت به سمت: (۱) ارتقای کیفیت و انتشار بین‌المللی؛ (۲) تعریف مطالعات یکپارچه با پوشش جغرافیایی - موضوعی متوازن؛ (۳) تقویت پیوند علم و عمل است. نتایج این مطالعه می‌تواند به عنوان نقشه‌ای برای هدفمندسازی سرمایه‌گذاری‌های پژوهشی آینده و سیاست‌گذاری مؤثر مورد استفاده قرار گیرد.
فرونشست زمین، علم‌سنجی، شکاف پژوهشی، تحلیل محتوا، مرور انتقادی، ایران.	

استناد: صفوی، س. ز.؛ محمودی، ع.؛ اسدی فرد، ا.؛ سهیلی، ا. (۱۴۰۵). تحلیل علم‌سنجی روندهای پژوهشی و شناسایی خلأهای دانشی در مطالعات فرونشست زمین

ایران. مجله اکوهیدرولوژی، ۱۳(۲)، ۱۲۹۶ - ۱۳۱۵. <https://doi.org/10.22059/ije.2026.412357.1910>



© سیده زینب صفوی، علیرضا محمودی، المیرا اسدی فرد و اسماعیل سهیلی

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

فرونشست زمین به عنوان یک فرایند ژئودینامیکی پیچیده، از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی انسانی معاصر به شمار می‌رود که در نتیجه تخلیه سیالات زیرسطحی، به‌ویژه برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی، تراکم مکانیکی رسوبات سست و در برخی موارد فعالیت‌های زمین‌ساختی رخ می‌دهد (گودرزی و همکاران، ۱۴۰۴). بررسی‌های میدانی در یکی از شهرستان‌ها (رفسنجان) بیانگر این بود که شدت آسیب‌های سازه‌ای ناشی از فرونشست در مناطقی با تراکم بالاتر چاه‌های بهره‌برداری و حجم بیشتر برداشت آب زیرزمینی متمرکز شده است؛ به گونه‌ای که ترک‌های عمیق دیوارها، نشست نامتقارن پی‌ها و جدایش‌های عمودی در سازه‌های نوساز نیز مشاهده می‌شود (حسینی‌پور، ۱۴۰۵). این پدیده در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان شدت بیشتری یافته و در کشور ایران، به واسطه فشار فزاینده بر منابع آب زیرزمینی، رشد تقاضای بخش‌های کشاورزی و شهری و تداوم دوره‌های خشکسالی، به مرحله بحرانی نیز رسیده است (مهرابی و همکاران، ۱۴۰۲). اهمیت این مسئله فقط به تغییرات مورفولوژیک سطح زمین محدود نشده، بلکه دامنه‌ای گسترده از پیامدهای زیرساختی، هیدرولوژیکی و زیست‌محیطی را در بر گرفته است؛ از تخریب شبکه‌های انتقال آب و انرژی، خطوط حمل‌ونقل و سازه‌های شهری گرفته تا تغییر رفتار آبخوان‌ها، ایجاد شکاف‌های عمیق، ناپایداری زمین و در نهایت تهدید امنیت غذایی و سکونتگاه‌های انسانی (حسن‌زاده، ۱۴۰۰؛ صفری و همکاران، ۱۳۹۷). فراتر از پیامدهای فیزیکی، فرونشست زمین در استان اصفهان به یک مسئله سیاسی - اجتماعی تبدیل شده است که کاهش سرمایه اجتماعی، تشدید تعارض‌های نهادی و بین‌استانی، و شکل‌گیری کنشگری جمعی و مطالبات سیاسی را در پی داشته است (بدیعی ازندهای و یوسفی شاتوری، ۱۴۰۵).

در ایران، براساس پایش‌های مبتنی بر فناوری‌های نوین سنجش از دور و مطالعات میدانی، بیش از ۳۰۰ دشت از ۶۰۹ دشت کشور با درجات مختلفی از فرونشست مواجه هستند (خیری و همکاران، ۱۴۰۰). برخی کانون‌های بحرانی نظیر دشت تهران، کرج، رفسنجان، مشهد و کبودرآهنگ با نرخ‌هایی فراتر از ۲۰ سانتی‌متر در سال، در زمره مناطق با بالاترین نرخ فرونشست در مقیاس جهانی قرار گرفته‌اند. برای نمونه، در دشت کهک (قم)، میانگین نرخ فرونشست ۲/۶ سانتی‌متر در سال برآورد شده و بیشترین میزان آن (۳/۹ سانتی‌متر در سال) در محدوده اکتشافی پاسگان رخ داده است که با افت سطح آب زیرزمینی به میزان ۳۶/۷۳ متر در دوره ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۹ همراه بوده و ضریب همبستگی ۰/۷۳ بین این دو پدیده در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنادار است (رجایی و عباسی‌پور مقدم، ۱۴۰۴). در پهنه مکران نیز بررسی نیمرخ‌های توپوگرافیکی نشان داده است که مناطق دارای نرخ بالای فراخاست زمین‌ساختی و برش عمقی رودها، با تغییرپذیری بالای ناهمواری محلی همراه هستند که می‌تواند بستر مناسبی برای تشدید فرونشست در نهشته‌های کواترنری فراهم آورد (منصوری، ۱۴۰۴). چنین ابعادی نشان می‌دهد مواجهه با این پدیده نیازمند درکی جامع، نظام‌مند و مبتنی بر شواهد از دانش تولیدشده در این حوزه است؛ دانشی که بتواند مبنای مدیریت ریسک، برنامه‌ریزی فضایی و سیاست‌گذاری کارآمد قرار گیرد (فرنام و همکاران، ۱۴۰۲).

در دو دهه گذشته، جامعه علمی ایران تلاش‌های گسترده‌ای در زمینه پایش، تحلیل و مدل‌سازی فرونشست زمین انجام دادند. توسعه فناوری تداخل‌سنجی راداری ($InSAR^1$)، امکان پایش دقیق و پهنه‌ای تغییرات سطح زمین را فراهم ساخته و افق‌های تازه‌ای در رصد مستمر این پدیده گشوده است (قنادی و همکاران، ۱۳۹۸). کاربرد روش‌های ژئوالکتریک (مقاومت ویژه الکتریکی) نیز در شناسایی گسل‌های پنهان مؤثر در فرونشست، مانند سامانه گسلی تلخاب در دشت میقان اراک، نشان داده است که گسل‌های فعال می‌توانند با ایجاد ناپیوستگی در لایه‌ها و تغییر فشار آب زیرزمینی، الگوی فرونشست را به طور محلی تشدید کنند (ندری و علیزاده، ۱۴۰۴). هم‌زمان با آن، گسترش مدل‌های عددی و روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، از جمله شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم‌های فازی - عصبی، ظرفیت پیش‌بینی و پهنه‌بندی خطر را به طور چشمگیری ارتقا داده است (آشوری و همکاران، ۱۴۰۲). مطالعات مدل‌سازی عددی با نرم‌افزار *Plaxis2D* نشان داده است که وجود لایه‌های رسی در آبخوان، فرونشست را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد و درصد جبران‌پذیری فرونشست از طریق تغذیه مصنوعی را از حدود ۹۰ درصد در آبخوان

ماسه‌ای به ۱۹ تا ۴۶ درصد کاهش می‌دهد؛ همچنین لایه‌های رسی منقطع باعث ایجاد فرونشست موج‌دار (غیریکنواخت) در سطح زمین می‌شوند (متقی و همکاران، ۱۴۰۴). افزون بر این، مطالعات متعددی به بررسی روابط کمی میان افت سطح آب زیرزمینی و میزان فرونشست، نقش ویژگی‌های زمین‌شناختی و سهم عوامل انسانی پرداخته‌اند (امیق‌پی و همکاران، ۱۴۰۲؛ قاسمی خلخالی و همکاران، ۱۴۰۲). تحلیل‌های مبتنی بر یادگیری ماشین، به‌ویژه مدل جنگل تصادفی^۲ با ضریب تبیین ۰/۹۵ در مرحله واسنجی و ۰/۹۳ در مرحله اعتبارسنجی، نشان داده است که سطح آب زیرزمینی، دما و بارش به ترتیب مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فرونشست هستند و تغییرات کاربری اراضی (به‌ویژه تبدیل مراتع به کشاورزی و باغ‌ها) نیز نقش قابل توجهی در تشدید این پدیده دارد (عابدی و همکاران، ۱۴۰۴). در رویکردی تازه، استفاده از تحلیل‌های احتمالاتی و توابع کاپولا برای مدل‌سازی عدم قطعیت در فرونشست ناشی از برداشت آب زیرزمینی مورد توجه قرار گرفته است. پژوهش‌ها نشان داده‌اند در خاک‌های سیلتی رسی، متغیرهای زمانی (زمان بروز تأثیرات آبی و تأخیری) در کوتاه‌مدت تأثیر کمتری نسبت به خصوصیات مکانیکی خاک دارند، اما در بلندمدت عدم قطعیت زمانی غالب می‌شود؛ همچنین تابع کاپولای فرانک به عنوان مناسب‌ترین تابع برای مدل‌سازی توأم عدم قطعیت متغیرهای زمانی و خصوصیات خاک معرفی شده است (نجاتی کالشمی و همکاران، ۱۴۰۴).

به عنوان مثال، در شهر تهران نیز با به‌کارگیری تکنیک *InSAR* مبتنی بر پراکنشگرهای دائم^۳ (*PS-InSAR*) و تحلیل سری‌های زمانی تصاویر راداری، پایش پدیده فرونشست در این کلان‌شهر صورت گرفت. تغییرات زمانی نرخ فرونشست و پراکنش مکانی آن تجزیه و تحلیل شد. براساس یافته‌های این مطالعه، نرخ فرونشست در بخش‌های جنوب غربی تهران به بیش از ۱۲ سانتی‌متر در سال رسیده و دقت روش مورد استفاده در محیط شهری حدود ۳ تا ۵ میلی‌متر در سال برآورد شد (فروغ‌نیا و همکاران، ۱۳۹۷). با تمرکز بر آبخوان دشت اردبیل، با تلفیق چارچوب مدل‌سازی احتمالی مرکب فرونشست (*PCSM*^۴) و سیستم استنتاج فازی (سوگنو)، برآورد کمی پتانسیل فرونشست صورت گرفت. پارامترهای هیدروژئولوژیکی و ژئوتکنیکی مؤثر به عنوان متغیرهای ورودی مدل استفاده شدند. براساس یافته‌های این مطالعه، مدل شبکه عصبی - فازی تطبیقی با سطح زیرمنحنی ۰/۸۹ بیشترین دقت را در شناسایی مناطق بحرانی جنوب و جنوب شرق دشت اردبیل نشان داد (خلیفی و همکاران، ۱۳۹۸).

با وجود این پیشرفت‌ها، تولیدات علمی موجود غالباً به صورت پراکنده و بدون یک ارزیابی کل‌نگر از ساختار کلی دانش شکل گرفته‌اند. نبود تصویری جامع از روندها، تمرکزها و شکاف‌های پژوهشی می‌تواند به تکرار مطالعات، توزیع نامتوازن منابع و غفلت از اولویت‌های راهبردی منجر شود. در چنین شرایطی، رویکرد علم‌سنجی به عنوان ابزاری نظام‌مند برای تحلیل کمی و کیفی تولیدات علمی، قادر است با ترسیم نقشه‌ای از پویایی‌های دانش، بازیگران اصلی، روندهای زمانی و خلأهای موجود را شناسایی کند. این رویکرد، به‌ویژه در حوزه‌های چندرشته‌ای و پیچیده‌ای همچون فرونشست زمین، امکان گذار از توصیف‌های موردی به تحلیل‌های ساختاری را فراهم می‌آورد (یونسی سینکی و آخوندزاده هنزائی، ۱۴۰۱).

علم‌سنجی به عنوان شاخه‌ای از کتاب‌سنجی، با به‌کارگیری روش‌های کمی به تحلیل و ارزیابی تولیدات علمی در یک حوزه خاص می‌پردازد (ناتاله^۵ و همکاران، ۲۰۱۲). این رویکرد با بررسی شاخص‌هایی همچون تعداد انتشارات، شبکه هم‌نویسی، توزیع جغرافیایی و نهادی مطالعات و تحلیل کلیدواژگان، امکان ترسیم نقشه‌ای جامع از ساختار و پویایی دانش در آن حوزه را فراهم می‌سازد (کاظمی و همکاران، ۱۴۰۱). در مواجهه با چالش‌های پیچیده‌ای مانند فرونشست زمین که ماهیتی چندرشته‌ای و حاد دارند، علم‌سنجی می‌تواند فراتر از تحلیل‌های محتوایی صرف عمل کند و با آشکارسازی الگوهای کلان تولید علم، قوت‌ها، ضعف‌ها و مهم‌تر از همه، شکاف‌های دانشی و تمرکزهای ناکارآمد را شناسایی کند (وینکلر^۶، ۲۰۱۰). در سطح جهانی، این رویکرد برای درک روندهای پژوهشی در حوزه‌های مرتبط با منابع آب، زمین‌شناسی مهندسی و مخاطرات طبیعی به طور گسترده‌ای به کار رفته

2 Random Forest

3 Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar

4 Point Count System Models

5 Natale

6 Vinkler

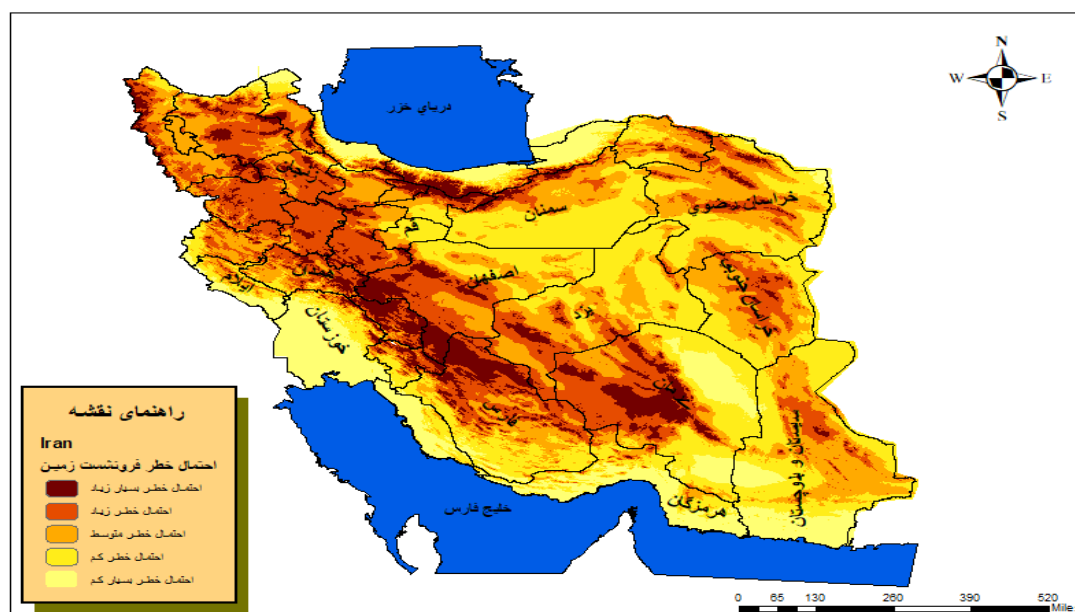
است (محمدی، ۱۴۰۲). با این حال، کاربرد نظام‌مند این رویکرد در تحلیل پژوهش‌های فرونشست زمین در ایران، علی‌رغم حجم قابل توجه مطالعات میدانی، کم‌رنگ بوده است. این در حالی است که فقدان چنین تحلیل کلانی می‌تواند به تکرار پژوهش‌ها، پراکندگی منابع و عدم شناسایی اولویت‌های پژوهشی استراتژیک منجر شود (محمدی و پورقاسمی، ۱۴۰۰).

بر این اساس، هدف اصلی این پژوهش انجام یک مرور علم‌سنجی تحلیلی انتقادی با تلفیق دو لایه تحلیل کمی (علم‌سنجی) و کیفی (تحلیل محتوای انتقادی) است تا با واکاوی نظام‌مند کلیه مدارک علمی منتشرشده در حوزه فرونشست زمین ایران، ساختار، روندها، تمرکزها و مهم‌تر از همه شکاف‌های پژوهشی موجود شناسایی شود. در این چارچوب، پژوهش حاضر سه محور اساسی را دنبال می‌کند: نخست، تحلیل کمی تولیدات علمی شامل روند زمانی انتشار، توزیع انواع مدارک، پراکندگی جغرافیایی مطالعات و سهم نهادها و پژوهشگران؛ دوم، تحلیل کیفی و انتقادی جهت‌گیری مطالعات در قالب چارچوبی چهارمحوری شامل عوامل هیدروژئولوژیک، سنجش‌ازدوری، مدل‌سازی و پیش‌بینی عوامل زمین‌ساختی و انسانی و سوم، تلفیق یافته‌های کمی و کیفی به‌منظور استخراج شکاف‌های کلان و ارائه پیشنهادهاى راهبردی برای هدایت تحقیقات آینده. در همین راستا، چارچوب تحلیلی این پژوهش در چهار گام متوالی سامان یافته است: گردآوری و تحلیل کمی مدارک بر اساس شاخص‌های استاندارد علم‌سنجی؛ تحلیل نظام‌مند محتوای مطالعات؛ تلفیق و سنتز یافته‌ها برای شناسایی شکاف‌های دارای پشتوانه آماری و مفهومی و در نهایت، تبدیل این شکاف‌ها به پیشنهادهاى سیاستی و پژوهشی کاربردی. چنین رویکردی، با پرهیز از تقلیل پژوهش به آمار توصیفی صرف یا مرور محتوایی محدود، می‌کوشد پلی میان دانش انباشته‌شده و نیازهای اجرایی و مدیریتی آینده ایجاد کند و به ابزاری راهبردی برای تصمیم‌گیری علمی در مواجهه با بحران فرونشست زمین تبدیل شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه‌شده

منطقه مطالعه‌شده در این پژوهش، کشور ایران در مقیاس ملی است که از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین مختصات عرض شمالی $25^{\circ} 00'$ تا $39^{\circ} 15'$ و طول شرقی $44^{\circ} 14'$ تا $63^{\circ} 18'$ قرار دارد (خیری و همکاران، ۱۴۰۰). از لحاظ موقعیت نسبی، ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان واقع شده و با داشتن رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس، فلات مرکزی وسیعی را شامل می‌شود. شرایط اقلیمی خشک همراه با وابستگی شدید به منابع آب زیرزمینی، دشت‌های ایران را به کانون‌های اصلی پدیده فرونشست تبدیل کرده است (حق‌شناس حقیقی و مطغ، ۱۴۰۳).

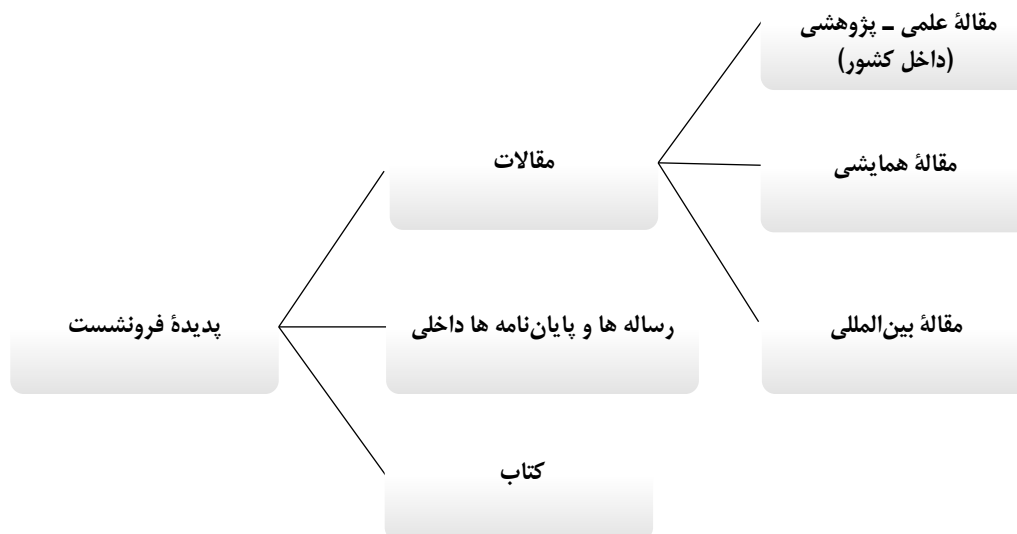


شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش

این پژوهش یک مرور علم‌سنجی تحلیلی - انتقادی با رویکرد ترکیبی (کمی و کیفی) است که با هدف ترسیم ساختار، روندها، تمرکزها و شکاف‌های پژوهشی در حوزه مطالعات فرونشست زمین در ایران انجام شده است. رویکرد اصلی، علم‌سنجی انتقادی است که در آن داده‌های کمی تولید علم، با تحلیل کیفی محتوای مدارک تلفیق شده تا تصویری عمیق‌تر و راهبردی از وضعیت پژوهش در این حوزه ارائه شود. محدوده پژوهش، کل کشور ایران را در بر می‌گیرد و کلیه مدارک علمی (اعم از داخلی و بین‌المللی) که به بررسی پدیده فرونشست در یک یا چند منطقه از ایران پرداخته‌اند، در دامنه این مرور قرار گرفتند. بازه زمانی مورد بررسی از سال ۱۳۸۰ (۲۰۰۱ میلادی) تا تیرماه ۱۴۰۴ (ژوئیه ۲۰۲۵) در نظر گرفته شد. فرایند گردآوری مبتنی بر جست‌وجوی نظام‌مند در پایگاه‌های اطلاعاتی Google Scholar (برای مقالات) و پایگاه اطلاعات علمی ایران گنج، برای پایان‌نامه‌ها و رساله‌ها (ganj.irandoc.ac.ir) بود که با استفاده از کلیدواژه‌های مرتبط با فرونشست زمین در ایران انجام شد. استراتژی جست‌وجو بر اساس کلیدواژه‌های اصلی به دو زبان فارسی و انگلیسی طراحی شد که شامل کلیدواژه‌های فارسی «فرونشست زمین»، «نشت زمین»، «پایش فرونشست»، «پیش‌بینی فرونشست» و «ایران» و کلیدواژه‌های انگلیسی معادل «landsubsidence»، «subsidence»، «Iran»، «InSAR» و «Groundwater» بود. پس از شناسایی اولیه ۱۰۱۸ مدرک و اعمال مراحل غربالگری بر اساس معیارهای مرتبط بودن و در دسترس بودن، در نهایت ۵۴۷ مدرک (شامل ۲۲۴ مقاله داخلی، ۳۷ مقاله بین‌المللی، ۲۴۳ پایان‌نامه/رساله، ۲۸ مقاله همایشی و ۱۵ کتاب) برای تحلیل نهایی انتخاب شدند. تحلیل داده‌ها در دو لایه کمی (علم‌سنجی) و کیفی (محتوایی - انتقادی) انجام پذیرفت. در بخش کمی، مدارک بر اساس معیارهای استاندارد علم‌سنجی مانند روند زمانی انتشار، نوع مدرک، توزیع جغرافیایی مناطق مورد مطالعه، وابستگی نهادی نویسندگان، پایگاه‌های انتشاراتی و پژوهشگران پرتولید، دسته‌بندی و تحلیل شدند (طبق جدول ۱).

در بخش کیفی، محتوای مدارک بر اساس یک چارچوب مفهومی چهارمحوری پیش‌نهادی (شامل محورهای هیدروژئولوژیک، سنجش از دور و پایش، مدل‌سازی و پیش‌بینی، و عوامل زمین‌ساختی - انسانی) واکاوی شد تا نقاط قوت، ضعف‌های روش‌شناختی و جهت‌گیری‌های موضوعی غالب و مغفول شناسایی شود. در نهایت، یافته‌های کمی و کیفی با یکدیگر تلفیق شدند تا شکاف‌های پژوهشی کلان در سه سطح شکاف در بلوغ و انتشار علم، شکاف در پوشش یکپارچه (جغرافیایی و موضوعی) و شکاف در کاربردی‌سازی و پیوند علم - سیاست - عمل، استخراج و ارائه شوند. از محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به دسترسی ناقص به برخی پایگاه‌های بین‌المللی تخصصی، نبود سامانه جامع برای شناسایی طرح‌های پژوهشی اجراشده و محدودیت در دسترسی به متن کامل برخی پایان‌نامه‌های قدیمی اشاره کرد.



شکل ۲. توزیع انواع مدارک علمی در پایگاه داده پژوهش

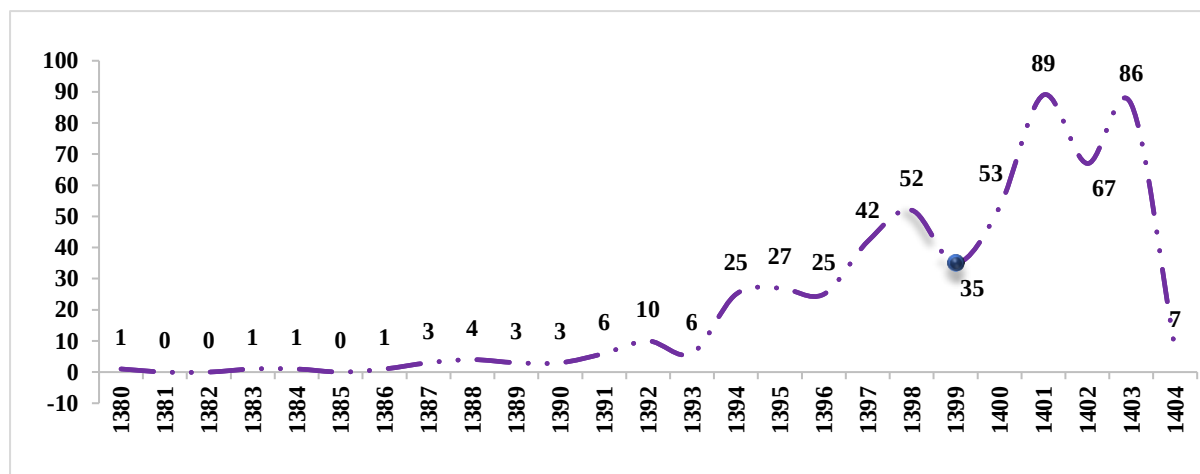
جدول ۱. مبنای شمارش و دسته بندی بررسی مدارک و مستندات علمی

ردیف	مبنای شمارش و دسته بندی بررسی انتشارات
۱	تعداد کل انتشارات در هر سال
۲	تعداد کل اسناد بر اساس نوع (مقاله، پایان نامه، رساله و کتاب)
۳	تعداد کل انتشارات بر اساس وابستگی نویسندگان
۴	تعداد کل انتشارات بر اساس عوامل تأثیرگذار در حوزه فرونشست
۵	تعداد کل انتشارات در پایگاه های انتشاراتی داخل و خارج از کشور
۶	تعداد کل پایان نامه های صورت گرفته در دانشگاه ها و مراکز آموزش عالی
۷	تعداد کل انتشارات براساس منطقه مورد مطالعه
۸	تعداد کل اسناد برای هر محقق
۹	تعداد کل انتشارات در داخل و خارج از کشور

نتایج

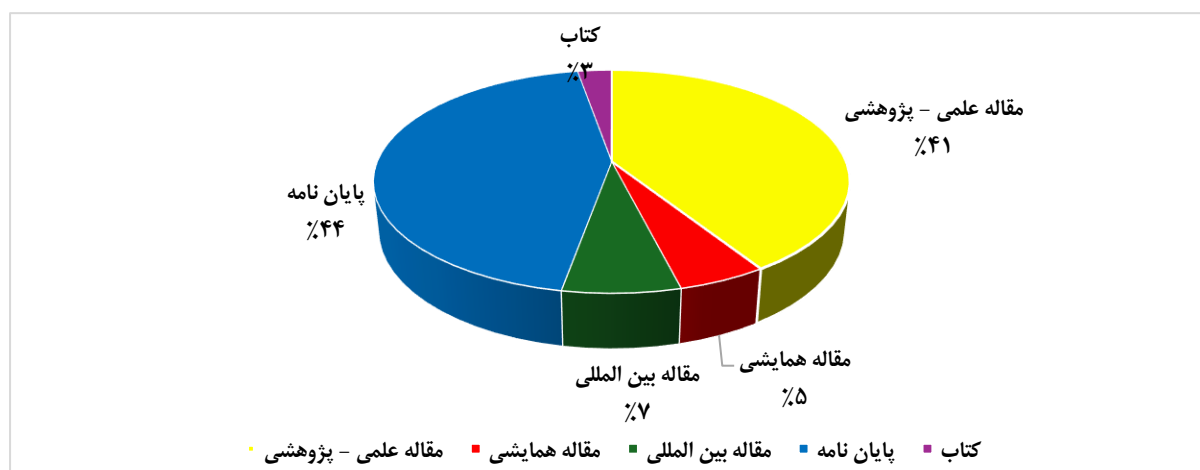
در مجموع، ۵۴۷ مدرک و مستند رسمی در این پژوهش در حوزه پایش و پیش بینی نرخ فرونشست در کل کشور یافت شد. براساس بازه زمانی در نظر گرفته شده در تحقیق (۱۳۸۰ - ۱۴۰۴)، همه مدارک و تحقیقات منتشر شده (بدون در نظرگیری نوع آن) در این حوزه، شناسایی و به صورت دقیق برای هر سال به صورت جداگانه به تفکیک سال شمارش شدند (شکل ۳). براساس نتایج، از سال ۱۳۹۴ پژوهش در این حوزه افزایش قابل توجهی را نسبت به سالیان قبل داشته است که این روند همچنان ادامه دار بوده است. شایان یادآوری است که بیشترین تعداد انتشارات و مستندات رسمی چاپ شده مربوط به سال های ۱۴۰۱ (۸۹ مدرک) و ۱۴۰۳ (۸۹ مدرک) است.

(۸۶ مدرک) بود که توسط محققان داخلی و خارجی انجام شده بود. در خصوص سال ۱۴۰۴ نیز چون بررسی‌ها معطوف به چهار ماه اول سال بوده، میزان مستندات این سال ۷ مورد گزارش شده است.



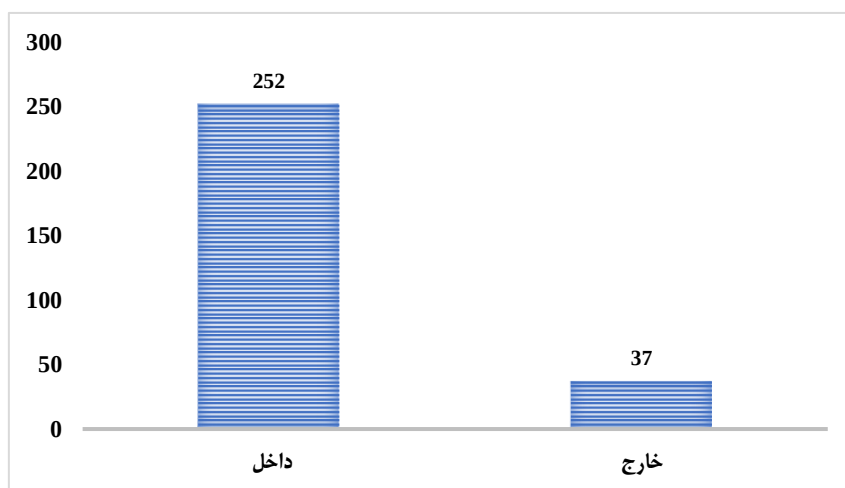
شکل ۳. تعداد مدارک موجود در حوزه فرونشست زمین در ایران به تفکیک سال

در دسته‌بندی بعدی، در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا اوایل ۱۴۰۴ تعداد مدارک منتشرشده در هر بخش (مقاله، کتاب، پایان‌نامه و رساله) به دقت شمارش شد (شکل ۴). براساس نتایج، بیشترین مدارک علمی متعلق به بخش پایان‌نامه‌ها و رساله‌ها بود. در واقع، از بین ۵۴۷ مستند مورد بررسی، ۲۴۳ مورد در طبقه رساله و پایان‌نامه و ۲۲۴ عدد در طبقه مقالات علمی - پژوهشی داخلی کشور، ۲۸ مقاله همایشی، ۳۷ مقاله بین‌المللی و ۱۵ عدد کتاب در سطح ملی توسط محققان به چاپ رسیده است که این یافته‌ها بیانگر این دارد که جامعه علمی کشور در دانشگاه‌ها به این پدیده مهم توجه ویژه‌ای داشته‌اند.



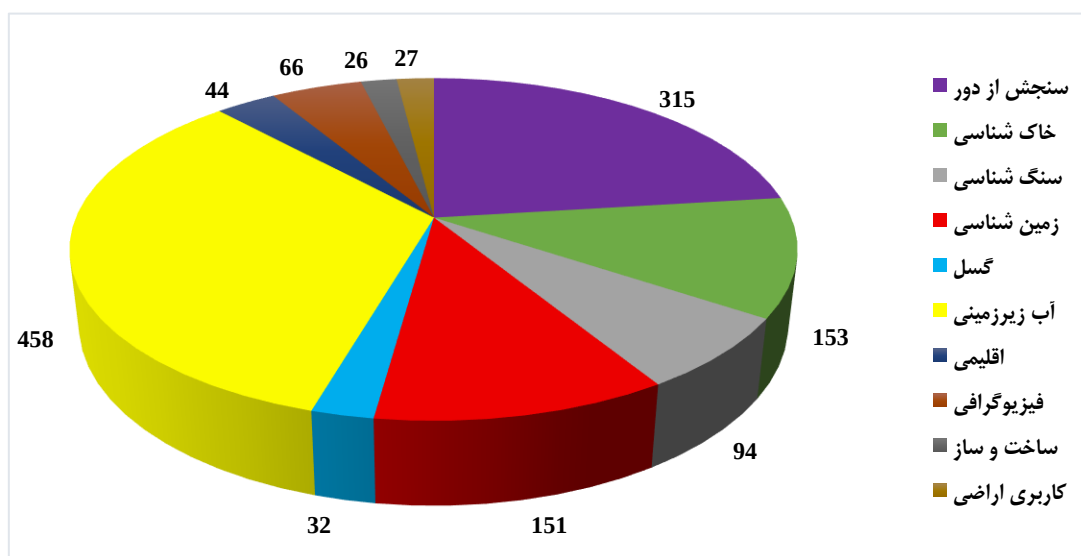
شکل ۴. فراوانی نوع مدارک موجود در حوزه فرونشست زمین در ایران به تفکیک نوع

در بخش بعدی، جميع مقالات چاپ شده (علمی - پژوهشی، همایشی - بین‌المللی) در حوزه پایش و پیش‌بینی نرخ فرونشست در ایران، در انتشارات داخلی و خارجی به تفکیک و به دقت شمارش شدند (شکل ۵). نتایج بیانگر این بود که در انتشارات داخلی ۲۵۲ عدد مقاله (شامل مقالات علمی - پژوهشی و همایشی) در بازه زمانی یادشده به چاپ رسیده و این آمار برای انتشارات خارجی ۳۷ عدد بود که بیانگر این است که سهم انتشارات داخل کشور در حوزه مورد مطالعه در این تحقیق بسیار بیشتر از انتشارات خارجی بوده است.



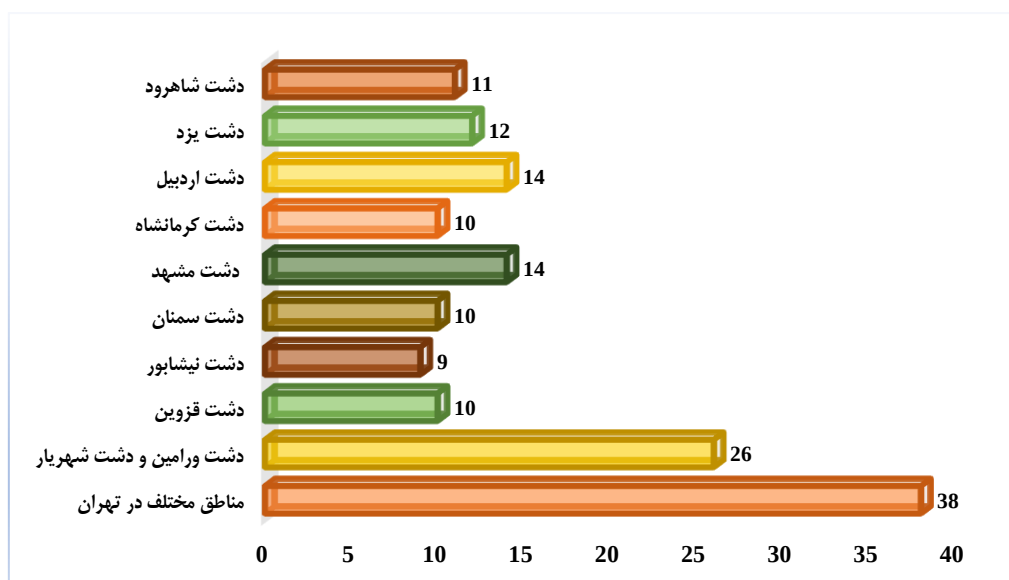
شکل ۵. تعداد مقالات چاپ شده در حوزه فرونشست در داخل و خارج از کشور

در دسته‌بندی بعدی، در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا اواسط ۱۴۰۴ تمامی مستندات چاپ و منتشر شده در بخش‌های مختلف از جمله مقالات، کتاب‌ها و پایان‌نامه‌ها و رساله‌ها به دقت مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به اینکه عوامل متعددی در وقوع این پدیده مخرب در کشور مؤثر هستند (همان‌طور که در بخش مقدمه اشاره شد)، در این پژوهش با بررسی جامع مستندات موجود، دسته‌بندی مطالعات بر اساس این عوامل تأثیرگذار انجام شد و نتایج آن در شکل ۶ ارائه شده است. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده مشخص گردید که محققان در ۴۵۸ مستند به صورت ترکیبی با سایر عوامل یا به صورت منفرد در پایش و پیش‌بینی نرخ فرونشست، معیارهای مرتبط با آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعاتی خود را مورد بررسی قرار دادند. در مرحله دوم نیز اطلاعات سنجش از دوری با تمرکز روی ماهواره‌های راداری بیشترین توجه را در رابطه با پایش و پیش‌بینی این پدیده به خود معطوف کرده است. از سوی دیگر معیارهای مرتبط با ساخت‌وسازهای صورت‌گرفته و اطلاعات گسل‌های موجود در منطقه جزء معیارهای بوده است که کمتر مورد توجه و استقبال محققان واقع شده بود.



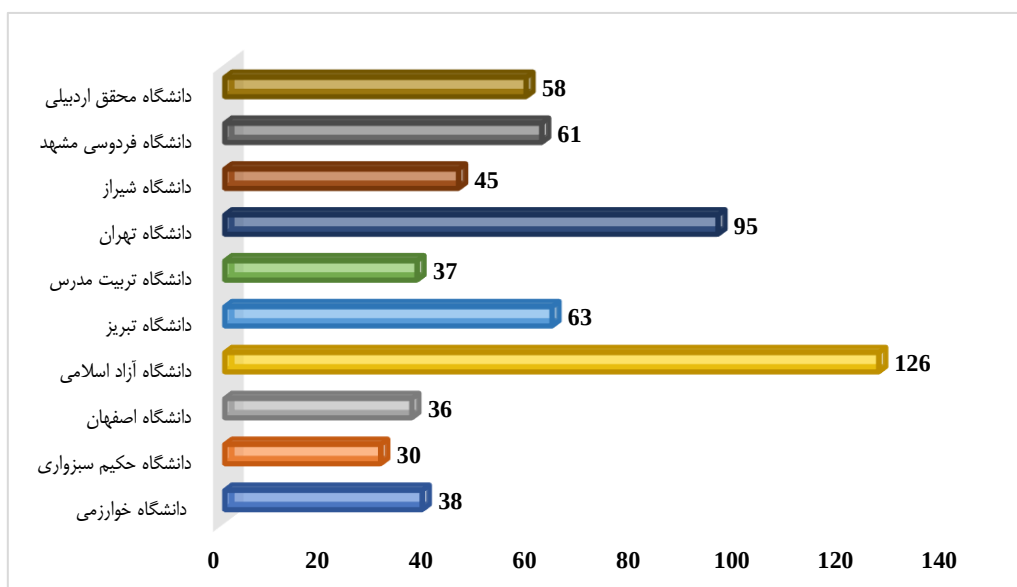
شکل ۶: فراوانی معیارهای استفاده‌شده در حوزه فرونشست زمین در ایران به تفکیک نوع

در بخش بعد با توجه به گسترش نرخ رخداد فرونشست در سراسر کشور، دسته‌بندی جدید در این بخش صورت گرفت. در این طبقه‌بندی، منطقه مورد مطالعه تمامی مستندات بررسی شد و نتایج در شکل ۷ ارائه شد. براساس نتایج مشخص شد تمرکز تحقیقات صورت‌گرفته در نواحی مختلف شهر تهران، دشت ورامین، شهریار، مشهد، اردبیل، یزد، شاهرود، قزوین، کرمانشاه، نیشابور و سمنان بوده است. شایان یادآوری است نرخ فرونشست در تحقیقات مختلف در اکثر نواحی کشور صورت گرفته که فقط به ارائه نواحی پراستناد پرداخته شده است.



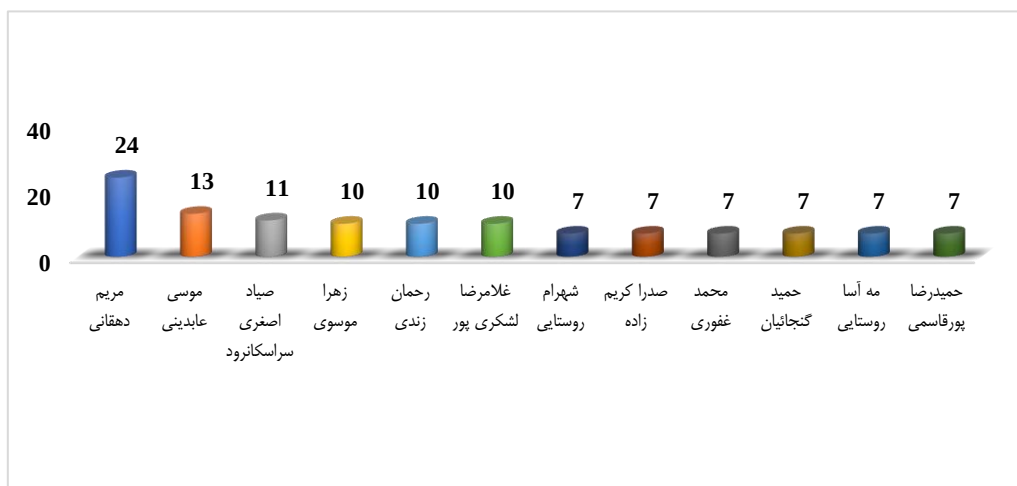
شکل ۷. تعداد مدارک شمارش‌شده براساس منطقه مورد مطالعه

دسته‌بندی بعد، براساس وابستگی سازمانی نویسندگان در تمامی مستندات صورت گرفت (شکل ۸). در این بخش، وابستگی تمام نویسندگان در ۵۴۷ مستند موجود مورد بررسی قرار گرفت و شمارش شد که نتایج ۱۰ مورد سازمان دولتی کشور با بیشترین فعالیت در این حوزه شناسایی شدند و در شکل ۸ ارائه شد. طبق نتایج به‌دست‌آمده، دانشگاه آزاد اسلامی جزء فعال‌ترین مؤسسه آموزشی در حوزه پایش و پیش‌بینی فرونشست در سراسر کشور با ۱۲۶ استناد معتبر بود و جایگاه دوم به دانشگاه تهران و جایگاه سوم به دانشگاه تبریز اختصاص یافت. جایگاه‌های بعدی نیز به‌ترتیب به دانشگاه فردوسی مشهد (۶۱ ارجاع)، دانشگاه محقق اردبیلی (۵۸ ارجاع)، دانشگاه شیراز (۴۵ ارجاع)، دانشگاه خوارزمی (۳۸ ارجاع)، دانشگاه تربیت مدرس (۳۷ ارجاع)، دانشگاه اصفهان (۳۶ ارجاع) و دانشگاه حکیم سبزواری (۳۰ ارجاع) تعلق گرفت.



شکل ۸. تعداد مدارک موجود براساس وابستگی سازمانی نویسندگان در تمامی مستندات

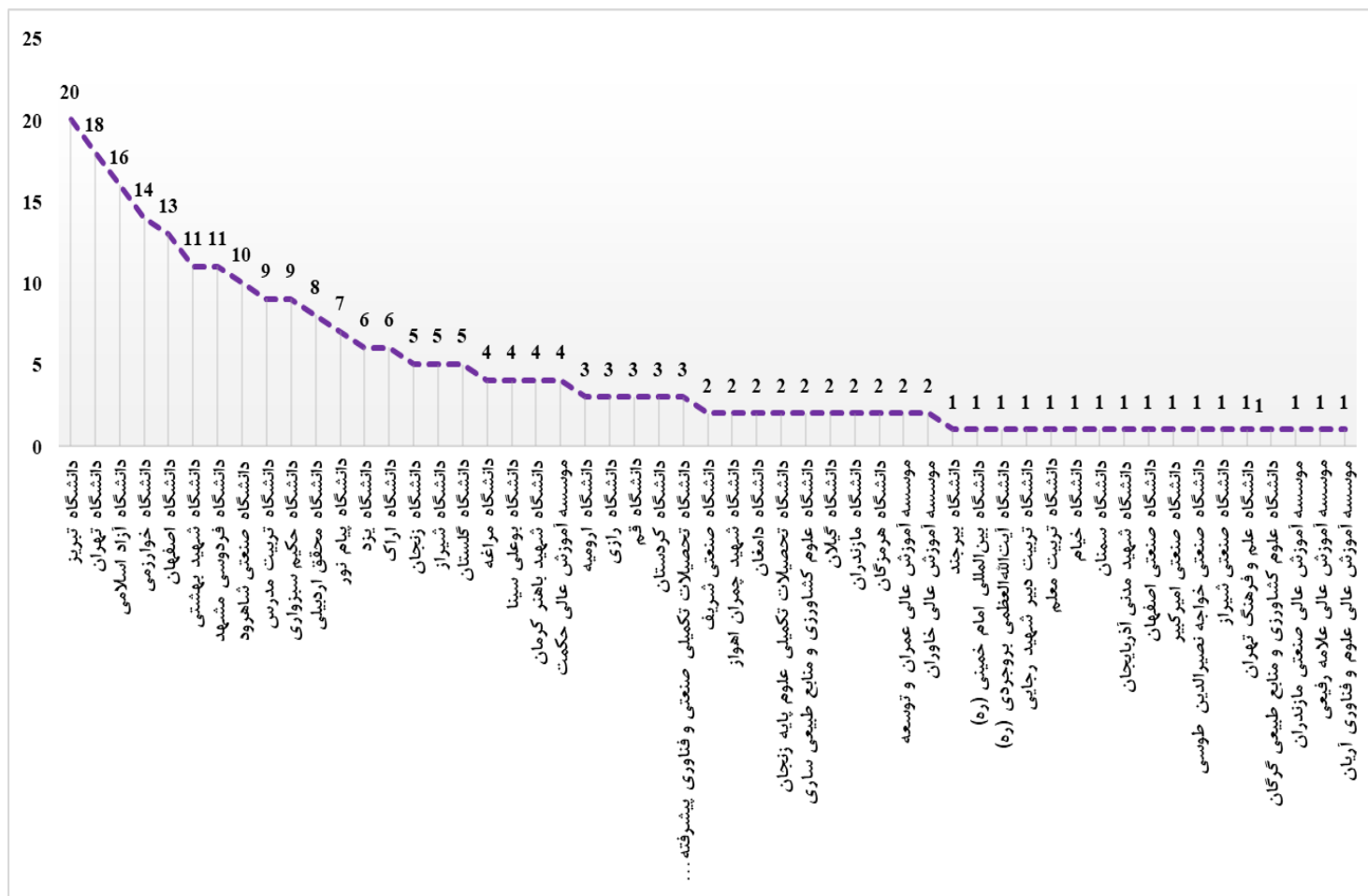
دسته‌بندی بعدی در راستای اسامی نویسندگان صورت گرفت (شکل ۹) که طی آن ۱۲ پژوهشگری که بیشترین انتشارات را در حوزه پایش و پیش‌بینی نرخ فرونشست داشتند، شناسایی شدند. براساس نتایج، بیشترین انتشارات (۲۴ عدد) متعلق به خانم دکتر مریم دهقان از دانشگاه شیراز اختصاص یافت و رتبه‌های بعدی به ترتیب به سایر پژوهشگران از جمله موسی عابدینی، صیاد اصغری، سراسکانرود، زهرا موسوی، رحمان زندی، غلامرضا لشکری‌پور، شهرام روستایی، صدرا کریم‌زاده، محمد غفوری، حمید گنجائیان، مه‌آسا روستایی و حمیدرضا پورقاسمی اختصاص گرفت.



شکل ۹. رتبه‌بندی پژوهشگران براساس تعداد انتشارات آن‌ها در حوزه پایش و پیش‌بینی نرخ فرونشست

دسته‌بندی بعدی براساس پایگاه‌های انتشاراتی و همایش‌های برگزار شده صورت گرفت (شکل ۱۰). براساس نتایج، کلیه مقالات (داخلی و خارجی) در ۲۸۹ عدد در پایگاه‌های انتشاراتی به چاپ رسیده‌اند. در این میان بعد از شمارش نهایی ۱۱ عدد نشریه برتر در این حوزه شناسایی و معرفی شدند. بیشترین مقاله چاپ‌شده در بازه زمانی مورد مطالعه این تحقیق، به نشریه فصلنامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی ایران اختصاص یافت و سایر نشریات برتر نیز شامل مجله هیدروژئومورفولوژی (۱۱ مقاله)، مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران (۸ مقاله)، مجله علوم زمین (۸ مقاله)، مجله اکوهیدرولوژی (۷ مقاله)، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی (۷ مقاله)، مجله تحقیقات منابع آب ایران (۶ مقاله)، مجله سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی

(۶مقاله)، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری/ایران (۵مقاله)، مجله جغرافیا و روابط انسانی (۵مقاله) و فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۵مقاله) بود.



شکل ۱۰. تعداد مدارک چاپ‌شده توسط ۱۱ ناشر برتر در حوزه پایش و پیش‌بینی فرونشست

شایان یادآوری است که از ۵۴۷ مستند شناسایی شده (طبق نتایج قبلی)، ۲۴۳ مورد به پایان‌نامه و رساله‌ها اختصاص یافت. در این دسته‌بندی نیز براساس پایان‌نامه‌ها و رساله‌های ثبت شده دانشگاه‌های داخلی (۲۴۳ عدد) مورد بررسی قرار گرفت. در واقع دانشگاه‌های که این پایان‌نامه‌ها و رساله‌ها در آن ثبت شدند مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج در شکل ۱۱ ارائه شده است. در این بخش براساس نتایج به‌دست‌آمده، دانشگاه تبریز با ۲۰ عدد پایان‌نامه و رساله ثبت شده در سامانه گنج بالاترین رتبه را به خود اختصاص داد و رتبه دوم نیز به دانشگاه تهران تعلق گرفت. جایگاه‌های بعدی نیز به‌ترتیب به دانشگاه آزاد اسلامی، دانشگاه خوارزمی، دانشگاه اصفهان، دانشگاه شهید بهشتی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشگاه تربیت مدرس، دانشگاه حکیم سبزواری و دانشگاه محقق اردبیلی تعلق گرفت.



شکل ۱۱. تعداد پایان نامه ها و رساله های ثبت شده در حوزه پایش و پیش بینی فرونشست به تفکیک دانشگاه

بحث

بررسی روند انتشار ۵۴۷ مدرک علمی در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا تیرماه ۱۴۰۳، نشان دهنده رشد چشمگیر توجه به پدیده فرونشست زمین در ایران، به ویژه از سال ۱۳۹۴ به بعد است. اوج این تولیدات علمی در سال های ۱۴۰۱ با ۸۹ مدرک و ۱۴۰۳ با ۸۶ مدرک ثبت شده که بیانگر افزایش حساسیت جامعه علمی نسبت به این بحران خاموش و پیامدهای نگران کننده آن در سال های اخیر است. این روند صعودی اگرچه از منظر آکادمیک مطلوب به نظر می رسد، اما از منظر کاربردی، ضرورت همگرایی بیشتر بین یافته های پژوهشی و اقدامات اجرایی را آشکار می سازد.

ضمن تحلیل محتوایی انجام شده روی پژوهش های مختلف مشخص شد که عمده مطالعات بر دو محور اصلی تمرکز داشتند: مورد اول، بررسی عوامل هیدروژئولوژیکی با فراوانی ۴۵۸ مدرک که حاکی از درک صحیح جامعه علمی از نقش محوری برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی به عنوان علت اولیه فرونشست است. دیگری، کاربرد فناوری های نوین سنجش از دور به ویژه روش تداخل سنجی راداری (*InSAR*) که به عنوان ابزار اصلی پایش این پدیده مورد توجه اکثر محققان قرار گرفته است.

در این راستا می توان به یافته های حاصل از پژوهش های انجام شده در دشت های تهران، ورامین و مشهد با استفاده از تکنیک های *InSAR* اشاره کرد که به برآورد نرخ فرونشست پرداخته و ارتباط مستقیم آن با افت سطح آب های زیرزمینی را به تصویر کشیده اند (فروغ نیا و همکاران، ۱۳۹۷؛ قراچلو و همکاران، ۱۴۰۰؛ اطهری و همکاران، ۱۴۰۱). از سوی دیگر، طی یک مطالعه موردی در آبخوان کرمانشاه نرخ فرونشست تا ۴/۱۴ سانتی متر در سال ۱۴۰۲ گزارش شد (کاظمی و همکاران، ۱۴۰۳) که بیانگر دقت بالای سنجش از دور در کمی سازی این پدیده محسوب می شود.

با این حال، تمرکز بر این دو محور و غفلت از سایر عوامل مؤثر نظیر نقش ساخت و سازهای متراکم شهری در تشدید بار وارد شده بر آبخوان ها و تأثیر گسل ها در توزیع فضایی فرونشست، می تواند به ناقص ماندن تحلیل ها و مدل های پیش بینی منجر شود. اگرچه در برخی مطالعات محدود به این جنبه ها نیز توجه شده، اما جای خالی آن ها هنوز در شالوده پژوهش ها احساس می شود. در این راستا می توان به نتایج ارزیابی مدل های مختلف در دشت هایی مانند جیرفت، اصفهان، فارس، اردبیل و کرمانشاه (علی پور اردی و همکاران، ۱۳۹۵؛ گلی و همکاران، ۱۳۹۸؛ باقری و همکاران، ۱۴۰۱؛ مهرابی و همکاران، ۱۴۰۲؛ کاظمی و همکاران، ۱۴۰۳) اشاره کرد که با استفاده از مدل های مختلف از خود دقت متوسطی در پهنه بندی حساسیت فرونشست و تخمین نرخ آن نشان دادند.

یکی از آسیب های ساختاری ژرف در پیکره پژوهش های ملی فرونشست زمین، توزیع جغرافیایی به شدت نامتوازن و متمرکز آن هاست. اگرچه در فاز نخست مطالعات، تمرکز قریب به اتفاق تحقیقات بر کلان شهرهای تهران و مشهد که میزبان اولین هشدارهای جدی و مستند از پدیده فرونشست بودند. اقدامی منطقی و از سر ضرورت به شمار می رفت، اما تداوم این الگوی نابرابر در گذر زمان، امروزه به یک مانع معرفتی در راه درک همه جانبه از ابعاد و عمق ملی این بحران بدل شده است. این ناهمگونی آشکار، موجب شده است تا دشت های فوق بحرانی متعددی در گستره استان های اصفهان، قزوین، کرمان، سمنان، فارس، یزد و

هرمزگان که هر یک به طور مستقل و هشداردهنده‌ای درگیر پدیده فرونشست هستند. به حاشیه پژوهش‌های علمی رانده شوند. پیامد مستقیم این حاشیه‌رانی، فقدان هرگونه تصویر یکپارچه، مبتنی بر داده و قابل اتکا از وضعیت فرونشست در مقیاس ملی و در نتیجه، ناتوانی مفرط در تدوین راهبردهای مداخله‌ای منسجم و مؤثر است. در چنین وضعیتی، نبود یک چشم‌انداز علمی جامع، هرگونه برنامه‌ریزی راهبردی برای تخصیص بهینه منابع محدود مالی، انسانی و تجهیزاتی و نیز اولویت‌بندی اقدامات کنترلی و بازدارنده را با دشواری‌های جبران‌ناپذیری مواجه ساخته است (محمدحسینی و همکاران، ۱۴۰۰؛ محمدی و پورقاسمی، ۱۴۰۰؛ کاظمی و همکاران، ۱۴۰۱؛ عمادالدین و همکاران، ۱۴۰۲؛ جانباز فاطمی و همکاران، ۱۴۰۲).

در سطحی دیگر و با نگاهی درون‌پژوهشی، این مطالعه با محدودیت‌های روش‌شناختی اجتناب‌ناپذیر روبه‌رو بوده است که گزارش آن‌ها برای حفظ اخلاق پژوهش و نیز قضاوت دقیق درباره تعمیم‌پذیری یافته‌ها ضروری است. مهم‌ترین این محدودیت‌ها، فقدان یک سامانه متمرکز، ملی و یکپارچه برای ثبت، نمایه‌سازی و جست‌وجوی نظام‌مند طرح‌های پژوهشی انجام‌شده در کشور است که امکان پوشش جامع و فراتحلیل کامل این دسته از مستندات را از میان برد. افزون بر این، محدودیت‌های نهادی و اشتراکی در دسترسی به پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر بین‌المللی برای جست‌وجوی پایان‌نامه‌ها و کتاب‌های لاتین مرتبط با موضوع، مانعی دیگر در راه پوشش کامل منابع خارجی محسوب می‌شود. با توجه به این کاستی‌های ساختاری و فنی، اذعان می‌دارد که احتمال خروج بخشی از مستندات و گزارش‌های موجود در بازه زمانی مورد بررسی (اعم از منابع فارسی و لاتین) از چرخه تحلیل وجود دارد؛ از این‌رو، تعمیم نتایج این پژوهش می‌بایست با احتیاط نظری و روش‌شناختی کافی صورت پذیرد.

براساس یافته‌های ژرف‌کاوانه این مطالعه و با تکیه بر شکاف‌های شناسایی‌شده، بازطراحی بنیادین نظام پژوهش در حوزه فرونشست زمین به عنوان یک ضرورت ملی و اجتناب‌ناپذیر مطرح می‌شود. در این مسیر، تحقق چند راهبرد کلیدی باید در صدر اولویت‌های سیاست‌گذاران علم و فناوری، نهادهای اجرایی و برنامه‌ریز، و نیز خود جامعه علمی قرار گیرد: نخست، هدفمندسازی آگاهانه پژوهش‌ها به گونه‌ای که شکاف‌های جغرافیایی آشکار (با تمرکز بر دشت‌های بحرانی کمتر مطالعه‌شده) و نیز شکاف‌های موضوعی عمیق (به‌ویژه در ابعاد میان‌رشته‌ای اقتصادی، اجتماعی، حقوقی و مدیریتی) پوشش داده شود. دوم، ارتقای سطح انتشارات از طریق طراحی سازوکارهای تشویقی و حمایتی قوی برای انتشار یافته‌های پژوهشی در مجلات معتبر بین‌المللی که خود به افزایش اعتبار علمی، قابلیت مقایسه، دیده شدن جهانی و در نتیجه، ترجمه دانش به عمل کمک می‌کند. سوم، تحول در نظام پایان‌نامه‌نویسی با تغییر رویه غالب از پژوهش‌های فقط توصیفی - کمی به پروژه‌های کاربردی، مسئله‌محور و راهکاراندیش که مستقیم به نیازهای عینی و ملموس مدیریت ملی و محلی فرونشست پاسخ دهند. چهارم، ایجاد سامانه‌های یکپارچه، باز و قابل اتکای اطلاعاتی در سطح ملی برای ثبت، نمایه‌سازی، جست‌وجو و دسترسی آسان تمامی ذی‌نفعان (از پژوهشگر تا مدیر اجرایی) به طرح‌های پژوهشی، پایان‌نامه‌ها، گزارش‌های فنی و داده‌های پایه. در خاتمه، تحقق این اولویت‌ها نیازمند عزمی فرابخشی، هماهنگی نهادی پایدار و مشارکت فعال و دلسوزانه جامعه علمی است. تنها از مجرای چنین دگردیسی بنیادینی در نظام تولید و اشاعه دانش است که می‌توان امیدوار بود پژوهش‌های فرونشست زمین در ایران از مقام گزارش‌های علمی صرف فراتر روند و به راهکارهای عملی، اثربخش، مقیاس‌پذیر و زمان‌مند برای کنترل، مهار و کاهش اثرات این بحران خاموش، اما ویرانگر ملی بدل شوند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با تحلیل شاخص‌های علم‌سنجی مدارک علمی حوزه فرونشست زمین در ایران، تصویر شفافی از روندها، تمرکزها، شکاف‌ها و خلأهای اطلاعاتی این حوزه ترسیم شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد علی‌رغم روند صعودی و قابل توجه انتشارات از سال ۱۳۸۰ تا تیر ۱۴۰۴، هنوز گپ‌های بزرگی وجود دارد. سهم ناچیز مقالات بین‌المللی (تنها ۳۷ مورد در برابر ۲۲۴ مقاله داخلی) و غلبه پایان‌نامه‌ها و رساله‌ها (۲۴۳ مورد) به عنوان بیشترین نوع مدرک، بیانگر ضعف در نشر بین‌المللی و تبدیل نشدن پژوهش‌های دانشگاهی به خروجی‌های کاربردی و اثرگذار است. فراتر از این، تحلیل محتوایی مبتنی بر چارچوب چهارمحوری (آب زیرزمینی،

سنجش از دور، مدل سازی، عوامل زمین ساختی - انسانی) وجود سه شکاف ساختاری کلان را آشکار ساخته است. نخست، شکاف در پوشش یکپارچه: تمرکز تحقیقات فقط روی کلان شهرها و مناطق خاصی مانند تهران، مشهد و اردبیل بوده است، در حالی که پدیده فرونشست نیازمند بررسی های جامع در ابعاد ملی و وسیع تری است. این تمرکز جغرافیایی نامتوازن، امکان درک یکپارچه از ابعاد بحران در سراسر کشور را ناممکن ساخته و به غفلت سیستماتیک از کانون های بحرانی دیگری همچون دشت های مهیار و نجف آباد اصفهان، قزوین، کرمان، فارس و هرمزگان منجر شده است. دوم، شکاف موضوعی: در بخش پایش و پیش بینی، به معیارهای آب های زیرزمینی و سنجش از دور توجه ویژه ای شده است، اما نسبت به عوامل انسانی و زمین ساختی مؤثر - از جمله سیاست های ساخت و ساز و نقش گسل ها - دقت کافی صورت نگرفته است. این مسئله بیانگر توجه افراطی به عوامل هیدروژئولوژیک و فناوری سنجش از دور در مقایسه با سایر عوامل دارد. سوم، شکاف در کاربردی سازی: این شکاف حاصل ضعف مطالعات مدل سازی پیش بینانه، نبود پیوند مؤثر میان یافته های پژوهشی با فرایندهای سیاست گذاری و مدیریت اجرایی، و عدم تبدیل پایان نامه ها به پروژه های مسئله محور است. همچنین، نبود یک سامانه جامع و متمرکز برای دسترسی به طرح های پژوهشی اجرایی (به ویژه در دستگاه هایی مانند وزارت نیرو) به عنوان یک محدودیت سیستمی، امکان ارزیابی کامل از تمامی سرمایه های دانشی کشور را سلب کرده و در این مقاله به عنوان یک شکاف فراساختاری معرفی شده است. در کنار این کاستی ها، شناسایی نهادهای پیشرو (دانشگاه آزاد اسلامی، دانشگاه تهران، دانشگاه تبریز) و پژوهشگران پرانتشار (به ویژه دکتر مریم دهقان)، نقاط کانونی و ظرفیت های اصلی کشور را در این زمینه مشخص می کند. این ظرفیت ها می توانند محور توانمندسازی و هدایت هدفمند تحقیقات آینده قرار گیرند. در نتیجه، می توان گفت که این پژوهش با ارائه یک راهنمای جامع از وضعیت موجود، پایه ای مستحکم برای ساماندهی آینده تحقیقات فرونشست فراهم می کند. حرکت به سمت هدفمند کردن پژوهش ها برای پوشش شکاف های جغرافیایی و موضوعی، تشویق به انتشار یافته ها در مجلات معتبر بین المللی، و تبدیل پایان نامه ها به پروژه های کاربردی و راهگشا، از ضروریاتی است که باید در اولویت سیاست گذاران، نهادهای پژوهشی و محققان قرار گیرد.

در پایان، شایان یادآوری است که عبور از بحران فرونشست زمین در ایران مستلزم یک تحول راهبردی در نظام تولید علم است. این تحول شامل سه محور اصلی می شود: اول، ارتقای کیفیت پژوهش ها و افزایش چشمگیر سهم انتشارات در مجلات معتبر بین المللی؛ دوم، طراحی مطالعات یکپارچه با پوشش جغرافیایی موضوعی متوازن که به طور مشخص دشت های مغفول و عوامل زمین ساختی و انسانی را هدف قرار دهد؛ و سوم، تقویت پیوند علم، سیاست و عمل از طریق ایجاد سامانه یکپارچه اطلاعاتی، تسهیل دسترسی به طرح های پژوهشی اجرایی، تشویق به مسئله محوری در پایان نامه ها و ترغیب همکاری میان دانشگاه و دستگاه های اجرایی نظیر وزارت نیرو. تنها در سایه چنین اقداماتی است که می توان امید داشت دانش انباشته شده به راهکارهای عملی و مؤثر برای کنترل و کاهش اثرات این بحران ملی منجر شود و نقشه راه ارائه شده در این مطالعه به درستی مورد استفاده سیاست گذاران، برنامه ریزان و پژوهشگران قرار گیرد.

تضاد منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می دارند که هیچ گونه تضاد/ منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

ملاحظات اخلاقی

داده ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسندگان مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

منابع

- 1 Atehari, M. A., Azizi, H. R., Hashemi, S. Sh. & Henry, H. R. (2022). Investigating the relationship between land surface changes due to subsidence and groundwater using Sentinel-1 satellite images and statistical models (Case study: Varamin Plain). *Water and Wastewater Science and Engineering*, 7(1): 43-44. DOI: 10.22112/ wwse. 2022. 331111. 1191. (In Persian).
- 2 Badiie Azandahi, M., & Yousefi Shatoori, M. (2026). Political and social reflections of land subsidence in Iran (Case study: Isfahan Province). *Spatial Planning and Policy*, 8(2), 1-28. DOI: 10.48311/psp.2026.117429.82785. (In Persian).
- 3 Amighpey, M., Arabi, S., Ghorbanian, F., & Molaei, E. (2023). Investigation of subsidence around Lake Urmia using geodetic observations. *Iranian Water Resources Research*, 19(2), 197–206. DOI: 10.22092/ijwr.2023.129426. (In Persian).
- 4 Alipour Ardi, M., Malek Mohammad, B. & Jafari, H. R. (2016). Zoning the risk of land subsidence caused by groundwater level drop using fuzzy analytic hierarchy process (Case study: Ardabil plain). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering* 11(38): 25–31. (In Persian).
- 5 Bagheri, M., Mokhtari Heshi, H., Gandomkar, A. & Khademolhosseini, A. (2022). The impact of water crisis on the destruction of biological foundations; Case study: Land subsidence in Isfahan province. *Political Spatial Planning* 4(4): 363-386. DOI: 10.30488/psp.2022.358819.1404. (In Persian).
- 6 Emadoddin, S. & Nazari Gezik, Z. (2023). Estimation of land subsidence rate using radar interferometry technique and groundwater level changes (Case study: Mashhad plain). *Geography and Development* 21(73): 221-239. (In Persian).
- 7 Fazeli Varzaneh, M. (2020). Investigation of documents in the field of Hyrcanian forests in the Web of Science citation database based on scientometric indicators. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. 28(1): 97109. DOI: 10. 22092 /ijfpr.2020.127652. (In Persian).
- 8 Farnam, A., Yahab, M., Moadi Rudsari, M., Sabaf, H., Asadi, M., Saberi Damaneh, A., Gholampour Larastan, H., Abdoli, M. & Sadighi, A. (2023). Expert opinion on: "The urgent need to control land subsidence and reduce its effects in the country (The Supreme Council of Provinces' plan). *Infrastructure Studies Office, Research Center of the Islamic Consultative Assembly*. (In Persian).
- 9 Foroughnia, F., Nemati, S. & Maghsoudi, Y. (2018). Time series analysis of radar interferometry based on permanent scatterers for estimating the subsidence phenomenon in Tehran city. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS* 10(1): 57-72. DOI: 10.52547/gisj.2018.133645. (In Persian).
- 10 Gharachelo, S., Akbari Ghoochani, H., Golian, S. & Ganji, K. (2021). Assessing the rate of land subsidence in relation to groundwater using Sentinel-1 and ALOS satellite radar data (Study area: Mashhad plain). *Remote Sensing and GIS in Natural Resources*, 12(3): 1114. DOI: 10.22052/gis.2021. 245000.0. (In Persian).
- 11 Ghasemi Khalkhali, S. A., Azmoudeh Ardalan, A. & Karimi, R. (2023). Investigation of subsidence in Northeast Iran by estimating the velocity vector and uncertainty of permanent GPS stations. *Journal of the Earth and Space Physics* 49(1): 35–51. DOI: 10.22059/jesphys.2023.352967.1007427. (In Persian).
- 12 Ghanadi, M. A., Enayati, H. and Khasali, A. (2019). Generation of digital elevation model using Sentinel images and radar interferometry technique. *Geographical Information Sephehr Journal* 27(108): 109-121. DOI: 10.22131/sepehr.2019.37225. (In Persian).
- 13 Goudarzi, M. R., Sabbaghzadeh, M. and Rajabpour Niknam, A. R. (2025). The relationship between land subsidence and water consumption in Yazd-Ardakan plain using Sentinel-1 images. *Applied Research in Geographical Sciences* 25(76): 144-161. (In Persian).

- 14 Goli, A., Moradi, M. and Dehghani, M. 2019. Land subsidence vulnerability assessment of rural settlements in Fars province. *Journal of Research and Rural Planning*, 8(4):91-106.DOI: 10.22067/jrrp.v8i4.82306. (In Persian).
- 15 Hosseinipour, F. (2026). Investigating the effects of land subsidence in Rafsanjan city using field evidence and assessing the risk of its progression based on groundwater data. *Journal of Urban Environmental Management*, 1(4), 95-105. DOI: 10.48306/juem.2026.577867.1149. (In Persian).
- 16 Hassanzadeh, M. (2021). Spatial analysis of land subsidence and groundwater decline using GWR model (Case study: Nurabad Mamasani aquifer). *Geography and Planning Journal* 25(76): 159-171. DOI: 10.22034/gp.2021.51126.2980. (In Persian).
- 17 Helali, L., Bagheri, R. & Mo'meni, A. A. (2023). Investigation of land subsidence using radar interferometry method (Case study: Semnan plain). *Hydrogeology* 9(1): 86–100. (In Persian).
- 18 Haghshenas Haghighi, M., & Motagh, M. (2024). Uncovering the impacts of depleting aquifers: A remote sensing analysis of land subsidence in Iran. *Science Advances*, 10 (19), eadk3039. DOI:10.1126/sciadv.adk3039
- 19 Janbaz Fatemi, M., Khalkhali, M., Abdo Kalachi, A. & Roustaei, M. (2023). Efficiency of the Weight of Evidence method in GIS environment in determining the effective factor on the subsidence of Qazvin Plain. *Iranian Water Resources Research* 19(3):101–118.DOI: 10.22092/ijwr.2023.129443. (In Persian).
- 20 Kheiri, R., Mojarrad, F., Masoumpour, J. & Farahadi, B. (2021). Evaluation of drought changes in Iran using SPEI and SC-PDSI indices. *Spatial Planning and Arrangement* 25(1): 175-206. DOI: 10.22108/sppl.2021.129211.1551. (In Persian).
- 21 Khalifi, P., Nadiri, A. A., Abbasnovinpour, A. & Gharakhani, M. (2019). Estimation of subsidence potential index using PCSM method and fuzzy model in Ardabil plain aquifer. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering* 13(45): 44–53. (In Persian).
- 22 Khabazi, F., Najafi, A., Asadi-Fard, E., & Kargar, M. (2025). Investigation of documents on oak decline in Zagros forests based on a scientometric approach. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 32 (1), 41-62. DOI: 10.22069/jwfst.2025.23434.2093. (In Persian).
- 23 Kazemi, M., Khosravi, H., Salajegheh, A., Khalighi Sigaroodi, Sh. & Mohammad Khan, Sh.(2024). Monitoring land subsidence based on differential radar interferometry method and groundwater level changes (Case study: Kermanshah aquifer). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering* 18(67). (In Persian).
- 24 Kazemi, M., Nafarzadegan, A. R., Karami, A. & Ebrahimi Khusfi, M. (2022). Investigating the effect of soil and land surface characteristics on subsidence prediction using remote sensing (Case study: Minab plain, Hormozgan). *Journal of Environmental Erosion Research* 12(2): 82-104. DOI: 10.22034/JSER.2022.352220.1254. (In Persian).
- 25 Mansouri, R. (2026). Geomorphic landscape evolution analysis within the Makran accretionary prism, SE Iran. *Researches in Earth Sciences*, 16(4), 116-147. DOI: 10.48308/esrj.2025.106256. (In Persian).
- 26 Mohammadi, M. & Pourghasemi, H. R. (2021). Accuracy assessment of GLM and FDA models for preparing land subsidence susceptibility maps in Semnan plain. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering* 15(54). (In Persian).
- 27 Mohammadi, M. (2023). Assessing land subsidence susceptibility in Semnan plain. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering* 17(63): 84-90. (In Persian).
- 28 Mehrabi, A., Karimi, S. & Khalesi, M. (2023). Spatial analysis of Jiroft plain subsidence using Coherent Pixels Technique (CPT). *Geography and Environmental Planning* 34(1): 1-4. (In Persian).

- 29 Mohammadhasani, M. & Sheikh Sharieati Kermani, B. (2021). Determining the rate of land subsidence using radar interferometry technique (Case study: Transportation arteries in the west of Kerman city). *Transportation Research Journal* 18(3): 75-90. (In Persian).
- 30 Najati Kalshmi, M., Malekpour Estalaki, A., & Shafiei Sabet, B. (2025). Probabilistic analysis of land subsidence due to groundwater extraction under unsteady conditions in fine-grained soils. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 57(1), 21-38. DOI: 10.22059/ijswr.2026.407325.670062. (In Persian).
- 31 Natale, F., Fiore, G. & Hofherr, J. (2012). Mapping the Research on Aquaculture: A Bibliometric Analysis of Aquaculture Literature. *Scientometrics* 90(3): 983-999. DOI: 10.1007/s11192-011-0592-6
- 32 Rajaei, T., & Abbasi Pour Moghadam, F. (2025). Investigating land subsidence in Kahak plain, Qom using radar interferometry technique (InSAR). *Iranian Journal of Radar Interferometry and Remote Sensing*, (Special Issue), 1-13. DOI: 10.22034/idj.2025.525438.2595. (In Persian).
- 33 Vinkler, P. (2010). The Evaluation of Research by Scientometric Indicators. *Elsevier*, 336 pp. DOI: 10.1016/B978-0-08-096498-6.00001-5.
- 34 Saffari, A., Jafari, F. & Tavakoli Sour, S. M. (2018). Monitoring land subsidence and its relationship with groundwater withdrawal (Case study: Karaj-Shahriyar plain). *Quantitative Geomorphological Research* 5(2): 82-93. DOI: 10.22124/gmp.2018.11410. (In Persian).
- 35 Younesi Sineki, A. & Akhoundzadeh Hanzaei, M. (2022). Displaying urban subway line subsidence using satellite radar interferometry method (Study area: A section of Tehran Metro Line 7). *Journal Geomatics Science and Technology* 12(2): 16-28. DOI: 10.52547/gst.12.2.16. (In Persian)