تاریخ دریافت: ۲۸ بهمن ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: ۲۳ شهریور ۱۴۰۳ صفحات ۱ الی ۳۱

تحلیل علم سنجی در حوزه پمپ حرارتی زمین‌گرمایی: مطالعه روندهای موضوعی و حمایت های پژوهشی

سپیده قلم باز*

استادیار گروه علم اطلاعات و دانش شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

sepideh_ghalambaz@pnu.ac.ir

چکیده : در یک تحقیق عمیق علم سنجی در حوزه پمپ حرارتی زمین‌گرمایی از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳، روندهای تحقیقاتی قابل توجه، مشارکت جغرافیایی متنوع، همکاری‌های پویا و کلمات کلیدی مهمی مطرح شده اند. این مطالعه که از پایگاه‌های داده وب آو ساینس استفاده کرده، ۵۰۲ مدرک را شناسایی کرده است که ۹۰٪ آنها مقالات اصیل را تشکیل می‌دهند. پمپ حرارتی زمین‌گرمایی از آغاز فعالیت خود در سال ۱۹۹۳ که تنها با یک مقاله آغاز به کار کرد، شاهد یک رشد ثابت بوده و در سال ۲۰۲۳ به نمایندگی از ۶۰ مؤسسه جهانی در ۲۶ کشور به اوج خود رسید که بیانگر جذابیت فزاینده‌ی آن در سطح جهانی است. از نظر جغرافیایی، ایالات متحده با ۸۱ انتشار، پیشرو است و چین با سهم قابل توجه ۶۱ مقاله در تعقیب آن قرار دارد. جالب توجه است که با وجود اینکه تولیدات ترکیه محدود به ۲۱ مدرک است اما نرخ استنادی آن به طور چشمگیری بالاست. در بین تحقیقات مشترک، مشارکت عربستان در هم‌نویسندگی در تضاد کامل با رویکرد انفرادی روسیه است. چین با ۷۱ حمایت تحقیقاتی، ایالات متحده با ۷۰، و کره جنوبی با ۶۸ حمایت، کشورهای پیشرو در پژوهش های مرتبط یا پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی هستند. بنیاد علمی ملی چین با پشتیبانی از ۱۵ مقاله، شورای تحقیقات علوم طبیعی و مهندسی کانادا با تأمین مالی ۱۴ مقاله، و اتحادیه اروپا با حمایت از ۸ مقاله، از مهم‌ترین سازمان‌هایی هستند که به پیشبرد تحقیقات در زمینه پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی کمک کرده‌اند.

واژه‌های کلیدی: چشم‌انداز تحقیقات، نقشه همکاری، انرژی پایدار، پمپ حرارتی زمین‌گرمایی، تحلیل علم سنجی، پایگاه وب آو ساینس(WoS)

* نویسنده مسئول

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۱. مقدمه و بیان مسأله

در دهه‌های اخیر، توجه جهانی به انرژی‌های تجدیدپذیر و سیستم‌های پایدار زیست‌محیطی به طور چشمگیری افزایش یافته است. در این میان، پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی[۱] به عنوان یکی از فناوری‌های کلیدی در کاهش اتکاء به سوخت‌های فسیلی و کاهش انتشار دی‌اکسید کربن شناخته شده‌اند. پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی، که به اختصار GHP نامیده می‌شوند، از انرژی حرارتی ذخیره‌شده در زمین به منظور گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها بهره می‌برند. این فناوری پیشرفته با استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و پاک، به تدریج به یکی از ارکان اصلی استراتژی‌های پایدار در حوزه انرژی تبدیل شده است.

پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی نه تنها با کارایی بالا و مصرف انرژی کمتر عمل می‌کنند، بلکه با کاهش قابل توجه انتشار دی‌اکسید کربن، نقش برجسته ای در مقابله با تغییرات آب و هوایی دارند. بررسی‌ها و مطالعه های علمی نشان می‌دهند که این سیستم‌ها می‌توانند به طور مؤثری بهره‌وری انرژی را افزایش داده و هزینه‌های گرمایش و سرمایش را کاهش دهند. به دلیل مزایای متعدد این فناوری، بسیاری از کشورها به دنبال توسعه و گسترش استفاده از پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی هستند.

ضرورت بررسی و مطالعه پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی به ویژه در زمان‌هایی که تغییرات آب و هوایی و مسائل زیست‌محیطی به یکی از چالش‌های اصلی جهان تبدیل شده است، بیش از پیش احساس می‌شود. پژوهش ها در این حوزه می‌توانند به شناسایی نقاط قوت و ضعف این سیستم‌ها، بهبود عملکرد آن ها و یافتن راهکارهای نوآورانه برای افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های اجرایی کمک نمایند. افزون بر این، بررسی تجربه های موفق کشورهای مختلف در استفاده از پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی می‌تواند به توسعه سیاست‌های مناسب برای گسترش این فناوری در سطح جهانی کمک نماید.

در این راستا، نقشه جامع کشور ایران، اولویت علم و فناوری را در سه سطح الف، ب و ج دسته‌بندی نموده است. اولویت‌های سطح الف در فناوری، شامل فناوری‌های هوا و فضا، اطلاعات و ارتباطات، هسته‌ای، نانو و میکرو، نفت و گاز، زیستی، زیست محیطی و نرم و فرهنگی می‌باشد (شورای عالی انقلاب فرهنگی، ۱۳۸۹). موضوع پژوهش حاضر نیز در اولویت‌های سطح الف نقشه جامع کشورمان

[۱]. Geothermal Heat Pumps

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

قرار می گیرد و با توجه به اینکه پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی به بحث انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی می‌پردازد، می‌تواند به یکی از دغدغه‌های اساسی جهان در دستیابی به جهانی پاک و به دور از آلاینده‌های فسیلی پاسخ دهد.

این مطالعه به بررسی دقیق تحقیقات انجام شده در زمینه پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی با تأکید بر تحلیل توزیع جغرافیایی تحقیقات و میزان همکاری‌های بین‌المللی می‌پردازد. در این راستا، تحلیل علم سنجی در حوزه پمپ زمین گرمایی قادر است تا اطلاعات سودمندی را در اختیار محققان و پژوهشگران این حوزه قرار دهد. بدیهی است که محققان این حوزه با آگاهی یافتن از وضعیت تولیدات علمی و تحلیل روندهای نزولی و صعودی و آگاهی یافتن از روندها و گرایش های موضوعی در این حوزه قادر خواهند بود تا تحقیق و پژوهش های هدفمندتر و مؤثرتری را انجام دهند و از طرفی دیگر نتایج حاصل از این پژوهش های جهت دار و هدفمند، کمک مؤثری به سیاست گذارهای بهینه و جهت دار در زمینه انرژی های پایدار و تجدید پذیر برای سیاست گذاران کشور ما در عرصه های ملی و بین المللی خواهد بود. بر این اساس، هدف از این مطالعه، ارائه دیدگاهی جامع به محققان و سیاست‌گذاران است تا با استفاده از داده‌های معتبر علمی و با شناسایی روندهای مطالعاتی جدید، به سوی انجام پژوهش های جهت دار و هدفمند در این حوزه دست یابند. بدیهی است که با تحلیل داده های مناسبی که از نتایج چنین پژوهش هایی که از نوع پژوهش های علم سنجی می باشند، حاصل می آید به اتخاذ تصمیم گذاری های مؤثر و مناسب به سیاست گذاران کمک می نماید و در نتیجه، اتخاذ تصمیم های صحیح به بهبود شرایط زیست‌محیطی و افزایش بهره‌وری انرژی خواهد انجامید. این امر نه تنها به کاهش اثرات مخرب تغییرات آب و هوایی کمک می‌کند، بلکه در راستای تحقق اهداف توسعه پایدار نیز قرار دارد.

در این راستا، علم‌سنجی به عنوان یک ابزار قدرتمند برای تحلیل و ارزیابی روند پژوهش ها و پیشرفت‌های علمی در زمینه پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی مطرح شده است. از طریق بررسی‌های علم‌سنجی، می‌توان درک بهتری از جهت‌گیری‌های تحقیقاتی، میزان همکاری‌های بین‌المللی و موضوعات داغ مورد توجه در این حوزه کسب نمود. و از طرفی آگاهی یافتن از وضعیت کشورها و سازمان های حمایت کننده در زمینه پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی که از طریق تحلیل علم سنجی حاصل می آید، قادر است تا اطلاعات جامع و سودمندی را در اختیار برنامه ریزان و سیاستگذاران

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

کشورمان قرار دهد. این اطلاعات به محققان و سیاست‌گذاران امکان می‌دهد تا با شناسایی فرصت‌های جدید و نقاط قوت موجود، به طراحی استراتژی‌های مؤثرتر برای تسریع در توسعه و کاربرد این فناوری‌ها بپردازند.

از سویی دیگر، مطالعه‌های علم‌سنجی می‌توانند با شناسایی کلیدواژه‌ها، گرایش‌های موضوعی و حوزه‌های علمی مرتبط، به پژوهشگران کمک کنند تا تحقیقات خود را به گونه‌ای هدفمند و مؤثر پیش برند. این تحلیل‌ها به فهم بهتر روندهای کنونی و آینده در حوزه پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی کمک کرده و امکان دسترسی به داده‌های جهانی و بین‌المللی را فراهم می‌آورند. به این ترتیب، امکان تحقیقات جهت‌دار و مرتبط تری مهیا می گردد؛ که نه تنها به رشد این حوزه کمک می‌کند بلکه به بهبود شرایط زیست‌محیطی نیز می‌انجامد.

شناسایی کشورها و مؤسسه های پیشرو در تولید علم پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی، تحلیل ترکیب و تعداد نویسندگان مقالات، بررسی دینامیک‌های همکاری‌های بین‌المللی و تعیین کلیدواژه‌های مهم و تأثیرگذار در این حوزه، به پژوهشگران کمک می‌کند تا از روندهای جاری پژوهش های این حوزه مطلع شوند و به شناسایی فرصت‌های جدید برای تحقیق و همکاری دست یابند.

پژوهشگرانی که در حوزه پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی فعالیت دارند، با چالش‌هایی از جمله نیاز به شناسایی و تحلیل روندهای فعلی و آتی در فناوری‌های حرارتی، درک این مسأله که پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی با چه علومی درگیر شده‌اند، حوزه‌های موضوعی گذشته، حال و روندهای رو به رشد در این حوزه کدامند، آگاهی از کشورها و مؤسسه های پرتولید در این حوزه و دینامیک‌های همکاری بین نویسندگان این حوزه مواجه هستند. در حال حاضر پژوهشی که از دیدگاه علم سنجی پمپ های زمین گرمایی و روند حمایت های پژوهشی این حوزه را مطالعه کند، انجام نشده است. هدف پژوهش حاضر، مطالعه و تحلیل داده های علم‌سنجی در حوزه پمپ های زمین گرمایی است تا بیشترین تمرکز موضوعی، روندهای فعلی و رو به رشد، حمایت های پژوهشی کشورها و سازمان ها در این حوزه شناسایی گردد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۲. چارچوب نظری پژوهش

منابع انرژی تجدیدپذیر، شامل گزینه‌های بادی، خورشیدی، آبی و زمین‌گرمایی، نقشی فزاینده و حیاتی در چشم‌انداز انرژی جهانی ایفا می‌کنند. آن‌ها، جایگزین پایداری برای سوخت‌های فسیلی ارائه می‌دهند، که به طور مؤثری انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش داده و به طور قابل توجهی به تلاش‌های مداوم علیه تغییرات اقلیمی کمک می‌کنند. پذیرش گسترده‌ای از فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر به سرعت در سطح جهانی گسترش یافته است، که توسط سیاست‌های دولتی، پیشرفت‌های تکنولوژیکی و کاهش هزینه‌ها هدایت می‌شود.

پمپ‌های زمین‌گرمایی نیز به عنوان یکی از فناوری‌های پیشرو در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر، توجه بسیاری از پژوهشگران و صنعت‌گران را به خود جلب کرده‌اند. این پمپ‌ها به دلیل توانایی بهره‌برداری از انرژی حرارتی زمین، نقش مهمی در کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ایفا می‌کنند. با توجه به اهمیت روزافزون استفاده از منابع انرژی پایدار و تجدیدپذیر، بررسی جامع و دقیق این فناوری ضروری به نظر می‌رسد.

کاربرد پمپ‌های زمین‌گرمایی امروز در ساختمان ها نیز حایز اهمیت شناخته شده است (احمد[۱] و همکاران (۲۰۲۱)). این پمپ ها از انرژی ذخیره شده در زمین برای گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها استفاده می‌کنند. این سیستم‌ها از طریق مبدل‌های حرارتی که در زیر زمین نصب می‌شوند، حرارت را از زمین به ساختمان و بالعکس انتقال می‌دهند. دو نوع اصلی پمپ‌های زمین‌گرمایی وجود دارد: پمپ‌های حرارتی زمین‌منبع بسته که از لوله‌های بسته در زمین استفاده می‌کنند و پمپ‌های حرارتی زمین‌منبع باز که از منابع آبی زیرزمینی به عنوان منبع حرارت استفاده می‌کنند.

حوزه زمین‌گرمایی با چندین علم مختلف مرتبط است. ترمودینامیک و انتقال حرارت که به طور مستقیم بر کارایی و عملکرد حرارتی پمپ‌های زمین‌گرمایی تأثیر می‌گذارد. این علوم با فراهم آوردن دانش لازم برای فهم و بهینه‌سازی فرآیندهای انتقال حرارت، به طور مستقیم در بهبود عملکرد این سیستم‌ها نقش دارند. برای مثال، پژوهش ها نشان داده است که بهینه‌سازی طراحی مبدل‌های

۱. Ahmed et al.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

حرارتی و جریان سیال می‌تواند بهبود قابل توجهی در کارایی سیستم‌های زمین‌گرمایی ایجاد نماید فرزانه خامنه و همکاران (۲۰۲۰) سلطانی و همکاران (۲۰۲۱).

مطالعه ژو[1] و همکاران (۲۰۲۲) مهندسی مواد نیز نقش مهمی در پیشرفت فناوری مواد با هدایت حرارتی بالا ایفا می‌کند که امکان بهبود عملکرد حرارتی مبدل‌های حرارتی زیرزمینی را میسر می‌سازد. استفاده از مواد پیشرفته مانند نانومواد می‌تواند به بهبود خواص انتقال حرارت و افزایش کارایی سیستم‌ها کمک کند. برای مثال، تحقیقات نشان داده‌اند که استفاده از نانومواد می‌تواند تا ۳۰ درصد عملکرد حرارتی سیستم‌های زمین‌گرمایی را افزایش دهد.

نانوتکنولوژی نیز در بهبود رسانایی حرارتی و کارایی الکتریکی سیستم‌های پمپ‌های زمین‌گرمایی نقش بنیادینی دارد. استفاده از نانومواد مانند اکسید مس، اکسید تیتانیوم، اکسید آلومینیوم و نقره با پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی می‌تواند بازدهی این سیستم‌ها را به حداکثر برساند. این فناوری‌ها می‌توانند به بهبود انتقال حرارت و کاهش اتلاف انرژی کمک کنند، که در نهایت منجر به افزایش کارایی کلی سیستم می‌شود (سلطانی و همکاران (۲۰۱۹)).

مزایا و معایب: پمپ‌های زمین‌گرمایی دارای کارایی بالایی هستند و می‌توانند تا ۸۹.۷٪ کارایی اگزرژی داشته باشند (لیو و همکاران، (۲۰۲۳)). با استفاده از انرژی تجدیدپذیر زمین، این پمپ‌ها می‌توانند هزینه‌های انرژی را به طور قابل توجهی کاهش دهند و به دلیل استفاده از منابع پایدار و تجدیدپذیر، دارای دوام و پایداری بالایی هستند. همچنین، این سیستم‌ها می‌توانند به طور قابل توجهی به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کنند و از این رو، به حفظ محیط زیست و کاهش تغییرات اقلیمی کمک کنند.

با وجود مزایای متعدد، هزینه اولیه نصب مبدل‌های حرارتی زمین‌گرمایی نسبتاً بالا است که می‌تواند مانعی برای کاربرد گسترده باشد (فرزانه خامنه و همکاران (۲۰۲۰)). علاوه بر این، عمق نصب، پیکربندی سیستم و شرایط عملیاتی از عوامل مهمی هستند که باید به دقت طراحی و بهینه‌سازی شوند. تأثیرات محیط زیستی بالقوه این نوع پمپ‌ها به‌خصوص وقتی با نانوسیالات ادغام می‌شوند

[1] Zhou et al.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

نباید نادیده گرفته شـود، زیرا ممکن اسـت با آب‌ها و محیط‌های زیرزمینی در تماس باشـند که این موضوع نگرانی‌هایی در مورد پایداری آن‌ها به وجود می‌آورد.

کاربردها:

پمپ‌های زمین‌گرمایی می‌توانند در منازل برای گرمایش و سـرمایش سـاختمان‌ها اسـتفاده شـوند که باعث کاهش هزینه‌های انرژی و افزایش راحتی سـاکنان می‌شـود. این سیسـتم‌ها به عنوان "باتری‌های حرارتی" نیز عمل کرده و می‌توانند گرمای اتلافی را برای استفاده‌های فصلی ذخیره کنند (سلطانی و همکاران (۲۰۱۹)). در صـنایع و سـاختمان‌های تجاری، پمپ‌های زمین‌گرمایی می‌توانند برای تنظیم دما و حفظ محیط‌های کاری مناسـب اسـتفاده شـوند و به بهبود بهره‌وری انرژی و کاهش هزینه‌های عملیاتی کمک کنند (احمد[1] و همکاران (۲۰۲۱)).

علاوه بر این، اسـتفاده از پمپ‌های زمین‌گرمایی در مناطق مختلف جغرافیایی و آب و هوایی می‌تواند به کاهش بار سـیسـتم‌های برق و بهبود پایداری شـبکه‌های انرژی کمک کند. پژوهش ها نشـان داده اسـت که این سیسـتم‌ها می‌توانند به طور مؤثری در کاهش نوسـانات دمایی و حفظ محیط زیسـت در مناطق مختلف یاری گر باشند (نیویز[2] و همکاران (۲۰۲۱)).

پمپ‌های زمین‌گرمایی با بهره‌گیری از انرژی تجدیدپذیر زمین، می‌توانند به طور قابل توجهی به کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کنند. با این حال، نیاز به بهینه‌سازی طراحی و کاهش هزینه‌های نصـب از چالش‌های اسـاسـی این فناوری اسـت. پژوهش‌های بیشـتر در زمینه‌های نانوفناوری و مدلسـازی هوشـمند می‌تواند به بهبود کارایی و کاهش هزینه‌ها کمک کند و این فناوری را به یک راه‌حل پایدارتر و اقتصـادی‌تر تبدیل کند. همچنین، بررسـی‌های زیسـت‌محیطی دقیق‌تر می‌تواند به تضـمین پایداری و کاهش اثرات زیان‌آور احتمالی کمک کند. با اسـتفاده از علوم مرتبط و بهره‌گیری از پیشـرفت‌های فناوری، پمپ‌های زمین‌گرمایی می‌توانند نقشـی کلیدی در دستیابی به اهداف انرژی پایدار و حفاظت از محیط زیست ایفا کنند.

---

۱. Ahmed et al.

۲. Neves et al.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

توجه فزاینده به راه‌حل‌های پایدار گرمایشی و سرمایشی، اهمیت سیستم‌های پمپ حرارتی زمین‌گرمایی را به خوبی نشان می‌دهد. چندین مطالعه اخیر، مزایای روش‌های بهینه‌سازی و چالش‌های مرتبط به آن را مورد بررسی قرار دادند.

بر اساس نتایج پژوهش لیو و همکاران[۱] (۲۰۲۳) پمپ‌های حرارتی جایگزین موثری برای سیستم‌های سنتی سرمایشی و گرمایشی هستند. زمانی‌که منابع انرژی تجدیدپذیر با این پمپ‌ها ترکیب شوند، کاهش قابل توجهی در مصرف سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل می‌شود. به طور خاص، در پمپ‌های حرارتی منبع‌زمین، انرژی زمین‌گرمایی به عنوان منبع حرارت استفاده می‌شود و این یک روش پایدار برای پاسخ به نیازهای سرمایشی و گرمایشی است. یافته مهم این مطالعه نقش جنبه‌های اگزرژتیکی[۲] پمپ‌های حرارتی منبع‌زمین بود. در این بررسی مشخص شد که کارایی اگزرژی این نوع پمپ‌ها به عواملی مانند عمق نصب، پیکربندی سیستم و شرایط عملیاتی بستگی دارد که پتانسیل دستیابی تا ۸۹.۷٪ کارایی اگزرژی از طریق بهینه‌سازی را دارد. هزینه نصب مبدل‌های حرارتی زمین‌گرمایی همچنان به عنوان یک مانع بزرگ برای کاربرد گسترده پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی باقی مانده‌است.

در یک مطالعه برای شهر تهران فرزانه خامنه و همکاران (۲۰۲۰) پتانسیل الگوریتم‌های ژنتیکی در بهینه‌سازی پارامترها به منظور کاهش هزینه‌ها مورد تحلیل قرار گرفتند، نتایج این پژوهش نشان داد که الگوریتم‌های ژنتیکی منجر به کاهش شدید در مصرف سالانه انرژی برای سیستم پمپ حرارتی زمین‌گرمایی می گردد. همچنین، یک تحلیل اقتصادی دوره بازگشت سرمایه ۷/۴ ساله را گزارش کرد که بر امکان‌پذیری اقتصادی چنین سیستم‌هایی در بلندمدت اشاره داشت.

با تقویت بیشتر اهمیت انرژی زمین‌گرمایی، سلطانی و همکاران (۲۰۱۹) بررسی جامع سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی زمین‌گرمایی را ارائه دادند. این مطالعه قابلیت اطمینان، استحکام و پایداری انرژی زمین‌گرمایی را مورد بررسی قرار داد و آن را به عنوان یک منبع انرژی طبیعی با کاربردهای متنوع از تنظیم دمای ساختمان تا تولید برق معرفی کرد. ایده استفاده از پروژه‌های زمین‌گرمایی به عنوان

---

[۱] Liu, Salem, Rungamornrat, Al-Bahrani

[۲] . Exergetic این مفهوم بر خلاف انرژی، که بیانگر کل انرژی موجود در یک سیستم است، به میزان انرژی اشاره دارد که می‌تواند برای انجام کار مفید استفاده شود.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

«باتری‌های حرارتی»، توانایی پمپ‌ها را به عنوان ذخیره‌سازی گرمای اتلافی یا جمع‌آوری شده برای استفاده در آینده یا استفاده‌های فصلی را معرفی نمود.

پیشرفت فناوری در تکنیک‌های مدلسازی هوشمند برای پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی نیز مورد توجه قرار گرفته‌است. همانطور که الموتایری[۱] (۲۰۲۲) اشاره کرده‌است، ترکیب تکنیک‌های هوشمند در مدلسازی این نوع پمپ‌ها دقت زیادی در پیش بینی عملکرد آن بدست آورده‌اند. این تکنیک‌های هوشمند همچنین توانایی پیش بینی سایر پارامترهای مرتبط مانند دمای چاه و رسانایی حرارتی لایه خاک را نشان دادند. از دیدگاه جهانی، لاند و توس[۲] (۲۰۲۱) بررسی جامعی از کاربرد مستقیم از انرژی گرمایی ارائه دادند. در این مطالعه، میزان رشد در تعداد کشورهایی که از انرژی زمین‌گرمایی استفاده می‌کنند را از ۲۸ کشور در سال ۱۹۹۵ تا ۸۸ کشور در سال ۲۰۱۹ نشان می‌دهد. این مطالعه همچنین ذخیره قابل توجه انرژی از طریق کاربرد پمپ حرارتی زمین‌گرمایی را گزارش کرد که به معنی کاهش زیاد در انتشار کربن و کربن دی‌اکسید است.

نیویز و همکاران (۲۰۲۱) توانایی صرفه‌جویی انرژی به کمک سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی زمین‌گرمایی در مناطق آب و هوایی مختلف در آمریکا را مورد بررسی قرار دادند. این مطالعه دو عامل مهم تعیین‌کننده در تأثیر به کارگیری فناوری زمین‌گرمایی که شامل نقش حیاتی انگیزه‌های مختلف محلی در تأثیرگذاری بر سرمایه‌گذاری اولیه و دوره بازگشت سرمایه را مورد توجه قرار داد.

نیاز فوری به کاهش انتشار کربن دی‌اکسید سبب شده‌است که اتحادیه اروپا بر انرژی زمین‌گرمایی کم‌عمق تمرکز کند.

در پژوهشی که توسط احمد و همکاران (۲۰۲۱) انجام شده‌است دیدگاهی در مورد آخرین پیشرفت‌ها درباره‌ی مواد و ساختارهای سیستم‌های انرژی زمین‌گرمایی کم‌عمق و همچنین نقش بالقوه آن را در عدم تولید کربن از طریق گرمایش و سرمایش در اروپا را فراهم کرد. در نهایت، پژوهش خالقی و لیوسکو[۳](۲۰۲۳) اهمیت سطح زیرین زمین در پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی با سیکل بسته عمودی را نشان داد. این پژوهش، دیدگاه جامعی از فناوری این نوع پمپ‌ها ارائه داد و نقش شناسایی سطح زیرین زمین، روش‌های طراحی و نظارت عملکرد در بلندمدت را مورد توجه و تحلیل قرار داد.

---

۱. Almutairi.

۲. Lund, Toth

۳. Khaleghi and Livescu.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

علاوه بر این، ادغام پیشرفت‌های نانوفناوری با سیستم‌های پمپ حرارتی منبع‌زمین می‌تواند تغییر آشکاری در حوزه انرژی تجدیدپذیر ایجاد کند. تلفیق نانوذراتی مانند اکسید مس،اکسید تیانیوم، اکسید آلومینیوم و نقره با پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی می‌تواند بازدهی این نوع سیستم‌ها را به حداکثر برساند که این بهره‌وری از طریق ضرایب انتقال حرارت بهبودیافته مشهود است (سلطانی و همکاران (۲۰۱۹)). زمانی که نانوسیالات با نرخ انتقال حرارت بالا با پمپ‌های حرارتی منبع‌زمین ترکیب می‌شوند، بهره‌وری بالای سیستم را تضمین می‌کنند. اگرچه، تاثیرات محیط زیستی بالقوه این نوع پمپ‌ها به‌خصوص وقتی با نانوسیالات ادغام می‌شوند قابل چشم‌پوشی نیست. طبق تحقیقات اخیر، هرچند این پمپ‌ها مزایای زیست محیطی فراوانی مانند کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند، اما آن‌ها همچنان می‌توانند با آب‌ها و محیط‌های زیرزمینی در تماس باشند که این موضوع نگرانی‌هایی در مورد پایداری آن‌ها بوجود می‌آورد.

این مطالعه به‌عنوان نخستین تلاش علمی برای شناسایی روندهای تحقیقاتی و کشف علوم مرتبط با پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی انجام شده است. در این پژوهش، با استفاده از روش‌های علم‌سنجی، به بررسی توزیع جغرافیایی مدارک، تحلیل شبکه‌های همکاری بین محققین و مؤسسات، و مطالعه استنادی برای ارزیابی تأثیر علمی کارهای انجام‌شده در این حوزه پرداخته شده است. این ابزارهای تحلیلی به پژوهشگران کمک می‌کنند تا درک بهتری از دینامیک‌های علمی و توسعه دانش در این حوزه به دست آورند، که برای هدایت استراتژی‌های تحقیقاتی آینده و افزایش کارآمدی تحقیقات آتی اهمیت زیادی دارد.

علم‌سنجی، به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی تأثیر و پیشرفت تحقیقات، نقشی کلیدی در شناسایی و تحلیل روندهای تحقیقاتی و همکاری‌های بین‌رشته‌ای ایفا می‌کند. این رویکرد به سیاست‌گذاران این حوزه امکان می‌دهد تا با آگاهی بیشتر و استفاده از تحلیل‌های دقیق از روندهای تحقیقاتی و دینامیک‌های همکاری، تصمیمات بهتری اتخاذ کرده و بر توسعه فناوری‌های نوآورانه‌تر تمرکز کنند. این دانش‌ها، به‌تنهایی و در ترکیب با یکدیگر، به سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا با دیدی جامع‌تر به چالش‌ها و فرصت‌های موجود در این حوزه و حوزه‌های مرتبط بپردازند و به برنامه‌ریزی اصولی که به هدف نهایی، یعنی دستیابی به انرژی پایدار و کاهش اثرات زیست‌محیطی، منجر شود.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۳. روش تحقیق

پایگاه داده وب آو ساینس در بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳ با استفاده از دستور "پمپ حرارتی زمین‌گرمایی" مورد جستجو قرار گرفت. این جستجو، که توسط پژوهشگر حاضر در تاریخ ۱۶ سپتامبر ۲۰۲۳ انجام شد، منجر به استخراج ۵۰۲ مدرک از پایگاه وب آو ساینس گردید. دسته‌بندی پیشینه‌ها در جدول شماره ۱ قابل مشاهده است. از این تعداد، بیش از ۹۰٪ (۴۶۴ مقاله) شامل مقالات اصلی هستند که شامل مقالات، مقالات همایش‌ها و اسناد رسمی ارائه شده در کنفرانس‌ها می‌باشند. قابل ذکر است که در این دسته‌بندی، اسناد رسمی ارائه شده در همایش‌ها به‌عنوان مقاله در نظر گرفته شدند، اما برای اهداف مطالعه حاضر، تنها مقالات اصلی مورد تحلیل قرار گرفتند.برای تبدیل داده‌های خام به گزارش‌های آماری و معنادار، محقق اقدام به نوشتن برنامه‌ای به زبان برنامه‌نویسی پایتون نمود. این برنامه قادر است داده‌های مربوط به پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی را استخراج و پردازش کند. چون برخی مراحل نیازمند دخالت و بازبینی دستی هستند، محقق ابتدا داده‌ها را بر اساس معیارهایی مانند نوع انتشار و سال‌ها فیلتر کردند؛ سپس، برنامه داده‌ها را در یک کتابخانه از آیتم‌هایی مانند کلیدواژه‌ها، مؤسسات، کشورها و نام‌های نشریات سازماندهی کرد و شاخص‌های ارزیابی برای هر یک محاسبه شد. این آیتم‌ها بر اساس شاخص‌ها رتبه‌بندی و ماتریس‌های اتصال محاسبه می‌شوند. با این حال، به دلیل ناسازگاری‌های در قالب متنی و وابستگی نویسندگان، گاهی اصلاحات دستی ضروری است. همچنین، استانداردسازی اختصارات و کلیدواژه‌های مشابه نیز به دخالت انسانی نیاز دارد.

در زمینه تحلیل کلیدواژه‌ها، توجه به این نکته مهم است که یک مفهوم ممکن است به دلیل استفاده از روش ریشه‌یابی به چندین شکل بیان شود. به عنوان مثال، "geothermal heat pump" ممکن است به صورت‌های "Geothermal heat pumps" یا "GEOTHERMAL HEAT PUMP" یا "Geothermal heat pump (GHP)" نوشته شود. هرچند این بیان‌ها متفاوت هستند، اما اساساً همان مفهوم را بیان می‌کنند و باید تحت یک کلیدواژه واحد یکپارچه شوند. برای دستیابی به این هدف، ابتدا تمام کلیدواژه‌ها به شکل ریشه‌ای (پایکس[۱] (۲۰۲۴)) تبدیل شده و سپس یک کلیدواژه استاندارد استفاده شد.

[۱] Pykes

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

جدول ۱. انواع مقالات انتشار یافته درمورد پمپ حرارتی زمین‌گرمایی

نوع مقاله	TP	%TP
مقاله	۳۲۶	۶۴/۹
اسناد کنفرانس‌ها	۱۲۳	۲۴/۵
مروری	۲۳	۴/۶
مقاله، مقاله ارائه شده در همایش	۱۵	۳
مقاله، فصل کتاب	۸	۱/۶
منابع تحریریه	۳	۰/۶
موارد خبری	۱	۰/۲
اصلاحیه	۱	۰/۲
مقاله، مقاله داده‌ای	۱	۰/۲
مقاله، دسترسی زودهنگام	۱	۰/۲

ماخذ: مستخرج از پژوهش حاضر

۱. نتایج و بحث

۱-۳. تحلیل سالانه

جدول ۲ چشم‌انداز جامعی از پیشینه های منتشر شده سالانه مرتبط با پمپ حرارتی زمین‌گرمایی از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۲۳ را ارائه می‌دهد. معیارهای ارائه شده شامل تعداد کل انتشارات، درصد کل انتشارات، تعداد نویسندگان، موسسات مشارکت‌کننده، تعداد کشورها، کل استنادها، استنادها به ازای هر مدرک و نرخ نسبت نویسنده به سند انتشاریافته است.

از سال ۱۹۹۳ که تنها یک مقاله درباره پمپ حرارتی زمین‌گرمایی منتشر شد، یک روند صعودی مستمر در انتشارات این حوزه بوده‌است. این افزایش نشان‌دهنده علاقه و تحقیقات روبه رشد دراین زمینه طی سال‌ها است. تعداد نویسندگان مشارکت‌کننده در این مطالعات از تنها ۲ نفر در سال ۱۹۹۳ به بیش از ۱۶۰ نفر در سال ۲۰۱۷ افزایش یافته‌است که این تغییر بزرگ نشان‌دهنده جذب تدریجی توجه پژوهشگران به این موضوع و گسترش تحقیقات در این حوزه است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

علاوه بر این، پیشرفت چشمگیری در زمینه همکاری‌های موسساتی و جغرافیایی حاصل شده‌است. در حالی‌که در ابتدای کار تعداد کمی از مؤسسات و کشورها در تحقیقات شرکت داشتند، تا سال ۲۰۲۳ تعداد نمایندگان موسسات مختلف به ۶۰ عدد و ۲۶ کشور در حوزه پمپ حرارتی زمین‌گرمایی رسید. این گسترش جهانی، اهمیت و توجه بین‌المللی به این حوزه را نشان می‌دهد. تعداد کل استنادات به تحقیقات که نشان‌دهنده تأثیر و شهرت این تحقیقات است به بیشترین میزان خود در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ با ۷۰۵ و ۷۵۱ استناد رسید، این بیانگر تأثیر گسترده یافته‌های پژوهشی در آن سال‌ها در این حوزه است. به طور مشخص، سال ۲۰۱۷ به عنوان یک سال برجسته با بیشترین درصد کل انتشارات، حدود ۹٪/۵ و با ۴۴ انتشار، شناخته شد. این سال همچنین با بیشترین تعداد نویسندگان مشخص شد که نشان‌دهنده حجم زیادی از فعالیت‌های مشترک بود. در نهایت، نسبت نویسنده به مدرک منتشر شده در سال ۲۰۲۳ به بالاترین سطح خود رسید و به طور متوسط هر مقاله ۵ نویسنده داشت. این افزایش، روند روبه رشد تحقیقات مشترک در سال‌های اخیر را نشان می‌دهد. به طور کلی، داده‌های جدول شماره ۲ بر افزایش اهمیت، ماهیت مشارکت‌جویانه و تمرکز جهانی در زمینه پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی طی سه دهه اخیر تأکید می نماید.

۲-۳. سهم ملی در تحقیات پمپ حرارتی زمین‌گرمایی

جدول شماره ۳ بررسی دقیقی از ۱۵ کشور پیشگام در زمینه پژوهش‌های پمپ حرارتی زمین‌گرمایی ارائه می‌دهد. به طور کلی، واضح است که تحقیقات درباره این موضوع یک فعالیت جهانی است و کشورهای مختلف از سراسر دنیا سهم بزرگی در آن دارند. آمریکا با ۸۱ مدرک منتشرشده و سهم ۱۷٪/۵ از کل انتشارات در رأس قرار دارد. همچنین، آمریکا با داشتن شاخص هرش ۱ برابر با ۲۱، کیفیت و تأثیر مداوم تحقیقات خود را نشان می‌دهد. چین نیز که در رتبه دوم قرار دارد با ۶۱ مدرک انتشاریافته و شاخص هرش ۱۸ عملکرد قابل توجهی از خود به نمایش گذاشته‌است که نشان دهنده کمیت و کیفیت قابل قبول تولیدات علمی این کشور در حوزه پمپ های زمین گرمایی است.

[1]. H-index

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

جدول ۲. جزئیات مربوط به سوابق اسناد انتشاریافته در حوزه پمپ حرارتی زمین‌گرمایی

سال	کل اسناد منتشر شده	درصد اسناد منتشر شده%	تعداد نویسندگان	موسسات مشارکت کننده	تعداد کشورها	کل استنادها	نسبت استناد به مدرک منتشر شده	نسبت نویسنده به مدرک
۱۹۹۳	۱	۰/۲	۲	۱	۱	۲	۲	۲
۱۹۹۴	۲	۰/۴	۴	۲	۱	۰	۰	۲
۱۹۹۵	۳	۰/۶	۴	۳	۱	۱	۰/۳	۱
۱۹۹۶	۱	۰/۲	۲	۱	۱	۱	۱	۲
۱۹۹۷	۲	۰/۴	۲	۱	۱	۵۴	۲۷	۱
۱۹۹۸	۲	۰/۴	۴	۲	۲	۰	۰	۲
۱۹۹۹	۲	۰/۴	۲	۲	۲	۱۸	۹	۱
۲۰۰۰	۲	۰/۴	۲	۲	۲	۰	۰	۱
۲۰۰۱	۳	۰/۶	۸	۴	۴	۱۶۴	۵۴/۷	۳
۲۰۰۲	۱	۰/۲	۴	۱	۱	۱۳	۱۳	۴
۲۰۰۳	۷	۱/۵	۱۴	۹	۴	۱۳۷	۱۹/۶	۲
۲۰۰۴	۴	۰/۹	۸	۳	۲	۲۷۴	۶۸/۵	۲
۲۰۰۵	۶	۱/۳	۹	۴	۳	۳۷۳	۶۲/۲	۲
۲۰۰۶	۷	۱/۵	۲۰	۱۲	۶	۵۲	۷/۴	۳
۲۰۰۷	۱۰	۲/۲	۲۴	۱۶	۷	۴۷۷	۴۷/۷	۲
۲۰۰۸	۸	۱/۷	۲۰	۱۳	۸	۳۱۸	۳۹/۸	۳
۲۰۰۹	۱۴	۳	۴۰	۲۰	۸	۳۰۶	۲۱/۹	۳
۲۰۱۰	۱۹	۴/۱	۶۶	۳۷	۱۲	۷۰۵	۳۷/۱	۳
۲۰۱۱	۱۰	۲/۲	۳۱	۱۵	۹	۱۶۳	۱۶/۳	۳
۲۰۱۲	۲۱	۴/۵	۷۲	۳۰	۱۴	۲۶۱	۱۲/۴	۳
۲۰۱۳	۱۹	۴/۱	۵۳	۳۲	۱۰	۲۴۹	۱۳/۱	۳
۲۰۱۴	۲۲	۴/۷	۷۳	۳۰	۱۵	۴۳۰	۱۹/۵	۳
۲۰۱۵	۳۱	۶/۷	۱۱۲	۴۴	۱۷	۷۵۱	۲۴/۲	۴
۲۰۱۶	۴۱	۸/۸	۱۴۴	۶۴	۲۲	۶۵۹	۱۶/۱	۴
۲۰۱۷	۴۴	۹/۵	۱۶۴	۷۴	۲۲	۶۴۹	۱۴/۸	۴

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۲۰۱۸	۲۶	۵/۶	۸۳	۳۶	۱۷	۳۰۳	۱۱/۷	۳
۲۰۱۹	۳۸	۸/۲	۱۵۱	۶۹	۲۲	۴۶۵	۱۲/۲	۴
۲۰۲۰	۳۶	۷/۸	۱۴۵	۶۵	۲۲	۴۴۷	۱۲/۴	۴
۲۰۲۱	۲۶	۵/۶	۱۱۵	۵۰	۱۷	۱۴۹	۵/۷	۴
۲۰۲۲	۳۴	۷/۳	۱۴۵	۷۲	۲۵	۱۲۰	۳/۵	۴
۲۰۲۳	۲۲	۴/۷	۱۰۰	۶۰	۲۶	۱۸	۰/۸	۵

جالب توجه است که در حالی‌که کشورهایی مانند کره جنوبی و ایتالیا تعداد مشابهی مقالات دارند (به ترتیب ۵۲ و ۵۱)، ایتالیا تقریبا دو برابر بیشتر از کره جنوبی استناد در زمینه‌ی پمپ حرارتی زمین‌گرمایی دریافت کرده‌است. این نشان می‌دهد که تحقیقات ایتالیا تأثیر گسترده‌تری در جامعه علمی جهانی داشته‌است. یک آمار قابل توجه از ترکیه اشاره به این موضوع دارد که علی‌رغم داشتن تنها ۲۱ مدرک منتشرشده، ۱۲۲۴ استناد کلی دارد و بطور میانگین ۵۸.۳ استناد به‌ازای هر مدرک دارد که رقمی شگفت‌انگیز است. این نکته نشان می‌دهد که اگرچه ترکیه از نظر تعداد انتشارات پرکار نیست، اما تحقیقات آن در این حوزه بسیار تأثیر گذار و مورد توجه است.

عربستان سعودی الگوی منحصر به فردی را نشان می‌دهد، بطوری‌که تمامی ۱۰ انتشار آن نتیجه تلاش‌های مشترک است و نرخ مشارکت ۱۰۰ درصدی را به نمایش می‌گذارد. این ممکن است بیان گر رویکرد یا گرایش این کشور به سمت تحقیقات مشترک بین‌المللی در زمینه پمپ حرارتی زمین‌گرمایی باشد. در مقابل، کشورهایی نظیر روسیه رویکردی مستقل‌تری از خود نشان داده‌اند، بطوری‌که تنها ۷/۷٪ از انتشارات آن‌ها نتیجه مشارکت است. از نظر نویسندگان اول و نویسنده مسئول، کشورهایی مانند کره جنوبی تعادل را حفظ می‌کند که نشان‌دهنده‌ی نقش‌های رهبری مداوم در پژوهش‌های منتشر شده است. از طرف دیگر، تفاوت‌های آماری بین نویسنده اول و نویسنده مسئول در کشورهایی مانند ترکیه سطوح متفاوتی از مالکیت تحقیقات و همکاری‌های پویا را نشان می‌دهد.

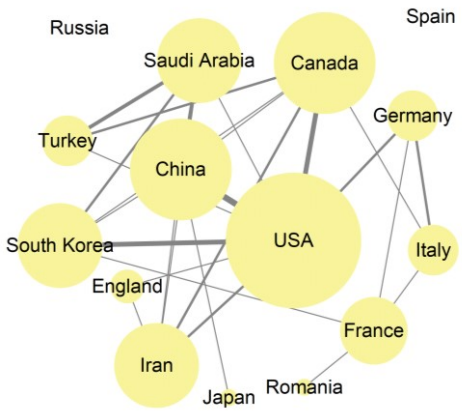
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

جدول ۳. هفده کشور برتر پربازده در زمینه‌ی تحقیقات پمپ حرارتی زمین‌گرمایی.

کشور	کل مدارک منتشرشده	درصد مدارک منتشرشده(%)	کل استنادها	نسبت کل استنادها به کل مدارک منتشرشده	مشترک	مستقل	نسبت مدارک مشترک (%) به کل مدارک	نویسنده اول	نویسنده مسئول	شاخص هرش
آمریکا	۸۱	۱۷/۵	۱۳۵۹	۱۶/۸	۲۳	۵۸	۲۸/۴	۵۵	۶۱	۲۱
چین	۶۱	۱۳/۱	۱۰۵۰	۱۷/۲	۱۶	۴۵	۲۶/۲	۴۵	۵۶	۱۸
کره‌جنوبی	۵۲	۱۱/۲	۴۸۴	۹/۳	۱۱	۴۱	۲۱/۲	۵۱	۵۱	۱۲
ایتالیا	۵۱	۱۱	۹۹۷	۱۹/۵	۱۰	۴۱	۱۹/۶	۴۹	۵۰	۱۸
کانادا	۴۰	۸/۶	۸۳۸	۲۱	۱۲	۲۸	۳۰	۳۱	۳۲	۱۵
ترکیه	۲۱	۴/۵	۱۲۲۴	۵۸/۳	۶	۱۵	۲۸/۶	۵	۲۰	۱۶
ایران	۲۰	۴/۳	۴۴۳	۲۲/۲	۸	۱۲	۴۰	۱۹	۱۷	۱۲
اسپانیا	۱۸	۳/۹	۲۳۲	۱۲/۹	۲	۱۶	۱۱/۱	۱۸	۱۷	۸
ژاپن	۱۶	۳/۴	۲۸۱	۱۷/۶	۳	۱۳	۱۸/۸	۱۰	۱۴	۷
روسیه	۱۳	۲/۸	۱۵	۱/۲	۱	۱۲	۷/۷	۱۲	۱۲	۳
آلمان	۱۱	۲/۴	۱۸۱	۱۶/۵	۶	۵	۵۴/۵	۵	۶	۷
رومانی	۱۰	۲/۲	۱۵	۱/۵	۲	۸	۲۰	۹	۹	۲
عربستان سعودی	۱۰	۲/۲	۹۷	۹/۷	۱۰	۰	۱۰۰	۵	۴	۵
انگلیس	۱۰	۲/۲	۶۵	۶/۵	۴	۶	۴۰	۷	۷	۴
فرانسه	۹	۱/۹	۱۵۱	۱۶/۸	۴	۵	۴۴/۴	۴	۵	۷

شکل ۱ نقشه‌ای از شبکه ارتباطات پیچیده مرتبط با تحقیقات پمپ حرارتی زمین‌گرمایی را نشان می‌دهد. این نقشه همکاری‌های صورت گرفته بین کشورهای پیشرو که به پیشرفت این حوزه کمک کرده‌اند را به خوبی نشان می‌دهد. در این شکل، ارتباط تحقیقاتی بین برخی کشورها بسیار چشمگیر است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



شکل ۱. نقشه شبکه‌ای تعاملات بین کشورهای برتر در تحقیقات پمپ حرارتی زمین‌گرمایی

آمریکا به عنوان یک نقطه کلیدی و محوری مشخص می‌شود که نقش رهبری و محوری را در جامعه جهانی علمی این حوزه نشان می‌دهد. ارتباط بین آمریکا و چین واضح است که بیانگر تعامل غنی ایده‌ها و تخصص بین این دو قدرت بزرگ است. در همین‌حال، همکاری‌های آمریکا با کره جنوبی و کانادا نیز قابل توجه است. ارتباطات بین چین و عربستان سعودی، و همچنین بین ترکیه و عربستان سعودی، لایه‌های بیشتری از همکاری را آشکار می‌کند. علی‌رغم تفاوت‌های جغرافیایی و آب و هوایی، تلاش‌های مشترک آن‌ها ممکن است به معنای همگرایی اهداف تحقیقاتی باشد. مناطق بیابانی عربستان سعودی زمینه جذابی برای پژوهش‌های پمپ حرارتی زمین‌گرمایی فراهم می‌سازد.

۳-۳. تحلیل کلیدواژه ها

بررسی دقیق کلیدواژه‌ها و پیگیری روندها در زمینه پمپ حرارتی زمین‌گرمایی از اهمیت بسزایی برخوردار است. متخصصان با مطالعه کلیدواژه‌هایی که روبه رشد است می توانند به شناسایی نیازهای جدید بپردازند و جهت‌گیری نوآوری‌ها در این حوزه متناسب با اهداف جهانی انرژی پایدار تنظیم کنند. شکل ۲، نقشه‌ی ابری از ۱۰۰ کلیدواژه برتر در این حوزه را نشان می‌دهد، درحالی‌که جدول ۴ به بررسی ۱۰ کلیدواژه اصلی در این حوزه می‌پردازد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

کلیدواژه «پمپ حرارتی» زمین‌گرمایی به طور چشـــمگیری مورد توجه قرار گرفته و ۲۶/۵٪ از کل مدارک انتشاریافته را شامل می‌شود. این بیان گر آن است که بخش اعظمی از تحقیقات در این زمینه بر تکنولوژی اصلی متمرکز است. تعداد بالای رقم استناد ۲۴۳۵، به همراه شاخص هرش ۲۹، اهمیت و تأثیر این موضوع را در پمپ حرارتی زمین‌گرمایی روشن می‌کند.

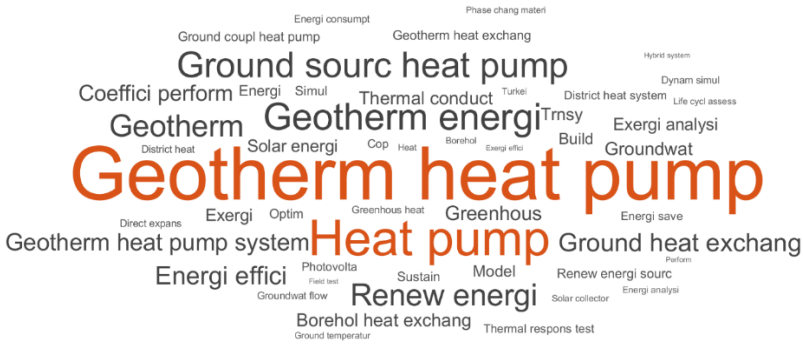
کلیدواژه‌ی «پمپ حرارتی» که ۱۳/۱٪ از کل مقالات را شامل می‌شود، نشان‌دهنده کاوش وسیع‌تر در فناوری است و احتمالا فراتر از حوزه تخصصی زمین‌گرمایی می‌رود. این اصطلاح با تعداد بالای از استنادها (۱۲۵۵)، اهمیت گسترده فناوری‌های پمپ حرارتی در بخش انرژی را روشن می‌کند. «پمپ حرارتی منبع‌زمین» و «سیستم حرارتی زمین‌گرمایی» نشان گر حوزه‌های تخصصی خاص است. قابل توجه اســـت اگرچه «پمپ حرارتی منبع‌زمین» فقط ۷/۵٪ از کل مقالات را تشـــکیل می‌دهد، اما با تعدادبالای اســـتنادهای خود (۱۴۹۱) تأثیر زیاد و علاقه فراوان در حوزه دانشـــگاه و صـــنعت را به این زیرشاخه نمایان می‌کند.

برجســـته شـــدن کلیدواژه‌های «انرژی تجدیدپذیر» و «بهره‌وری انرژی» ۱بر اهمیت راهکارهای انرژی پایدار و بهینه‌سازی انرژی در محیط جهانی امروزی تأکید می‌کند. استنادهای این موضوعات اهمیت علمی و ارتباط تحقیقاتی که پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی را با انرژی تجدیدپذیر و کارآمدی ادغام می‌کنند را نشان می‌دهد.

معرفی برابر کلیدواژه‌های «زمین‌گرمایی» و «مبدل حرارتی زمینی» ۲با به‌ترتیب ۵/۸ و ۴.۳٪ از مقالات و همچنین استنادهای آن‌ها، بر تنوع پژوهش‌های حوزه پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی دلالت دارد و احتمالا به بررسی منابع حرارتی یا مکانیزم‌های مبادله‌ی حرارت می‌پردازد.

۱. "Renew Energi" and "Energi Effici"
۲. "Geotherm" and "Ground Heat Exchang"

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



شکل ۲. نقشه‌ی ابری صد کلیدواژه برتر در زمینه پمپ حرارتی زمین‌گرمایی

جدول ٤. ده کلیدواژه برتر در زمینه پمپ حراتی زمین‌گرمایی

کلیدواژه اصلی	کل مدارک منتشرشده	درصد کل مدارک (%) منشرشده	کل استنادها	شاخص هرش
پمپ حرارتی زمین‌گرمایی	۱۲۳	۲۶/۵	۲۴۳۵	۲۹
پمپ حرارتی	۶۱	۱۳/۱	۱۲۵۵	۱۹
انرژی زمین‌گرمایی	۳۷	۸	۸۵۱	۱۶
پمپ حرارتی منبع‌زمین	۳۵	۷/۵	۱۴۹۱	۲۱
انرژی تجدیدپذیر	۲۷	۵/۸	۹۰۹	۱۴
زمین‌گرمایی	۲۷	۵/۸	۸۷۱	۱۴
مبدل حرارتی زمینی	۲۰	۴/۳	۶۰۵	۱۱
بهره‌وری انرژی	۲۰	۴/۳	۱۴۸	۸
سیستم پمپ حرلرتی زمین‌گرمایی	۱۸	۳/۹	۸۵	۵
ضریب عملکرد	۱۶	۳/۴	۴۰۸	۱۰

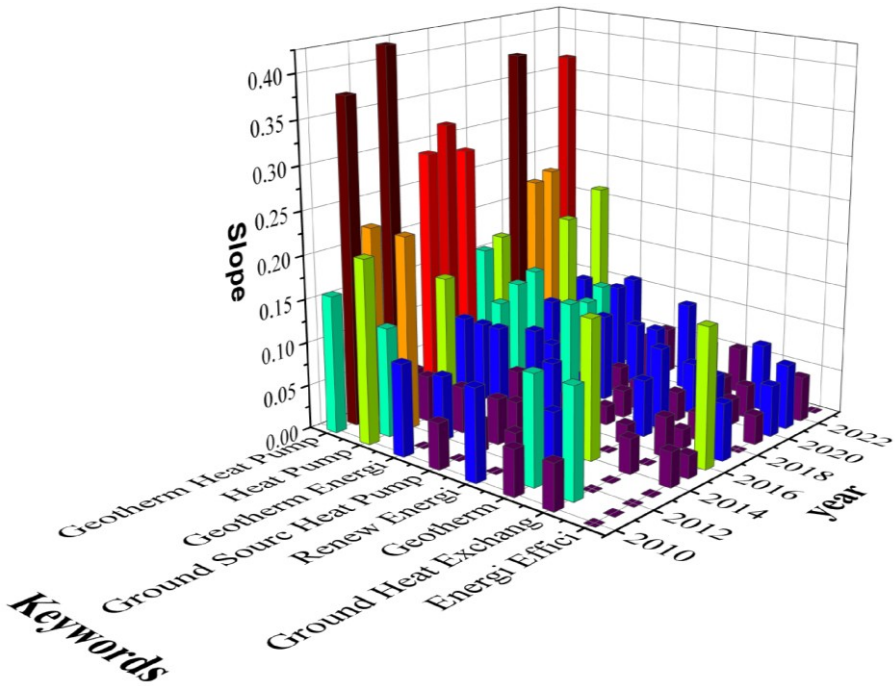
شکل ۳ نمایش دقیقی از روندهای زمانی کلیدواژه‌های مرتبط با تحقیقات پمپ حرارتی زمین‌گرمایی در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ ارائه می‌دهد. این کلیدواژه‌ها نه تنها محوریت حوزه ی پمپ حرارتی زمین‌گرمایی را بازتاب می‌دهند، بلکه تغییرات علایق تحقیقاتی و نقاط مورد تمرکز را در طول سال‌ها نشان می‌دهند. یکی از روندهای قابل توجه، اهمیت مداوم اصطلاح «پمپ حرارتی زمین‌گرمایی» است

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

که با نرخ نگارش ۰/۱۶ در سال ۲۰۱۰ شروع شده و بویژه در سال‌های ۲۰۱۱، ۲۰۱۳، ۲۰۱۵، ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ شاهد افزایش‌هایی بوده و در نهایت در سال ۲۰۲۳ به نرخ ۰/۳۷ رسیده‌است. این نشان می‌دهد اگرچه این اصطلاح همیشه محبوب بوده، اما در برخی سال‌ها علاقه‌ی پژوهشی به آن بیشتراز قبل شده‌است. در مقابل، اصطلاح «پمپ حرارتی» ۱ تقریبا ثابت مانده و طی این سال‌ها اهمیت پیوسته‌ای داشته‌است، این روند با اوج متوسطی در سال ۲۰۱۳ همراه بود که بیان گر نقش اساسی آن در تحقیقات پمپ حرارتی زمین‌گرمایی است. کلیدواژه‌هایی مانند «انرژی زمین‌گرمایی» و «پمپ حرارتی منبع‌زمین»۲ در برخی مواقع اوج گرفته‌اند که بیان می‌کند این‌ها ممکن است در مطالعات یا پروژه‌های خاص مورد توجه باشند، اما به اندازه‌ی دو اصطلاح اول، به طور مداوم بر چشم‌انداز تحقیقاتی سلطه نداشته‌اند. «انرژی تجدیدپذیر» و «بهره‌وری انرژی» ۳روند جالبی داشته‌اند. در حالی‌که «انرژی تجدیدپذیر» در سال‌های ابتدایی به طور متوسطی ذکر شده‌بود، اهمیت آن تا سال ۲۰۲۱ به نظر می‌رسد کاهش یافته‌است. در مقابل، «بهره‌وری انرژی» که به‌خصوص در سال ۲۰۱۶ قوی‌تر ظاهر شده، نشان‌دهنده علاقه رو به رشد به کارآمدی انرژی در تحقیات پمپ حرارتی زمین‌گرمایی است.

۱ . Heat pump
۲. "Geotherm energi" and "Ground sourc heat pump"
۳. "Renew energi" and "Energi effici"

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



شکل ۳. تکامل ۸ کلیدواژه برتر در طول زمان در تحقیقات در زمینه‌ی پمپ حرارتی زمین‌گرمایی.

٤. مطالعه حمایت های پژوهشی

در این بخش حمایت های کشورها و سازمان ها از پژوهش های مرتبط مطالعه می گردد. حمایت های حاضر از بخش تامین مالی ذکر شده در پایگاه وب او ساینس استخراج شده است. برای پردازش نتایج اسامی به صورت اتوماتیک با استفاده از تابع به ریشه آنها تبدیل شده و کلمات غیر مرتبط و شماره ها حذف گردید. سپس دیکشنری از نام های اختصاری و مترادف هر موسسه حمایت کننده تهیه شد. در ادامه نتایج پردازش گردید.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

٤-١. مطالعه کشورهای حمایت کننده

جدول ۵ تخصیص مالی یا بودجه‌هایی که توسط هشت کشور برتر برای پیشبرد فناوری پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی (GHP) اختصاص داده شده است را ترسیم می‌کند. این جدول نمایی از تعهد هر کشور به تحقیق و توسعه در منابع انرژی تجدیدپذیر، به ویژه تمرکز بر پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی، ارائه می‌دهد.

در راس، چین با ۷۱ حمایت تحقیقاتی، به طور قابل توجهی پیشتاز است و نشان‌دهنده‌ی استراتژی سرمایه‌گذاری محکمی است که به منظور بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی برای توسعه پایدار طراحی شده است. این تخصیص قابل توجه، موضع فعال چین را در کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و مقابله با تغییرات آب‌وهوایی از طریق راه‌حل‌های انرژی تجدیدپذیر تأکید می‌کند. به دنبال آن، ایالات متحده با ۷۰ حمایت تحقیقاتی در رتبه دوم قرار می‌گیرد که بازتاب‌دهنده حمایت مالی قابل توجه آن به فناوری‌های پمپ حرارتی زمین‌گرمایی است. این سرمایه‌گذاری با اهداف سیاست انرژی گسترده‌تر ایالات متحده همسو است که بر نوآوری و امنیت انرژی تأکید دارد.

کره جنوبی با کسب ۶۸ حمایت تحقیقاتی، جایگاه سوم را به دست می‌آورد و حمایت دولتی قوی خود را برای انرژی زمین‌گرمایی نشان می‌دهد. این سرمایه‌گذاری احتمالاً به منظور افزایش استقلال انرژی و کاهش تأثیرات زیست‌محیطی با ترویج جایگزین‌های انرژی پاک طراحی شده است. ایتالیا و کانادا به ترتیب ۵۱ و ۴۹ حمایت تحقیقاتی دریافت کرده‌اند. اسپانیا ۲۴ حمایت تحقیقاتی دریافت کرده است. فنلاند و پرتغال هر کدام ۱۴ حمایت تحقیقاتی دریافت کرده‌اند.

جدول ۵. هشت کشور برتر حمایت کننده مالی در مطالعات پمپ حرارتی زمین‌گرمایی

	چین	آمریکا	کره جنوبی	ایتالیا	کانادا	اسپانیا	فنلاند	پرتغال
منابع مالی	۷۰	۷۱	۶۸	۵۱	۴۹	۲۴	۱۴	۱۴

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

٤-۲. مطالعه سازمان های حمایت کننده

منابع تأمین مالی که در جدول ۶ توضیح داده شده‌است، بینش‌های ارزشمندی در مورد سهم سازمان ها در تحقیقات پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی ارائه می‌دهند. در خط مقدم، بنیاد علمی ملی چین با پشتیبانی از ۱۵ مقاله در زمینه پمپ حرارتی زمین گرمایی، که بازتاب‌دهنده سرمایه‌گذاری قوی چین در پیشبرد فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر است، برجسته شده است. بنیاد ملی علوم طبیعی چین معادل ٪۳.۲ از کل مقالات منتشر شده در تحقیقات پمپ حرارتی زمین گرمایی را تأمین مالی کرده که نشان‌دهنده سهم قابل توجهی از بودجه‌اش برای این حوزه است. علاوه بر این، تأثیر مقالات تأمین‌شده توسط بنیاد ملی علوم طبیعی چین با ۳۰۲ استناد و شاخص H برابر با ۸ تأکید شده، که نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه و شناخت آن‌ها در جامعه علمی است.

در ادامه، شورای تحقیقات علوم طبیعی و مهندسی کانادا با تأمین مالی ۱۴ مقاله در زمینه پمپ حرارتی زمین گرمایی، تعهد قوی کانادا به راه‌حل‌های انرژی پایدار را نشان می‌دهد. سهم شورای تحقیقات علوم طبیعی و مهندسی کانادا از کل مقالات پمپ حرارتی زمین گرمایی که ٪۳ است، نقش محوری آن در پیشبرد تحقیقات در این زمینه را به نمایش می‌گذارد. تعداد بالای استنادات، ۵۵۸ استناد و شاخص H برابر با ۹ برای مقالات تأمین‌شده توسط شورای تحقیقات علوم طبیعی و مهندسی کانادا، تأثیر قابل توجه و برجستگی علمی آن‌ها را تقویت کرده، که رهبری کانادا در تحقیقات پمپ حرارتی زمین گرمایی را تقویت می‌کند.

اتحادیه اروپا (EU)، از طریق رویکرد تأمین مالی مشارکتی در میان کشورهای عضو، از ۸ مقاله در تحقیقات پمپ حرارتی زمین گرمایی پشتیبانی می‌کند. این امر تلاش‌های هماهنگ شده برای ترویج راه‌حل‌های انرژی پایدار در مقیاس فراملی را منعکس می‌کند. مقالات تأمین‌شده توسط اتحادیه اروپا (EU)، ۱۱۵ استناد دریافت کرده‌اند، با شاخص H برابر با ۵، که تأثیر قابل توجه آن‌ها در پیشبرد دانش علمی و ترویج همکاری‌های تحقیقاتی بین‌المللی را نشان می‌دهد.

در کره جنوبی، مؤسسه ارزیابی فناوری صنعتی کره (KEIT) بر ارزیابی و توسعه فناوری صنعتی تمرکز دارد و ۸ مقاله در تحقیقات پمپ حرارتی زمین گرمایی را تأمین مالی کرده است. مشارکت‌های مؤسسه ارزیابی فناوری صنعتی کره (KEIT) نقش آن در ایجاد پیوند بین کاربردهای صنعتی و تحقیقات دانشگاهی را تأکید می‌کند، که در ۹۸ استناد و شاخص H برابر با ۵ که توسط مقالات تأمین‌شده به

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

دست آمده، منعکس شده است. این امر تأثیر مؤسسه ارزیابی فناوری صنعتی کره (KEIT) را در پیشبرد راه‌حل‌های فناورانه و ترویج نوآوری در پمپ حرارتی زمین گرمایی برجسته می‌کند.

در ایالات متحده، بنیاد علم ملی (NSF) با حمایت از ۸ مقاله درپمپ حرارتی زمین گرمایی، به پیشرفت‌های علمی قابل توجه در فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر کمک می‌کند. مقالات تأمین‌شده توسط بنیاد علم ملی (NSF) ، ۲۸۳ استناد دریافت کرده و شاخص H آن‌ها ۷ است، که تأثیر علمی قابل توجه و نقش آن‌ها در شکل‌دهی به گفتمان فناوری‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی را نشان می‌دهد. سازمان برنامه چالش جامعه، ۵ مقاله در زمینه پمپ حرارتی زمین گرمایی را تأمین مالی کرده است که ۴۳ استناد دریافت کرده‌اند و شاخص H آن‌ها ۲ است. برنامه ملی تحقیقات و توسعه‌ای کلیدی چین نیز ۴ مقاله در همین زمینه را حمایت کرده است که این مقالات ۵۴ استناد دریافت کرده‌اند و شاخص H آن‌ها ۳ است.

جدول ٦. سازمان های با اختصاص بیش از سه بار حمایت مالی در مطالعات پمپ حرارتی زمین‌گرمایی

منابع مالی	کل مدارک منتشرشده	درصد کل مدارک منشرشده (٪)	کل استنادها	شاخص هرش
بنیاد ملی علوم طبیعی چین[۱]	۱۵	۳.۲	۳۰۲	۸
شورای تحقیقات علوم طبیعی و مهندسی کانادا[۲]	۱۴	۳	۵۵۸	۹
اتحادیه اروپا[۳]	۸	۱.۷	۱۱۵	۵
مؤسسه ارزیابی فناوری صنعتی کره[۴]	۸	۱.۷	۹۸	۵
بنیاد ملی علم[۵]	۸	۱.۷	۲۸۳	۷
برنامه چالش جامعه[۶]	۵	۱.۱	۴۳	۲
برنامه ملی تحقیق و توسعه کلیدی[۷]	۴	۰.۹	۵۴	۳

۱. National Natural Science Foundation of China (NSFC)
۲. Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC)
۳. European Union (EU)
۴. Korea Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT)
۵. National Science Foundation (NSF)
۶. Society Challenge Programme (SCP)
۷. National Key Research and Development Program of China (NKRDP)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۳-٤. تجزیه و تحلیل روندها حمایت ها

شکل ۴ تخصیص بودجه‌های سالانه به تحقیقات پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی (پمپ حرارتی زمین گرمایی) توسط سازمان های مختلف از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳ را نشان می‌دهد. پیش از سال ۲۰۱۰، هیچ بودجه‌ای به این حوزه اختصاص نیافته بود. این شکل بینش‌هایی در مورد روند و محوریت حمایت‌های مالی برای فناوری پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی در طول بیش از یک دهه را فراهم می‌کند.

۱ .مرحله اولیه (۲۰۱۳-۲۰۱۰)

شورای تحقیقات علوم طبیعی و مهندسی کانادا در سال ۲۰۱۰ شروع به تأمین مالی تحقیقات پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی کرد و در سال‌های اولیه تنها مشارکت‌کننده قابل توجه بود. این دوره با علاقه‌مندی متواضع اما افزایشی، عمدتاً توسط شورای تحقیقات علوم طبیعی و مهندسی کانادا مشخص می‌شود، در حالی که سایر مؤسسات مانند بنیاد ملی علوم طبیعی چین، EU، KEIT، NSF، سازمان برنامه چالش جامعه و برنامه ملی تحقیق و توسعه کلیدی چین کمک‌های اندکی یا هیچ کمکی نداشتند. سال ۲۰۱۳ به عنوان سالی بدون فعالیت برجسته است، جایی که هیچ بودجه‌ای توسط هیچ یک از مؤسسات اختصاص داده نشده است، که نشان‌دهنده احتمال بازنگری یا گذار در استراتژی‌های تأمین مالی برای تحقیقات پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی است.

۲ .افزایش تنوع ۲۰۱۷-۲۰۱٤

گسترش تنوع تأمین مالی از سال ۲۰۱۴ با شروع به کار بنیاد ملی علم در تأمین مالی تحقیقات پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی آغاز می‌شود، در کنار ادامه کمک‌های شورای تحقیقات علوم طبیعی و مهندسی کانادا و ظهور مؤسسه ارزیابی فناوری صنعتی کره. تا سال ۲۰۱۶، تمام نهادها به جز سازمان برنامه چالش جامعه و برنامه ملی تحقیق و توسعه کلیدی چین شروع به تأمین مالی کرده‌اند، با اتحادیه اروپا و مؤسسه ارزیابی فناوری صنعتی کره که شروع به ارائه کمک‌های قابل توجه کرده‌اند. سال ۲۰۱۷ نشان‌دهنده سال مهمی با فعالیت تقریباً تمام مؤسسات در تأمین مالی تحقیقات پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی است، که نشان‌دهنده پذیرش گسترده‌تر اهمیت فناوری پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی در سطوح ملی و بین‌المللی است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

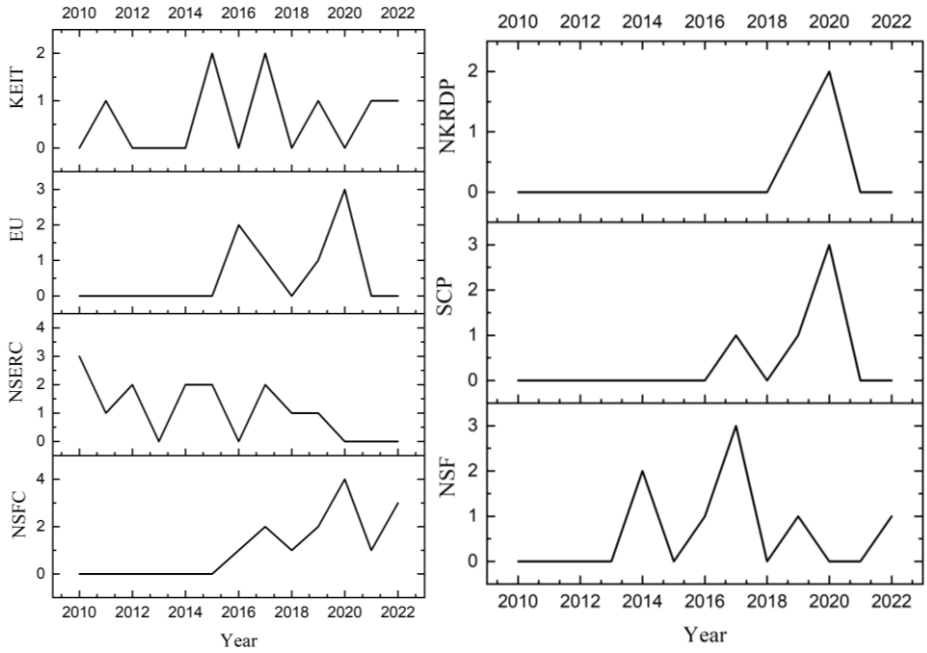
۳ .دوره فعالیت بالا ۲۰۱۸-۲۰۲۰

تأمین مالی با تغییراتی همراه است که برخی از موسسات مانند بنیاد ملی علوم طبیعی چین شروع به ایفای نقش پیشرو در سال ۲۰۲۰ می‌کنند و بودجه‌ای برای ۴ پروژه تحقیقاتی پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی اختصاص می‌دهند، بالاترین میزان در یک سال توسط هر موسسه در این مجموعه داده‌ها. سال ۲۰۲۰ همچنین شاهد کمک‌های قابل توجهی از سازمان برنامه چالش جامعه و برنامه ملی تحقیق و توسعه کلیدی چین است، که نشان‌دهنده پذیرش فزاینده پتانسیل تأثیر فناوری‌های پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی بر راه‌حل‌های انرژی پایدار است.

٤. سال‌های اخیر ۲۰۲۱-۲۰۲۳

در سال‌های اخیر (۲۰۲۱-۲۰۲۳)، کاهش محسوسی در تأمین مالی از سوی برخی مؤسساتی مانند شورای تحقیقات علوم طبیعی و مهندسی کانادا که پیش از این به طور مستمر حامی بودند، مشاهده می‌شود. بنیاد ملی علوم طبیعی چین، اتحادیه اروپا (EU) و برنامه تحقیقاتی و توسعه‌ای ملی چین (برنامه ملی تحقیق و توسعه کلیدی چین) الگویی از حمایت مستمر اما با احتیاط را ارائه می‌دهند. در دورانی که منابع مالی محدود هستند، این مسئله می‌تواند به کاهش سرمایه‌گذاری‌ها در بخش‌های دیگری مانند تحقیقات پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی منجر شود. علاوه بر این، تمرکز بر فناوری‌های نوظهور می‌تواند برای کشورها و موسسات تحقیقاتی جذابیت بیشتری داشته باشد، زیرا این بخش‌ها به دنبال کسب مزیت‌های رقابتی در حوزه‌هایی هستند که بالاترین بازدهی اقتصادی و زیست‌محیطی را به همراه دارند.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



شکل ٤: روند هفت سازمان برتر حمایت کننده مالی مطالعات پمپ حرارتی زمین‌گرمایی در توالی زمان

٤-٤. نقاط کلیدی حمایت های مالی

ابتدا، حمایت‌های مالی برای تحقیقات پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی از منابع محدودی برخوردار بودند. اما تا سال ۲۰۱۷، این حمایت‌ها به تلاشی مشترک و با پشتیبانی بین‌المللی تبدیل شدند، که اهمیت جهانی سرمایه‌گذاری در این فناوری‌ها را نشان می‌دهد. از سال ۲۰۲۰، مشارکت‌های بنیاد ملی علوم طبیعی چین افزایش یافته و این بنیاد را به یکی از حامیان اصلی این تحقیقات تبدیل کرده است. تغییرات در الگوهای تأمین مالی نیز ممکن است نشان‌دهنده تغییر در اولویت‌ها، پیشرفت‌های فناورانه، یا پاسخ‌ها به تحولات در نیازهای انرژی و سیاست‌های زیست‌محیطی باشد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

٤. نتیجه‌گیری

تحقیقات در زمینه پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی به دلیل پتانسیل بالا در کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و ارتقای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، مورد توجه روزافزون جهانی قرار گرفته است. این مطالعه علم‌سنجی به بررسی تحولات و تأثیرات این تحقیقات از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳ می‌پردازد.

بررسی دقیق تحقیقات پمپ حرارتی زمین‌گرمایی نشان‌دهنده تغییرات مهمی در گستردگی جغرافیایی و میزان همکاری‌های بین‌المللی است. از سال ۱۹۸۰، شاهد افزایش چشمگیر تعداد مقالات منتشرشده در این حوزه هستیم، که از تنها یک مقاله در سال ۱۹۹۳ به ۶۰ مؤسسه در ۲۶ کشور در سال ۲۰۲۳ رسیده است. این گسترش نشان‌دهنده افزایش توجه جهانی به پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی و اهمیت آن‌ها در سیاست‌های انرژی پایدار است.

آمریکا با ۸۱ مدرک و چین با ۶۱ مدرک، پیشرو در این تحقیقات هستند. ترکیه، با وجود تعداد کمتر مقالات، تأثیر عمیقی در جامعه علمی داشته است. عربستان سعودی نیز به سمت تحقیقات مشترک گرایش دارد، در حالی که روسیه تمایل به انجام تحقیقات به صورت انفرادی دارد. تحلیل کلیدواژه‌ها برجستگی مداوم عبارت «پمپ حرارتی زمین‌گرمایی» و اهمیت راه‌حل‌های پایدار انرژی را نشان می‌دهد.

به طور کلی، مطالعه حاضر بر اهمیت رو به رشد، ماهیت همکارانه، و تمرکز جهانی تحقیقات پمپ حرارتی زمین‌گرمایی در سه دهه گذشته تأکید دارد. این یافته‌ها نشان‌دهنده ضرورت ادامه پشتیبانی و سرمایه‌گذاری در تحقیقات پمپ حرارتی زمین گرمایی می باشد.

تحلیل علم‌سنجی پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۲۳ نشان‌دهنده روند صعودی مداوم در انتشارات مرتبط با این حوزه است. شروع این مطالعات با تعداد محدودی از مؤسسات بود که تا سال ۲۰۲۳ به ۶۰ موسسه در ۲۶ کشور گسترش یافته‌اند. این افزایش نشان‌دهنده توجه و پذیرش جهانی گسترده‌ای نسبت به اهمیت و کاربرد این فناوری‌ها است.

آمریکا با انتشار ۸۱ مدرک، رهبری خود را در تحقیقات پمپ حرارتی زمین‌گرمایی مستحکم کرده و ۱۷.۵٪ از کل مدارک منتشرشده در این حوزه را به خود اختصاص داده است. چین با ۶۱ مدرک منتشرشده در رتبه دوم قرار دارد و هر دو کشور تأثیر گسترده‌ای در پیشبرد دانش و فناوری‌های

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

مرتبط با این حوزه داشته‌اند. ترکیه با تنها ۲۱ مدرک منتشرشده، ۱۲۲۴ استناد کلی دریافت کرده است، که به طور متوسط به ازای هر مدرک ۵۸.۳ استناد است. این نشان‌دهنده کیفیت بالا و تأثیر ژرف تحقیقات انجام شده در ترکیه است.عربستان سعودی تمام تحقیقات خود را به صورت مشترک و همکارانه منتشر کرده است، که این ویژگی برجسته‌ای از رویکرد تحقیقاتی این کشور است. در مقابل، روسیه رویکردی انفرادی‌تر را نشان می‌دهد. نقشه شبکه‌ی پیچیده همکاری‌ها نقش مرکزی آمریکا را در تحقیقات پمپ حرارتی زمین‌گرمایی برجسته می‌کند، که بیشتر با ارتباطات مشترک با چین، کره جنوبی و کانادا است.

تحلیل کلیدواژه‌ها در علم‌سنجی ابزار قدرتمندی است برای فهم تغییرات و تحولات علمی. این رویکرد امکان شناسایی موضوعات مهم، روندهای فعلی و تغییر در علایق پژوهشی را فراهم می‌کند. در مطالعه حاضر، تحلیل کلیدواژه‌های مرتبط با پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ صورت گرفته تا نشان دهد چگونه روندها و گرایش های موضوعی در طی زمان تغییر کرده است.

تحلیل کلیدواژه‌های مرتبط با پمپ حرارتی زمین‌گرمایی در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ نشان دهنده تغییرات گرایش های موضوعی در این حوزه است. کلیدواژه «پمپ حرارتی زمین‌گرمایی» به طور پیوسته افزایش محبوبیت یافته و به ویژه در سال‌های ۲۰۱۱، ۲۰۱۳، ۲۰۱۵، ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ شاهد افزایش قابل توجهی بوده و در سال ۲۰۲۳ به اوج خود رسیده است. در مقابل، کلیدواژه «پمپ حرارتی» نسبتاً ثابت مانده و در طول این سال‌ها نقش مهمی در تحقیقات ایفا کرده است. سایر کلیدواژه‌ها مانند «انرژی زمین‌گرمایی» و «پمپ حرارتی منبع‌زمین» تنها در برخی مواقع برجسته شده‌اند.

کلیدواژه‌های «انرژی تجدیدپذیر» و «بهره‌وری انرژی» نیز تغییرات در اولویت‌های تحقیقاتی را نشان می‌دهند و اهمیت کاهشی و افزایشی آن‌ها به ترتیب در سال‌های اخیر مشهود است. این کلیدواژه‌ها نه تنها بر اهمیت مداوم پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی تأکید می‌کنند بلکه تمرکز روزافزون بر راه‌حل‌های پایدار انرژی را بیان می‌کنند. این تحلیل بینش‌های مهمی را برای هدایت استراتژی‌های تحقیقاتی و سیاست‌گذاری‌های آینده فراهم می‌کند، که نشان‌دهنده گرایش جهانی به سمت استفاده از راه‌حل‌های سازگار با محیط زیست است

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

حمایت‌های ذکر شده در انتشارات برای پیشبرد تحقیقات در زمینه پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی می تواند معیاری از تعهد و سرمایه‌گذاری در این حوزه باشد. چین با ارائه ۷۱ حمایت تحقیقاتی، نقش پیشگامی خود را در استفاده از انرژی زمین‌گرمایی برای توسعه پایدار و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی مشخص می‌کند. در ادامه، ایالات متحده با ۷۰ حمایت، سرمایه‌گذاری‌های گسترده‌ای را در این بخش داشته و تمرکز خود را بر نوآوری و امنیت انرژی معطوف داشته است. کره جنوبی نیز با ۶۸ حمایت تحقیقاتی، تلاش‌های خود را برای افزایش استقلال انرژی و کاهش تأثیرات زیست‌محیطی به نمایش گذاشته است. کشورهایی نظیر ایتالیا، کانادا، اسپانیا، فنلاند و پرتغال نیز با دریافت تعداد قابل توجهی حمایت، به نقش مهم خود در ترویج فناوری‌های پاک و پیشبرد اهداف پایداری می‌پردازند. این حمایت‌ها نه تنها به توسعه مستقیم پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی کمک می‌کنند، بلکه به عنوان نشانه‌ای از پیشرفت‌های جهانی در استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و تلاش‌های بین‌المللی برای دستیابی به یک آینده پایدار و سازگار با محیط زیست عمل می‌کنند. این سرمایه‌گذاری‌ها تأثیرات عمیقی بر تحقیقات جاری و آتی خواهند داشت و بستری برای همکاری‌های بین‌المللی و نوآوری‌های مستمر در این حوزه فراهم می‌آورند.

همچنین تحلیل حمایت‌های مالی از تحقیقات پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی توسط مؤسسات و سازمان‌های مختلف، نشانگر نقش آن‌ها در پیشبرد فناوری‌های پایدار است. بنیاد علمی ملی چین با پشتیبانی از ۱۵ مقاله، نه تنها سرمایه‌گذاری مهمی را در این حوزه انجام داده است، بلکه نشان‌دهنده تلاش چین برای رهبری در استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی است. شورای تحقیقات علوم طبیعی و مهندسی کانادا با تأمین مالی ۱۴ مقاله، نقش محوری کانادا را در تحقیقات و توسعه این فناوری‌ها نشان می‌دهد. این تعداد حمایت، کانادا را به عنوان یکی از پیشگامان در توسعه راه‌حل‌های انرژی پایدار مطرح می‌کند. اتحادیه اروپا نیز با حمایت از ۸ مقاله، تلاش‌های خود را در هماهنگ سازی و ترویج تکنولوژی‌های سبز در سطح قاره نشان می‌دهد. این امر بیانگر تعهد اروپا به همکاری‌های بین‌المللی و توسعه پایدار است. در کره جنوبی، مؤسسه ارزیابی فناوری صنعتی (KEIT) با حمایت از ۸ مقاله، به تقویت پیوند بین تحقیقات دانشگاهی و کاربردهای صنعتی کمک کرده است. این تعداد حمایت نشان‌دهنده تمرکز کره جنوبی بر نوآوری و استقلال انرژی است. در ایالات متحده، بنیاد علم ملی (NSF) با پشتیبانی از ۸ مقاله، نقش کلیدی در تحقیقات

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

مرتبط با انرژی تجدیدپذیر ایفا کرده است. این تعداد حمایت از NSF بیانگر تأکید ایالات متحده بر پیشرفت‌های فناورانه و کمک به دستیابی به اهداف زیست‌محیطی است. این سازمان‌ها با سرمایه‌گذاری در تحقیقات پمپ حرارتی زمین‌گرمایی، نقش مهمی در شکل‌دهی آینده فناوری‌های تجدیدپذیر دارند. تعهدات مالی آن‌ها نه تنها به پیشرفت دانش و فناوری کمک می‌کند، بلکه بر اهمیت توسعه پایدار و کاهش اثرات زیست‌محیطی تأکید می‌ورزد. این اقدامات مشترک، بستری برای همکاری‌های بین‌المللی و ترویج استراتژی‌های انرژی پاک در سطح جهانی فراهم می‌آورند.

منابع

نقشه جامع علمی کشور (۱۳۸۹). شورای عالی انقلاب فرهنگی، نقشه جامع علمی کشور.

Ahmed, S. F., Khalid, M., Vaka, M., Walvekar, R., Numan, A., Rasheed, A. K., & Mubarak, N. M. (۲۰۲۱). Recent progress in solar water heaters and solar collectors: A comprehensive review. *Thermal Science and Engineering Progress*, *25*, ۱۰۰۹۸۱.

Almutairi, K. (۲۰۲۲). Applications of intelligent techniques in modeling geothermal heat pumps: an updated review. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, *17*, ۹۱۰-۹۱۸.

Farzanehkhameneh, P., Soltani, M., Kashkooli, F. M., & Ziabasharhagh, M. (۲۰۲۰). Optimization and energy-economic assessment of a geothermal heat pump system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *133*, ۱۱۰۲۸۲.

Khaleghi, K., & Livescu, S. (۲۰۲۳). A review of vertical closed-loop geothermal heating and cooling systems with an Emphasis on the importance of the subsurface. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, *220*, ۱۱۱۱۳۷.

Liu, R., Salem, M., Rungamornrat, J., & Al-Bahrani, M. (۲۰۲۳). A comprehensive and updated review on the exergy analysis of ground source heat pumps. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *55*, ۱۰۲۹۰۶.

Lund, J. W., & Toth, A. N. (۲۰۲۱). Direct utilization of geothermal energy ۲۰۲۰ worldwide review. *Geothermics*, *90*, ۱۰۱۹۱۵.

Neves, R., Cho, H., & Zhang, J. (۲۰۲۱). State of the nation: Customizing energy and finances for geothermal technology in the United States residential sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *137*, ۱۱۰۴۶۳.

Pykes, K. (۲۰۲۴). *Stemming and Lemmatization in Python*. Retrieved ۰۸ from https://www.datacamp.com/tutorial/stemming-lemmatization-python

Soltani, M., Farzanehkhameneh, P., Kashkooli, F. M., Al-Haq, A., & Nathwani, J. (۲۰۲۱). Optimization and energy assessment of geothermal heat exchangers for different circulating fluids. *Energy Conversion and Management*, *228*, ۱۱۳۷۳۳.

Soltani, M., Kashkooli, F. M., Dehghani-Sanij, A., Kazemi, A., Bordbar, N., Farshchi, M., Elmi, M., Gharali, K., & Dusseault, M. B. (۲۰۱۹). A comprehensive study of geothermal heating and cooling systems. *Sustainable Cities and Society*, *44*, ۷۹۳-۸۱۸.

Zhou, C., Ye, S., Ni, L., & Yao, Y. (۲۰۲۲). A review of heat pump research in China using bibliometric methods. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, *14*(۱).

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]