




## Identification of new technologies and collaboration networks for earthquake seismology

Khajavi, R.<sup>1</sup>  | Javan Doloei, Gh.<sup>2</sup>  | Rashidian, S.<sup>3</sup> 

1. Earthquake Research Center, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: [rezakhajavi@ferdowsi.um.ac.ir](mailto:rezakhajavi@ferdowsi.um.ac.ir)

2. **Corresponding Author**, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran. E-mail: [javandoloei@iiees.ac.ir](mailto:javandoloei@iiees.ac.ir)

3. Earthquake Research Center, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: [shamrock.1364@gmail.com](mailto: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.

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

رضا خواجهی<sup>۱</sup> | غلام جوان دلویی<sup>۲</sup> | سیمین رشیدیان<sup>۳</sup>

۱. مرکز تحقیقات زمین‌لرزه‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: [rezakhajavi@ferdowsi.um.ac.ir](mailto:rezakhajavi@ferdowsi.um.ac.ir)

۲. نویسنده مسئول، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران. رایانامه: [javandoloei@iiees.ac.ir](mailto:javandoloei@iiees.ac.ir)

۳. مرکز تحقیقات زمین‌لرزه‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: [shamrock.1364@gmail.com](mailto: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 در حالی که 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

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 نگاهت‌های علم در حوزه‌ی واژه‌ها و موضوعات و نویسندگان و مؤسسات و غیره به‌صورت نقشه و نمودار بر پایه‌ی هم‌رخدادی و هم‌استنادی و هم‌تألیفی، اطلاعاتی

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

## 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 استاد 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 قرار گرفته‌اند. 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 زمین‌ساختی، 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 کمی و کیفی تولیدات علمی زلزله‌شناسی بر اساس پایگاه استنادی وبگاه علوم در جهان و ایران از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۸ میلادی پرداخته‌اند. خواجهی و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهش خود با عنوان «برپاسازی نقشه‌ی واژه‌ها کاربردی علوم زلزله در دو حوزه مواد و انرژی و شناسایی

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.

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 به صورت 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 به عنوان چهار رویکرد اساسی در حوزه‌های پژوهشی مواد و انرژی شناسایی و معرفی شده‌اند.

### 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 به عنوان 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 قیده‌های 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 به صورت (review یا article) و محدوده زمانی بر حسب سال به صورت 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-آک و والتمن، ۲۰۰۹ و ۲۰۲۰). نرم‌افزار VOSViewer با فراخوانی فایل csv مستندات علمی، ماتریس هم‌رخدادی واژه‌های علمی و بازنمایی آن به صورت 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.

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

## ۴. بررسی نتایج

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. پراکنندگی 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.

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

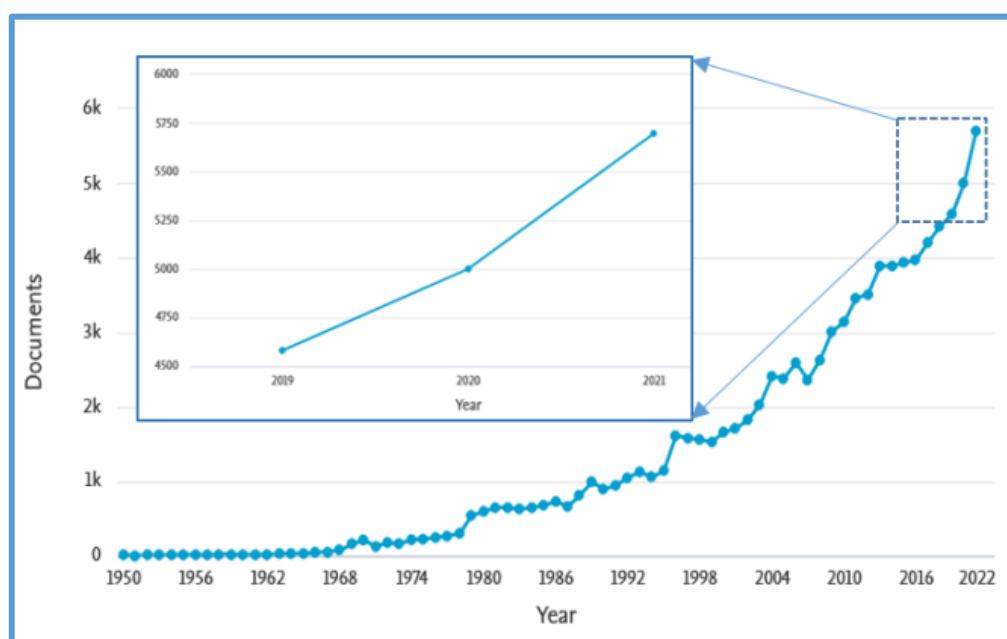
- ۱- تحلیل کلی پژوهش‌های زلزله‌شناسی؛ ۲- موضوعات پژوهشی دارای پتانسیل فناورانه؛ ۳- مؤسسات پژوهشی و حامیان مالی فعال در دانش زلزله‌شناسی؛ ۴- پایش پژوهش‌های زلزله‌شناسی در ایران.

## ۴-۱. تحلیل کلی پژوهش‌ها در دانش زلزله

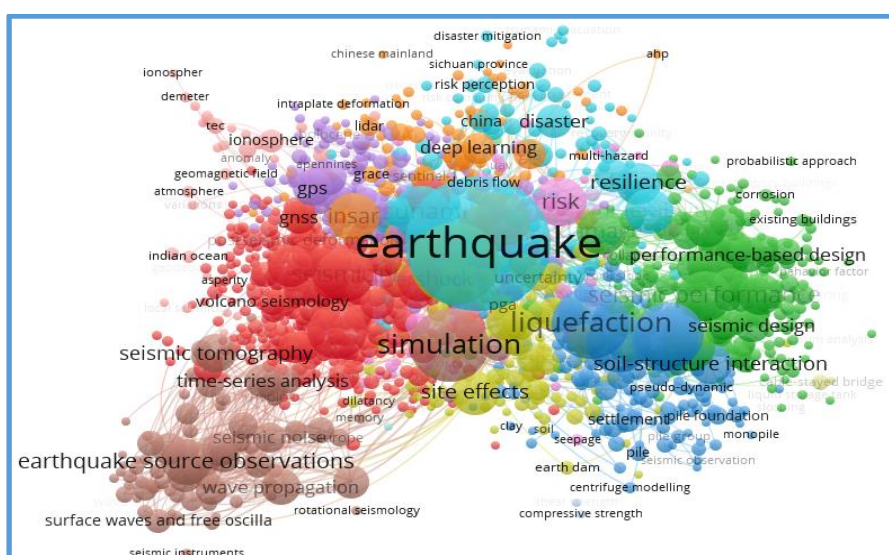
تعداد تولیدات محققان در زمینه‌ی زلزله، نمایه شده در

هر چه تکرار کلیدواژه‌های 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 دایره مربوط به آن‌ها در نقشه هم‌رخدای واژه‌ها هم‌خوانی دارد.

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.



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	۴۳۴
۳	simulation	۳۴۶
۴	liquefaction	۳۳۳
۵	shake table	۲۷۲
۶	seismic response	۲۴۴
۷	FEM	۲۲۶
۸	induced earthquake	۲۰۰
۹	tsunami	۱۹۰
۱۰	seismicity	۱۸۷
۱۱	landslide	۱۸۰
۱۲	seismic performance	۱۶۴
۱۳	Risk	۱۵۷
۱۴	INSAR	۱۴۸
۱۵	dynamic analysis	۱۴۸
۱۶	damage	۱۳۹
۱۷	observations earthquake source	۱۳۷
۱۸	soil-structure interaction	۱۳۶
۱۹	vulnerability	۱۳۴
۲۰	site effects	۱۲۸

اساس و با جمع‌بندی از واژه‌ها جدول ۲، می‌توان سرشاخه‌های پژوهشی حوزه دانش زلزله را به صورت زیر معرفی کرد:

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

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

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 (probabilistic seismic hazard assessment، risk assessment، hazard assessment induced analysis)؛

۲- رخداد‌های خطرزا (tsunami، earthquake، liquefaction، landslide)؛

۳- کاربردهای مهندسی زلزله (peak acceleration، site effects، ground motion prediction، ground motion equations)؛

۴- تاب‌آوری (resilience)؛

۵- خطر چندگانه (multi-hazard)؛

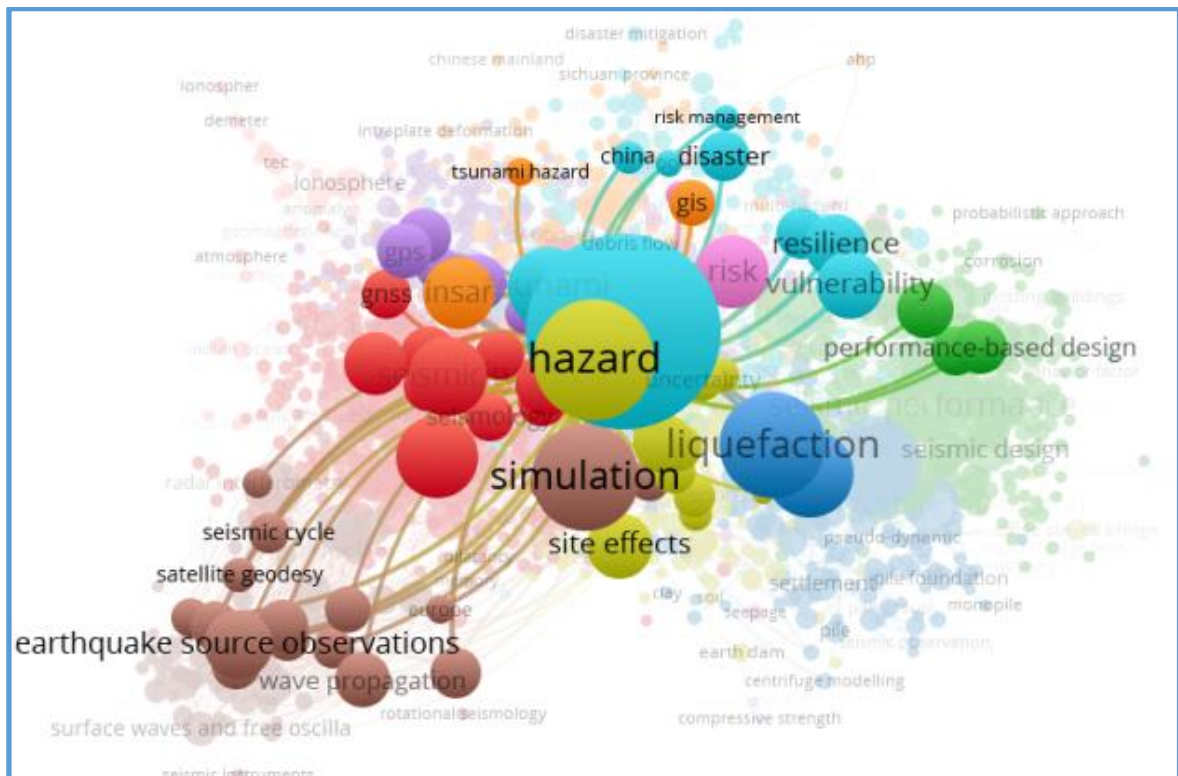
۶- Paleoseismology

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



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	۴۰۳	۱۷۵۲
۲	earthquake	۷۴	۳۹۳
۳	risk	۳۵	۱۷۹
۴	probabilistic seismic hazard assessment	۴۳	۱۷۱
۵	tsunami	۲۹	۱۳۱
۶	peak acceleration	۲۵	۱۲۱
۷	seismic hazard assessment	۲۶	۱۱۶
۸	site effects	۲۶	۱۱۳
۹	simulation	۲۳	۱۰۱
۱۰	resilience	۱۶	۹۳
۱۱	tsunami hazard	۲۱	۹۲
۱۲	risk assessment	۱۸	۹۰
۱۳	hazard analysis	۲۱	۸۳
۱۴	multi-hazard	۱۶	۷۸
۱۵	paleoseismology	۱۶	۷۷
۱۶	ground motion	۱۷	۷۶
۱۷	ground motion prediction equations	۱۶	۷۱
۱۸	induced earthquake	۱۸	۷۰
۱۹	liquefaction	۱۴	۷۰
۲۰	landslide	۱۶	۶۹

#### 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 ۴. 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	۷/۹۶۷۴
۲	Chinese mainland	۵	۳	۱۳	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۹۱	۷/۶۷۲۳
۳	distributed acoustic sensing	۶	۵	۱۸	۰/۰۰۲۰	۰/۰۱۲۶	۶/۳۷۳۹
۴	mining-induced seismicity	۵	۳	۱۰	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۷۰	۵/۹۰۱۸
۵	ancient earthquakes	۵	۴	۱۲	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۸۴	۵/۳۱۱۶
۶	tengchong volcano	۵	۵	۱۴	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۹۸	۴/۹۵۷۵
۷	earthquake disaster	۱۱	۸	۲۲	۰/۰۰۳۲	۰/۰۱۵۴	۴/۸۶۸۹
۸	damage evaluation	۷	۶	۱۵	۰/۰۰۲۴	۰/۰۱۰۵	۴/۴۲۶۳
۹	oceanic lithosphere	۶	۶	۱۵	۰/۰۰۲۴	۰/۰۱۰۵	۴/۴۲۶۳
۱۰	probabilistic tsunami hazard assessment	۶	۶	۱۵	۰/۰۰۲۴	۰/۰۱۰۵	۴/۴۲۶۳
۱۱	demeter satellite	۶	۴	۱۰	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۷۰	۴/۴۲۶۳
۱۲	topographic effects	۵	۴	۱۰	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۷۰	۴/۴۲۶۳
۱۳	residual displacements	۶	۲	۵	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۳۵	۴/۴۲۶۳
۱۴	fault segmentation	۹	۹	۲۲	۰/۰۰۳۶	۰/۰۱۵۴	۴/۳۲۸۰
۱۵	thermal pressurization	۷	۸	۱۹	۰/۰۰۳۲	۰/۰۱۳۳	۴/۲۰۵۰
۱۶	formation mechanism	۹	۱۰	۲۳	۰/۰۰۴۰	۰/۰۱۶۱	۴/۰۷۲۲
۱۷	Greenland	۷	۷	۱۶	۰/۰۰۲۸	۰/۰۱۱۲	۴/۰۴۶۹
۱۸	mechanical property	۷	۴	۹	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۶۳	۳/۹۸۳۷
۱۹	discontinuous deformation	۸	۱۲	۲۶	۰/۰۰۴۸	۰/۰۱۸۲	۳/۸۳۶۱
۲۰	borehole breakout	۵	۶	۱۳	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۹۱	۳/۸۳۶۱
۲۱	degassing	۵	۶	۱۳	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۹۱	۳/۸۳۶۱
۲۲	circular tunnel	۵	۸	۱۷	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۹۱	۳/۷۶۲۴
۲۳	tsunami evacuation	۸	۵	۱۰	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۷۰	۳/۵۴۱۱
۲۴	presto	۵	۵	۱۰	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۷۰	۳/۵۴۱۱
۲۵	fracture energy	۱۰	۱۲	۲۴	۰/۰۰۴۸	۰/۰۱۶۸	۳/۵۴۱۱
۲۶	data assimilation	۸	۱۲	۲۴	۰/۰۰۴۸	۰/۰۱۶۸	۳/۵۴۱۱
۲۷	GPS tec	۷	۷	۱۴	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۹۸	۳/۵۴۱۱
۲۸	parameters earthquake source	۵	۷	۱۴	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۹۸	۳/۵۴۱۱
۲۹	fault roughness	۵	۷	۱۴	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۹۸	۳/۵۴۱۱
۳۰	kilauea volcano	۵	۶	۱۲	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۸۴	۳/۵۴۱۱

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.

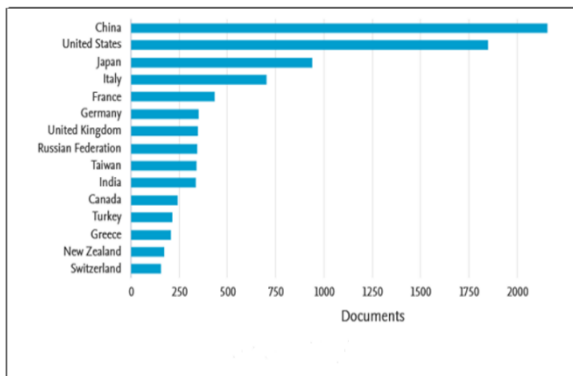
علاوه بر آن، شمار مقالات به تفکیک مؤسسات پژوهشی مختلف دنیا در زمینه دانش زلزله در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۲۱ در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، بیشتر تولیدات علمی از سوی مؤسسات پژوهشی چینی ارائه شده‌اند و چند دانشگاه آمریکایی و آسیایی نیز در رتبه‌های بعدی، در تولیدات دانش زلزله مشارکت داشته‌اند.

#### ۳-۴. مؤسسات پژوهشی و حامیان مالی دانش زلزله

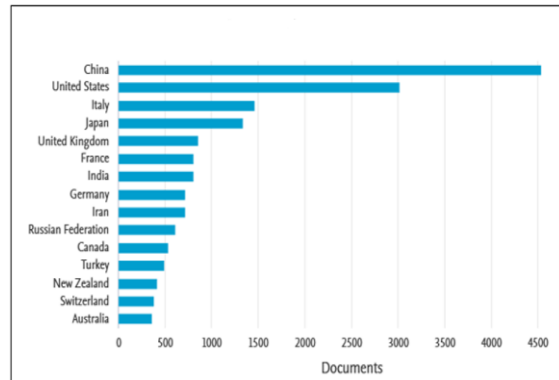
##### ۱-۳-۴. همکاری مؤسسات پژوهشی

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، در حالی که 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

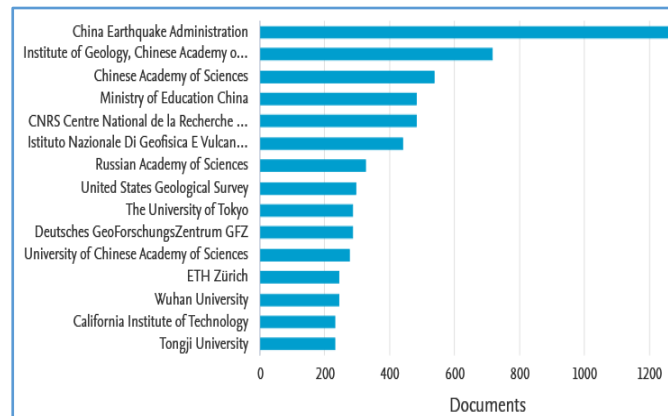


(ب)



(الف)

شکل ۴. 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.

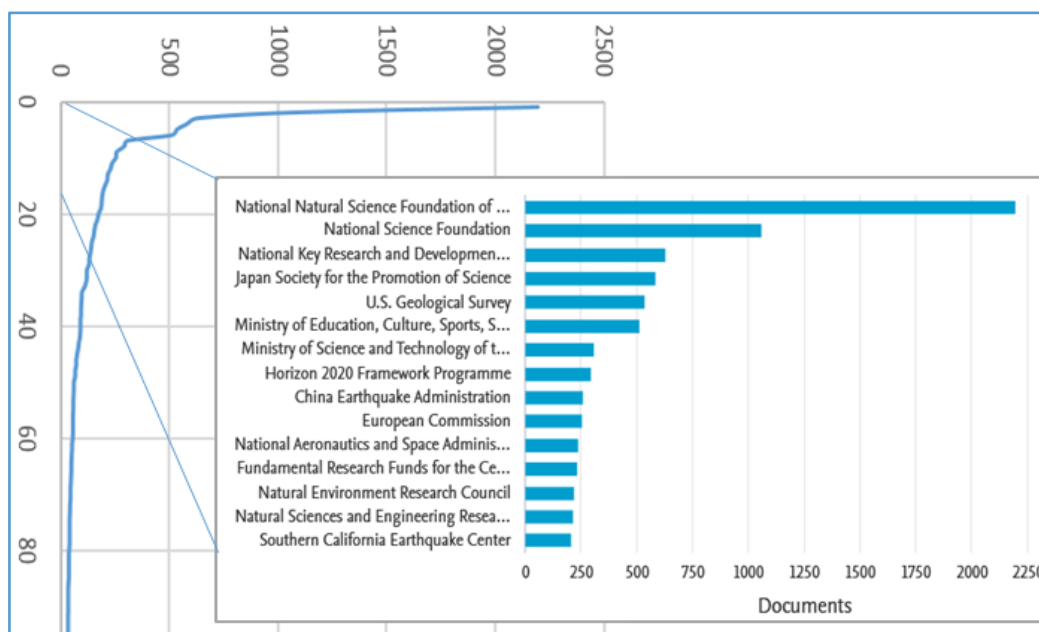
## ۴-۳-۲. همکاری حامیان مالی

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،

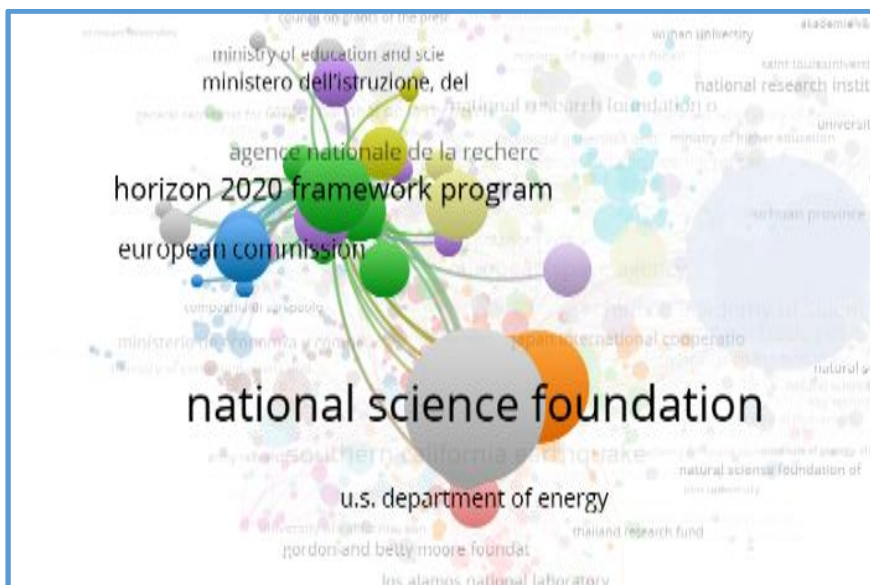
عمده حامیان برتر، نهادهای دولتی هستند که اختصاصاً وظیفه پشتیبانی از مطالعات بنیادی را برعهده دارند و کمتر نهاد خصوصی با کارکردهای خاص تجاری و دفاعی به چشم می‌خورد.

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 (National 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 کشورهای نظیر چین، ژاپن و کشورهای اروپایی در موضوعات علمی همکاری مشترک دارد (شکل ۸).



شکل ۶. شمار مقالات حمایت شده از سوی حامیان مالی فعال در حوزه دانش زلزله در علوم زمین.





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.

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 افت و خیز همراه است اما در نمای کلی الگویی تصاعدی نشان می‌دهد به‌ویژه در ۱۰ ساله اخیر رشد چشمگیری داشته است.

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



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
۴	Ida	۲۵
۵	Simulation	۲۱
۶	fragility curve	۲۰
۷	Hazard	۲۰
۸	Liquefaction	۲۰
۹	nonlinear analysis	۲۰
۱۰	Fem	۱۷
۱۱	Aftershock	۱۵
۱۲	Zagros	۱۵
۱۳	Resilience	۱۴
۱۴	site effects	۱۴
۱۵	Vulnerability	۱۴
۱۶	seismic response	۱۳
۱۷	seismic performance	۱۲
۱۸	Prediction	۱۱
۱۸	near-field	۱۰
۲۰	Optimization	۱۰

دانش زلزله در ایران را به‌قرار زیر معرفی کرد:

- ۱- تحلیل دینامیکی و ارزیابی سازه‌ای (dynamic nonlinear analysis، IDA) و تحلیل غیرخطی (nonlinear analysis)؛
- ۲- خطر لرزه‌ای و ارزیابی خطر (hazard، fragility curve، resilience، vulnerability)؛
- ۳- روانگرایی (liquefaction)؛
- ۴- کاربردهای زلزله‌شناسی مهندسی و اثرات ساختگاه

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



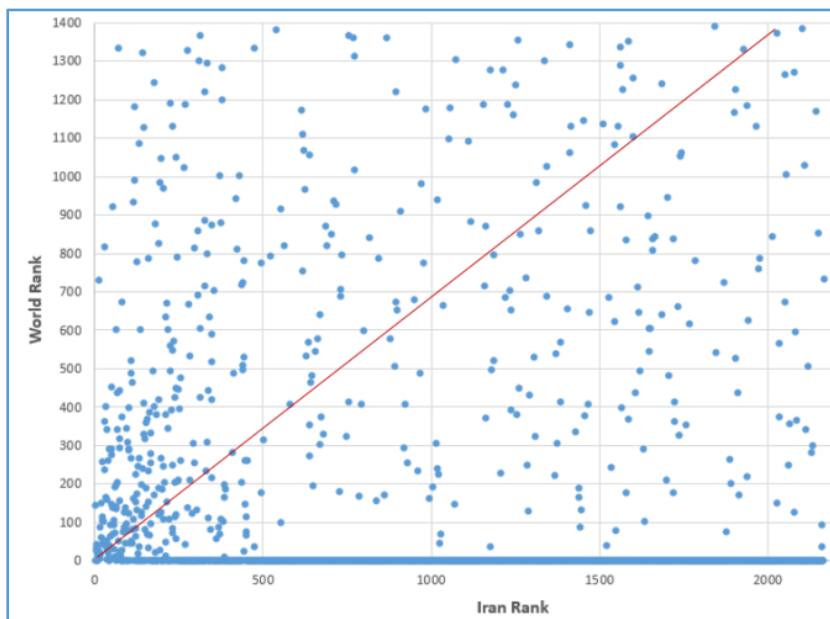
نشان‌دهنده موضوعات پژوهشی با ارزش همسان از دیدگاه پژوهشگران ایران و جهان‌اند. کلیدواژه‌های دورتر از خط هماهنگی و در زیر آن، موضوعاتی هستند که بیشتر مورد توجه پژوهشگران جهانی قرار دارد و جا دارد که پژوهشگران ایرانی درباره اهمیت پرداختن به آن‌ها ارزیابی داشته باشند. مهم‌ترین این کلیدواژه‌های، shake table, earthquake source observation, ground motion, risk, body wave, landslide است. همچنین، کلیدواژه‌های دورتر از خط هماهنگی و بالای آن، موضوعات پژوهشی هستند که بیش از آن‌ها 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.

(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).

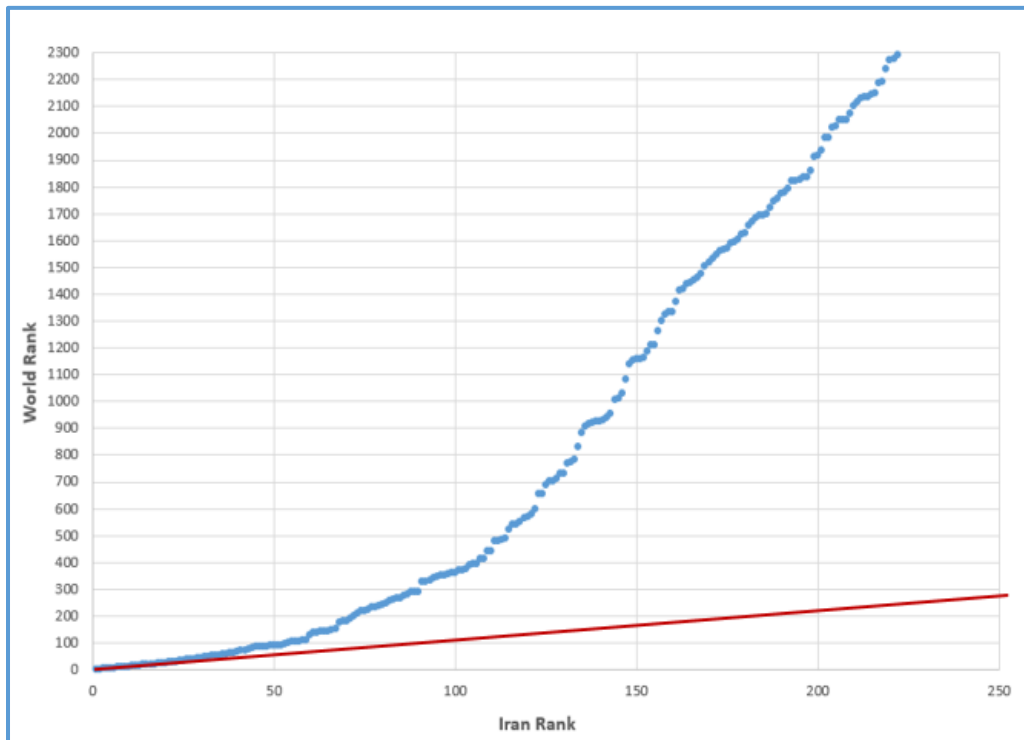
در شکل ۱۳، رتبه توسعه‌یافتگی کلیدواژه‌های مقالات سه ساله اخیر ایران و جهان در حوزه دانش زلزله با یکدیگر مقایسه شده‌اند. خط قرمز رنگ در نمودار، نشان‌دهنده الگوی هماهنگی کامل است؛ در واقع، نقاط روی این خط و یا پیرامون آن، کلیدواژه‌هایی هستند که رتبه توسعه‌یافتگی آن‌ها در ایران و جهان مشابهت معناداری به 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 آن‌ها که تا حدودی سرشاخه‌های پژوهشی را مشخص می‌کنند، دارای اهمیت است. کلیدواژه‌های پیرامون خط هماهنگی،



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





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

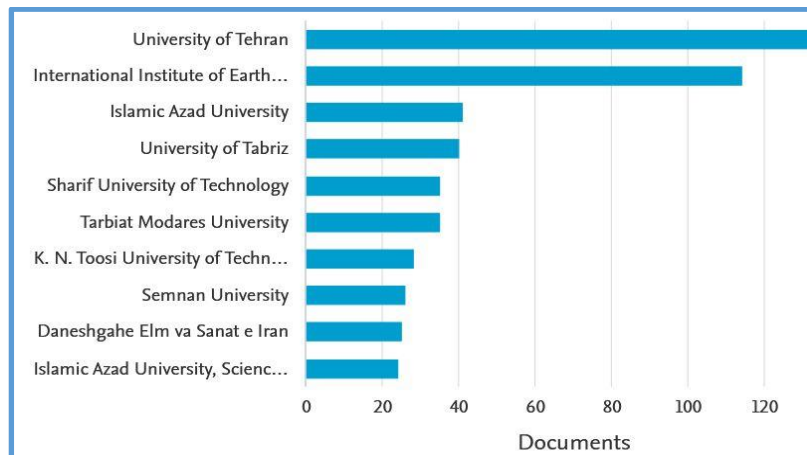
ناهماهنگی مربوط به عملکرد حامیان مالی در این شاخه پژوهشی باشد و ضروری است رفتار حامیان مالی و پیروی آن‌ها از سیاست‌های مدون تحقیقاتی مورد ارزیابی قرار گیرد.

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.

اکنون و در این بخش، به شناسایی مهم‌ترین موضوعات با پتانسیل‌های تحقیقاتی و صنعتی در حوزه 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)، به کار برده 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 نشان‌دهنده آن است که این واژه‌ها با واژه‌های متناظر جهانی، گزارش شده در جدول ۴، تفاوت دارند. شاید بخشی از این

جدول ۶. رتبه‌بندی واژه‌ها بر مبنای بیشترین مقدار سرمایه‌پذیری به توسعه‌یافتگی.

ردیف	کلیدواژه	شمار رخداد	LnS	NSp	normalized LnS	normaizedl NSp	NSp/ LnS
۱	continental neotectonics	۱	۴	۷	۰/۰۱۳۰	۰/۲۴۱۴	۱۸/۵۸۶۲
۲	satellite geodesy	۱	۴	۷	۰/۰۱۳۰	۰/۲۴۱۴	۱۸/۵۸۶۲
۳	earthquake source physics	۱	۲	۳	۰/۰۰۶۵	۰/۱۰۳۴	۱۵/۹۳۱۰
۴	tectonics	۱	۲	۳	۰/۰۰۶۵	۰/۱۰۳۴	۱۵/۹۳۱۰
۵	Zagros thrust and fold belt	۱	۲	۳	۰/۰۰۶۵	۰/۱۰۳۴	۱۵/۹۳۱۰
۶	stress transfer	۱	۴	۵	۰/۰۱۳۰	۰/۱۷۲۴	۱۳/۲۷۵۹
۷	slip distribution	۲	۶	۷	۰/۰۱۹۵	۰/۲۴۱۴	۱۲/۳۹۰۸
۸	seismicity and tectonics	۳	۱۰	۱۱	۰/۰۳۲۵	۰/۳۷۹۳	۱۱/۶۸۲۸
۹	atmospheric waves	۱	۶	۶	۰/۰۱۹۵	۰/۲۰۶۹	۱۰/۶۲۰۷
۱۰	extreme waves	۱	۶	۶	۰/۰۱۹۵	۰/۲۰۶۹	۱۰/۶۲۰۷
۱۱	meteotsunami	۱	۶	۶	۰/۰۱۹۵	۰/۲۰۶۹	۱۰/۶۲۰۷
۱۲	tide gauge data	۱	۶	۶	۰/۰۱۹۵	۰/۲۰۶۹	۱۰/۶۲۰۷
۱۳	velocity structure	۱	۳	۳	۰/۰۰۹۷	۰/۱۰۳۴	۱۰/۶۲۰۷
۱۴	ahar – varzaghan earthquake, joint inversion	۱	۲	۲	۰/۰۰۶۵	۰/۰۶۹۰	۱۰/۶۲۰۷
۱۵	GPS tec	۱	۴	۴	۰/۰۱۳۰	۰/۱۳۷۹	۱۰/۶۲۰۷
۱۶	laic mechanism	۱	۴	۴	۰/۰۱۳۰	۰/۱۳۷۹	۱۰/۶۲۰۷
۱۷	pre-earthquake anomaly	۱	۴	۴	۰/۰۱۳۰	۰/۱۳۷۹	۱۰/۶۲۰۷
۱۸	strike-slip	۱	۴	۴	۰/۰۱۳۰	۰/۱۳۷۹	۱۰/۶۲۰۷
۱۹	swarm satellites	۱	۴	۴	۰/۰۱۳۰	۰/۱۳۷۹	۱۰/۶۲۰۷
۲۰	Turkmenistan	۱	۴	۴	۰/۰۱۳۰	۰/۱۳۷۹	۱۰/۶۲۰۷
۲۱	anoxic basin	۱	۵	۴	۰/۰۱۶۲	۰/۱۳۷۹	۸/۴۹۶۶
۲۲	hydrothermal venting	۱	۵	۴	۰/۰۱۶۲	۰/۱۳۷۹	۸/۴۹۶۶
۲۳	ore facies	۱	۵	۴	۰/۰۱۶۲	۰/۱۳۷۹	۸/۴۹۶۶
۲۴	seawater sulfate reduction	۱	۵	۴	۰/۰۱۶۲	۰/۱۳۷۹	۸/۴۹۶۶
۲۵	sedex deposits	۱	۵	۴	۰/۰۱۶۲	۰/۱۳۷۹	۸/۴۹۶۶
۲۶	structure of the earth	۱	۵	۴	۰/۰۱۶۲	۰/۱۳۷۹	۸/۴۹۶۶
۲۷	surface waves and free oscillations	۱	۵	۴	۰/۰۱۶۲	۰/۱۳۷۹	۸/۴۹۶۶
۲۸	zn-pb deposit	۱	۵	۴	۰/۰۱۶۲	۰/۱۳۷۹	۸/۴۹۶۶
۲۹	seismic interferometry	۲	۸	۶	۰/۰۲۶۰	۰/۲۰۶۹	۷/۹۶۵۵
۳۰	2017 Mashhad mw 6.1 earthquake	۱	۴	۳	۰/۰۱۳۰	۰/۱۰۳۴	۷/۹۶۵۵



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 هم‌رخدادی 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 ۲۰۱۹-۲۰۲۱ 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 ۲۰۱۹-۲۰۲۱ 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. از آنجایی که 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.

- 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.
- 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