University of Tehran Press

Journal of the Earth and Space Physics

Homepage: https://jesphys.ut.ac.ir

Vol. 49, No. 1, Spring 2023, P. 53-74

(Research Article)

Identification of new technologies and collaboration networks for earthquake seismology

Khajavi, R.[1] | Javan Doloei, Gh.[2] ✉ | Rashidian, S.[3]

1. Earthquake Research Center, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: rezakhajavi@ferdowsi.um.ac.ir
2. **Corresponding Author**, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran. E-mail: javandoloei@iiees.ac.ir
3. Earthquake Research Center, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: shamrock.1364@gmail.com

(Received: 8 May 2022, Revised: 27 June 2022, Accepted: 4 Oct 2022, Published online: 14 June 2023)

Summary

Today, identifying new research trends in any scientific field is very important for researchers, universities and research institutes, research investors, industry, and scientific policymakers. Numerous studies have been conducted with scientometric approach in various branches of science (for example: Leydesdorff, 1987; Leydesdorff et al., 1994). Wegner and Leydesdorff (2003) examined the field of seismology in a study entitled "Seismology as a Dynamic and Distributed Field for Research" using the method of co-authorship and citation analysis between journals. The results of their study show that the scientific products of seismology are not different in terms of the degree of internationality compared to the older subject area of geophysics. Other studies in this field include the studies of Sagar et al. (2010), Wu et al. (2015), Amr (2018), Gizi and Putenza (2020) and He et al. (2021), which specifically examine a subfield of knowledge of Seismology (such as tsunamis, tectonic plates, studies related to a particular earthquake, or early earthquake-related warnings).

The purpose of this study is to quantitatively and qualitatively evaluate the scientific products of Iran and the world in the Scopus citation database on the subject of Earthquake studies in the period 2019 to 2021. In this study, with the scientometric approach, VOSviewer software (Van Eck and Waltman, 2009, 2020) and co-occurrence analysis of keywords for scientific mapping and thematic exploring have been used.

The present study shows that the number of researchers in the field of earthquakes, reported in the Scopus database, is equal to 112262 articles, which after being limited to 2019 to 2021, this number reached 15270 articles. In addition, the growth trend of research in the field of applied seismology in earth sciences has followed an exponential growth pattern and has grown significantly in the last three years. China, the United States, Japan, and Italy are ranked first to fourth in the world in research and production of scientific articles and are still at the forefront in the field of earthquake science and knowledge. A study of Iran's scientific production in comparison with other countries in two different periods shows that Iran, in the period 2007-2009 was not on the list of top 15 countries in the field of earthquake research, but in the last three years, it has ranked ninth and has reached almost the same level as Germany. However, there has been no significant change in other top countries, despite slight shifts in rankings.

In addition, the number of articles by different research institutes in the field of earthquake knowledge in the period 2019-2021 is shown in Figure 6. As can be seen, most of the scientific output has been provided by Chinese research institutions, and several American and Asian universities have also contributed to producing earthquake knowledge in subsequent rankings. Most of the scientific products related to earthquakes in Iran are the results of research by researchers from the University of Tehran, the International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), and the Sharif University of Technology as the first to third ranks.

The findings of this study are of great importance for directing suggestions and formulating technological research plans and projects to provide the ground for acquiring scientific authority of seismological knowledge in Asia. Therefore, the need to expand regional scientific cooperation in the policy-making of research institutes and researchers active in the field of earthquake sciences is inevitable to improve the scientific level of Iran among Asian and European countries.

Keywords: Seismology, emerging technologies, scientometrics, earth sciences, scientific productions.

Cite this article: Khajavi, R., Javan Doloei, Gh., & Rashidian, S. (2023). Identification of new technologies and collaboration networks for earthquake seismology. *Journal of the Earth and Space Physics*, 49(1), 53-74. DOI: http//doi.org/10.22059/jesphys.2022.342123.1007424

CC BY NC

Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jesphys.2022.342123.1007424

Print ISSN: 2538-371X
Online ISSN: 2538-3906

انتشارات دانشگاه تهران

فیزیک زمین و فضا

نشانی اینترنتی مجله: http://jesphys.ut.ac.ir

دوره ۴۹، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، صفحهٔ ۵۳- ۷۴

(مقاله پژوهشی)

شناسایی و تحلیل موضوعات فناورانه و شبکه‌های همکاری پژوهشی و فناوری دانش زلزله‌شناسی

رضا خواجوی[۱] | غلام جوان دلوئی[۲] ✉ | سیمین رشیدیان[۳]

۱. مرکز تحقیقات زمین‌لرزه شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: rezakhajavi@ferdowsi.um.ac.ir

۲. **نویسنده مسئول**، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران. رایانامه: javandoloei@iiees.ac.ir

۳. مرکز تحقیقات زمین‌لرزه شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: shamrock.1364@gmail.com

(دریافت: ۱۴۰۱/۲/۱۸، بازنگری: ۱۴۰۱/۴/۶، پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۷/۱۲، انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۳/۲۴)

چکیده

امروزه شناسایی روند پژوهش‌های نوین در هر رشته‌ی علمی برای پژوهشگران، دانشگاه‌ها و مؤسسات پژوهشی، سرمایه‌گذاران پژوهشی و سیاست‌گذاران علمی، حائز اهمیت است. هدف این پژوهش، ارزیابی کمی و کیفی تولیدات علمی ایران و جهان در پایگاه استنادی اسکوپوس با موضوع زلزله‌شناسی در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۹ – ۲۰۲۱ میلادی با رویکرد علم‌سنجی و روش هم‌رخدادی واژه‌های کلیدی است.

بررسی‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد تعداد مقالات محققان زلزله‌شناسی گزارش شده در پایگاه اسکوپوس، در دوره سه ساله ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱، حدود ۱۵۲۷۰ مقاله است و روند رشد تصاعدی پژوهش‌های دانش زلزله‌شناسی را نشان می‌دهد. بررسی تولیدات علمی ایران در مقایسه با سایر کشورها در دو بازه متفاوت نشان می‌دهد، کشور ایران درحالی‌که در بازه ۲۰۰۷–۲۰۰۹ در فهرست ۱۵ کشور برتر پژوهشی در حوزه زلزله‌شناسی نبوده است، اما طی سه سال اخیر خود را به جایگاه نهم و تقریباً هم‌ردیف با کشور آلمان رسانده است. علاوه بر آن، بیشترین تولیدات علمی زلزله‌شناسی در ایران، نتایج پژوهش محققان دانشگاه تهران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و دانشگاه صنعتی شریف است.

یافته‌های این پژوهش برای جهت دادن به پیشنهادها، تدوین طرح‌ها و پروژه‌های پژوهشی فناورانه برای فراهم نمودن زمینه کسب مرجعیت علمی دانش زلزله‌شناسی در آسیا از اهمیت بالائی برخوردار است؛ بنابراین ضرورت گسترش همکاری‌های علمی منطقه‌ای در سیاست‌گذاری مؤسسات پژوهشی و نیز پژوهشگران فعال در حوزه علوم زلزله امری اجتناب‌ناپذیر برای ارتقا تراز علمی ایران است.

واژه‌های کلیدی: زلزله‌شناسی، فناوری‌های نوظهور، علم‌سنجی، علوم زمین، تولیدات علمی.

۱. مقدمه

ارزیابی توانمندی‌های علمی هر کشور در واقع میزان رشد و توسعه‌ی آن کشور را به‌خوبی نشان می‌دهد. به همین دلیل برنامه‌ریزی‌های اصولی و هدفمند برای سنجش و اندازه‌گیری کمی و کیفی انتشارات علمی و در نتیجه ارتقای سطح علمی ضروری است. برای رسیدن به این هدف، یکی از رایج‌ترین روش‌های بررسی وضعیت تولیدات علمی، بهره‌گیری از فن‌های علم‌سنجی برای شناسایی ساختار شاخه‌های گوناگون دانش، به‌ویژه دانش‌های میان رشته‌ای و موضوعات فناورانه و شبکه‌های همکاری پژوهشی و فناوری است.

با پیشرفت روزافزون روش‌های متن‌کاوی و ابزارهای مصورسازی، پژوهشگران حوزه‌ی علم‌سنجی معتقدند با همکاری فرهیختگان هر شاخه‌ی علمی، ساختار آن دانش را تا اندازه قابل قبولی می‌توان شناسایی کرد و از آن در آینده‌پژوهی و سیاست‌گذاری علمی بهره برد. انواع نگاشت‌های علم در حوزه‌ی واژه‌ها و موضوعات و نویسندگان و مؤسسات و غیره به‌صورت نقشه و نمودار بر پایه‌ی هم‌رخدادی و هم‌استنادی و هم‌تألیفی، اطلاعاتی

استناد: خواجوی، رضا؛ جوان دلوئی، غلام و رشیدیان، سیمین (۱۴۰۲). شناسایی و تحلیل موضوعات فناورانه و شبکه‌های همکاری پژوهشی و فناوری دانش زلزله‌شناسی. *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۴۹(۱)، ۵۳–۷۴. DOI: http//doi.org/10.22059/jesphys.2022.342123.1007424

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: http//doi.org/10.22059/jesphys.2022.342123.1007424

ارزشمند را به‌صورت تصویری عینی و روشن از شاخه‌ی دانشی موردنظر به‌دست می‌دهد. به کمک نگاشت‌ها می‌توان خوشه‌های موضوعی، رخدادهای علمی، پژوهشگران برتر و مؤسسات اصلی یک حوزه‌ی موضوعی را در یک دوره‌ی زمانی شناسایی کرد.

دانش زلزله‌شناسی در سالیان اخیر بر مرزهای درهم‌تنیده‌ی شاخه‌های گوناگون علمی همچون فیزیک، زمین‌شناسی، ریاضیات، هواشناسی و علوم رایانه ایستاده است، نیازمند یک بازشناسی ساختاری و تحلیل روند توسعه بر مبنای بازنمایی‌های نگاشتی است. بسیاری از پژوهش‌های علم‌سنجی که در حوزه زلزله صورت گرفته‌اند به‌طورکلی به موضوع ژئوفیزیک پرداخته‌اند و توجه کمتری به بررسی و تحلیل زمینه‌های موضوعی خاص در این حوزه شده است. این در حالی است که مؤسسات پژوهشی و پژوهشکده‌های زمین‌لرزه‌شناسی و حتی پژوهشگران این حوزه، معمولاً برای استفاده از نتایج چنین تحقیقاتی نیازمند توجه بیشتر به جزئیات و زمینه‌های تخصصی مرتبط با زلزله هستند. در واقع با انجام چنین پژوهشی در زمینه بازشناسی دانش زلزله، می‌توان ساختار فکری و انسجام درونی این حوزه و تکامل بخش‌های مختلف آن را محاسبه و تحلیل کرد. علاوه بر آن، کاستی‌ها و موانع را شناسایی کرد و بینش مؤثرتری از این حوزه را در اختیار سیاست‌گذاران علمی و پژوهشی برای برنامه‌ریزی دقیق در راستای کاهش خطر زلزله قرار داد.

هدف از این پژوهش، بررسی و مصورسازی مناسب ساختار حوزه‌ی موضوعی دانش زلزله‌شناسی بر اساس برون‌دادهای علمی ثبت‌شده در پایگاه استنادی اسکوپوس است. علاوه بر آن سعی می‌شود در این پژوهش، عملکرد مؤسسات پژوهشی بزرگ و حامیان مالی عمده آن‌ها حوزه‌ی دانش زلزله‌شناسی و نیز موضوعات موردعلاقه و نحوه‌ی همکاری آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. یکی از دستاوردهای این پژوهش مشخص کردن جایگاه علمی و روند توسعه علمی ایران در منطقه و جهان در حوزه زلزله‌شناسی خواهد بود.

۲. پیشینه پژوهش

پژوهش‌های متعددی با رویکرد علم‌سنجی در شاخه‌های متعدد علم (به‌عنوان نمونه: لیدسدورف، ۱۹۸۷؛ لیدسدورف و همکاران، ۱۹۹۴) انجام شده است. وگنر و لیدسدورف (۲۰۰۳) با پژوهشی تحت عنوان «زلزله‌شناسی به‌عنوان یک زمینه‌ی پویا و گسترده برای پژوهش» با استفاده از روش تحلیل هم‌نویسندگی و همچنین تحلیل استناد میان نشریات به بررسی حوزه‌ی زلزله‌شناسی پرداختند. لئو و همکاران (۲۰۱۲) به مطالعه‌ی کتاب‌سنجی پژوهش‌های حوزه‌ی زلزله از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۰ پرداختند. در پژوهش آن‌ها مشابه با پژوهش‌های قبل، شاخص‌هایی همچون نویسندگان پرتولید و تأثیرگذار، مؤسسات فعال در تولید علم زلزله، کشورهای فعال در زمینه زلزله مورد بررسی قرارگرفته‌اند. از دیگر پژوهش‌های این حوزه می‌توان به مطالعه ساگار و همکاران (۲۰۱۰)، وو و همکاران (۲۰۱۵)، امر (۲۰۱۸)، گیزی و پوتنزا (۲۰۲۰) و هه و همکاران (۲۰۲۱) اشاره کرد که مشخصاً به بررسی یک زیرحوزه از دانش زلزله‌شناسی (همچون سونامی، صفحه‌های زمین ساختی، مطالعات مرتبط با یک زلزله‌ی خاص یا هشدارهای زودهنگام مرتبط با زلزله‌ها) پرداخته‌اند.

در چند سال اخیر پژوهش‌های اندک اما ارزشمند در زمینه علم‌سنجی دانش زلزله‌شناسی در ایران انجام شده است. نخستین بار اصنافی و پاکدامن نائینی (۱۳۹۳) به شناسایی میزان همکاری‌های بین‌المللی با محققان ایران در امر زلزله‌شناسی پرداختند و سپس اسدی و قادری (۱۳۹۴) در پژوهش خود با عنوان سی و نه سال تولید علم ایران در حوزه ژئوفیزیک با رویکرد علم‌سنجی پرداخته‌اند. فلاح و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهش خود به مطالعه‌ی تحلیلی و ارزیابی کمّی و کیفی تولیدات علمی زلزله‌شناسی بر اساس پایگاه استنادی وبگاه علوم در جهان و ایران از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۸ میلادی پرداخته‌اند. خواجوی و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهش خود با عنوان «برپاسازی نقشه واژه‌ها کاربردی علوم زلزله در دو حوزه مواد و انرژی و شناسایی

روندهای پژوهشی آن‌ها» با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای علم‌سنجی و اطلاعات فراداده‌ای مربوط به مستندات علمی برداشت شده از پایگاه استنادی اسکوپوس در زمینه کاربرد علوم زلزله در دو حوزه مواد و انرژی را به‌صورت نقشه‌های شبکه واژه‌ها بازنمایی کردند. آن‌ها با بررسی این نقشه‌ها به دو شیوه‌ی کمی و کیفی، روندهای اصلی و روزآمد پژوهشی در این دو حوزه را شناسایی کردند. بر پایه پردازش آن‌ها، تحلیل‌های غیرخطی، مدل‌سازی‌های آزمایشگاهی، انواع ارزیابی‌های لرزه‌ای و بازسازی لرزه‌ای به‌عنوان چهار رویکرد اساسی در حوزه‌های پژوهشی مواد و انرژی شناسایی و معرفی‌شده‌اند.

۳. روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش، تلاش می‌شود تا نمای مناسبی از نقشه علم پیرامون موضوع زلزله‌شناسی ارائه شود. سپس با ارائه تفسیرهای مناسب، موضوعات پژوهشی اصلی و موضوعات دارای توانمندی فناوری شناسایی شوند. در خاتمه شبکه‌های همکاری مؤسسات پژوهشی و دانشگاه‌ها، حامیان مالی و کشورهای مؤثر در این حوزه معرفی می‌شوند. در این راستا، شیوه تحقیق در قالب سه گام اساسی: ۱- تهیه پایگاه داده مستندات علمی؛ ۲- پردازش داده‌ها شامل رسم نقشه هم‌رخدادی واژه‌ها و شبکه‌های همکاری و تهیه نمودارها و شاخص‌های کمی مناسب؛ ۳- تفسیر نتایج؛ انجام می‌شود.

۳-۱. پایگاه داده

این پژوهش، مقالات علمی و پژوهشی چاپ شده در مجلات علمی نمایه شده در پایگاه استنادی اسکوپوس را به‌عنوان تولید علم بازه سه ساله ۲۰۱۹-۲۰۲۱ میلادی در حوزه زلزله‌شناسی در نظر گرفته است. برای سامان‌دهی بانک اطلاعات مستندات علمی، نخست، با جستجوی واژه Earthquake و سپس جستجوی زیرحوزه علوم زمین و اعمال قیدهای زمانی و سایر محدودیت‌های لازم از جمله محدودسازی یافته‌ها به مقالات علمی پژوهشی و علمی مروری، فهرست مستندات فراخوانی می‌شود. این جستجو از طریق تارنمای پایگاه استنادی اسکوپوس انجام شده است. برای این کار، در قسمت document کلمه Earthquake ذیل سه بخش اساسی از هر مقاله یعنی عنوان، چکیده و کلیدواژه‌ها ثبت می‌شود. علاوه بر آن، محدودیت doctype به‌صورت (article یا review) و محدوده زمانی بر حسب سال به‌صورت ۲۰۱۹-۲۰۲۱ اعمال می‌شود. در منوی advance، گزینه SUBJAREA و سپس زیرگروه physical sciences اضافه شده است؛ در این زیرگروه شاخه علوم زمین با عنوان مخفف (EARTH) به طور جداگانه انتخاب شده است. با محدود کردن فیلتر SRCTYPE به Journals، جستجو تنها در محدوده مجلات پژوهشی منتخب مطابق با فهرست جدول (۱) بررسی شده است.

برای جستجوی مقالات حوزه زلزله‌شناسی نویسندگان ایرانی، عبارت AFFCOUNTRY(Iran) به دستور جستجوی بالا با عملگر منطقی AND اضافه شده است. پس از جستجو و ذخیره‌سازی اطلاعات با شیوه مناسب، ضروری است با بهره‌گیری از ویرایشگر مناسب، پردازش و تحلیل اطلاعات انجام شود.

۳-۲. پردازش و تحلیل داده‌ها

در این پژوهش، نقشه‌های هم‌رخدادی واژه‌ها، همکاری کشورها و همکاری حامیان مالی تهیه می‌شوند. برای رسم این نقشه‌ها، از نرم‌افزار VOSViewer استفاده شده است (ون-اک و والتمن، ۲۰۰۹ و ۲۰۲۰). نرم‌افزار VOSViewer با فراخوانی فایل csv مستندات علمی، ماتریس هم‌رخدادی واژه‌های علمی و بازنمایی آن به‌صورت شبکه‌های هم‌رخدادی و نقشه‌های چگالی، علاوه بر تهیه نقشه همکاری مؤسسات پژوهشی با یکدیگر و کشورها را فراهم می‌کند.

جدول ۱. فهرست مجلات برگزیده در پژوهش حاضر.

ردیف	نام مجله	اندیس H	موضوع مجله	کشور
۱	Reviews of Geophysics	۱۵۶	علوم زمین و ژئوفیزیک	آمریکا
۲	Earth and Planetary Science Letters	۲۴۸	علوم زمین و ژئوفیزیک	آمریکا
۳	IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing	۲۵۴	زمین‌شناسی، ژئوفیزیک و سنجش از راه دور	آمریکا
۴	Geophysical Research Letters	۲۷۳	ژئوفیزیک	آمریکا
۵	Tectonics	۱۳۴	ژئوفیزیک، سنگ‌شناسی و ژئوشیمی	آمریکا
۶	J. of Geophysical Research, Solid Earth	۲۳۲	ویژگی‌های ژئوفیزیک سه بعدی زمین عمیق	آمریکا
۷	Tectonophysics	۱۶۸	علوم زمین و فضا	هلند
۸	Geophysical Journal Int.	۱۶۸	ژئوفیزیک	انگلستان
۹	J. of Geophysical Research, Oceans	۲۹۸	کاربرد فیزیک، شیمی و زمین‌شناسی در اقیانوس	آمریکا
۱۰	Geochemistry, Geophysics, Geosystems	۱۳۶	ژئوفیزیک، سنگ‌شناسی و ژئوشیمی	آمریکا
۱۱	Bulletin of Seismological Society of America	۱۵۱	زمین‌لرزه شناسی	آمریکا
۱۲	Physics of Earth and Planetary Interiors	۱۱۵	ژئوفیزیک علوم زمین و فضا	هلند
۱۳	Earthquake Spectra	۹۲	مهندسی زلزله	آمریکا
۱۴	Pure and Applied Geophysics	۸۷	ژئوفیزیک، سنگ‌شناسی و ژئوشیمی	سوئیس
۱۵	Leading Edge	۸۲	زمین‌شناسی و ژئوفیزیک	آمریکا
۱۶	Seismological Research Letters	۷۹	گزارش‌های زلزله شناختی	آمریکا
۱۷	J. of Geodynamics	۷۵	ژئوشیمی،زمین‌شناسی، ژئوفیزیک و ژئودتیک	انگلستان
۱۸	Annals of Geophysics	۶۰	ژئوفیزیک	ایتالیا
۱۹	J. of Seismology	۵۵	ژئوفیزیک، سنگ‌شناسی و ژئوشیمی	هلند
۲۰	Near Surface Geophysics	۳۹	ژئوفیزیک	هلند
۲۱	J. of Earthquake and Tsunami	۱۸	ژئوفیزیک و اقیانوس‌شناسی	سنگاپور
۲۲	J. of Volcanology and Seismology	۱۷	ژئوفیزیک، زمین‌شناسی و ژئوشیمی	آمریکا

۴. بررسی نتایج

با استفاده از خروجی‌های مختلف به‌دست‌آمده از مرحله تحلیل داده‌ها، بحث و بررسی نتایج در قالب چهارگانه زیر انجام می‌شود:

۱-تحلیل کلی پژوهش‌های زلزله‌شناسی؛ ۲-موضوعات پژوهشی دارای پتانسیل فناورانه؛ ۳-مؤسسات پژوهشی و حامیان مالی فعال در دانش زلزله‌شناسی؛ ۴- پایش پژوهش‌های زلزله‌شناسی در ایران.

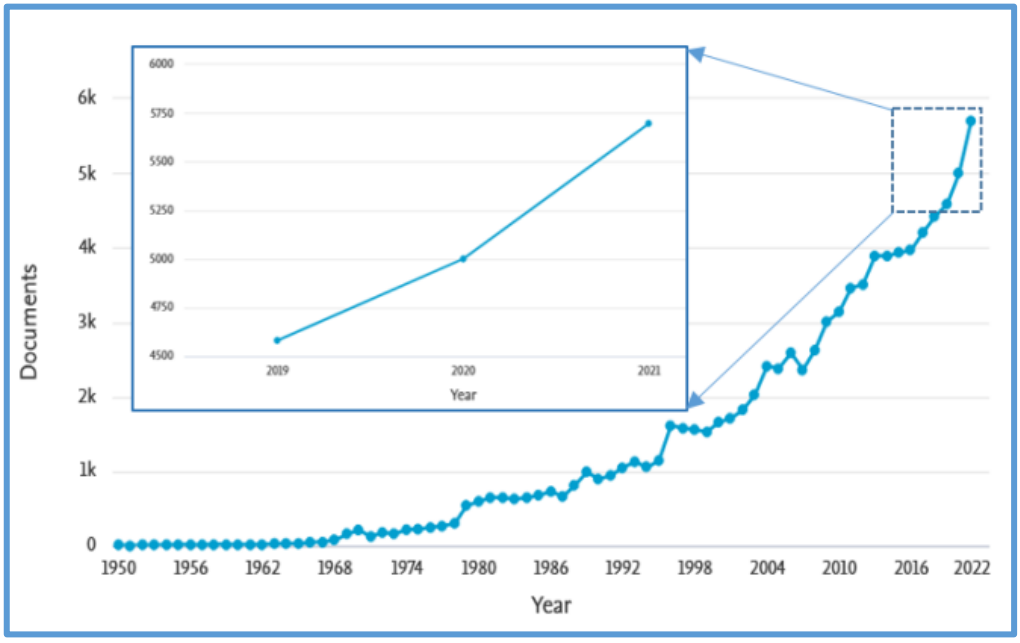
۴-۱.تحلیل کلی پژوهش‌ها در دانش زلزله

تعداد تولیدات محققان در زمینه‌ی زلزله، نمایه شده در پایگاه اسکوپوس، حدود ۱۱۲۲۶۲ مقاله است که پس از محدودسازی آن به سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱، این تعداد به ۱۵۲۷۰ مقاله منجر شد (شکل ۱).

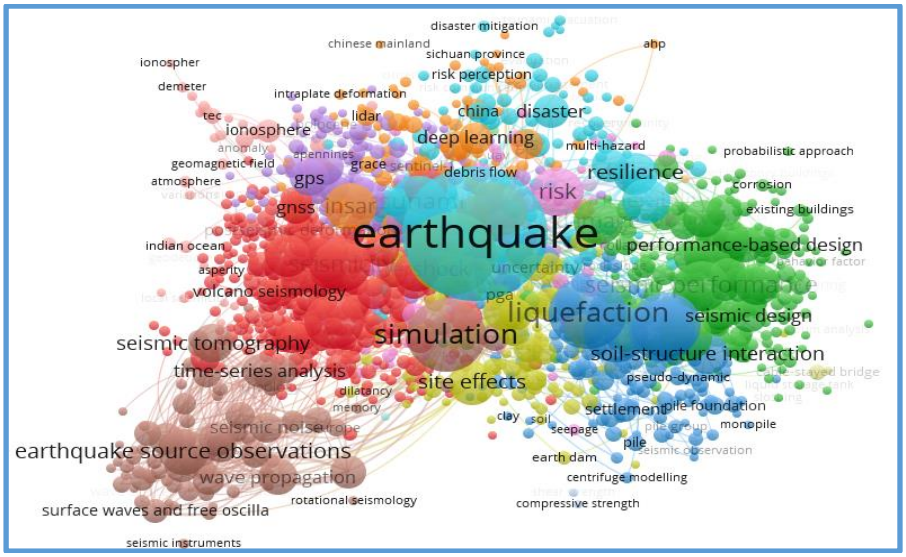
علاوه بر بررسی کلی آماری، شناسایی موضوعی مطالعات حوزه دانش زلزله انجام شده است. شکل ۲، شبکه هم‌رخدادی واژه‌های این مقالات را که با نرم‌افزار VOS Viewer رسم شده است، نشان می‌دهد. با داشتن این نقشه گراف‌مانند، بررسی و تفسیر آن ساده‌تر می‌شود. پراکندگی و گستره وسیع کلیدواژه‌ها در سطح نقشه بیانگر آن است که پژوهشگران در حوزه‌ی زلزله در تألیف مقالات خود به موضوعات مختلف و متنوعی پرداخته‌اند.

به‌عبارت‌دیگر دانش زلزله در ابعاد وسیعی از علوم و فنون مدرن توسعه یافته است. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، موضوعات مهم و اصلی پژوهشی در میانه‌ی نقشه قرار دارند؛ حضور پررنگ واژه‌هایی همچون earthquake، simulation، hazard، liquefaction و ... در مرکز نقشه نشان از اهمیت و تکرار بالای این واژه‌ها در تولیدات پژوهشگران است. اندازه‌ی دایره‌ی مربوط به هر کلیدواژه نشان‌دهنده‌ی شمار رخداد آن کلیدواژه است. هر چه تکرار کلیدواژه‌ای در مقالات هدف بیشتر باشد، دایره‌ی مربوط به آن واژه بزرگ‌تر است.

بر اساس داده‌های این شبکه، می‌توان فهرست کلیدواژه‌های دارای بیشترین رخداد را تعیین کرد. در جدول ۲ فهرست ۲۰ واژه نخست پرتکرار نقشه به ترتیب شمار رخداد نشان داده شده است. تعداد تکرار کلیدواژه‌ها در این جدول با اندازه دوایر مربوط به آن‌ها در نقشه هم‌رخدادی واژه‌ها هم‌خوانی دارد.



شکل ۱. نمودار شمار سالانه مقاله‌های نمایه شده زلزله‌شناسی در پایگاه استنادی اسکوپوس.



شکل ۲. نقشه کلیدواژه‌های حوزه دانش زلزله برای مجلات بین‌المللی برگزیده در بازه ۲۰۱۹ –۲۰۲۱.

جدول ۲. فهرست ۲۰ کلیدواژه پرتکرار در دانش زلزله.

ردیف	کلیدواژه	شمار رخداد
۱	earthquake	۱۱۶۲
۲	hazard	٤۳٤
۳	simulation	۳٤٦
٤	liquefaction	۳۳۳
۵	shake table	۲۷۲
٦	seismic response	۲٤٤
۷	FEM	۲۲٦
۸	induced earthquake	۲۰۰
۹	tsunami	۱۹۰
۱۰	seismicity	۱۸۷
۱۱	landslide	۱۸۰
۱۲	seismic performance	۱٦٤
۱۳	Risk	۱۵۷
۱٤	INSAR	۱٤۸
۱۵	dynamic analysis	۱٤۸
۱٦	damage	۱۳۹
۱۷	observations earthquake source	۱۳۷
۱۸	soil-structure interaction	۱۳٦
۱۹	vulnerability	۱۳٤
۲۰	site effects	۱۲۸

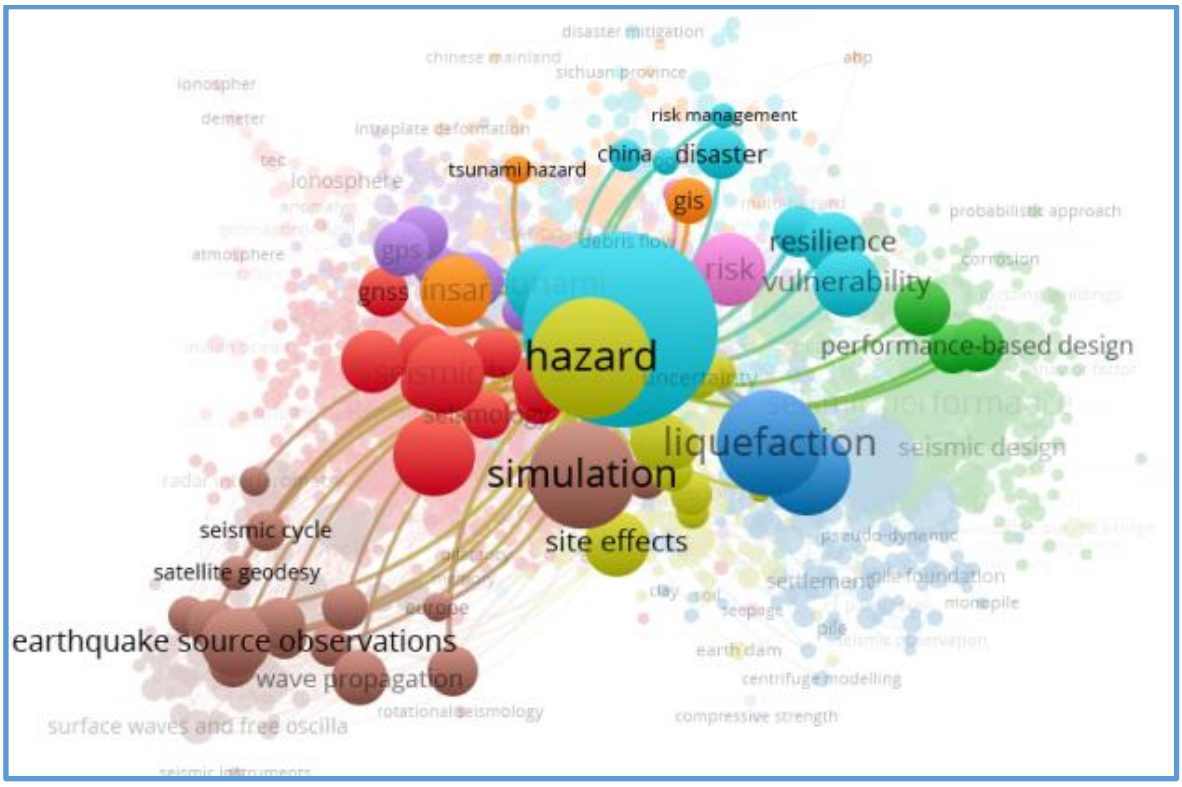
همان‌طور که اشاره شد، کلیدواژه‌های پرتکرار عمدتاً سرشاخه‌های موضوعی حوزه دانشی را معرفی می‌کنند. در نتیجه، با جستجو در این کلیدواژه‌های پرتکرار، می‌توان عناوین اصلی موضوعات علمی را در حوزه دانش زلزله مشخص کرد. البته با حذف کلیدواژه‌های عمومی (برای نمونه، کلیدواژه‌هایی مانند Simulation یا FEM)، عناوین پژوهشی روزآمد در این حوزه خودنمایی بیشتری خواهند کرد. بر این اساس و با جمع‌بندی از واژه‌ها جدول ۲، می‌توان سرشاخه‌های پژوهشی حوزه دانش زلزله را به‌صورت زیر معرفی کرد:

۱- خطر و آسیب لرزه‌ای با کلیدواژه‌های (hazard، risk، damage و vulnerability) و کاربردهایی از انواع خطر لرزه‌ای مانند (liquefaction، tsunami، landslide)؛ ۲- شبیه‌سازی تجربی (shake table)؛۳- زمین‌لرزه القایی (induced earthquake)؛ ۴- دورسنجی (INSAR)؛ ۵-

مطالعات چشمه (earthquake source observation)؛ ۶- کاربردهای مهندسی زلزله (soil-structure interaction و site effects).

رنگ‌بندی واژه‌ها در نقشه شکل ۲، معرف خوشه‌ها یا حوزه‌های موضوعی در دانش زلزله است. در هر خوشه کلیدواژه‌ای که دارای بیشترین تکرار است، به‌عنوان نام خوشه انتخاب می‌شود. این خوشه‌بندی در نرم‌افزار VOS Viewer به‌صورت خودکار و با بهره‌گیری از الگوریتم‌های خاص خوشه‌بندی انجام می‌پذیرد.

علاوه بر اطلاعات به‌دست‌آمده از موضوعات اصلی پژوهشی دانش زلزله با بررسی نقشه کلیدواژه‌ها، اطلاعاتی مفید را در مورد ارتباط کلیدواژه‌ها با یکدیگر می‌توان به دست آورد. ارتباط میان کلیدواژه‌ها در نقشه، نشان‌گر هم‌رخدادی یا هم‌نشینی واژه‌ها در یک مقاله است. فاصله نسبی هر کلیدواژه تا کلیدواژه دیگر و اندازه ضخامت خط پیوند میان آن‌ها، میزان رابطه هم‌رخدادی بین آن‌ها را مشخص می‌کند. شکل ۳، کلیدواژه‌های مرتبط با واژه کلیدی hazard را بازنمایی کرده است. همان‌طور که مشاهده شد، واژه hazard نخستین موضوع پژوهشی مورد علاقه پژوهشگران دانش زلزله است. شاید یکی از علل افزایش رتبه مطالعات اجتماعی در دانش زلزله، مدیریت اجتماعی بحران زلزله است. از بررسی کلیدواژه‌های مرتبط با این واژه می‌توان دریافت که در مقالات سالیان اخیر، پژوهشگران در زمینه hazard، بیشتر پیرامون چه موضوعاتی به بحث پرداخته‌اند. در جدول ۳، فهرست ۲۰ واژه دارای بیشترین پیوند با واژه hazard ارائه شده است. از بررسی کیفی و کارشناسانه این واژه‌ها می‌توان دریافت که عناوین اصلی پژوهشی در زمینه hazard عبارت‌اند از: ۱- ارزیابی خطر به‌ویژه ارزیابی احتمالاتی (seismichazard assessment، probabilistic seismic hazard assessment، risk assessment، hazard analysis)؛ ۲- رخدادهای خطرزا (tsunami، induced earthquake، liquefaction، landslide)؛ ۳- کاربردهای مهندسی زلزله (peak acceleration، site effects، ground motion prediction equations، ground motion)؛ ۴- تاب‌آوری (resilience)؛ ۵- خطر چندگانه (multi-hazard)؛ ۶- Paleoseismology



شکل ۳. پیوندهای میان واژه‌هایی موضوع پژوهشی hazard.

جدول ۳. فهرست ۲۰ کلیدواژه دارای بیشترین پیوند با واژه hazard.

ردیف	کلیدواژه	شمار رخداد	LNS
۱	hazard	٤٠٣	۱۷۵۲
۲	earthquake	۷٤	۳۹۳
۳	risk	۳۵	۱۷۹
٤	probabilistic seismic hazard assessment	٤۳	۱۷۱
۵	tsunami	۲۹	۱۳۱
٦	peak acceleration	۲۵	۱۲۱
۷	seismic hazard assessment	۲٦	۱۱٦
۸	site effects	۲٦	۱۱۳
۹	simulation	۲۳	۱۰۱
۱۰	resilience	۱٦	۹۳
۱۱	tsunami hazard	۲۱	۹۲
۱۲	risk assessment	۱۸	۹۰
۱۳	hazard analysis	۲۱	۸۳
۱٤	multi-hazard	۱٦	۷۸
۱۵	paleoseismology	۱٦	۷۷
۱٦	ground motion	۱۷	۷٦
۱۷	ground motion prediction equations	۱٦	۷۱
۱۸	induced earthquake	۱۸	۷۰
۱۹	liquefaction	۱٤	۷۰
۲۰	landslide	۱٦	٦۹

۴-۲. موضوعات پژوهشی با توانمندی فناورانه

علاوه بر عناوین موضوعات دارای بیشترین رغبت پژوهشی در حوزه دانش زلزله که در بالا مشخص شد، پژوهشگران هر حوزه دانشی علاقه‌مند به شناسایی موضوعاتی هستند که هم زمینه و ظرفیت کار تحقیقاتی داشته باشند و هم به لحاظ فناورانه و تجاری آینده روشنی پیش روی آن موضوعات باشد. برای رتبه‌بندی موضوعات پژوهشی بر مبنای پتانسیل صنعتی، معیار بیشترین آهنگ سرمایه‌پذیری به توسعه‌یافتگی (NSp/LnS)، معرفی شده است. در جدول ۴، کلیدواژه‌های حوزه دانش زلزله بر مبنای معیار شیب بیشتر سرمایه‌پذیری به توسعه‌یافتگی ارائه شده‌اند. بررسی جدول ۴ نشان می‌دهد که رتبه‌بندی واژه‌ها، با رتبه‌بندی واژه‌ها در جدول ۲ که در آن واژه‌ها صرفاً برحسب شمار رخداد اولویت‌بندی شده بودند، متفاوت است. در جدول ۲، واژه‌ها نخست رتبه‌بندی، واژه‌های کلی و سرشاخه‌های موضوعی بودند که در بسیاری از پژوهش‌های حوزه زلزله تکرار می‌شوند و نشان‌دهنده روند کنونی پژوهش محققان دانش زلزله می‌باشند. درحالی‌که کلیدواژه‌های جدول ۴، هنوز مورد علاقه پژوهشگران قرار نگرفته‌اند (شمار اندک رخدادهای این واژه‌ها گواه این مطلب است)، اما انتظار می‌رود در آینده، این موضوعات مورد توجه پژوهشگران قرار گیرند؛ از این رو، ظرفیت پژوهشی این موضوعات بالا است و چشم‌انداز روشنی از منظر فناوری و تجاری‌سازی دارند. بررسی کیفی جدول ۴ نشان دهنده آن است که واژه‌ها با رتبه بهتر، جنبه فناورانه بیشتری دارند.

جدول ٤. رتبه‌بندی واژه‌ها بر مبنای بیشترین مقدار سرمایه‌پذیری به توسعه‌یافتگی.

ردیف	کلیدواژه	شمار رخداد	LnS	NSp	normalized LnS	normaizedl NSp	NSp/ LnS
۱	great east japan earthquake	۸	۲	۹	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۶۳	۷/۹۶۷٤
۲	Chinese mainland	۵	۳	۱۳	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۹۱	۷/٦۷۲۳
۳	distributed acoustic sensing	٦	۵	۱۸	۰/۰۰۲۰	۰/۰۱۲٦	٦/۳۷۳۹
٤	mining-induced seismicity	۵	۳	۱۰	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۷۰	۵/۹۰۱۸
۵	ancient earthquakes	۵	٤	۱۲	۰/۰۰۱٦	۰/۰۰۸٤	۵/۳۱۱٦
٦	tengchong volcano	۵	۵	۱٤	۰,۰۰۲۰	۰/۰۰۹۸	٤/۹۵۷۵
۷	earthquake disaster	۱۱	۸	۲۲	۰/۰۰۳۲	۰/۰۱۵٤	٤/۸٦۸۹
۸	damage evaluation	۷	٦	۱۵	۰/۰۰۲٤	۰/۰۱۰۵	٤/٤۲٦۳
۹	oceanic lithosphere	٦	٦	۱۵	۰/۰۰۲٤	۰/۰۱۰۵	٤/٤۲٦۳
۱۰	probabilistic tsunami hazard assessment	٦	٦	۱۵	۰/۰۰۲٤	۰/۰۱۰۵	٤/٤۲٦۳
۱۱	demeter satellite	٦	٤	۱۰	۰/۰۰۱٦	۰/۰۰۷۰	٤/٤۲٦۳
۱۲	topographic effects	۵	٤	۱۰	۰/۰۰۱٦	۰/۰۰۷۰	٤/٤۲٦۳
۱۳	residual displacements	٦	۲	۵	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۳۵	٤/٤۲٦۳
۱٤	fault segmentation	۹	۹	۲۲	۰/۰۰۳٦	۰/۰۱۵٤	٤/۳۲۸۰
۱۵	thermal pressurization	۷	۸	۱۹	۰/۰۰۳۲	۰/۰۱۳۳	٤/۲۰۵۰
۱٦	formation mechanism	۹	۱۰	۲۳	۰/۰۰٤۰	۰/۰۱٦۱	٤/۰۷۲۲
۱۷	Greenland	۷	۷	۱٦	۰/۰۰۲۸	۰/۰۱۱۲	٤/۰٤٦۹
۱۸	mechanical property	۷	٤	۹	۰/۰۰۱٦	۰/۰۰٦۳	۳/۹۸۳۷
۱۹	discontinuous deformation	۸	۱۲	۲٦	۰/۰۰٤۸	۰/۰۱۸۲	۳/۸۳٦۱
۲۰	borehole breakout	۵	٦	۱۳	۰/۰۰۲٤	۰/۰۰۹۱	۳/۸۳٦۱
۲۱	degassing	۵	٦	۱۳	۰/۰۰۲٤	۰/۰۰۹۱	۳/۸۳٦۱
۲۲	circular tunnel	۵	۸	۱۷	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۹۱	۳/۷٦۲٤
۲۳	tsunami evacuation	۸	۵	۱۰	۰,۰۰۲۰	۰/۰۰۷۰	۳/۵٤۱۱
۲٤	presto	۵	۵	۱۰	۰,۰۰۲۰	۰/۰۰۷۰	۳/۵٤۱۱
۲۵	fracture energy	۱۰	۱۲	۲٤	۰/۰۰٤۸	۰/۰۱٦۸	۳/۵٤۱۱
۲٦	data assimilation	۸	۱۲	۲٤	۰/۰۰٤۸	۰/۰۱٦۸	۳/۵٤۱۱
۲۷	GPS tec	۷	۷	۱٤	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۹۸	۳/۵٤۱۱
۲۸	parameters earthquake source	۵	۷	۱٤	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۹۸	۳/۵٤۱۱
۲۹	fault roughness	۵	۷	۱٤	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۹۸	۳/۵٤۱۱
۳۰	kilauea volcano	۵	٦	۱۲	۰/۰۰۲٤	۰/۰۰۸٤	۳/۵٤۱۱

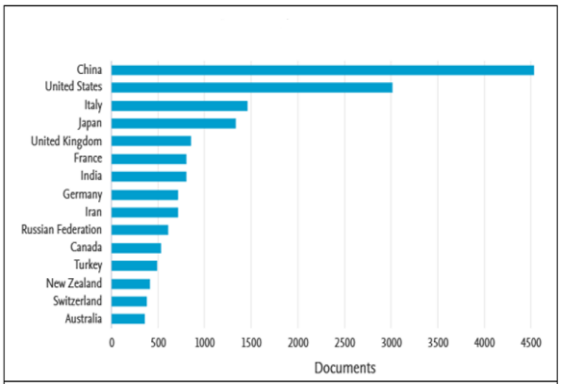
۴-۳. مؤسسات پژوهشی و حامیان مالی دانش زلزله

۴-۳-۱. همکاری مؤسسات پژوهشی

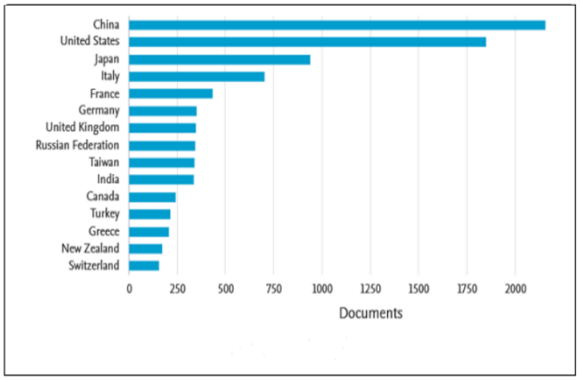
نخست، به بررسی عملکرد کشورها در زمینه پژوهش‌های زلزله پرداخته می‌شود. سپس با نگاهی ریزتر، کارکرد پژوهشی مؤسسات پژوهشی مهم و مؤثر جهانی بررسی خواهد شد.

در نمودارهای شکل ۴ شمار مقالات نمایه شده کشورهای مختلف در زمینه دانش زلزله به ترتیب در بازه‌های زمانی ۲۰۱۹-۲۰۲۱ و ۲۰۰۷-۲۰۰۹ نمایش داده شده است. نکته قابل توجه از مقایسه این نمودارها، کشور ایران است، درحالی‌که در بازه ۲۰۰۷-۲۰۰۹ در فهرست ۱۵ کشور برتر پژوهشی در حوزه تولید علم زلزله نبوده است، طی سه سال اخیر خود را به جایگاه نهم و تقریباً هم‌ردیف با کشور آلمان رسانده است. این در حالی است که در دیگر کشورهای برتر، علیرغم جابه‌جایی‌های اندک در رتبه‌بندی، تغییر چشمگیری دیده نمی‌شود. کشورهای چین، آمریکا، ژاپن و ایتالیا در پژوهش و تولید مقالات علمی در سطح جهان جایگاه اول تا چهارم را دارند و در عرصه دانش زلزله پیشتازند.

علاوه بر آن، شمار مقالات به تفکیک مؤسسات پژوهشی مختلف دنیا در زمینه دانش زلزله در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۲۱ در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، بیشتر تولیدات علمی از سوی مؤسسات پژوهشی چینی ارائه‌شده‌اند و چند دانشگاه آمریکایی و آسیایی نیز در رتبه‌های بعدی، در تولیدات دانش زلزله مشارکت داشته‌اند.

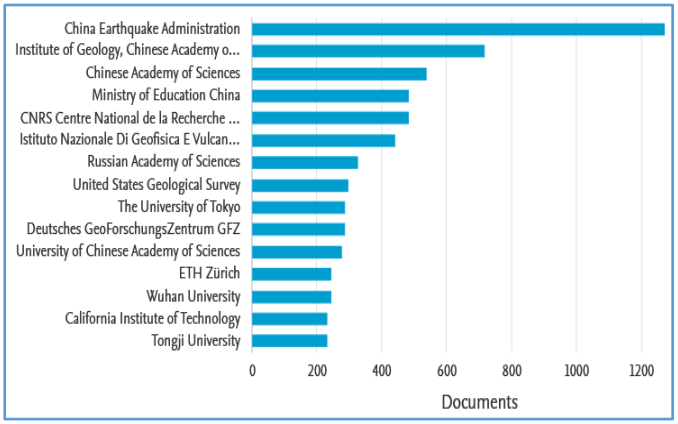


(الف)



(ب)

شکل ٤. شمار مقالات زلزله‌شناسی کشورهای مختلف در بازه زمانی (الف) ۲۰۱۹-۲۰۲۱ و (ب) ۲۰۰۷-۲۰۰۹.



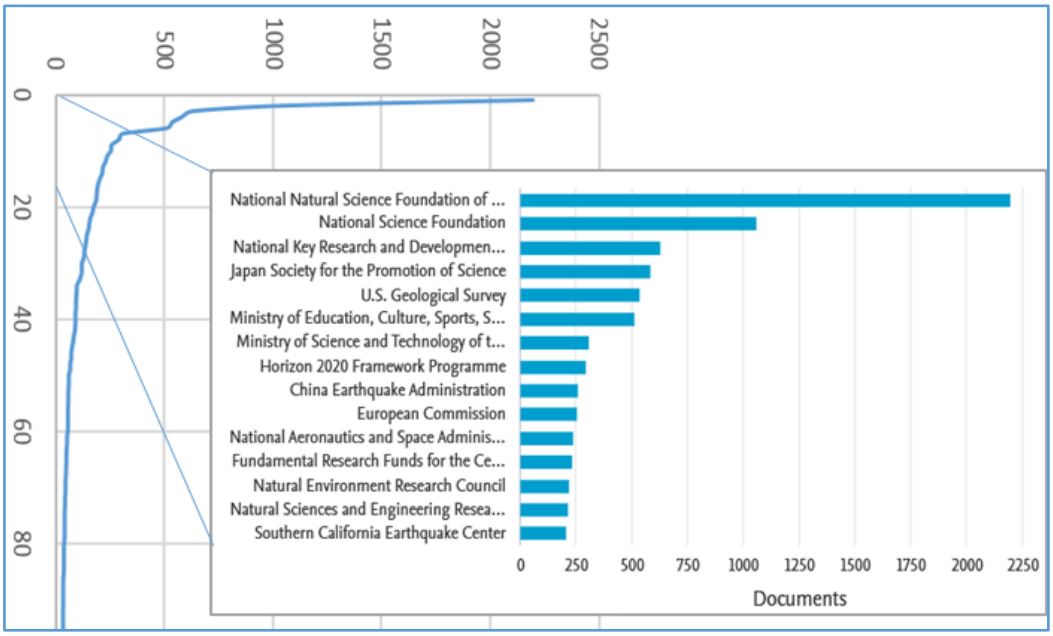
شکل ۵. شمار مقالات در حوزه زلزله مؤسسات پژوهشی در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۲۱.

۴-۳-۲. همکاری حامیان مالی

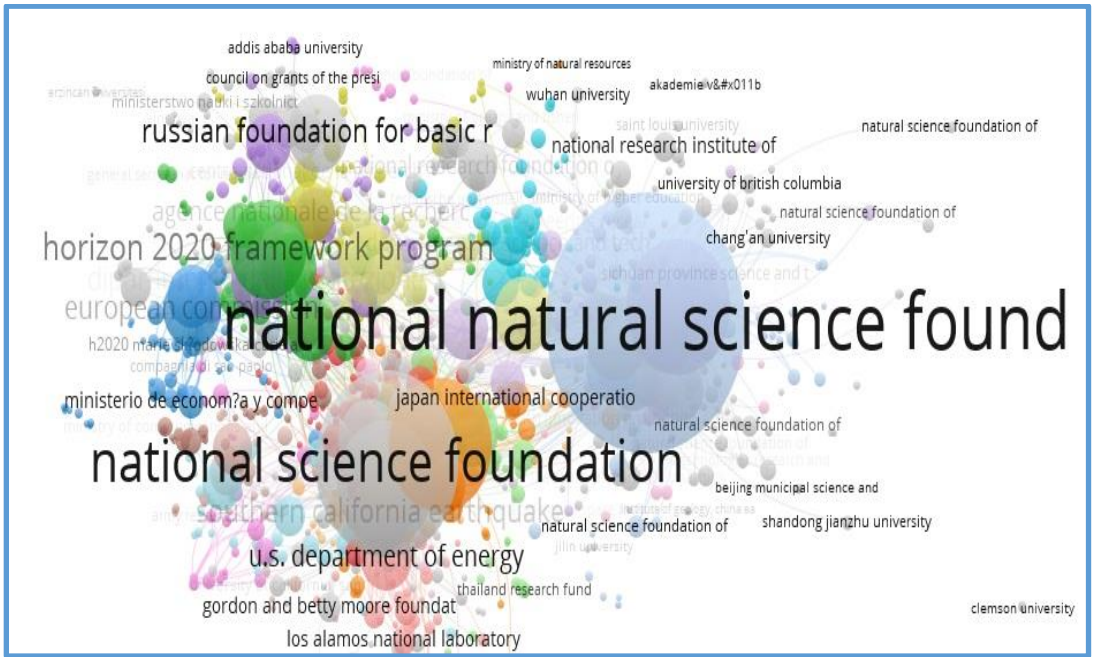
در این بخش، حامیان مالی پژوهش‌ها در زمینه دانش زلزله مورد بررسی قرار می‌گیرند. رفتارسنجی حامیان مالی در یک حوزه پژوهشی از اهمیت زیادی برخوردار است؛ در واقع، درک رفتار پشتیبانان مالی که عمدتاً با انگیزه‌های تجاری و صنعتی و یا با پیروی از سیاست‌های مطالعه شده علمی، از پژوهش‌های دانشگاهی حمایت می‌کنند، چشم‌انداز نحوه همکاری با آن‌ها را برای پژوهشگران و مؤسسات پژوهشی که ناگزیر از جذب پژوهانه برای پیشبرد پژوهش‌های علمی هستند، روشن می‌سازد. در رفتارسنجی حامیان پژوهشی، شناسایی نحوه همکاری حامیان مالی با یکدیگر، حامیان مالی با مؤسسات پژوهشی و از همه مهم‌تر شناسایی علاقه‌مندی‌های پژوهشی آن‌ها حائز اهمیت است.

شکل ۶ شمار مقالات حمایت شده از سوی حامیان مالی فعال در حوزه دانش زلزله را در سه سال اخیر نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که بنیادهای علمی چین و آمریکا به ترتیب بالاتر از ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰ پژوهش را پشتیبانی کرده‌اند و حمایت‌های مالی از سوی دیگر حامیان مالی با روندی نمایی کاهش یافته است. همچنین، عمده حامیان برتر، نهادهای دولتی هستند که اختصاصاً وظیفه پشتیبانی از مطالعات بنیادی را برعهده دارند و کمتر نهاد خصوصی با کارکردهای خاص تجاری و دفاعی به چشم می‌خورد.

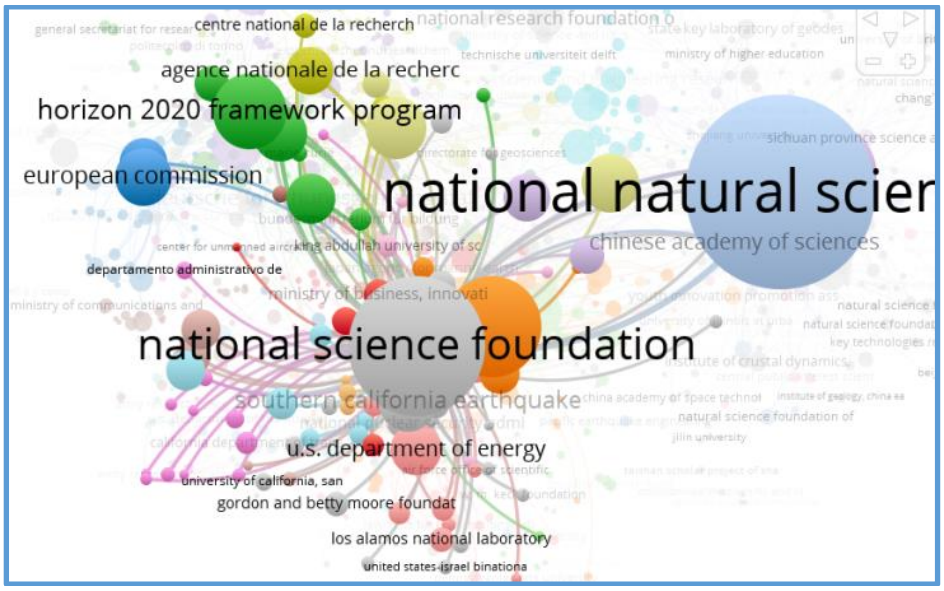
برای بررسی الگوی همکاری حامیان مالی، نقشه‌ی همکاری و تعامل بین حامیان مالی پروژه‌های تحقیقاتی مشترک در سراسر جهان پیرامون زلزله (earthquake) برای سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۱۹ تهیه شده است (شکل ۷). در شکل ۷، حضور بنیاد ملی علوم طبیعی چین (Natural Science Foundation of China National) مشهور به NSFC را به‌وضوح می‌توان دید. چین با مشارکت در بسیاری از پروژه‌های تحقیقاتی با موضوع زلزله در داخل کشور چین و همکاری گسترده در پروژه‌های تحقیقاتی مشترک با سایر مؤسسات تحقیقاتی در سراسر دنیا، در این زمینه پیشتازند. یکی دیگر از سازمان‌های فعال در حمایت مالی پروژه‌ها، بنیاد ملی علوم آمریکا (National Science Foundation (NSF)) است. این سازمان علاوه بر سازمان‌ها و مؤسسات داخلی، با کشورهایی نظیر چین، ژاپن و کشورهای اروپایی در موضوعات علمی همکاری مشترک دارد (شکل ۸).



شکل ٦. شمار مقالات حمایت شده از سوی حامیان مالی فعال در حوزه دانش زلزله در علوم زمین.

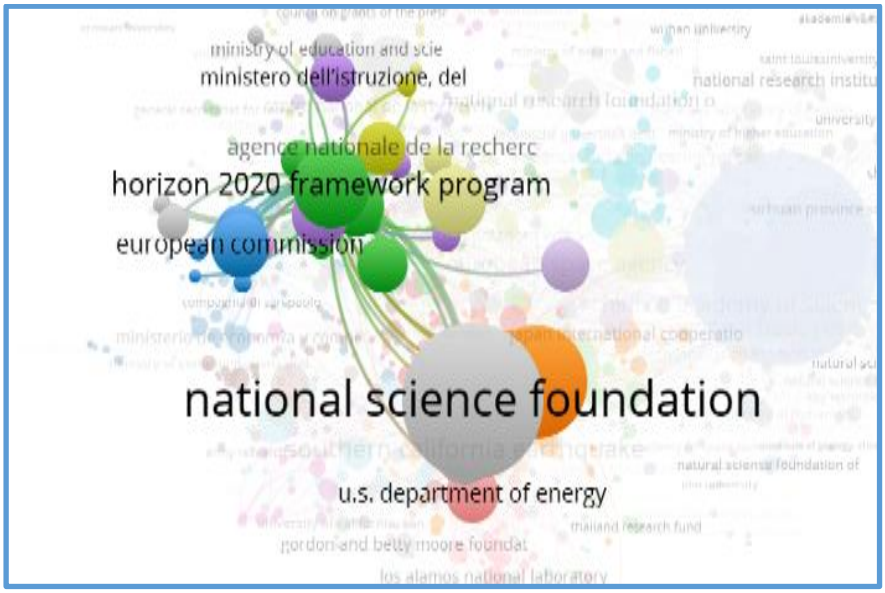


شکل ۷. الگوی همکاری بین حامیان مالی پروژه‌های تحقیقاتی مشترک با موضوع زلزله در جهان.

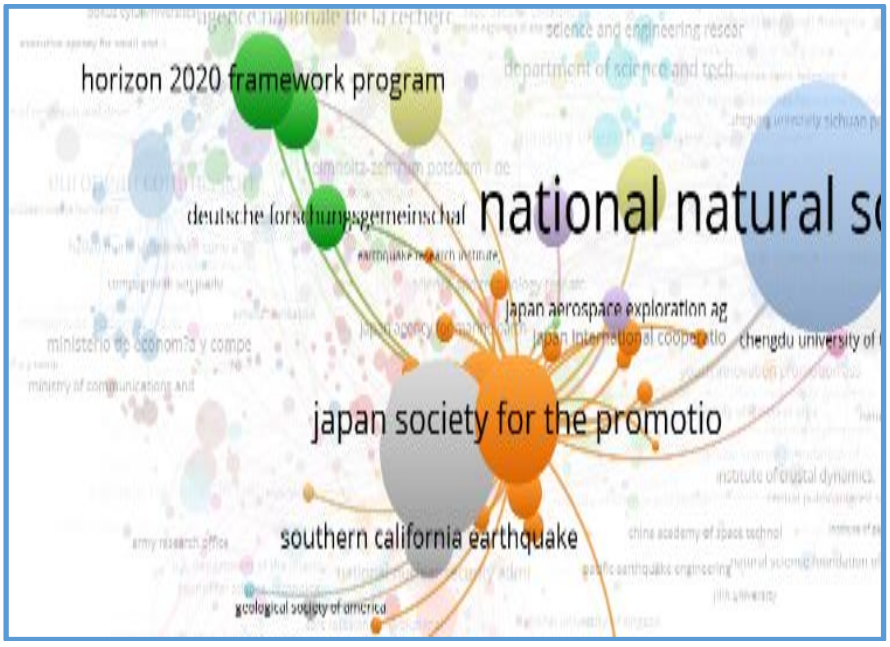


شکل ۸. الگوی همکاری NSF با دیگر حامیان مالی در زمینه دانش زلزله.

اتحادیه‌ی اروپا نیز برای حمایت تحقیقات علمی، برنامه‌های چارچوبی توسعه‌ی فنی و تحقیقاتی (Framework Programes for Reserch and Technological Development) را برای تأمین مالی پروژه‌های تحقیقاتی حوزه زلزله فراهم آورده است که علاوه بر کشورهای اروپایی، همکاری زیادی با حامیان آمریکایی و تا حدی ژاپنی دارد (شکل ۹). همچنین، انجمن ارتقای علم ژاپن (Japan society for the promotion of science) نقش اساسی در اداره‌ی طیف وسیعی از برنامه های علمی و دانشگاهی ژاپن، پرورش محققان جوان و ارتقای همکاری بین المللی ایفا می کند. ژاپن بیشتر در حوزه‌ی داخلی فعالیت دارد و در حوزه‌ی بین المللی بیشتر با اروپا و آمریکا در تعامل و همکاری است (شکل ۱۰).



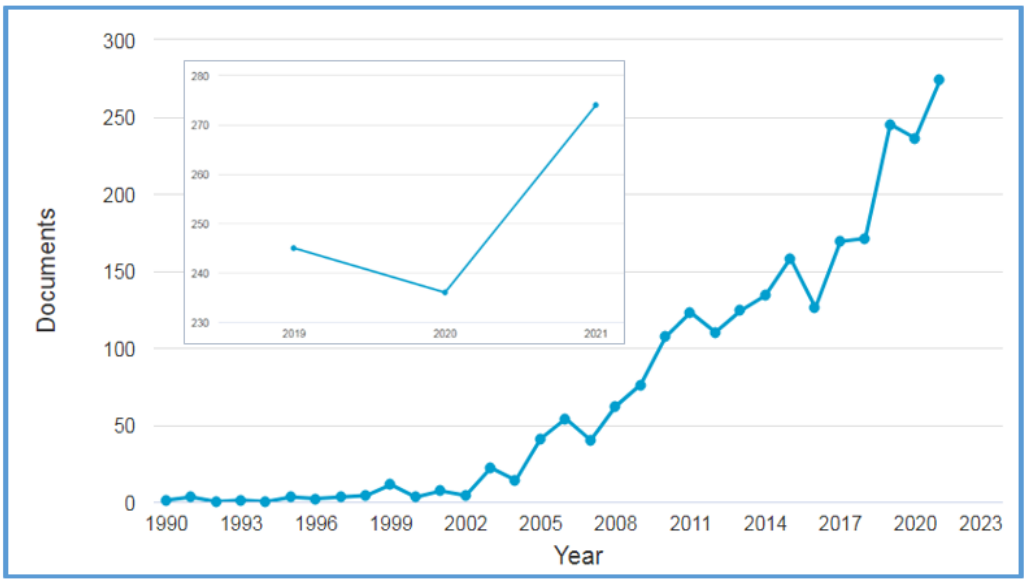
شکل ۹. الگوی همکاری حامیان مالی اروپایی با دیگر حامیان مالی در زمینه دانش زلزله.



شکل ۱۰. الگوی همکاری ژاپن با دیگر حامیان مالی در زمینه دانش زلزله.

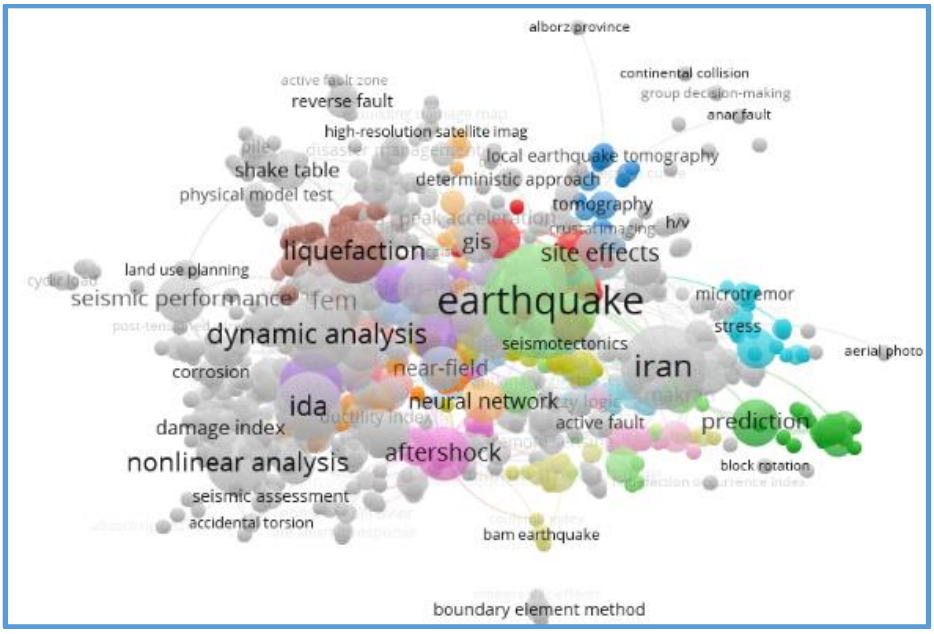
۴-۴. پایش پژوهش‌های زلزله در ایران

در این بخش، به این پرسش پاسخ داده می‌شود که برون‌داده‌های علمی دانشگاه‌ها و مؤسسات پژوهشی ایران در دانش زلزله‌شناسی، عمدتاً معطوف به چه حوزه‌های دانشی است و چه تفاوتی با رویکردهای پژوهشی مؤسسات مهم زلزله‌شناسی جهانی دارد؟ برای پاسخ به این پرسش، با استناد به پایگاه اطلاعاتی اسکوپوس تعداد ۷۲۸ مقاله محدود به بازه‌ی زمانی ۲۰۲۱-۲۰۱۹ در حوزه زلزله را تولیدات علمی ایران به خود اختصاص داده است. در نمودار شکل ۱۱، روند رشد پژوهش‌های ایران در زمینه دانش زلزله با کاربرد در علوم زمین از سال ۱۹۹۰ تاکنون نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که این روند اگرچه با افت‌وخیز همراه است اما در نمای کلی الگویی تصاعدی نشان می‌دهد به‌ویژه در ۱۰ ساله اخیر رشد چشمگیری داشته است.



شکل ۱۱. نمودار شمار سالانه مقاله‌های ایران نمایه شده در پایگاه استنادی SCOPUS در زمینه دانش زلزله.

پس از بررسی کلی آماری، شناسایی موضوعی مطالعات در حوزه دانش زلزله در کشور ما برای شبکه هم‌رخدادی واژه‌هایی مقالات استخراج شده از پایگاه داده اسکوپوس در شکل ۱۲ بررسی و ترسیم شده است. همان‌طور که در شکل‌های ۴-۱۶ و ۴-۱۷ مشخص است، موضوعات مهم و اصلی پژوهشی در میانه‌ی نقشه قرار دارند؛ حضور پررنگ واژه‌هایی همچون Iran، hazard، site effect و ... در مرکز نقشه نشان از اهمیت و تکرار بالای این واژه‌ها در تولیدات پژوهشگرهای ایران است. بر اساس داده‌های شبکه شکل (۱۲)، فهرست ۲۰ کلیدواژه‌های دارای بیشترین رخداد در جدول ۵ به ترتیب شمار رخداد ارائه شده است.



شکل ۱۲. نقشه هم‌رخدادی واژه‌ها در مقالات مرتبط با دانش زلزله در ایران.

جدول ۵. فهرست ۲۰ کلیدواژه پرتکرار در دانش زلزله در مقالات ایران.

ردیف	کلیدواژه	شمار رخداد
۱	Earthquake	۷۱
۲	Iran	۳۸
۳	dynamic analysis	۲۶
٤	Ida	۲۵
۵	Simulation	۲۱
٦	fragility curve	۲۰
۷	Hazard	۲۰
۸	Liquefaction	۲۰
۹	nonlinear analysis	۲۰
۱۰	Fem	۱۷
۱۱	Aftershock	۱۵
۱۲	Zagros	۱۵
۱۳	Resilience	۱٤
۱٤	site effects	۱٤
۱۵	Vulnerability	۱٤
۱٦	seismic response	۱۳
۱۷	seismic performance	۱۲
۱۸	Prediction	۱۱
۱۸	near-field	۱۰
۲۰	Optimization	۱۰

نکته قابل توجه آن است که بیش از نیمی از مقالات ارائه شده در این حوزه، به بررسی زلزله در کشور ایران پرداخته‌اند که این، نشان از توجه پژوهشگران داخلی به چالش زلزله از منظر بومی و حل مشکلات داخلی در این حوزه دارد. در این میان، به‌ویژه توجه به پهنه لرزه‌خیزی زاگرس به‌خصوص بعد از وقوع زمین‌لرزه سال ۱۳۹۶ سرپل ذهاب با بزرگای ۷/۳ قابل توجه است.

بر پایه جدول ۵، می‌توان سرشاخه‌های پژوهشی حوزه دانش زلزله در ایران را به‌قرار زیر معرفی کرد:

۱-تحلیل دینامیکی و ارزیابی سازه‌ای (dynamic analysis، IDA) و تحلیل غیرخطی (nonlinear analysis)؛

۲- خطر لرزه‌ای و ارزیابی خطر (hazard، fragilitycurve، resilience، vulnerability)؛۳- روانگرایی (liquefaction)؛

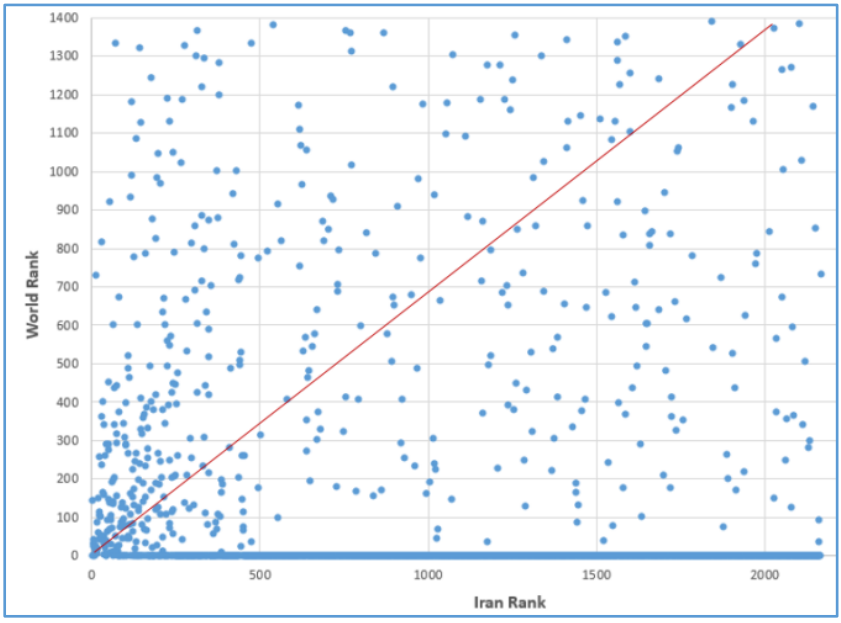
۴- کاربردهای زلزله‌شناسی مهندسی و اثرات ساختگاه

(site effects)؛ ۵- در حوزه زلزله‌شناسی، سه موضوع خاص زیر بیشتر مورد توجه قرار گرفته است:

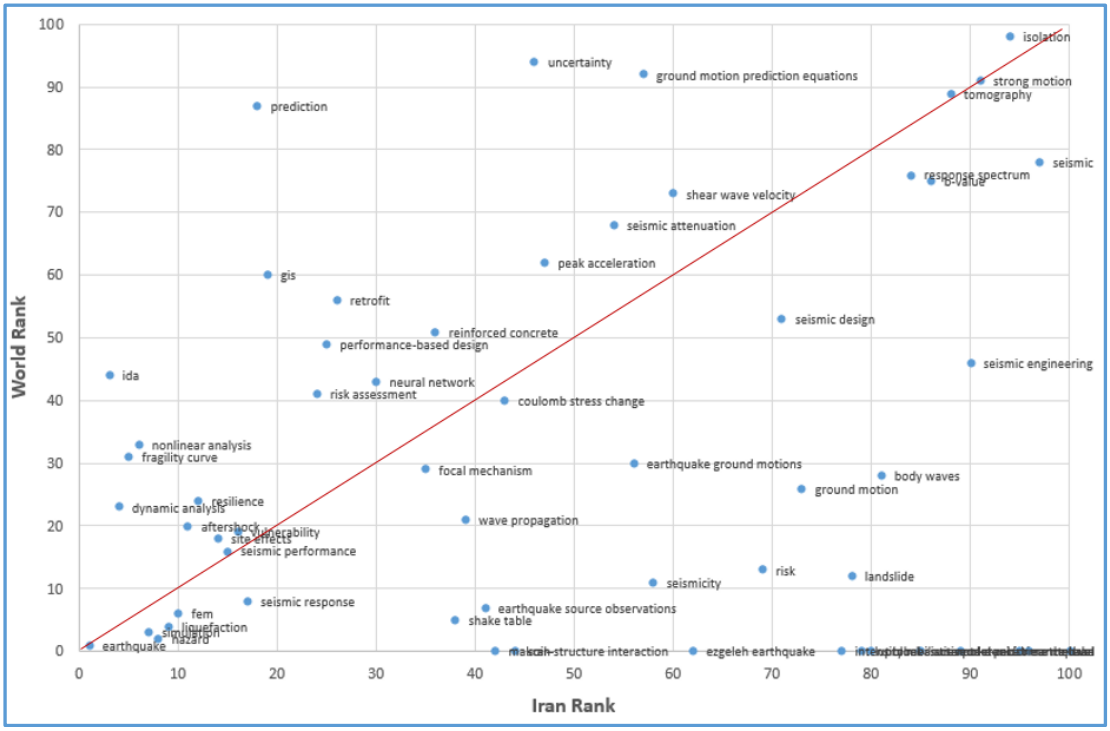
۵-۱) پس‌لرزه (aftershock)؛ ۵-۲) پیش‌بینی (prediction)؛ ۵-۳) اثرات نزدیک گسل (near-field).

در شکل ۱۳، رتبه توسعه‌یافتگی کلیدواژه‌های مقالات سه ساله اخیر ایران و جهان در حوزه دانش زلزله با یکدیگر مقایسه شده‌اند. خط قرمز رنگ در نمودار، نشان‌دهنده الگوی هماهنگی کامل است؛ در واقع، نقاط روی این خط و یا پیرامون آن، کلیدواژه‌هایی هستند که رتبه توسعه‌یافتگی آن‌ها در ایران و جهان مشابهت معناداری به یکدیگر دارند. با این رو، همان‌گونه که از پراکندگی نقاط شکل پیداست، علیرغم رشد کمی پژوهش‌های مؤسسات ایرانی حوزه زلزله، هماهنگی چشمگیری در موضوعات پژوهشی دیده نمی‌شود.

در شکل ۱۴، یکصد کلیدواژه‌های برتر توسعه‌یافته علمی ایران و جهان، بر پایه نمودار شکل ۱۳، بازنمایی شده‌اند. بررسی و مقایسه این کلیدواژه‌های برتر، به دلیل آن‌که تا حدودی سرشاخه‌های پژوهشی را مشخص می‌کنند، دارای اهمیت است. کلیدواژه‌های پیرامون خط هماهنگی، نشان‌دهنده موضوعات پژوهشی با ارزش همسان از دیدگاه پژوهشگران ایران و جهان‌اند. کلیدواژه‌های دورتر از خط هماهنگی و در زیر آن، موضوعاتی هستند که بیشتر مورد توجه پژوهشگران جهانی قرار دارد و جا دارد که پژوهشگران ایرانی درباره اهمیت پرداختن به آن‌ها ارزیابی داشته باشند. مهم‌ترین این کلیدواژه‌های، shake table، earthquake source observation، ground motion، body wave، risk و landslide است. همچنین، کلیدواژه‌های دورتر از خط هماهنگی و بالای آن، موضوعات پژوهشی هستند که بیش از آن‌که هم‌اکنون، اولویت پژوهشی مؤسسات جهانی باشند، مورد توجه و اقبال پژوهشگران ایرانی قرار دارند و ضروری است، پرداختن به آن‌ها ارزیابی و احیاناً بازنگری قرار گیرد. مهم‌ترین این موضوعات پژوهشی عبارت‌اند از تحلیل‌های دینامیکی و غیرخطی، مقاوم‌سازی، پیش‌بینی و روابط کاهندگی. البته کلیدواژه‌های ناهماهنگ در این مقایسه الزاماً بد نیستند و ضروری است درباره پرداختن یا عدم پرداختن به آن‌ها از سوی پژوهشگران ایران دقت نظر صورت گیرد.

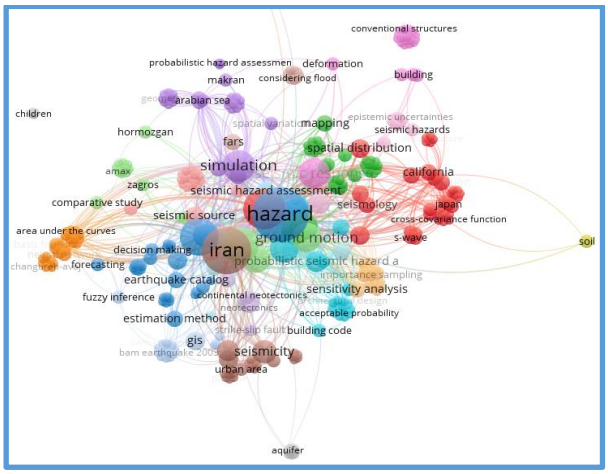


شکل ۱۳. مقایسه رتبه توسعه‌یافتگی کلید واژه‌ها حوزه دانش زلزله در مقالات جهان و ایران.

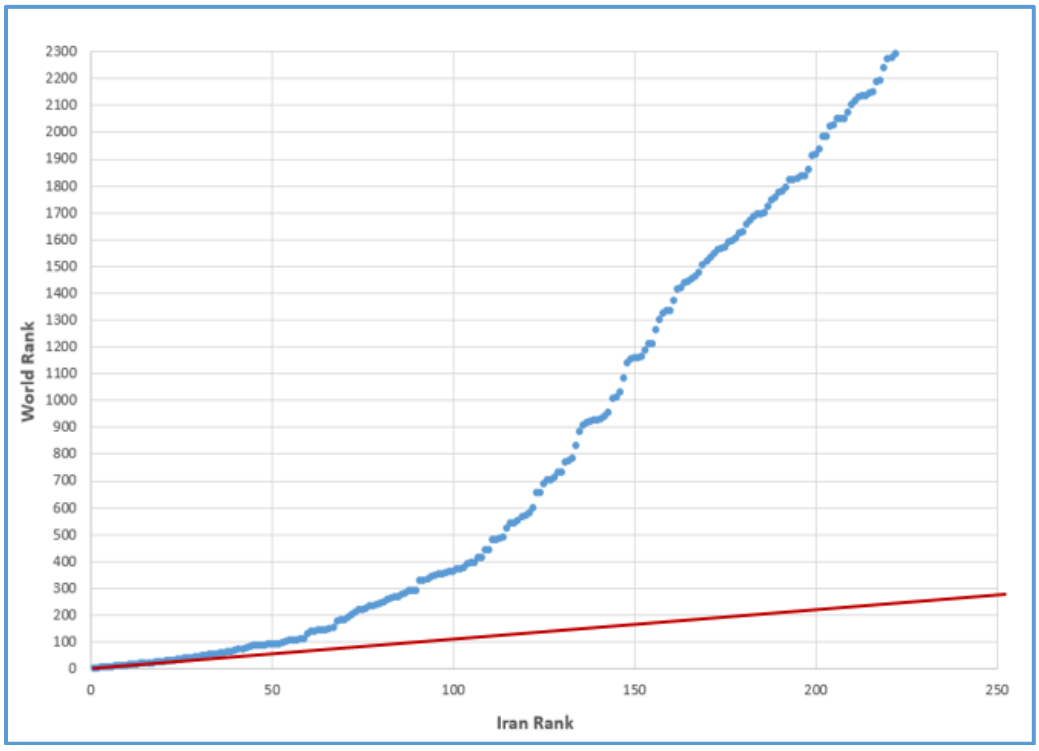


شکل ۱۴. تصویر بزرگنمایی شده از مقایسه رتبه توسعه‌یافتگی ۱۰۰ کلیدواژه‌های برتر حوزه دانش زلزله در مقالات جهان و ایران.

همان‌طور که از جدول ۵ و شکل ۱۴ مشاهده می‌شود، موضوع hazard که در سطح جهانی بسیار مورد توجه است، در رتبه‌های نخستین تولیدات علمی ایران نیز قرار دارد. از بررسی کلیدواژه‌های مرتبط با این واژه (شکل ۱۵) می‌توان دریافت که در مقالات سالیان اخیر، پژوهشگران ایرانی در زمینه hazard، بیشتر پیرامون چه موضوعاتی به بحث پرداخته‌اند. این عناوین، با عناوین پژوهش‌های جهانی گزارش شده هماهنگی مناسبی دارند. در حدود نیمی از واژه‌های پژوهشی در این حوزه، در مقالات ایران و جهان مشترک است و همان‌طور که در شکل ۱۶ نشان داده شده است، اولویت‌بندی پژوهشی از نظر توسعه‌یافتگی در نزدیک به ۳۰ واژه نخست از هماهنگی خوبی برخوردار است. انحراف واژه‌های از خط همسانی اولویت‌بندی در شکل ۶ (خط قرمز رنگ) نشان‌دهنده آن است که برخی پژوهشگران ایرانی به موضوعاتی در حوزه زلزله پرداخته‌اند که کمتر مورد علاقه پژوهشگران بین‌المللی بوده است.



شکل ۱۵. پیوندهای میان واژه‌هایی موضوع پژوهشی hazard.



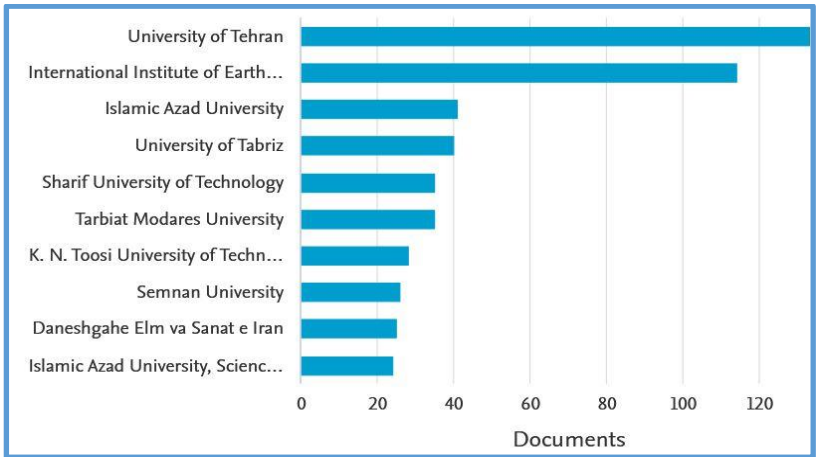
شکل ۱۶. مقایسه رتبه موضوعات پژوهشی در زمینه hazard میان ایران و جهان از نظر توسعه‌یافتگی.

اکنون و در این بخش، به شناسایی مهم‌ترین موضوعات با پتانسیل‌های تحقیقاتی و صنعتی در حوزه‌ی دانش زلزله‌شناسی در ایران می‌پردازیم. همان‌طور که پیش‌تر، بیان شد برای رتبه‌بندی موضوعات پژوهشی بر مبنای پتانسیل صنعتی، معیار بیشترین آهنگ سرمایه‌پذیری به توسعه‌یافتگی (NSp/LnS)، به‌کاربرده می‌شود. در جدول ۶، کلیدواژه‌های حوزه دانش زلزله در ایران بر مبنای معیار شیب بیشتر سرمایه‌پذیری به توسعه‌یافتگی محاسبه شده است. کلیدواژه‌های گزارش شده در جدول ۶ هرچند مورد علاقه جدی پژوهشگران کشورمان نیست (شمار اندک رخدادهای این واژه‌ها نشان‌دهنده این مطلب است)، اما انتظار می‌رود که در آینده، این موضوعات مورد توجه پژوهشگران ایرانی قرار گیرند. بررسی جدول ۶ نشان دهنده آن است که این واژه‌ها با واژه‌های متناظر جهانی، گزارش شده در جدول ۴، تفاوت دارند. شاید بخشی از این ناهماهنگی مربوط به عملکرد حامیان مالی در این شاخه پژوهشی باشد و ضروری است رفتار حامیان مالی و پیروی آن‌ها از سیاست‌های مدون تحقیقاتی مورد ارزیابی قرار گیرد.

در خاتمه عملکرد پژوهشی مؤسسات پژوهشی داخل کشور بررسی شده است. نمودار شکل ۱۷ شمار مقالات ارائه شده از سوی دانشگاه‌ها و مؤسسات مختلف ایرانی در زمینه دانش زلزله در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۹-۲۰۲۱ از پایگاه داده اسکوپوس استخراج و نمایش داده شده است. با مشاهده و بررسی این نمودار مشخص است که دانشگاه تهران (شامل موسسه ژئوفیزیک، پردیس دانشکده‌های فنی و پردیس علوم)، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، مجموعه واحدهای تحت پوشش دانشگاه آزاد اسلامی و دانشگاه صنعتی شریف به ترتیب دارای بیشترین تولیدات علمی دانش زلزله در این بازه‌ی زمانی هستند.

جدول ٦. رتبه‌بندی واژه‌ها بر مبنای بیشترین مقدار سرمایه‌پذیری به توسعه‌یافتگی.

ردیف	کلیدواژه	شمار رخداد	LnS	NSp	normalized LnS	normaizedl NSp	NSp/ LnS
١	continental neotectonics	١	٤	٧	٠/٠١٣٠	٠/٢٤١٤	١٨/٥٨٦٢
٢	satellite geodesy	١	٤	٧	٠/٠١٣٠	٠/٢٤١٤	١٨/٥٨٦٢
٣	earthquake source physics	١	٢	٣	٠/٠٠٦٥	٠/١٠٣٤	١٥/٩٣١٠
٤	tectonics	١	٢	٣	٠/٠٠٦٥	٠/١٠٣٤	١٥/٩٣١٠
٥	Zagros thrust and fold belt	١	٢	٣	٠/٠٠٦٥	٠/١٠٣٤	١٥/٩٣١٠
٦	stress transfer	١	٤	٥	٠/٠١٣٠	٠/١٧٢٤	١٣/٢٧٥٩
٧	slip distribution	٢	٦	٧	٠/٠١٩٥	٠/٢٤١٤	١٢/٣٩٠٨
٨	seismicity and tectonics	٣	١٠	١١	٠/٠٣٢٥	٠/٣٧٩٣	١١/٦٨٢٨
٩	atmospheric waves	١	٦	٦	٠/٠١٩٥	٠/٢٠٦٩	١٠/٦٢٠٧
١٠	extreme waves	١	٦	٦	٠/٠١٩٥	٠/٢٠٦٩	١٠/٦٢٠٧
١١	meteotsunami	١	٦	٦	٠/٠١٩٥	٠/٢٠٦٩	١٠/٦٢٠٧
١٢	tide gauge data	١	٦	٦	٠/٠١٩٥	٠/٢٠٦٩	١٠/٦٢٠٧
١٣	velocity structure	١	٣	٣	٠/٠٠٩٧	٠/١٠٣٤	١٠/٦٢٠٧
١٤	ahar – varzaghan earthquake, joint inversion	١	٢	٢	٠/٠٠٦٥	٠/٠٦٩٠	١٠/٦٢٠٧
١٥	GPS tec	١	٤	٤	٠/٠١٣٠	٠/١٣٧٩	١٠/٦٢٠٧
١٦	laic mechanism	١	٤	٤	٠/٠١٣٠	٠/١٣٧٩	١٠/٦٢٠٧
١٧	pre-earthquake anomaly	١	٤	٤	٠/٠١٣٠	٠/١٣٧٩	١٠/٦٢٠٧
١٨	strike-slip	١	٤	٤	٠/٠١٣٠	٠/١٣٧٩	١٠/٦٢٠٧
١٩	swarm satellites	١	٤	٤	٠/٠١٣٠	٠/١٣٧٩	١٠/٦٢٠٧
٢٠	Turkmenistan	١	٤	٤	٠/٠١٣٠	٠/١٣٧٩	١٠/٦٢٠٧
٢١	anoxic basin	١	٥	٤	٠/٠١٦٢	٠/١٣٧٩	٨/٤٩٦٦
٢٢	hydrothermal venting	١	٥	٤	٠/٠١٦٢	٠/١٣٧٩	٨/٤٩٦٦
٢٣	ore facies	١	٥	٤	٠/٠١٦٢	٠/١٣٧٩	٨/٤٩٦٦
٢٤	seawater sulfate reduction	١	٥	٤	٠/٠١٦٢	٠/١٣٧٩	٨/٤٩٦٦
٢٥	sedex deposits	١	٥	٤	٠/٠١٦٢	٠/١٣٧٩	٨/٤٩٦٦
٢٦	structure of the earth	١	٥	٤	٠/٠١٦٢	٠/١٣٧٩	٨/٤٩٦٦
٢٧	surface waves and free oscillations	١	٥	٤	٠/٠١٦٢	٠/١٣٧٩	٨/٤٩٦٦
٢٨	zn-pb deposit	١	٥	٤	٠/٠١٦٢	٠/١٣٧٩	٨/٤٩٦٦
٢٩	seismic interferometry	٢	٨	٦	٠/٠٢٦٠	٠/٢٠٦٩	٧/٩٦٥٥
٣٠	2017 Mashhad mw 6.1 earthquake	١	٤	٣	٠/٠١٣٠	٠/١٠٣٤	٧/٩٦٥٥



شکل ۱۷. تعداد مقالات دانش زلزله‌شناسی دانشگاه‌ها و موسسات پژوهشی ایران در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۲۱.

۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش تلاش بر این بود تا با استفاده از مطالعه‌ی هم رخدادی کلیدواژه‌ها و نقشه‌ی شبکه‌ی واژه‌هایی به‌دست‌آمده از پایگاه استنادی اسکوپوس در حوزه‌ی زلزله‌شناسی و نمودارها و شاخص‌های مناسب و تحلیل کمی و کیفی آن، موضوعات مهم دارای پتانسیل‌های تحقیقاتی و صنعتی شناسایی شوند و موضوعاتی که می‌توانند در آینده‌ی نزدیک مورد توجه دانشمندان قرار بگیرند معرفی شوند. همچنین سعی شد عملکرد مؤسسات پژوهشی و نحوه همکاری حامیان مالی آن‌ها و نیز برون‌دادهای علمی مؤسسات پژوهشی ایرانی در دانش زلزله‌شناسی شناسایی و بررسی شود.

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد از میان مؤسسات، دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی جهان، کشور چین، آمریکا و ایتالیا به ترتیب بیشترین تولیدات علمی در حوزه زلزله‌شناسی را در بین سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۱۹ دارا هستند. ایران با وجود افت‌وخیز در روند انتشار مقالات، روند صعودی داشته است و در رتبه‌ی نهم جهان قرار دارد که بسیار حائز اهمیت است و انتظار می‌رود با توجه به ظرفیت موجود در دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی متعدد، وجود نیروهای متخصص و توانمند در کشور و موضوعات مطالعاتی مورد نیاز کشور، جایگاه واقعی خود را بیابد.

در ایران دانشگاه تهران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، دانشگاه آزاد اسلامی و دانشگاه صنعتی شریف به ترتیب بیشترین فعالیت علمی ثبت شده در پایگاه استنادی اسکوپوس را در بازه‌ی زمانی ۲۰۲۱-۲۰۱۹ دارد. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد که همکاری و مشارکت حامیان مالی در پروژه‌های بزرگ اندک است. اگرچه تعداد تولیدات علمی از رشد قابل توجهی برخوردار است، اما حمایت‌های مالی چنین رشدی را در این حوزه تجربه نکرده‌اند.

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد، همکاری‌های علمی در ایران، به‌خصوص همکاری بین محققان، دانشگاه‌ها و مؤسسه‌های داخلی، بسیار ضعیف است. این در حالی است که بسیاری از اسناد علمی که در جهان منتشر می‌شوند صدها نویسنده در آن مشارکت دارد. همکاری علمی، ویژگی مهم ساختار پژوهش علمی معاصر است. ازآنجایی‌که مشارکت علمی بر کیفیت، تنوع و نوآوری آثار علمی می‌افزاید انتظار می‌رود متخصصان رشته‌های گوناگون و مرتبط با زلزله‌شناسی با یکدیگر همفکری و همکاری بیشتری داشته باشند و اهمیت این موضوع برای مسئولان آموزشی و پژوهشی حوزه‌ی زلزله تبیین شود. علاوه بر آن، نیاز به وجود آمده در زمینه مدیریت اجتماعی بحران زلزله موجب شده تا مطالعات و تولیدات علمی در حوزه‌ی زلزله‌شناسی افزایش بیابد. در همین راستا نخستین موضوع پژوهشی مورد علاقه پژوهشگران دانش زلزله در جهان واژه hazard است.

شناسایی موضوعات مورد توجه پژوهشگران در عرصه ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی، به سیاست‌گذاران و حامیان مالی پژوهش‌ها این امکان را می‌دهد که بر اساس نیاز کشور و با آگاهی از روند موضوعات مهم مطرح شده در سطح جهان در این حوزه سرمایه‌گذاری کنند و به تبع آن جهت‌دهی هدفمند برای تعریف پروژه‌های پژوهشی و رساله‌های دکتری را مدنظر قرار دهند.

منابع

اسدی، م. و قادری سهی، ع. (۱۳۹۴). سی‌ونه سال تولید علم در حوزه‌ی ژئوفیزیک. *م. فیزیک زمین و فضا*، ۴۱ (۱)، ۱۴۷-۱۶۶.

اصنافی، ا. و پاکدامن نائینی، م. (۱۳۹۳). بررسی میزان همکاری‌های علمی پژوهشگران علوم زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله در مجموعه همایش‌های بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله SEE طی سال‌های ۲۰۱۱-۱۹۹۱. *فصلنامه آموزش مهندسی ایران*، ۱۶(۶۴)، ۱۳۵-۱۵۰.

فلاح، م.، قربی، ع.، نوروزی، ع. و جعفری، ا. (۱۳۹۷). مطالعه علم‌سنجی انتشارات علمی حوزه‌ی زلزله‌شناسی بر اساس وبگاه علوم. *فصلنامه سیاست‌پژوهی علم، فناوری و نوآوری رهیافت*، ۲۸(۷۲) ، ۶۳ – ۷۸.

Emmer, A. (2018). Geographies and scientometrics of research on natural hazards. *Geosciences (Switzerland)*, 8(10), 1-16. doi: 10.3390/geosciences8100382.

Gizzi, F. T., & Potenza, M. R. (2020). The Scientific Landscape of November 23rd, 1980 Irpinia-Basilicata Earthquake: Taking Stock of (Almost) 40 Years of Studies. Geosciences, 10(12), 482. doi: 10.3390/geosciences10120482.

He, W., Liu, X., Qiu, J., Liu, J., Chen, J., & Zhang, C. (2021). Collaborative contribution networks and hotspot evolution in earthquake. *Environmental Earth Sciences*, 80(6), 1-14. doi:10.1007/s12665-020-09304-9.

Liu, X., Zhan, F. B., Hong, S., Niu, B., & Liu, Y. (2012). A bibliometric study of earthquake research: 1900-2010. *Scientometrics*, 92(3), 747-765. https://doi.org/10.1007/s11192-011-0599-z

Khajavi, R., Abouk, F., & Arastoopoor, Sh. (2020). Identification and Evaluation of Main Research Themes for Earthquake Studies in Material and Energy Fields by Science Maps and Scientometric Methods. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 22(2), 17-35.

Leydesdorff, L. (1987). Various methods for the mapping of science. *Scientometrics*, 11 (May), 295-324. Doi: 10.1007/BF02279351.

Leydesdorff, L., Cozzens, S., & Van den Besselaar, P. (1994). Tracking areas of strategic importance using scientometric journal mappings. *Research Policy*, 23(2), 217-229, doi:10.1016/0048-7333(94)90054-X.

Sagar, A., Kademani, B. S., Garg, R. G., & Kumar, V. (2010). Scientometric mapping of Tsunami publications: A citation based study. *Malaysian Journal of Library and Information Science*, 15(1), 23-40.

Van Eck, N., & Waltman, L. (2009). Software Survey: VOSviewer, a Computer Program for Bibliometric Mapping. *Scientometrics*, 84, 523-538.

Van Eck, N., & Waltman, L. (2020). VOSviewer Manual for VOSviewer Version 1.6.14. Leiden University Press: EZ Leiden, Netherlands.

Wagner, C., & Leydesdorff, L., (2003). Seismology as a dynamic, distributed area of scientific research. *Scientometrics*, 58 (1), 91-114

Wu, X., Chen, X., Zhan, F. B., & Hong, S. (2015). Global research trends in landslides during 1991 -2014: a bibliometric analysis. *Landslides*, 12(6), 1215-1226. doi: 10.1007/s10346-015-0624-z.