Journal of Acoustical Engineering Society of Iran, Vol. 11, No. 2, 2024

(Research Article)
Visualization and analysis of scientific outputs on acoustic cavitation in Iran and worldwide: A scientometric study

S. Motiee[1], S. H. Momeni Masuleh[*1], M. Mokhtari Dizaji[2]
[1] Department of Mathematics, Faculty of Basic Science, Shahed University
[2] Department of Medical Physics, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University

Received: 2023/06/26, Accepted: 2023/11/17

Abstract

Mapping and analyzing scientific outputs are valuable methods for examining studies in specialized fields. In this regard, the most appropriate way is to investigate indexed documents in scientific databases. This article aims to draw scientific maps and analyze published documents in acoustic cavitation, providing a quantitative evaluation of research outputs, identifying active researchers, and exploring related fields. The research community is the documents indexed in the Scopus database from the first until the time of doing the research (March 2023). Data analysis was performed using Excel and VOSviewer software. The findings reveal an increasing trend in scientific outputs related to acoustic cavitation until the time of the study. Among the 63277 records obtained, Iran ranks 17th in the world with 722 scientific documents. Generally, the Chinese Academy of Sciences and the Ministry of Education of the People's Republic of China were identified among the international institutions and/or universities, and Sharif University of Technology and Tarbiat Modares University as domestic active universities in acoustic cavitation. Engineering and Physics have the most scientific outputs in the field of acoustic cavitation. The keywords of this field in Mathematics can be classified into five main clusters according to the co-occurrence index.

Keywords: Acoustic cavitation, Ultrasound waves, Concepts visualization, Map of science, VOSviewer software.

pp. 1-9 (In Persian)

[*] Corresponding author E-mail: momeni@shahed.ac.ir

مقاله پژوهشی

مجله انجمن مهندسی صوتیّات ایران
سال ۱۴۰۲، دوره: ۱۱، شماره: ۲، صفحات: ۱-۹

مصورسازی و تحلیل برون‌دادهای علمی در حوزه‌ی کاواک‌زایی صوتی در ایران و جهان: مطالعه علم‌سنجی

سمانه مطیعی[۱]، سید حجت‌اله مؤمنی ماسوله*[۱]، منیژه مختاری دیزجی[۲]

۱. گروه ریاضی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شاهد
۲. گروه فیزیک پزشکی، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس

دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۵، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۶

چکیده

ترسیم نقشه برون‌دادهای علمی به‌عنوان روشی برای بررسی مطالعات پژوهشی انجام‌شده در هر حوزه تخصصی شناخته می‌شود. در این راستا یکی از مناسب‌ترین شیوه‌ها، بررسی اسناد نمایه شده در پایگاه‌های علمی است. هدف از این مطالعه، ترسیم نقشه‌های علمی و تحلیل اسناد منتشر شده در حوزه‌ی کاواک‌زایی صوتی به‌منظور ارزیابی کمّی برون‌دادها، شناسایی پژوهشگران فعال و حوزه‌های مرتبط با این حوزه است. جامعه‌ی پژوهش، اسناد نمایه شده در پایگاه اسکوپوس از ابتدای نمایه‌سازی این موضوع، یعنی سال ۱۸۵۸، تا زمان انجام تحقیق (مارس ۲۰۲۳) است. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای اکسل و ووس‌ویور انجام شده است. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که برون‌دادهای علمی در کاواک‌زایی صوتی تا زمان انجام تحقیق روند صعودی دارد. کشور ایران با ۷۲۲ سند علمی از ۶۳۲۷۷ رکورد به‌دست آمده، در جایگاه هفدهم جهان قرار دارد. به‌طور کلی آکادمی علوم چین و وزارت آموزش جمهوری خلق چین در بین موسسات و/یا دانشگاه‌های بین‌المللی و دانشگاه‌های صنعتی شریف و تربیت‌مدرس از دانشگاه‌های فعال داخلی در حوزه کاواک‌زایی شناسایی شدند. علوم مهندسی و فیزیک بیشترین برون‌دادهای علمی را در حوزه کاواک‌زایی صوتی دارا هستند. واژگان کلیدی این حوزه در ریاضیات با شاخص هم‌رخدادی، در پنج خوشه اصلی قابل دسته‌بندی است.

کلیدواژه‌ها: کاواک‌زایی صوتی، امواج فراآوایی، مصورسازی مفاهیم، نقشه‌ی علم، نرم‌افزار ووس‌ویور.

۱. مقدمه

پدیده کاواک‌زایی صوتی به‌عنوان یکی از اثرات مکانیکی امواج فراآوایی شناخته شده است به‌طور کلی شکل‌گیری و فعالیت حباب‌های (بخار/مایع) ایجادشده تحت تاثیر محرک‌های هیدرودینامیکی، حرارتی یا صوتی؛ کاواک‌زایی نامیده می‌شود. این پدیده که نخستین بار در سال ۱۸۹۴ در یک مطالعه‌ی تحقیقاتی روی پروانه‌های کشتی مطرح شده است [۱]، در حال حاضر در زمینه‌های مطالعاتی دیگر مانند هوانوردی، کنترل فرسایش و پزشکی نیز مورد توجه قرار گرفته‌اند. به‌طورکلی با انتشار امواج فراآوایی با دامنه‌ی به‌اندازه‌ی کافی بالا در یک سیال، پدیده کاواک‌زایی صوتی رخ می‌دهد. این پدیده شامل شکل‌گیری و فعالیت حباب(ها) است. کاواک‌زایی صوتی با دو نوع کاواک‌زایی پایدار و کاواک‌زایی اینرسی در دامنه‌ی گسترده‌ای از کاربردهای فراصداتراپی نقش کلیدی دارد. هیستوتریپسی، انحلال لخته و باز کردن سد خونی- مغزی[۱] نمونه‌هایی از کاربردهای کاواک‌زایی صوتی در فرایند فراصداتراپی قلمداد می‌شوند. در هیستوتریپسی کاواک‌زایی اینرسی با آزادسازی موج ضربه‌ای موجب خراب کردن غشاء سلولی، تفکیک جز به جز بافت به‌طور مکانیکی و حتی مایع‌سازی آن‌ها به مولفه‌های درون‌سلولی[۲] می‌شود. در فرایند انحلال لخته، کاواک‌زایی

[1] BBB; Blood-Brain Barrier
[2] Subcellular

* نویسنده پاسخگو: momeni@shahed.ac.ir

پایدار در مجاورت لخته‌های خون موجب افزایش جذب ماده حل‌کننده[1] می‌شود. به‌علاوه، کاواک‌زایی اینرسی با ایجاد میکروجت و حفره[2] به‌طور مستقیم به سطح لخته خون آسیب مکانیکی وارد می‌کند. در خصوص کاربرد کاواک‌زایی در باز کردن سد خونی- مغزی نیز می‌توان به نقش کاواک‌زایی حباب در ایجاد اختلال موقتی در یکپارچگی اتصالات محکم موجود و کاهش گردش خون اشاره نمود.

گستردگی و پیچیدگی پدیده کاواک‌زایی از یک‌سو و کاربردهای متعدد و گسترده‌ی آن از سوی دیگر موجب گردیده، محققان در حوزه‌های مختلف تحقیقاتی به بررسی و مطالعه در این زمینه بپردازند. مراجع [۲-۷] نمونه‌هایی از مطالعات انجام‌شده هستند. در این مقاله باتوجه به کارایی و اثربخشی پدیده کاواک‌زایی صوتی، با استفاده از مصورسازی، برون‌دادهای علمی این حوزه مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. استفاده از نقشه‌های علمی علاوه بر ایجاد نمای کلی از حوزه‌ی مورد نظر، می‌تواند در شناسایی و تحلیل حوزه‌های مرتبط و مورد گرایش پژوهشگران راهگشا باشد. همچنین بررسی کمّی برون‌دادهای علمی در این حوزه می‌تواند در تعیین جایگاه ایران در تحقیقات انجام‌شده در این حوزه و شناسایی مسیر تحقیقات آینده موثر واقع شود.

۲. مواد و روش‌ها

یکی از مهم‌ترین الزامات نمایه‌شدن تولیدات علمی در شاخص‌های بین‌المللی، کیفیت قابل‌قبول آن‌ها است. بنابراین تعداد تولیدات علمی نمایه‌شده و تعداد استنادهای آن به‌عنوان مهم‌ترین شاخص در ارزیابی تولیدات علمی هر کشور محسوب می‌شود [۸].

روش علم‌سنجی یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای مطالعه و بررسی وضعیت تولیدات علمی است [۹]. نتایج حاصل از این پژوهش‌ها با ارائه تصویری روشن از وضعیت علمی کشور می‌تواند در طراحی برنامه توسعه علمی کشور مفید واقع شود. از سوی دیگر، مطالعات علم‌سنجی بر ابعاد اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و فرهنگی کشور نیز تاثیرگذار است [۱۰]. به این ترتیب استفاده از دانش متخصصان علم‌سنجی در رشته‌های مختلف به یک ضرورت تبدیل شده است [۱۱].

پرسش‌های اساسی پژوهش حاضر عبارتند از:

۱. در پایگاه استنادی اسکوپوس، چند رکورد در حوزه کاواک‌زایی صوتی ثبت شده است و کدام یک از رشته‌ها دارای بیشترین سهم در رکوردهای بازیابی شده هستند؟
۲. کدام موسسات/دانشگاه‌ها در سطح ایران و جهان دارای بیشترین تعداد مستندات در حوزه‌ی کاواک‌زایی صوتی هستند؟
۳. پژوهشگران فعال داخلی/خارجی در حوزه‌ی کاواک‌زایی صوتی چه کسانی هستند؟
۴. به‌طور ویژه، حوزه‌ها و مفاهیم مرتبط با کاواک‌زایی صوتی در ریاضیات چه مواردی هستند و ارتباط خوشه‌های تشکیل‌شده، چگونه است؟

در این پژوهش با هدف پاسخگویی به سوالات مطرح‌شده در ابتدا تعداد رکوردهای ثبت‌شده حوزه کاواک‌زایی صوتی در پایگاه استنادی اسکوپوس از ابتدا تا زمان انجام تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. در همین راستا، سهم رشته‌های مختلف در تعداد رکوردهای مستخرج ارزیابی شده است. در ادامه مؤسسات و/یا دانشگاه‌های فعال (داخلی و خارجی) در حوزه‌ی کاواک‌زایی صوتی شناسایی و نمای کلی از نحوه‌ی همکاری اشخاص فعال داخلی آورده می‌شود. در بخش انتهایی نیز حوزه‌ها و مفاهیم مرتبط با کاواک‌زایی صوتی در ریاضیات مورد بررسی قرار گرفته است. جامعه‌ی این پژوهش، اسناد نمایه‌شده در پایگاه اسکوپوس از ابتدا تا زمان انجام تحقیق است. جستجوها و استخراج رکوردها اوایل مارس ۲۰۲۳، در بازه‌ی زمانی هشتم مارس ۲۰۲۳ الی هیجدهم مارس ۲۰۲۳ (دهم تا بیست‌ودوم اسفند ۱۴۰۱) انجام شده‌اند.

۳. نتایج

۳-۱. بررسی کمّی برون‌دادهای علمی در حوزه کاواک‌زایی صوتی و بررسی نتایج به تفکیک رشته

بررسی کمّی برون‌دادهای علمی روشی برای ارزیابی فعالیت‌های پژوهشی انجام‌شده در هر حوزه شناخته

[1] Lytic agent
[2] Pitting

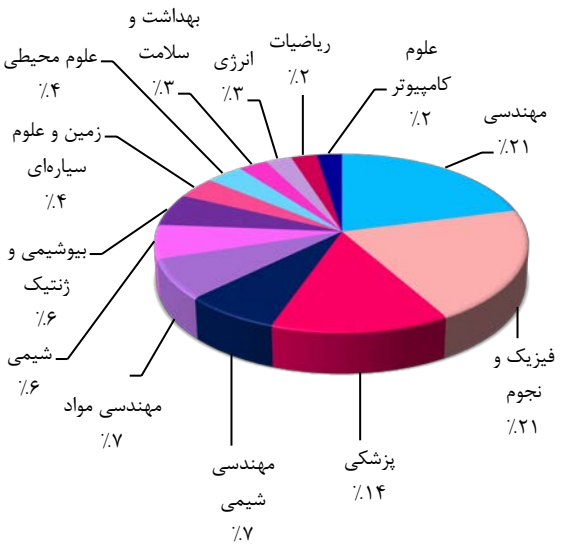
می‌شود. در این راستا با هدف بررسی تعداد مستندات علمی در حوزه کاواک‌زایی صوتی با جستجوی یک عبارت کلیدی در اسناد نمایه‌شده در پایگاه اسکوپوس تا اوایل مارس سال ۲۰۲۳، تعداد ۶۳۲۷۷ سند بازیابی شد. بررسی‌ها نشان می‌دهند، تعداد برون‌دادهای علمی در حوزه کاواک‌زایی صوتی از ابتدا تا زمان استخراج رکوردها روند افزایشی دارد. در شکل ۱ با استفاد از یک نمودار لگاریتمی، نمای کلی از تعداد برون‌دادهای علمی در حوزه کاواک‌زایی صوتی از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۲۲ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است به‌طورکلی تعداد مستندات این حوزه، روند صعودی خود را حفظ کرده‌اند. لازم به ذکر است، تعداد رکوردهای ثبت‌شده برای سال ۲۰۲۳ تا زمان استخراج نتایج، ۶۶۴ رکورد بوده است.

شکل ۱ تعداد مستندات حوزه کاواک‌زایی صوتی از ابتدا تا بازه زمانی ۸-۱۸ مارس ۲۰۲۲.

بررسی ۶۳۲۷۷ رکورد مستخرج از برون‌دادهای علمی به تفکیک رشته نیز نشان می‌دهد که مهندسی با داشتن ۲۲۶۵۶ رکورد، فیزیک و نجوم با ۲۲۳۲۵ رکورد و پزشکی با ۱۴۸۴۰ رکورد به‌ترتیب در جایگاه اول تا سوم در نقشه‌ی بررسی کمّی برون‌دادهای علمی حوزه کاواک‌زایی صوتی به تفکیک رشته قرار دارند. در شکل ۲، سیزده رشته با بیشترین درصد سهم از برون‌دادهای علمی این حوزه، ارائه شده‌اند. طبق این نقشه، ریاضیات با داشتن ۲۷۴۶ رکورد، دو درصد از رکوردهای مستخرج را به خود اختصاص داده است.

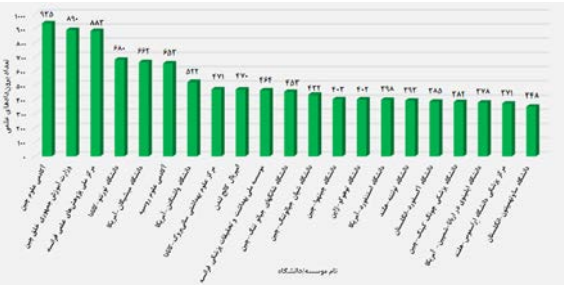
۳-۲. بررسی و معرفی موسسات و/یا دانشگاه‌های فعال در حوزه‌ی کاواک‌زایی صوتی

در این قسمت، هدف، شناسایی موسسات و/یا دانشگاه‌های (داخلی و خارجی) فعال در کاواک‌زایی صوتی براساس ۶۳۲۷۷ رکورد بازیابی‌شده در پایگاه اسکوپوس تا زمان انجام تحقیق است.



شکل ۲ مقایسه کمی سیزده رشته با بیشترین سهم در ۶۳۲۷۷ رکورد مستخرج از برون‌دادهای علمی حوزه کاواک‌زایی صوتی.

تحلیل و بررسی رکوردهای موسسات و/یا دانشگاه‌های بین‌المللی در نرم‌افزار اکسل، نشان می‌دهند که آکادمی علوم چین با تعداد ۹۳۵ سند در جایگاه اول، وزارت آموزش جمهوری خلق چین با ۸۹۰ رکورد در جایگاه دوم و مرکز علمی پژوهش‌های فرانسه با ۸۸۳ رکورد در جایگاه سوم قرار دارند. در شکل ۳، ۲۱ موسسه و/یا دانشگاه با بیش‌ترین تعداد رکورد ثبت‌شده، مرتب‌سازی و ارائه شده‌اند.

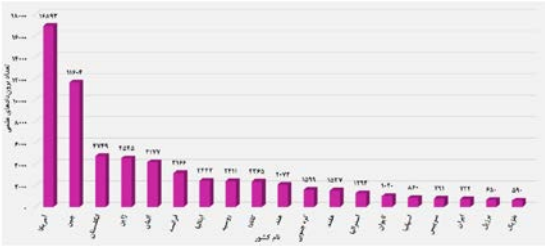


شکل ۳ مقایسه تعداد مستندات حوزه‌ی کاواک‌زایی صوتی بین ۲۱ موسسه/دانشگاه با بیش‌ترین مستندات.

مقایسه تعداد برون‌دادهای علمی موسسات و/یا دانشگاه‌های بین‌المللی تا مارس ۲۰۲۳ (که در مقاله حاضر گزارش گردیده) و تا ژانویه ۲۰۲۲ که در [۱۲] گزارش

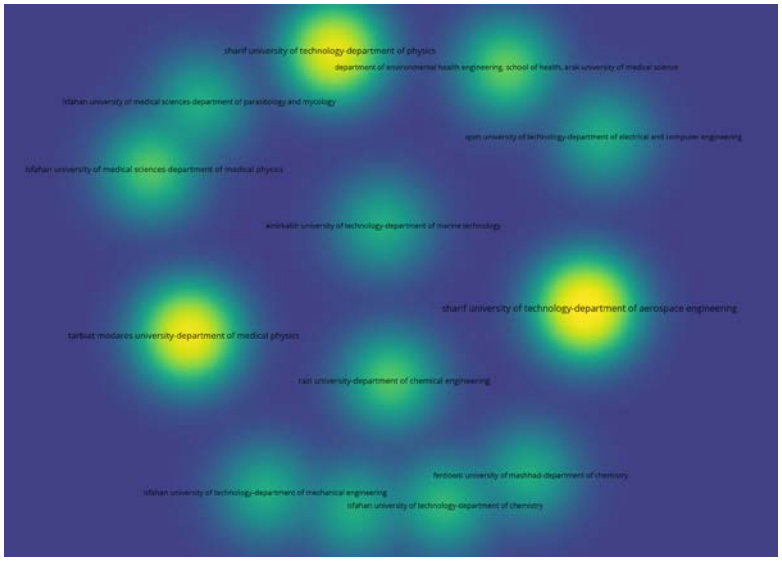
شده است، نشان می‌دهند در یک سال اخیر، آکادمی چین با انتشار ۱۲۶ سند علمی در حوزه کاواک‌زایی صوتی، هم‌چنان در رتبه اول قرار دارد. در عوض، وزارت آموزش جمهوری خلق چین با نشر ۱۷۴ رکورد جدید، از جایگاه سوم به رتبه دوم صعود کرده است. در مقابل، مرکز علمی پژوهش‌های فرانسه در سال اخیر با ثبت ۱۵۱ رکورد در حوزه کاواک‌زایی صوتی از رتبه سوم به جایگاه سوم تنزل یافته است.

برای مقایسه سهم کشورها و به‌طور خاص کشور ایران از ۶۳۲۷۷ رکورد مستخرج، تعداد اسناد ارائه شده‌ی هر کشور مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از نرم‌افزار اکسل، ۱۹ کشور با بیشترین سهم، مرتب‌سازی و در شکل ۴ نشان داده شده‌اند. طبق این نمودار، کشور آمریکا با تعداد ۱۶۸۹۳ رکورد در رتبه‌ی اول و کشور چین با تعداد ۱۱۶۰۴ سند در رتبه‌ی دوم قرار دارند. همان‌طور که در این شکل مشخص است، کشور ایران با تعداد ۷۲۲ عنوان، در رتبه‌ی هفدهم قرار دارد. یک مقایسه‌ی ساده بین تعداد مستندات کشور ایران در سال اخیر با سال گذشته (گزارش‌شده در مرجع [۱۲])، نشان می‌دهد کشور ایران با ثبت ۶۵ رکورد جدید در حوزه کاواک‌زایی صوتی در پایگاه اسکوپوس، جایگاه خود را در رتبه‌بندی کمّی برون‌دادهای علمی در این حوزه حفظ نموده است. مقایسه مشابه برای دو کشور آمریکا و چین نشان می‌دهد، در حوزه کاواک‌زایی صوتی، تعداد ۸۸۸ رکورد جدید به نام آمریکا و تعداد ۱۶۴۰ رکورد جدید برای کشور چین در پایگاه اسکوپوس، ثبت گردیده است. به این ترتیب در یک سال اخیر، رشد کشور چین به لحاظ تعداد برون‌داد علمی در حوزه کاواک‌زایی صوتی، چشم‌گیر و قابل‌توجه است.



شکل ۴ مقایسه تعداد مستندات حوزه‌ی کاواک‌زایی صوتی بین ۱۹ کشور با بیش‌ترین مستندات.

در میان ۷۲۲ رکورد متعلق به کشور ایران، با قرار دادن آستانه‌ی ۴ تکرار برای هر موسسه/دانشگاه و محوریت میزان ارجاعات به مستندات هر موسسه/دانشگاه، نقشه‌ی شکل ۵ با استفاده از نرم‌افزار ووس‌ویور[1] ترسیم شده است. شکل ۵، نقشه‌ی مصورسازی تراکم داده‌ها بر حسب میزان ارجاعات است. در این نقشه دانشگاه‌های مختلف شامل دانشگاه‌های صنعتی امیرکبیر، فردوسی مشهد، تبریز، قم و



شکل ۵ مؤسسات/دانشگاه‌های فعال داخلی در حوزه کاواک‌زایی براساس ۷۲۲ سند مستخرج از اسکوپوس بر حسب میزان ارجاعات و داشتن حداقل ۴ سند.

[1] VOSviewer

اصفهان قابل مشاهده هستند. بررسی‌ها نشان می‌دهند، دانشگاه تربیت‌مدرس (گروه فیزیک پزشکی) با ۱۰ سند علمی و ۲۱۱ استناد و دانشگاه صنعتی امیرکبیر (دانشکده مهندسی پزشکی) با داشتن ۵ سند و ۱۷۳ استناد به‌ترتیب جایگاه اول و دوم را به خود اختصاص داده‌اند. به‌طور مشخص در سه قسمت نقشه ارائه‌شده در شکل ۵، تراکم داده‌ها بالاتر است. حلقه‌ی زرد در سمت چپ این تصویر شامل دانشگاه تربیت‌مدرس (گروه‌های فیزیک پزشکی، بیوشیمی بالینی و ایمونولوژی) و دانشگاه صنعتی امیرکبیر (دانشکده مهندسی پزشکی) است که با شاخص دانشگاه تربیت‌مدرس (گروه فیزیک پزشکی) در شکل ۵ قابل تشخیص است. حلقه‌ی زرد موجود در سمت راست شکل ۵، متشکل از دانشگاه صنعتی شریف (دانشکده مهندسی هوافضا)، دانشگاه آزاد تهران (گروه مهندسی مواد) است که با شاخص دانشگاه صنعتی شریف (دانشکده مهندسی هوافضا) در تصویر قابل مشاهده است. حلقه‌ی زرد سوم که در موقعیت بالای تصویر قرار دارد، شامل دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شریف و گروه فیزیک دانشگاه‌های ارومیه و تربیت‌مدرس است که با شاخص دانشگاه تربیت‌مدرس (گروه فیزیک) در شکل ۵ قابل شناسایی است.

۳-۳. شناسایی استادان و/یا اشخاص فعال در حوزه‌ی کاواک‌زایی صوتی

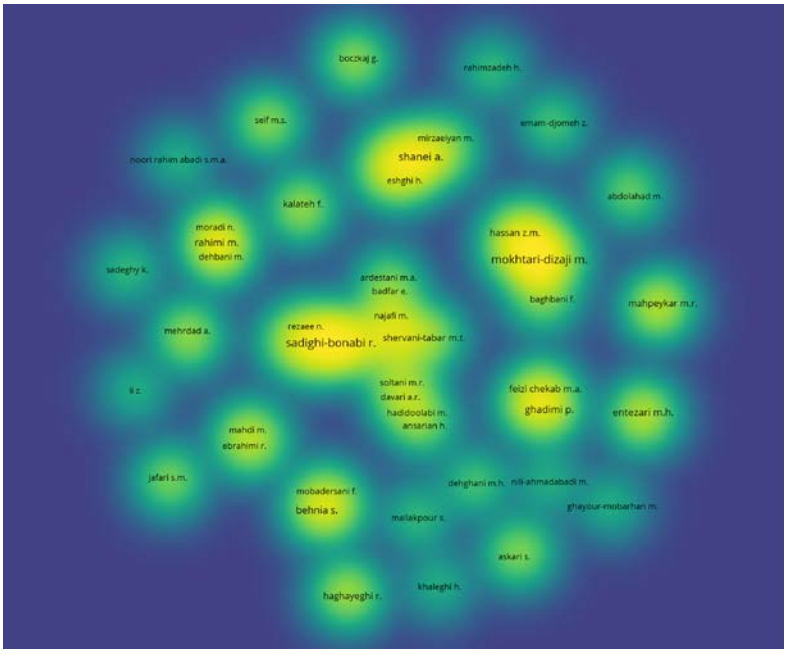
با بررسی نویسندگان ۶۳۲۷۷ رکورد مستخرج در حوزه کاواک‌زایی صوتی، فهرستی از استادان/اشخاص فعال در این حوزه قابل شناسایی است. در جدول ۱ نام سیزده پژوهشگر به همراه نام مؤسسه یا دانشگاه محل فعالیت ایشان ارائه شده است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان می‌دهند دکتر پل ا. دیتون از دانشگاه کارولینای شمالی در چپل هیل با ۲۷۸ رکورد ثبت‌شده و دکتر کولرو هونونن از دانشگاه تورنتو با ۲۶۱ سند علمی ثبت‌شده در پایگاه اسکوپوس به ترتیب در رتبه اول و دوم این فهرست قرار دارند. در ادامه با استناد بر ۷۲۲ رکورد متعلق به کشور ایران (مذکور در بخش قبلی)، نقشه‌ی همکاری استادان/اشخاص داخلی با هدف شناسایی پژوهشگران داخلی فعال در حوزه کاواک‌زایی صوتی، ارائه شده است (شکل ۶).

جدول ۱ معرفی سیزده پژوهشگر فعال در حوزه کاواک‌زایی صوتی با بالاترین تعداد رکورد ثبت‌شده در پایگاه اسکوپوس.

ردیف	نام نویسنده	نام دانشگاه/ مؤسسه	تعداد اسناد
۱	پل ا. دیتون[1]	دانشگاه کارولینای شمالی- آمریکا (گروه مهندسی پزشکی)	۲۷۸
۲	کولرو هونونن[2]	دانشگاه تورنتو-کانادا (گروه فیزیک پزشکی)	۲۶۱
۳	نایکو دی جونگ[3]	مرکز پزشکی دانشگاه اِراسموس- هلند (گروه مهندسی پزشکی)	۲۲۹
۴	فلمینگ فورسبرگ[4]	دانشگاه توماس جفرسون- آمریکا (گروه رادیولوژی)	۱۹۷
۵	عایشه بواکاز[5]	مرکز پزشکی دانشگاه اِراسموس- هلند (گروه قلب و عروق و اکوکاردیوگرافی تجربی)	۱۹۶
۶	موسوپاندیان آشوکومار[6]	دانشگاه ملبورن- استرالیا (دانشکده شیمی)	۱۸۹
۷	پاراگ گوگت[7]	انستیتوی فناوری شیمی بمبئی- هند (گروه مهندسی شیمی)	۱۶۲
۸	میشل ورسلویس[8]	دانشگاه توئنته- هلند (گروه فیزیک سیالات)	۱۶۲
۹	لاورنس کرام[9]	دانشگاه واشنگتن- آمریکا (گروه مهندسی پزشکی)	۱۶۱
۱۰	آلکساندر کلیبانوو[10]	دانشگاه ویرجینیا-آمریکا (گروه مهندسی پزشکی)	۱۵۳
۱۱	میناکسی وان[11]	دانشگاه شیان جیائوتنگ- چین (گروه مهندسی پزشکی)	۱۴۱
۱۲	ژن ژئو[12]	دانشگاه میشیگان-آمریکا (گروه مهندسی پزشکی)	۱۴۱
۱۳	چی-کوانگ یه[13]	دانشگاه ملی تسینگ هوآ (گروه مهندسی زیست پزشکی و علوم محیطی)	۱۴۰

[1] Paul A. Dayton
[2] Kullervo Hynynen
[3] Nico de Jong
[4] Flemming Forsberg
[5] Ayache Bouakaz
[6] Muthupandian Ashokkumar
[7] Parag R. Gogate
[8] Michel Versluis
[9] Lawrence A. Crum
[10] Alexander L. Klibanov
[11] Mingxi Wan
[12] Zhen Xu
[13] Chih-Kuang Yeh



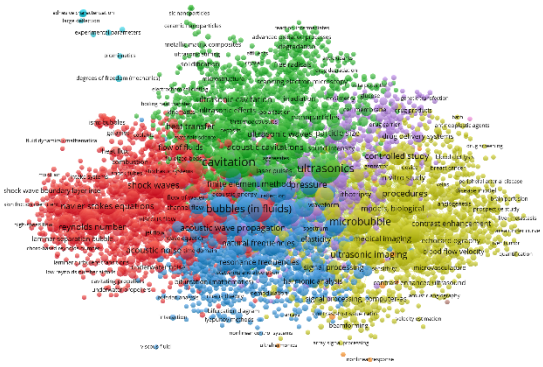
شکل ۶ استادان/اشخاص فعال در حوزه کاواک‌زایی براساس ۷۲۲ سند مستخرج از اسکوپوس بر حسب همکاری و داشتن حداقل ۴ سند.

این نقشه با محور قرار دادن حداقل آستانه‌ی ۴ رکورد برای هر پژوهشگر، در شکل ۶ ترسیم شده است. در این شکل، نام استادانی هم‌چون دکتر محمدحسن انتظاری (دانشگاه فردوسی مشهد-گروه شیمی)، دکتر مسعود رحیمی (دانشگاه رازی-گروه مهندسی شیمی)، دکتر پرویز قدیمی (دانشگاه امیرکبیر- دانشکده مهندسی دریا) و دکتر سهراب بهنیا (دانشگاه ارومیه-گروه فیزیک) قابل مشاهده است. چگالی تصویر در سه ناحیه بالاتر است که با رنگ زرد قابل شناسایی است. بررسی‌های دقیق‌تر این سه قسمت، سه حلقه‌ی همکاری را معرفی می‌نماید. در حلقه‌ی اول؛ دکتر منیژه مختاری دیزجی از دانشگاه تربیت‌مدرس (گروه فیزیک پزشکی)، دکتر فتح‌اله مضطرزاده از دانشگاه امیرکبیر (دانشکده مهندسی پزشکی)، دکتر زهیر محمدحسن از دانشگاه تربیت‌مدرس (گروه ایمونولوژی) و دکتر هادی حسن‌زاده از دانشگاه علوم پزشکی سمنان شناسایی گردیدند. در حلقه‌ی دوم؛ دکتر احمد شائئی از دانشگاه علوم پزشکی اصفهان (گروه فیزیک پزشکی)، دکتر آمنه سازگارنیا از دانشگاه علوم پزشکی مشهد (گروه فیزیک پزشکی) و دکتر حسین عشقی از دانشگاه فردوسی مشهد (گروه شیمی) قابل مشاهده هستند. در حلقه‌ی سوم نیز که به مراتب از گستردگی بیشتری برخوردار است، دکتر رسول صدیقی بنابی از دانشگاه شریف (دانشکده فیزیک)، دکتر احمد مشاعی از دانشگاه تربیت‌مدرس (گروه فیزیک اتمی مولکولی)، دکتر محمد طیبی رهنی از دانشگاه شریف (دانشکده مهندسی هوافضا)، دکتر محمدتقی شروانی‌تبار از دانشگاه تبریز (دانشکده مهندسی مکانیک)، دکتر ابوذر ابراهیمی از دانشگاه چابهار (گروه مهندسی دریا-کشتی‌سازی)، دکتر محمدرضا سلطانی از دانشگاه صنعتی شریف (دانشکده مهندسی هوافضا)، دکتر مصطفی هادی دولابی از دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر (مجتمع دانشگاهی هوافضا) و دکتر علیرضا داوری از دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات (گروه مهندسی هوافضا) قابل شناسایی هستند.

۳-۴. شناسایی حوزه‌ها و مفاهیم مرتبط با کاواک‌زایی صوتی در ریاضیات

در راستای پاسخگویی به پرسش چهارم و تعیین حوزه‌ها و مفاهیم مرتبط با کاواک‌زایی صوتی و ارتباط خوشه‌های تشکیل‌شده در ریاضیات، به استناد یک عبارت کلیدی در حوزه‌ی کاواک‌زایی صوتی و ریاضیات، تعداد ۸۰۶۲ رکورد بازیابی شد. در شکل ۷ نقشه‌ی هم‌رخدادی کلمات کلیدی استخراج‌شده از این تعداد سند، نمایش داده شده است. با

قراردادن حداقل ۴ تکرار برای هر کلمه کلیدی، تعداد ۴۷۳۳ کلمه کلیدی بازیابی شد.



شکل ۷ هم‌رخدادی واژگان کلیدی در ۸۰۶۲ سند مستخرج از عبارت کلیدی جستجوشده (مرکب از کلمات کلیدی در حوزه کاواک‌زایی صوتی و ریاضیات) در اسکوپوس.

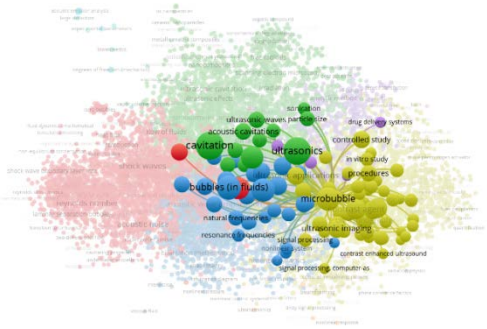
به‌طور مشخص، در شکل ۷، کلمات کلیدی در پنج خوشه‌ی اصلی دسته‌بندی شده‌اند. هر یک از خوشه‌ها متشکل از تعدادی کلمه کلیدی است. به‌عنوان نمونه؛ کاواک‌زایی، امواج فراصدا از جمله کلمات کلیدی واقع شده در خوشه‌ی سبز؛ میکروحباب، مبدل‌های صوتی در خوشه‌ی زرد؛ امواج شوک، معادله ناویه- استوکس و عدد رینولدز از جمله کلمات کلیدی خوشه‌ی قرمز؛ حباب و معادله ریلی-پلسه از کلمات کلیدی خوشه‌ی آبی و بالاخره آواروزنه‌سازی و تحویل داروی هدفمند از جمله کلمات کلیدی خوشه‌ی بنفش هستند.

پنج کلمه‌ی کلیدی موجود با بیش‌ترین تعداد تکرار در جدول ۲ ارائه شده‌اند. به‌این‌ترتیب کلمات کلیدی «کاواک‌زایی»، «امواج فراآوایی»، «حباب (در سیال)»، «صوتیات»، «میکروحباب» و «شبیه‌سازی یارانه‌ای» به‌ترتیب بیش‌ترین تعداد فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند.

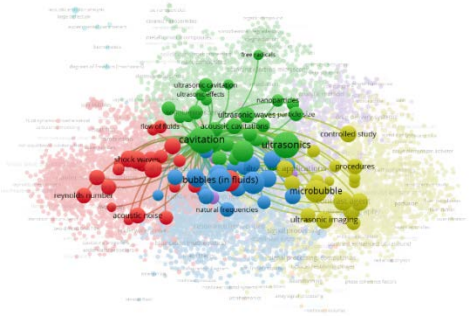
جدول ۲ کلمات کلیدی با بیش‌ترین تعداد فراوانی.

رتبه	کلمه کلیدی	فراوانی
۱	cavitation	۱۹۴۶
۲	ultrasonics	۱۸۹۱
۳	bubble (in fluids)	۱۲۰۸
۴	acoustics	۱۰۲۰
۵	microbubble	۱۰۴۱
۶	computer simulation	۸۶۴

کلمات کلیدی واقع‌شده در هر خوشه، با یکدیگر تشکیل خوشه‌های معنایی می‌دهند. در شکل ۸ و ۹، نمونه‌هایی از ترکیب واژگان کلیدی از خوشه‌های مختلف و ارتباط گروه کلمات نمایش داده شده است. به‌عنوان نمونه در شکل ۸، یک خوشه‌ی معنایی به‌صورت برجسته قابل مشاهده است. در این گروه کلمات «کاواک‌زایی صوتی» و «امواج فراآوایی» از خوشه‌ی سبز، «حباب (درون سیال)» از خوشه آبی و «سامانه تحویل دارو» از خوشه‌ی بنفش دارای ارتباط هستند. به‌این‌ترتیب می‌توان با کنار هم قرار دادن این گروه کلمات یک عبارت کلیدی جدید طراحی و نسبت به جستجوهای هدفمند اقدام نمود.



شکل ۸ ارتباط گروه کلمات در نقشه‌ی هم‌رخدادی واژگان کلیدی از ۸۰۶۲ سند مستخرج از اسکوپوس.



شکل ۹ ارتباط گروه کلمات در نقشه‌ی هم‌رخدادی واژگان کلیدی از ۸۰۶۲ سند مستخرج از اسکوپوس.

به‌طور مشابه در شکل ۹، « کاواک‌زایی صوتی» و «نانوذرات» از خوشه‌ی سبز، «میکروحباب‌ها» از خوشه‌ی زرد، «عدد رینولدز» و «امواج شوک» از خوشه‌ی قرمز تشکیل یک گروه معنایی داده‌اند. به‌طور کلی دقت و بررسی در نتایج به‌دست‌آمده می‌توانند محققین و پژوهشگران را در یافتن کلمات کلیدی جدید و اصلاح عبارت کلیدی اولیه تا رسیدن به یک عبارت کلیدی جامع

با هدف مشخص، راهنمایی کند.

۴. بحث

در این پژوهش با هدف پاسخگویی به چند سوال اصلی از اسناد نمایه‌شده در پایگاه اسکوپوس به‌عنوان جامعه‌ی پژوهش استفاده شده است. تحلیل داده‌ها با استفاده از نمودارهای فراوانی و نقشه‌ی میزان ارجاعات، همکاری یا هم‌رخدادی و به کمک نرم‌افزارهای اکسل و ووس‌ویور انجام شده است. تمرکز اصلی بر حوزه کاواک‌زایی صوتی بوده است. به‌طورکلی، بررسی کمّی برون‌دادهای علمی نمایه‌شده در پایگاه اسکوپوس، روند صعودی تعداد اسناد نمایه‌شده در حوزه کاواک‌زایی صوتی را نشان می‌دهد. طبق نتایج مستخرج، دکتر پل ا. دیتون از دانشگاه کارولینای شمالی در چپل هیل با ۲۷۸ رکورد ثبت‌شده در پایگاه اسکوپوس و دریافت ۹۸۰۷ مورد استناد و دکتر کولرو هونونن از دانشگاه تورنتو با ۲۶۱ رکورد و دریافت ۱۸۱۶۳ مورد استناد، از فعال‌ترین افراد در حوزه کاواک‌زایی صوتی شناسایی شده‌اند. این در حالی است که دانشگاه کارولینای شمالی در چپل هیل با ۳۰۵ برون‌داد علمی و دانشگاه تورنتو با ۶۸۰ سند علمی در فهرست تعداد برون‌دادهای علمی دانشگاه/مؤسسات به‌ترتیب در رتبه بیست و نهم و چهارم قرار دارند. در بین دانشگاه‌های داخلی نیز، دانشگاه تربیت‌مدرس (گروه فیزیک پزشکی) با ۱۰ سند نمایه‌شده در پایگاه اسکوپوس و دریافت ۲۱۱ استناد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (دانشکده مهندسی پزشکی) با ۵ سند و ۱۷۳ مورد استناد، دانشگاه رازی کرمانشاه (گروه مهندسی شیمی) با داشتن ۷ سند نمایه‌شده و ۱۴۵ مورد استناد به ترتیب در جایگاه اول تا سوم جدول تعداد استناد قرار دارند. دکتر منیژه مختاری دیزجی با ۲۱ سند علمی و ۳۹۱ مورد استناد، دکتر احمد شائئی با داشتن ۱۵ رکورد و ۲۷۸ استناد، دکتر رسول صدیقی بنابی با ۲۱ سند و ۲۰۰ مورد استناد، دکتر محمدحسن انتظاری با ۱۰ برون‌داد علمی و دریافت ۳۶۴ استناد علمی به ترتیب، جایگاه اول تا چهارم را در بین پژوهشگران حوزه کاواک‌زایی صوتی دارا هستند. حلقه‌ی همکاری استادان و پژوهشگران حوزه کاواک‌زایی صوتی نیز در شکل ۶ ارائه شده است. در بررسی نقشه‌ی هم‌رخدادی کلمات کلیدی، «امواج فراآوایی» با ۱۸۹۱ بار تکرار و ۳۰۶۸۷ لینک با گروه کلمات دیگر، « کاواک‌زایی صوتی» با ۱۹۴۶ بار تکرار و ۲۳۸۰۷ لینک با سایر کلمات کلیدی، «میکروحباب» با ۱۰۴۱ بار تکرار و ۱۹۸۱۶ لینک به ترتیب پرتکرارترین کلمات کلیدی در حوزه کاواک‌زایی شناخته شدند.

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله، ضمن بررسی کمّی برون‌دادهای علمی (به تفکیک رشته)، شناسایی و معرفی افراد و مؤسسات/دانشگاه‌های فعال در حوزه کاواک‌زایی صوتی، گروه کلمات مرتبط با این حوزه نیز بررسی گردید. با توجه به تعداد ۶۳۲۷۷ رکورد بازیابی‌شده حوزه کاواک‌زایی صوتی در پایگاه اسکوپوس و روند صعودی انتشار مقالات، امید است در آینده نزدیک رشد چشم‌گیر تعداد مقالات ثبت‌شده کشور ایران در این حوزه مشاهده شود.

تقدیر و تشکر

این مقاله براساس مطالب ارائه‌شده در کارگاه‌های علم‌سنجی برگزارشده توسط انجمن علوم صوتی ایران نگارش شده است. بدین وسیله از انجمن علوم صوتی ایران برای ایجاد بستر مناسب و از جناب آقای دکتر محمدامین فیض‌چکاب به پاس آموزش دلسوزانه‌شان تشکر و قدردانی می‌گردد.

تضاد منافع

مقاله ارائه شده فاقد هرگونه تضاد منافع است.

فهرست منابع

[1] J.M. Robertson, G.F. Wislicenusl, “Cavitation state of knowledge,” American Society of Mechanical Engineers, 1969.

[2] A. Shahidani, M. Mokhtari Dizaji, Z. Shankaii, M. Najafi, "Modeling and investigating the effect of ultrasound waves pressure on the microbubble oscillation dynamics in microvessels containing an incompressible fluid," Journal of Acoustical Engineering Society of Iran, vol. 9, no. 2, pp. 52-60, 2022, (In Persian).

[3] Z. Mokhtari Varnosfadrani, S.H. Momeni-Masuleh, H.R. Masah, "Simulation of the

pulsating bubble problem using RKF78," 14th Fluid Dynamics Conference, Birjand University, 2012, (In Persian).

[4] Z. Mokhtari Vernosfadrani, S.H. Momeni-Masuleh, H.R. Masah, "Investigation of the effect of the environment on the behavior of a pulsating bubble in a sound field", 13th Marine Industry Conference, Kish Island, 2011, (In Persian).

[5] A.H. Barati, M. Mokhtarl-Dizaji, H. Mozdarani, S.Z. Bathaie, Z.M. Hassan, “Effect of exposure parameters on cavitation induced by low-level dual-frequency ultrasound,” Ultrasonics Sonochemistry, vol. 14, pp. 783-789, 2007.

[6] H. Hasanzadeh, M. Mokhtari-Dizaji, S.Z. Bathaie, Z.M. Hassan, “Effect of local dual frequency sonication on drug distribution from polymeric nanomicelles,” Ultrasonics Sonochemistry, vol. 18, pp. 1165-1171, 2011.

[7] H. Hasanzadeh, M. Mokhtari-Dizaji, S.Z. Bathaie, "Detection of acoustic cavitation using subharmonic spectrum analysis," Journal of Acoustical Engineering Society of Iran, vol. 1, no. 1, pp. 23-32, 2014, (In Persian).

[8] A.R. Noroozi Chakoli, M. Hassanzadeh, H.A. Nourmohamadi, “Scientific products of Iran in ISI from 1993 through 2007,” International Journal of Information Science and Management, vol. 8, pp. 11-18, 2010.

[9] F. Sohbatiha, A. Riahi, A. Mousavi Chalak, “A look at scientific production of Iranian authors with non-Iranian organizational affiliations,” Quarterly Journal of Research and Planning in Higher Education, vol. 21, pp. 63-80, 2023.

[10] A.R. Noroozi Chakoli, "The Role and situation of the scientometrics in development," Iranian Journal of Information Processing Management, vol. 27, no. 3, pp. 723-736, 2012.

[11] A.R. Noroozi Chakoli, “Note from the editor-in-chief: A review of the professional status of scientometrics graduates in realizing the policies and programs of the higher education system,” Scientometrics Research Journal, vol. 9, pp. 1-2, 2023.

[12] S. Matiei, S.H. Momeni Masouleh, M. Mokhtari Dizji, "Observation of acoustic cavitation in opening the blood-brain barrier and the discontinuous Galerkin method," The 8th Congress of acoustical society of iran, Amirkabir University of Technology, Online Congress, 2022, (In Persian).