Journal Future Studies of the Islamic Revolution

1

Vol. 7
spring 2026

Analysis of trends and convergence of science and technology in the field of polymers used in high-energy materials

Seyed Mahdi Atifeh*[1]

Research Paper

Received:
17 June 2025
Revised:
04 August 2025
Accepted:
01 December 2025
Published:
21 March 2026
P.P: 157-187

ISSN: 2008-3564
E-ISSN: 2645-5285

Abstract

In today's fast-paced world, informed decision-making in the realm of strategic technologies has become increasingly vital. One of the most effective approaches to understanding scientific trends and identifying key actors in these domains is scientometric analysis. By examining published scientific documents—including research articles and patents—this method not only reveals the growth trajectory of knowledge but also maps the interactions among researchers, institutions, and countries. Energetic polymers, as a class of advanced materials, play a critical role in the development of modern systems for propellants, explosives, and pyrotechnics. Due to their unique properties and the technical challenges associated with their advancement, this field has attracted growing attention from research centers, defense sectors, and industrial entities. This study aims to provide a comprehensive overview of the current state and future outlook of research related to energetic polymers. Scientific data published between 2014 and 2024 were collected from the Web of Science, Lens and Seraj databases. Using a combination of scientometric tools—VOSviewer and Bibliometrix—the analysis covers key research trends, keyword evolution, emerging topics, challenges, and future opportunities. In the review and analysis conducted for the development of the concept of sustainable innovation using the convergence of sciences required in the emerging technology of customization in the future of high-energy materials, it is proposed. Additionally, scientific collaboration networks among countries, institutions, and leading researchers were visualized and analyzed using VOSviewer to gain deeper insights into the pathways of scientific development in this area.

Keywords: Scientometrics, Bibliometrics, polymers used in high-energy materials, Trend Analysis, Foresight.

1. Corresponding Author: Department of chemistry. Faculty of science, Imam Hussein Comprehensive University, Tehran, Iran. Email: kpatifeh@ihu.ac.ir

Cite this Paper: Atifeh, S.M(2026). Analysis of trends and convergence of science and technology in the field of polymers used in high-energy materials. *Future Studies of the Islamic Revolution*, *1*(7), 157-187.

Publisher: Imam Hussein University

© **Authors**

This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License(CC BY 4.0) .

نشریه علمی آینده‌پژوهی انقلاب اسلامی

تحلیل روند و همگرایی علوم و فناوری های حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی

سید مهدی عطیفه*[1]

۱
دوره هفتم
بهار ۱۴۰۵

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱
صص: ۱۸۷-۱۵۷

شاپا چاپی: ۴۵۲۸-۲۰۰۸
الکترونیکی: ۲۶۴۵-۵۰۷۲

چکیده

پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی به‌عنوان بخشی از مواد پیشرفته، نقش مهمی در فرمولاسیون های نوین پیشرانه، مواد منفجره و پیروتکنیک ایفا می‌کنند. ویژگی‌های خاص این ترکیبات پیچیدگی ها و چالش‌های فنی موجود در مسیر توسعه آن‌ها، موجب توجه روزافزون به این حوزه شده است. یکی از روش‌های مؤثر برای شناخت روندهای علمی و شناسایی بازیگران اصلی در این حوزه‌ها، بهره‌گیری از تحلیل‌های علم‌سنجی است. این روش با بررسی اسناد علمی منتشرشده، نه‌تنها روند رشد دانش را نمایان می‌سازد، بلکه ارتباطات میان پژوهشگران، نهادها و کشورهای مختلف را نیز به تصویر می‌کشد. در این مطالعه، با هدف ارائه تصویری جامع از وضعیت موجود و آینده پژوهش‌های مرتبط با پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی، داده‌های علمی منتشرشده در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴ از سه پایگاه Web of Science ، Lens و سراج استخراج گردید. سپس با بهره‌گیری ترکیبی از نرم‌افزارهای علم‌سنجی VOS Viewer و Bibliometrix، به تحلیل کلیدواژه‌ها، روند پژوهش‌ها، موضوعات نوظهور، چالش‌ها و فرصت‌های آینده پرداخته شد. در بررسی و تحلیل انجام شده برای توسعه با مفهوم نوآوری پایدار با استفاده از همگرایی علوم مورد نیاز در فناوری نوظهور سفارشی سازی در آینده مواد پرانرژی پیشنهاد شده است. همچنین شبکه‌های همکاری علمی میان کشورها، سازمان‌ها و پژوهشگران شاخص این حوزه با استفاده از ابزار VOS Viewer ترسیم و تحلیل گردید تا شناخت دقیق‌تری از مسیرهای توسعه علمی در این زمینه فراهم آید.

کلیدواژه‌ها: علم‌سنجی؛ کتاب‌سنجی؛ پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی؛ تحلیل روند؛ آینده‌پژوهی.

۱. نویسنده مسئول: پژوهشگر مرکز شیمی، دانشکده و پژوهشکده علوم پایه، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.
Email: kpatifeh@ihu.ac.ir

استناد: عطیفه، سید مهدی(۱۴۰۵). تحلیل روند و همگرایی علوم و فناوری های حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی. **نشریه علمی آینده‌پژوهی انقلاب اسلامی**، ۱(۷)، ۱۸۷-۱۵۷.

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین(ع)

© نویسندگان

این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی(Creative Commons License- CC BY)در دسترس شما قرار گرفته است.

مقدمه و بیان مسئله

پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی به‌عنوان یکی از اجزای حیاتی در طراحی و توسعه سامانه‌های پیشرفته پرانرژی، نقش محوری در صنایع دفاعی، هوافضا و فناوری‌های نوین ایفا می‌کنند.یک دسته از این از پلیمرها به‌دلیل دارا بودن گروه‌های شیمیایی پرانرژی در ساختار مولکولی خود، توانایی آزادسازی مقادیر قابل توجهی انرژی در فرآیند تجزیه یا احتراق کنترل‌شده را دارند. بر همین اساس، آن‌ها معمولاً در ترکیب با سایر مواد پرانرژی، پایه اصلی تولید پیشرانه جامد، مواد منفجره و پیروتکنیک محسوب می‌شوند (Badgujar et al., 2017). برخلاف پلیمرهای سنتی که بیشتر به‌عنوان بایندرهای غیرفعال برای ایجاد انسجام و پایداری مکانیکی ترکیبات عمل می‌کنند، پلیمرهای پرانرژی[1] خود نقش فعالی در مشارکت در انرژی کلی سیستم ایفا کرده و همزمان خواص فیزیکی، حرارتی و شیمیایی مورد نیاز برای کاربردهای نظامی و صنعتی را فراهم می‌آورند (Paraskos, 2017).

در دهه‌های اخیر، تلاش‌های گسترده‌ای در حوزه طراحی و سنتز پلیمرهای پرانرژی صورت گرفته است. این تلاش‌ها نه تنها بر افزایش محتوای انرژی و قابلیت احتراق تمرکز داشته‌اند، بلکه به دنبال بهبود پایداری حرارتی، حساسیت پایین به ضربه و اصطکاک، سازگاری محیطی و پردازش‌پذیری مناسب نیز بوده‌اند (Born et al., 2022). به‌طور خاص، پلیمرهایی مانند پلی‌نیترات‌ها، پلی‌نیتروآزول‌ها، پلی‌نیتروکربامات‌ها، و پلیمرهای مبتنی بر ساختارهای نیتروژن‌دار حلقوی از جمله پلیمرهای پرکاربرد در این زمینه هستند (Paraskos, 2017). کاربرد این پلیمرها در پیشرانه‌های موشکی، مواد منفجره فرموله‌شده و سامانه‌های پیروتکنیکی، آن‌ها را به یکی از موضوعات محوری در تحقیقات دفاعی و امنیتی کشورها بدل کرده است.

در این میان، درک روندهای علمی و فناوری، شبکه‌های تحقیقاتی، بازیگران اصلی، چالش‌ها و فرصت‌های موجود در حوزه پلیمرهای نورد استفاده در مواد پرانرژی برای جهت‌دهی به سیاست‌های تحقیق و توسعه، سرمایه‌گذاری‌های راهبردی و ارتقاء جایگاه علمی و صنعتی کشور در عرصه جهانی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از ابزارهای مؤثر برای نیل به این هدف، تحلیل‌های علم‌سنجی و کتاب‌سنجی است که با بهره‌گیری از روش‌های کمی، بینش های ارزشمندی در مورد توسعه علم و فناوری و امکان ترسیم چشم‌انداز دقیقی از ساختار دانش،

1 Energetic polymers

روندهای زمانی، خوشـــه‌های پژوهشـــی، تعاملات بین‌المللی و محورهای نوظهور علمی را فراهم می‌آورند(عطیفه, نصـــراله زاده, لالی, (۲۰۲۴)). این ابزارها در ارتقاء تصـــمیم‌گیری‌های مبتنی بر شـواهد، کشـف نشـریات کلیدی، و رصـد روندهای جدید تحقیقات نقش مؤثری دارند.(مومیوند, حسنی آهنگر, طهماسب کاظمی, صالح نژاد, & کاملی, ۲۰۲۲)

علم‌سـنجی به‌عنوان رویکردی میان‌رشـته‌ای، با بهره‌گیری از داده‌های کتابشـناختی موجود در پایگاه‌های معتبر بین‌المللی نظیر وب آف ســاینس[1] (WOS) ،اســکاپوس[2]، لنز[3] و ســراج امکان تحلیل کمی و کیفی تولیدات علمی، ترسیم نقشه دانش، و ارزیابی ساختار پژوهش در یک حوزه خاص را فراهم می‌ســازد (Marginson, 2022). ابزارهایی نظیر نرم‌افزارهای VOSviewer و R-Biblioshiny (Bibliometrix) با قابلیت‌های پیشــرفته در تجســم شــبکه‌های هم‌تألیفی، هم‌اســتنادی، تحلیل هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها، و تحلیل روند زمانی، امکان شــناخت الگوهای پژوهشی و شناسایی خلأهای علمی را تسهیل می‌کنند (Tomaszewski, 2023).

با تحلیل ســاختار علمی و روندهای حوزه مورد بحث، می‌توان جهت‌گیری تحقیقات داخلی و همکاری با شـرکا را بهبود بخشـید و نظام نوآوری در این حوزه را تقویت کرد. شـناخت روندهای نوظهور مانند نانوکامپوزیت‌ها و پلیمرهای زیست‌پایه، راهکارهای موثری برای توسعه فناوری‌های دفاعی پایدار ارائه می‌دهد. همچنین، بهره‌مندی از جدیدترین یافته‌های تحقیقاتی برای پیش‌بینی و جلوگیری از تهدیدات آینده، و درک شـبکه‌های همکاری بین‌المللی در این زمینه، برای تضـمین امنیت کشور اهمیت بسزایی دارد(استادی & عرب بافرانی, ۲۰۲۰)س.

در همین راستا، در پژوهش حاضـر با اسـتفاده از روش‌های علم‌سـنجی، به تحلیل داده‌های علمی حوزه پلیمرهای مورد اســتفاده در مواد پرانرژی در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴ پرداخته‌ایم. داده‌های مورد نیاز از دو پایگاه بین‌المللی WOS ، لنز و داخلی استخراج شده و سپس با بهره‌گیری ترکیبی از نرم‌افزارهای VOSviewerو Bibliometrix، ســاختار مفهومی، موضــوعات کلیدی، روندهای زمانی، شبکه‌های همکاری علمی کشورها، سازمان‌ها و پژوهشگران فعال در این حوزه مورد تحلیل و تصـویرسـازی قرار گرفته اسـت. مسـأله اصـلی این پژوهش تحلیل روندهای علمی و فناورانه پلیمرهای

1 Web of Science
2 Scopus
3 Lens

مورد استفاده در مواد پرانرژی است، به ویژه تمرکز بر علوم و فناوری های نوظهوری که در سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای به آنها شده است. با استفاده از روش علم‌سنجی، این مطالعه قصد دارد روندهای جاری و موضوعات نوظهور را شناسایی کند و سپس علوم و فناوری های آینده این حوزه و همگرایی احتمالی آن ها را بررسی نماید. علاوه بر این، تحلیل شبکه‌های ارتباطی بین محققین، سازمان‌ها و شرکت‌های فعال در این حوزه، نقش مهمی در درک فضای رقابتی و همکاری‌های بین‌المللی ایفا می‌کند. از این رو، وجه آینده‌پژوهانه این مطالعه در تحلیل داده‌های علم‌سنجی نهفته است که می‌تواند زمینه‌ساز تصمیم‌گیری‌های راهبردی و سیاست‌گذاری‌های علمی باشد.

مبانی نظری پژوهش

پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی

پلیمرها به‌عنوان یکی از اجزای کلیدی در ترکیب مواد پرانرژی همچون پیشرانه‌ها، مواد منفجره و سامانه‌های پیروتکنیکی، نقشی حیاتی در عملکرد، ایمنی و پایداری این ترکیبات ایفا می‌کنند (Cheng, 2019). این دسته از پلیمرها ممکن است خود واجد گروه‌های شیمیایی پرانرژی نظیر نیترو، نیترات، آزید یا فلوئور باشند، یا بدون داشتن چنین گروه‌هایی، به‌عنوان بایندرهای خنثی اما سازگار با محیط پرانرژی ایفای نقش کنند (Paraskos, 2017). به‌طور کلی، انتخاب و طراحی پلیمرها مستلزم ایجاد توازن میان عواملی چون انرژی ویژه، حساسیت، پایداری حرارتی و قابلیت فرآیندی است.

کاربرد پلیمرها در فرمولاسیون مواد پرانرژی، عمدتاً با هدف ایجاد چسبندگی، افزایش چقرمگی، بهبود فرایندپذیری و کاهش حساسیت ترکیبات به ضربه و اصطکاک صورت می‌گیرد (Born et al., 2022). در ترکیبات پلیمری پیشرفته، هدف طراحی آن است که پلیمر، علاوه بر تأمین خواص مکانیکی مطلوب، در آزادسازی انرژی نیز مشارکت فعال داشته باشد. برای مثال، پلیمرهایی مانند پلی‌گلیسیدیل نیترات(polyGLN) ، پلی‌نیتروتترامتیلن‌اکسید (PTNMO) و پلی‌نیترواتیلن‌ها با برخورداری از گروه‌های فعال پرانرژی در زنجیره یا شاخه‌های جانبی، می‌توانند به افزایش بازده انرژی سامانه کمک کنند (Paraskos, 2017).

تحقیقات اخیر در این حوزه نشان‌دهنده گرایشی فزاینده به بهره‌گیری از فناوری‌های نوین مانند طراحی محاسباتی، مهندسی مولکولی و شبیه‌سازی دینامیکی هستند (Gu et al., 2024). این

رویکردها امکان تحلیل دقیق برهم‌کنش‌های میان پلیمر و اجزای دیگر مانند مواد اکسیدکننده یا سوختی را فراهم کرده و زمینه‌ساز پیش‌بینی بهتر رفتار سامانه‌های چندجزئی شده‌اند. همچنین، توسعه نانوساختارها و نانوکامپوزیت‌های پلیمری موجب ارتقای پایداری حرارتی و کاهش حساسیت این سامانه‌ها شده است (Rashid & Hoque, 2022).

ویژگی‌های احتراقی و رفتار انفجاری سامانه‌های پرانرژی به‌شدت تحت تأثیر ساختار شیمیایی و مورفولوژی بایندر پلیمری قرار دارند (Born et al., 2022). خواصی نظیر دمای تجزیه، سرعت احتراق، انرژی فعال‌سازی، فشار احتراق و میزان پسماند حرارتی، همگی وابسته به ساختار مولکولی پلیمر هستند. این پلیمرها نه‌تنها نقش بایندر را ایفا می‌کنند، بلکه با ویژگی‌های ساختاری خاص خود، به بهبود خواص رئولوژیکی و فرایندپذیری ترکیبات نیز کمک می‌کنند. علاوه‌براین، طراحی بایندرهای حساس به محرک‌های بیرونی مانند دما، فشار یا میدان الکتریکی، چشم‌اندازهایی نو در زمینه کنترل ایمن عملکرد مواد پرانرژی ارائه کرده است (Muravyev et al., 2024).

در سطح پیشرفته‌تر، علم شیمی مواد پرانرژی در حال بهره‌برداری از قابلیت‌های شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای و مدل‌سازی‌های چندمقیاسی است (Lindsey et al., 2022). استفاده از شبیه‌سازی‌های مولکولی، شیمی کوانتومی و تحلیل خواص ترمودینامیکی پلیمرهای پرانرژی، امکان پیش‌بینی رفتار آن‌ها را در شرایط مختلف محیطی فراهم می‌کند. به عنوان مثال، مطالعات اخیر نشان داده‌اند که نوع گروه عاملی و توزیع فضایی آن‌ها در ماتریس پلیمری نقش تعیین‌کننده‌ای در حساسیت ضربه‌ای یا اصطکاکی دارد (Ayzac et al., 2021).

توسعه و ارزیابی این پلیمرها مستلزم رویکردی میان‌رشته‌ای و تعامل میان حوزه‌هایی نظیر شیمی آلی، مهندسی مواد، دینامیک محاسباتی، و مهندسی ایمنی و محیط زیست است. در این راستا، علم‌سنجی می‌تواند به‌عنوان ابزاری راهبردی برای رصد تحولات علمی، شناسایی روندهای پژوهشی و تحلیل شبکه‌های علمی در این حوزه به‌کار گرفته شود.

علم‌سنجی

علم‌سنجی شاخه‌ای از کتاب‌سنجی است که به بررسی کمی و کیفی تولیدات علمی و نظام‌های پژوهشی می‌پردازد. این حوزه، با استفاده از شاخص‌ها، مدل‌ها و ابزارهای تحلیلی پیشرفته، تلاش می‌کند

تا ساختار علم، روابط میان رشته‌ای، الگوهای همکاری و روندهای نوظهور علمی را شناسایی و تبیین کند (Ninkov et al., 2022). از آن‌جا که پژوهش در زمینه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی ماهیتی میان‌رشته‌ای و فناورانه دارد، بهره‌گیری از علم‌سنجی می‌تواند بینش‌های راهبردی درخصوص سیاست‌گذاری علمی، تخصیص منابع پژوهشی و طراحی مسیرهای آینده‌پژوهی ارائه دهد.

ظهور پایگاه‌های بزرگ اطلاعاتی نظیر WOS، اسکاپوس و لنز در کنار ابزارهای تجزیه و تحلیل مانند VOSViewer، Bibliometrix و CiteSpace سبب شده است که علم‌سنجی از تحلیل صرفاً آماری فراتر رفته و به ابزار تحلیلی پیشرفته‌ای برای شناخت ساختار علم و فناوری بدل شود (Tomaszewski, 2023). این ابزارها با امکان تجسم شبکه‌های هم‌تألیفی، هم‌رخدادی واژگان کلیدی، خوشه‌بندی موضوعی و تحلیل تحول مفهومی، بستر لازم برای تحلیل روندهای علمی و شناسایی خلأهای پژوهشی را فراهم می‌آورند.

علاوه‌براین، تحلیل رفتار استنادی، الگوهای همکاری بین‌المللی، بررسی نقش کشورها در تولید علم، و آشکارسازی محورهای بین‌رشته‌ای در علم‌سنجی، از اهمیت بالایی برخوردار است. تغییر در شیوه‌های نشر مانند رشد مقالات پیش‌چاپ، مجلات دسترسی آزاد، و بسترهای داده‌محور نیز موجب شده‌اند که ساختار نظام علم جهانی دستخوش تحولات سریعی شود که بررسی آن‌ها نیازمند رویکردهای علم‌سنجی پیشرفته است.

در نهایت، بهره‌گیری از علم‌سنجی در حوزه پلیمرهای پرانرژی، می‌تواند زمینه‌ساز شناسایی خلأهای پژوهشی، تحلیل روندهای نوظهور، کشف ساختارهای دانشی و تسهیل تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی علمی کشور باشد.

پیشینهٔ پژوهش

با توجه به رشد فزاینده کاربردهای پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی در صنایع دفاعی، هوافضا و سامانه‌های پیشرفته، بررسی روندهای علمی و فناوری در این حوزه از منظر آینده‌پژوهی علمی ضروری به نظر می‌رسد. این پلیمرها به واسطه ویژگی‌های منحصر به فردی نظیر محتوای انرژی بالا، پایداری حرارتی مطلوب و قابلیت مهندسی‌شده برای انفجار یا تجزیه کنترل‌شده، به هسته مرکزی بسیاری از نوآوری‌ها در سامانه‌های نظامی و صنعتی بدل شده‌اند. با وجود اهمیت

راهبردی این حوزه، بررسی‌ها نشان می‌دهد که تاکنون بخش قابل توجهی از پژوهش‌ها بر جنبه‌های فنی، شیمیایی و آزمایشگاهی پلیمرها و مواد پرانرژی و بررسی سطحی روند و آینده‌پژوهی آن‌ها متمرکز بوده‌اند و رویکردی نظام‌مند برای تحلیل ساختار دانش، مسیرهای تحول علمی، و بازیگران کلیدی در این مطالعات کمتر مورد توجه قرار گرفته است. برای نمونه، لیو[1] در سال ۲۰۲۱ به بررسی فناوری‌های تحلیل حرارتی در مواد پرانرژی و چشم اندازه آینده آن پرداخته‌اند، اما این مطالعه فاقد هرگونه تحلیل کمی از روند تولید دانش یا شناسایی محورهای پژوهشی در سطح جهانی است (Liu, 2021). همچنین اولیویرا[2] و همکاران در سال ۲۰۲۳ با تمرکز بر تحلیل پتنت‌های مربوط به ترکیبات انفجاری رایج نظیر RDX وHMX ، تلاش کردند تا چشم‌اندازی فناورانه ترسیم کند، اما از ابزارهای علم‌سنجی و داده‌کاوی کتابشناختی برای ترسیم شبکه دانش و مطالعه روند تحقیقات بهره‌ای نبردند (Oliveira et al., 2024).

بنابراین، نبود تحلیل‌های علم‌سنجی ساختاریافته در حوزه پلیمرهای پرانرژی، یک خلأ آشکار در مسیر تصمیم‌سازی علمی و فناورانه محسوب می‌شود. این در حالی است که علم‌سنجی با اتکا به ابزارهایی نظیر تحلیل هم‌تألیفی، هم‌واژگانی، و هم‌استنادی می‌تواند در شناسایی روندهای نوظهور، همکاری‌های بین‌المللی، و شکاف‌های پژوهشی بسیار مؤثر واقع شود. در سال‌های اخیر، تلاش‌های مختلفی در راستای تحلیل علم‌سنجی پژوهش‌های حوزه پلیمرها و شاخه‌های وابسته انجام شده است؛ هرچند عمده این مطالعات به حوزه‌های کلی‌تر یا کاربردهای خاصی از پلیمرها محدود شده‌اند. با این حال، بررسی آن‌ها می‌تواند به درک بهتر چارچوب‌های روش‌شناسی، الگوهای همکاری علمی، و رویکردهای کمّی در مطالعات مشابه کمک کند. نخستین نمونه قابل توجه، مطالعه نقوی[3] در سال ۲۰۱۴ است که به بررسی علم‌سنجی پژوهش‌های حوزه علوم پلیمری در کشور هند طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۲ پرداخته است (Naqvi, 2014). این مطالعه با تحلیل داده‌های پایگاه WOS، الگوهای هم‌نویسندگی، سهم نهادها و کشورها، و توزیع مجلات مرجع را ترسیم کرده و نشان داده است که تولید علم در این حوزه در حال رشد بوده، اما تمرکز پژوهشی به‌شدت وابسته به دانشگاه‌ها و مؤسسات دولتی است.

1 Liu
2 Oliveira
3 Naqvi

در گامی گسترده‌تر راوی و پالانیاپان[1] در سال ۲۰۲۳ مطالعه‌ای علم‌سنجی بر پایه داده‌های وب آف ساینس و کلریتو از پژوهش‌های جهانی در زمینه پلیمرهای سنتزی طی سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۲ ارائه دادند (Ravi & Palaniappan, 2023). آن‌ها با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای BibExcel و VOSviewer، شاخص‌هایی نظیر رشد انتشار، الگوهای استنادی، پراکندگی زبانی، نوع اسناد، نهادهای تأمین مالی، و واژگان پرتکرار را بررسی کرده‌اند. یافته‌ها نشان داد ایالات متحده آمریکا بیشترین سهم را در تولید و استنادها داشته و واژه "پلیمرهای سنتزی" پرتکرارترین کلیدواژه بوده است. با وجود تعداد بالای اسناد، میانگین استنادها نسبتاً پایین گزارش شده که می‌تواند نمایانگر پراکندگی موضوعی یا کاربردی بودن بیشتر مطالعات باشد.

یکی از زمینه‌های نوظهور و پرشتاب در علوم پلیمری، پرینت سه‌بعدی یا تولید افزودنی است که امکان تولید قطعات پلیمری با خواص مهندسی‌شده و ساختارهای پیچیده را فراهم می‌آورد. این فناوری، نه‌تنها در صنایع پزشکی، خودروسازی و هوافضا، بلکه در توسعه پلیمرهای عملکردی و حتی مواد پرانرژی قابل کاربرد است. به همین دلیل، بررسی روندهای علمی این حوزه با استفاده از ابزارهای علم‌سنجی، می‌تواند الگویی مؤثر برای تحلیل ساختار دانشی حوزه‌های مشابه، از جمله پلیمرهای پرانرژی، ارائه دهد.

در این راستا ژنگ[2] و همکاران در سال ۲۰۲۱ با تمرکز بر ساخت افزایشی چندماده‌ای پلیمری، ترکیبی از تحلیل علم‌سنجی و مرور نظام‌مند را به‌کار گرفته‌اند (Zheng et al., 2021). این مطالعه با استفاده از داده‌های اسکاپوس و ابزارهایی نظیر VOSviewer ، به تحلیل هم‌واژگانی، هم‌تألیفی، و تحلیل ادبیات پرداخته و یافته‌هایی مانند سوگیری شدید موضوعی به سمت مواد و کم‌توجهی به فناوری‌ها را گزارش کرده است. این مطالعه از معدود پژوهش‌هایی است که به‌طور مشخص خوشه‌های پژوهشی و روندهای نوظهور را استخراج کرده و جهت‌گیری آینده تحقیقات را مشخص نموده است.

به‌طور مشابه کاستیلو[3] و همکاران در سال ۲۰۲۲ با تمرکز بر سامانه‌های تولید هوشمند در چاپ سه‌بعدی اکستروژن پلیمری، ساختار دانشی این حوزه را از طریق تحلیل هم‌واژگانی، روندهای زمانی و پراکندگی جغرافیایی پژوهش‌ها بررسی کرده اند (Castillo et al., 2024). این پژوهش به‌ویژه در شناسایی نقاط تمرکز پژوهش، همکاری‌های بین‌المللی و روندهای فناورانه

1 Ravi & Palaniappan
2 Zheng
3 Castillo

در حال ظهور نقش کلیدی ایفا کرده است. در همین زمینه، اردشیر و همکاران در سال ۲۰۲۴ به صورت ویژه به تحلیل علم‌سنجی پژوهش‌های مربوط به مدل‌سازی رسوب ذوبی۱ (FDM) پرداخته‌اند (Ardeshir et al., 2024). این مقاله با بررسی واژگان پرتکرار، روند زمانی انتشارات، مجلات و کشورهای پیشرو، تصویری دقیق از ساختار علمی این فناوری نوظهور ارائه داده است. استفاده از شاخص‌هایی نظیر نرخ جهش واژگان۲ از ویژگی‌های برجسته این تحلیل است.

این سه مطالعه، هرچند به‌طور مستقیم به پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی نمی‌پردازند، اما از منظر روش‌شناسی علم‌سنجی، ابزارهای تحلیلی و طراحی شاخص‌ها، می‌توانند الگویی برای پژوهش‌های ساختارمند در حوزه‌های راهبردی مشابه، از جمله این پلیمرها، فراهم سازند .

روش‌شناسی پژوهش

این مطالعه از نوع کاربردی و به روش علم سنجی است و هدف آن بررسی علم سنجی در حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی می‌باشد. مطالعه در چند مرحله انجام شده است که در ادامه به بررسی هر یک از این مراحل می‌پردازیم.

جمع‌آوری داده ها

فرآیند گردآوری داده‌های مربوط به مقالات و دیگر اسناد علمی از طریق پایگاه اطلاعاتی WOS صورت گرفت و اطلاعات مرتبط با روند ثبت اختراعات از پایگاه داده لنز استخراج شد. پایگاه WOS به عنوان جامع‌ترین و معتبرترین پایگاه استنادی علمی در سطح جهانی شناخته می‌شود که با هدف تسهیل دسترسی به منابع علمی و ارتقاء تعاملات بین پژوهشگران، از طریق نمایه‌سازی و تحلیل میزان ارجاع‌ها به مقالات و نشریات فعالیت می‌کند. همچنین، پایگاه لنز یک بستر جهانی و منبع باز است که داده‌های علمی و فناوری شامل ثبت اختراعات، مقالات، کتاب‌ها و سایر منابع را به صورت رایگان در اختیار کاربران قرار می‌دهد.

رسیدن به پیکره جست و جویی دقیق در پایگاه داده WOS نیازمند یک سری فرمول اختصاصی همراه با عبارات و عملگرهای بولی می‌باشد. با استفاده از مجموعه علائم و عملگرهای

1 Fused Deposition Modeling
2 Burst Terms

ذکر شده یک رشته جست و جو به وجود می‌آید که می‌تواند تمامی موارد مدنظر تحقیق را در بر بگیرد. در این تحقیق برای تهیه رشته جست و جو از هوش مصنوعی شرکت Open Ai ورژن GPT 4o استفاده شد. برای تهیه این رشته جست و جو ابتدا خلاصه‌ای از تحقیق و هدف آن به هوش مصنوعی معرفی گردید و پس از اصلاحات تکمیلی رشته جست و جوی زیر در فرمت مورد نظر (فرمت رشته جست و جوی مخصوص پایگاه داده WOS) استخراج گردید:

((((((((((TS=(energetic*)) OR TS=(High-energy)) OR TS=(Explosive*)) OR TS=(Propellant*)) OR TS=(Combusti*)) OR TS=(Pyrotechnic)) OR TS=(Reactive)) OR TS=(High-performance energetic)) OR TS=(Fuel-rich)) AND TS=(polymer*)) OR TS=(binder*)

عبارت TS ذکر شده در این فرمول مخفف موضوعات در زبان جست و جوی پایگاه داده WOS می‌باشد.

نتیجه اولیه جست و جو با رشته جست و جو ایجاد شده در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۲۴ منجر به نمایش حدود صدهزار سند شد که بسیاری از آن‌ها به حوزه مدنظر تحقیق یعنی پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی بی‌ربط بوده‌اند. در این پایگاه داده یک سری فیلترهای پیش فرض برای به اصطلاح تمیز کردن پیکره وجود دارد که با کمک آنها میتوان پیکره خود را هدفمندتر و اختصاصی تر (شخصی سازی) کرد. برای این منظور از دو فیلتر موضوعات استنادی با استفاده از الگوریتم‌های مزو و میکرو که در تنظیمات جست و جوی این پایگاه وجود دارد، استفاده گردید. فیلترهای مذکور منجر به هدفمند تر شدن تحقیق و کاهش تعداد کل اسناد جست و جو به ۱۱۱۱۲ سند گردید. مرحله نهایی در جمع‌آوری داده از این پایگاه گرفتن خروجی با فرمت مدنظر بود.

جست و جو در پایگاه داده لنز (به صورت اختصاصی برای ثبت اختراعات) منجر به ۸۹۷۳۹ ثبت اختراع شد که با محدود ساختن بازه زمانی به ۲۰۱۴-۲۰۲۴ این تعداد به ۵۰۴۸۴ ثبت اختراع کاهش یافت. با توجه به ثبت و تمدید چندباره اختراعات در بازه‌های زمانی و موسسات مختلف در این پایگاه داده، بیشتر بودن حجم اسناد مرتبط با اختراعات در مقایسه با مقالات و سایر اسناد امری طبیعی است.

پیش‌پردازش داده‌ها

در ادامه داده‌های استخراج شده با استفاده از نرم‌افزار Excel مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند. این مرحله شامل فرآیندهایی نظیر استانداردسازی، پاک‌سازی داده‌ها، حذف موارد تکراری و ارزیابی دقت و انسجام اطلاعات به منظور آماده‌سازی برای تحلیل علم‌سنجی بود. اهمیت این بخش به دلیل

تأثیر مستقیم آن بر اعتبار نتایج حاصل از پردازش‌های آماری و تحلیلی در مراحل بعدی بسیار بالا است. در این مرحله، همچنین داده‌های کمی مربوط به ترسیم نمودارهای روند انتشار مقالات و ثبت اختراعات، و نیز تحلیل کلیدواژه‌ها، کشورها، نهادها و پژوهشگران شاخص استخراج شدند.

تجزیه و تحلیل و پردازش داده با نرم‌افزارهای VOSviewer و Bibliometrix

در این مطالعه از نرم‌افزارهای VOS Viewer نسخه ۱.۶.۲۰ و Bibliometrix (از طریق کدنویسی در نرم افزارهای R و R-Studio) برای تجزیه و تحلیل و پردازش داده استفاده شد. بررسی کلی جست و جو، اعتبارسنجی، بررسی کلیدواژه‌های پرکاربرد و بررسی روند موضوعات، کلیدواژه‌های نوظهور و درحال رشد با استفاده از نرم‌افزار Bibliometrix انجام شد. با کمک نرم‌افزار VOSViewer تجسم‌های شبکه‌ای و پوششی از همکاری، افراد، موسسات، کشورها و همزمانی کلمات کلیدی و موضوعات مورد استفاده در اسناد منتشره در حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی تهیه گردید.

در مرحله اول تمرکز بر روی همزمانی موضوعات و کلمات کلیدی و استخراج مهم‌ترین و پر استفاده‌ترین کلیدواژه ها در حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۲۴ با استفاده از تجسم‌های شبکه‌ای است. در این مرحله نوع آنالیز را بر روی همزمانی، واحد تحلیل را بر روی تمامی کلیدواژه‌ها ، و روش شمارش را بر روی شمارش کامل قرار دادیم. تعداد کل کلیدواژه‌ها ۱۷۹۱۶بود که با قرار دادن حداقل تعداد تکرار کلمه کلیدی بر روی ۵، تعداد کلیدواژه‌های مورد بررسی به ۱۸۵۹ عدد رسید.

مرحله دوم استفاده از نرم افزار Bibliometrix و استخراج اعتبارسنجی جست و جو، اطلاعات کلی جست و جو از بخش دورنما، روند موضوعات از بخش مستندات و نقشه موضوعی از بخش ساختار مفهومی با هدف بررسی روند موضوعات، کلیدواژه‌های نوظهور و درحال رشد می‌باشد.
مرحله بعدی بررسی شبکه‌های همکاری افراد، سازمان‌ها و کشورها با استفاده از تصویرسازی‌های شبکه‌ای و پوششی و استخراج و معرفی افراد، سازمان‌ها و کشورهای برتر در تحقیقات حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی با استفاده از این دو نرم افزار می‌باشد.

برای این مرحله در نرم افزار VOSViewer نوع آنالیز و روش شمارش در هر سه مورد به ترتیب بر روی هم‌نویسندگی و شمارش کامل قرار داده شد. واحد تحلیل نیز در هر کدام بر روی آنالیز مورد

نظر قرار داده شد (کشورها، سازمان‌ها و نویسندگان). بررسی‌ها در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۲۴ انجام شد. در بخش تحلیل کشورهای مشارکت‌کننده، تعداد کل کشورهای مورد بررسی ۹۸ کشور بود که با تعیین آستانه حداقل دو سند برای هر کشور، این تعداد به ۸۸ کشور کاهش یافت. در تحلیل سازمان‌های برتر، تعداد کل سازمان‌ها ۵۹۹۲ بود که با اعمال شرط حداقل پنج سند، ۸۵۲ سازمان باقی ماندند. در بررسی نویسندگان برتر نیز، از بین ۲۸۲۶۵ نویسنده، با در نظر گرفتن حداقل پنج سند برای هر فرد و حذف موارد بدون ارتباط شبکه‌ای، ۶۲۵ نویسنده برای تحلیل نهایی انتخاب شدند.

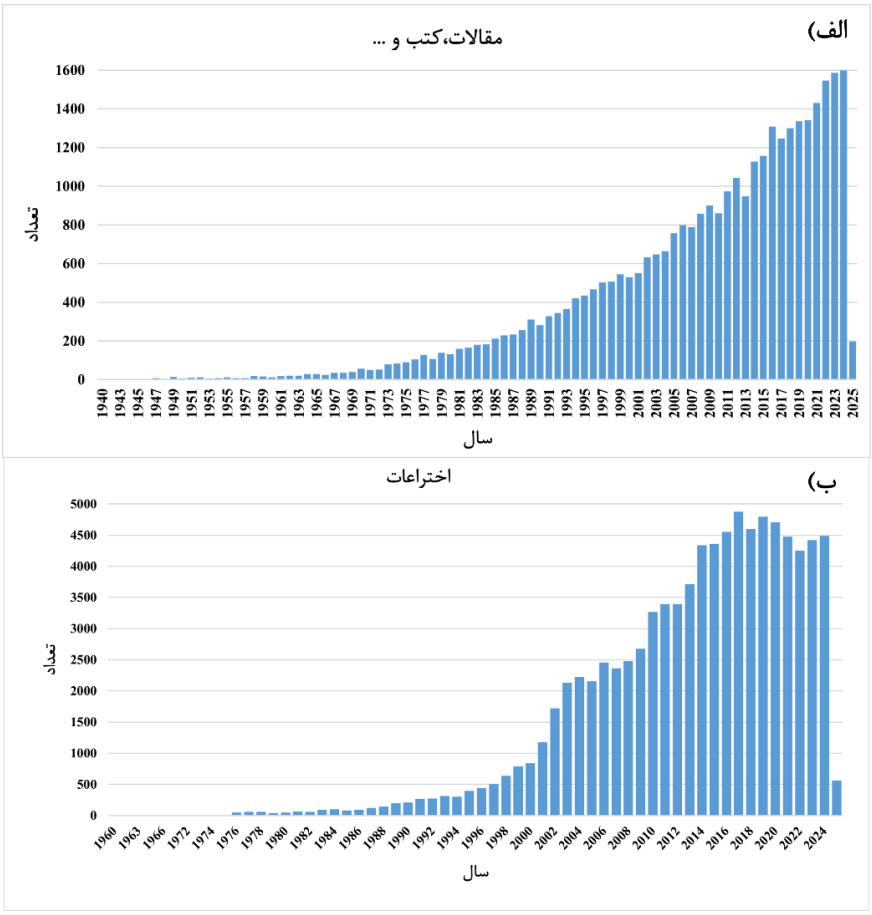
یافته‌های پژوهش

نمای کلی تحقیق

در سال‌های اخیر حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی به یکی از حوزه‌های مهم تحقیقات امنیتی و فناورانه جهانی تبدیل شده است. به منظور اثبات این گفته نمودار هیستوگرام[1] رشد انتشار اسنادی نظیر مقالات، کتب و ثبت اختراعات (تهیه شده از پایگاه داده لنز) در این حوزه در شکل ۱ آورده شده است. بازه زمانی برای مقالات ۱۹۵۰- ۲۰۲۵ و برای ثبت اختراعات ۱۹۵۸-۲۰۲۵ است. نمونه آماری در این بازه‌های زمانی برای مقالات ۳۳۶۷۵ و برای ثبت اختراعات ۸۹۷۷۸ سند است. همانگونه که در هر دو شکل مشخص است، سرعت انتشار اسناد در این حوزه از دهه هفتاد میلادی رشد بسیار چشمگیری پیدا کرده و به روند صعودی خود تا دهه اخیر ادامه داده است که نشان دهنده اهمیت بسیار بالای حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی در سال‌های اخیر می‌باشد.

بیشترین میزان انتشار مقالات، کتب و ... در این حوزه در سال ۲۰۲۲ با ۱۵۶۸ سند بوده است. همچنین بیشترین میزان ثبت اختراعات در این حوزه در سال ۲۰۱۷ با ثبت ۴۸۸۲ اختراع انجام شده است. این داده‌ها نشانگر میزان اهمیت این حوزه تحقیقاتی در سال‌های اخیر می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه در آخرین به روزرسانی این تحقیق حدود ۲ ماه از سال ۲۰۲۵ گذشته بود و تعداد مقالات و ثبت اختراعات این سال کامل نمی‌باشد و به عنوان داده آماری پرت باعث ایجاد خطا می‌شود. در نتیجه در ادامه مطالعات داده‌های سال میلادی ۲۰۲۵ از نتایج بخش علم سنجی حذف شده است.

1 Histogram



شکل ۱. روند انتشار الف) مقالات، کتب و .... ب) ثبت اختراعات درحوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی در سال‌های اخیر (تهیه شده با استفاده از پایگاه داده لنز)

جهت جمع آوری داده‌های علم سنجی از پایگاه داده WOS استفاده شد. جدول اعتبارسنجی داده‌های جمع‌آوری شده (تهیه شده با استفاده از نرم افزار Bibliometrix) در شکل ۲ آورده شده است. بر اساس نتایج این جدول داده‌های جمع آوری شده در تمامی موارد مد نظر ما نمره قبولی (رنگ سبز) را قبول کرده‌اند. تنها شاخصه‌ای که در داده‌های جمع‌آوری شده به طور کامل موجود نمی‌باشد (رنگ قرمز)، مربوط به رفرنس ها و استناد داده‌ها است که شاخصه مطالعاتی مدنظر ما در

این پژوهش نبوده و به دلیل تکمیل نبودن داده‌های اســتنادی به این رنگ در آمده اســت. همچنین شاخصه خاکستری رنگ مرتبط با کلمات کلیدی نیز با استفاده از شاخصه کلمات کلیدی اضافه پوشش داده می‌شود (۱۸۲۱۸ کلیدواژه).

Metadata	Description	Missing Counts	Missing %	Status
AU	Author	0	0.00	Excellent
DT	Document Type	0	0.00	Excellent
SO	Journal	0	0.00	Excellent
LA	Language	0	0.00	Excellent
PY	Publication Year	0	0.00	Excellent
WC	Science Categories	0	0.00	Excellent
TI	Title	0	0.00	Excellent
TC	Total Citation	0	0.00	Excellent
C1	Affiliation	12	0.11	Good
RP	Corresponding Author	20	0.19	Good
AB	Abstract	61	0.57	Good
DI	DOI	314	2.96	Good
ID	Keywords Plus	855	8.05	Good
DE	Keywords	2785	26.23	Poor
CR	Cited References	10618	100.00	Completely missing

شکل ۲. جدول اعتبارسنجی داده‌های جمع‌آوری شده (تهیه شده در نرم افزار Bibliometrix)

اطلاعات کلی داده‌های جمع آوری شده در جدول ۱ آورده شده است. بر اساس این اطلاعات بازه زمانی جستجو و داده‌های ما ۲۰۱۴–۲۰۲۴ اســت. تعداد کلی اسناد مورد مطالعه ۱۰۰۶۰ سند است که در ۱۴۷۹ منبع منتشر شده است. رشد سالانه انتشار مقالات در این بازه زمانی نیز ۶.۳۸٪ بوده اســت. از میان ۱۰۰۶۰ سند تنها ۱۹۲ تحقیق به صورت انفرادی انجام شده اســت. این تعداد بسیار پایین اهمیت مشــارکت در این حوزه تحقیقاتی را نشــان می‌دهد. تعداد کل محققین مورد مطالعه ۲۸۲۶۵ نفر اســت. همچنین شاخصه‌های درصد مشارکت بین المللی (۱۸.۸۴٪) و میانگین نویسندگان مشترک در هر سند (۵.۱۳) اهمیت مشارکت در این حوزه تحقیقاتی را بیش از پیش روشن گر می کنند.

جدول۱. اطلاعات کلی داده‌های جمع آوری شده

بازه زمانی	۲۰۲۴-۲۰۱۴
تعداد منابع (مجلات، کتاب و ...)	۱۴۷۹
تعداد اسناد	۱۰۰۶۰
رشد سالانه (٪)	۶.۳۸
تعداد نویسندگان	۲۸۲۶۵
تعداد نویسندگان اسناد بدون مشارکت	۱۹۲
مشارکت بین المللی (٪)	۱۸.۸۴
میانگین نویسندگان مشترک در هر سند	۵.۱۳
تعداد کلمات کلیدی	۱۷۹۱۶

مطالعه موضوعی (کلیدواژه‌ها) تحقیقات حوزه پلیمرهای پرانرژی

نمودار رده‌بندی ۲۰ کلیدواژه برتر حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی در ۱۰ سال اخیر در جدول ۲ آورده شده است. بر اساس این نتایج کلیدواژه‌های "خواص مکانیکی"، "تولید افزایشی" و "پرینت سه بعدی" پرکاربرد ترین کلیدواژه‌ها در این حوزه تحقیقاتی بوده اند. بعد از آن کلیدواژه‌های "جت بایندر"، "مواد پرانرژی" و "اکستروژن واکنشی" در رتبه‌های بعدی قرار گرفته اند. این نتایج حاکی از آن است که در ده سال اخیر تمرکز تحقیقاتی محققان بر روی بهبود خواص و ایجاد روش‌های تولید و فرآوری پلیمر جدیدتر بوده است. "پلی یورتان" تنها کلیدواژه مرتبط با نام یک پلیمر در لیست کلیدواژه‌های برتر است همچنین نامی از روش‌های پلیمریزاسیون دیده نمی‌شود. این نتایج نشان دهنده این است که تلاش‌های تحقیقاتی مرتبط با سنتز پلیمرهای جدید یا روش‌های پلیمریزاسیون جدید در سال‌های اخیر از رواج افتاده‌اند (برخلاف چیزی که در دهه‌های ۷۰، ۸۰ و ۹۰ میلادی رخ می‌داد).

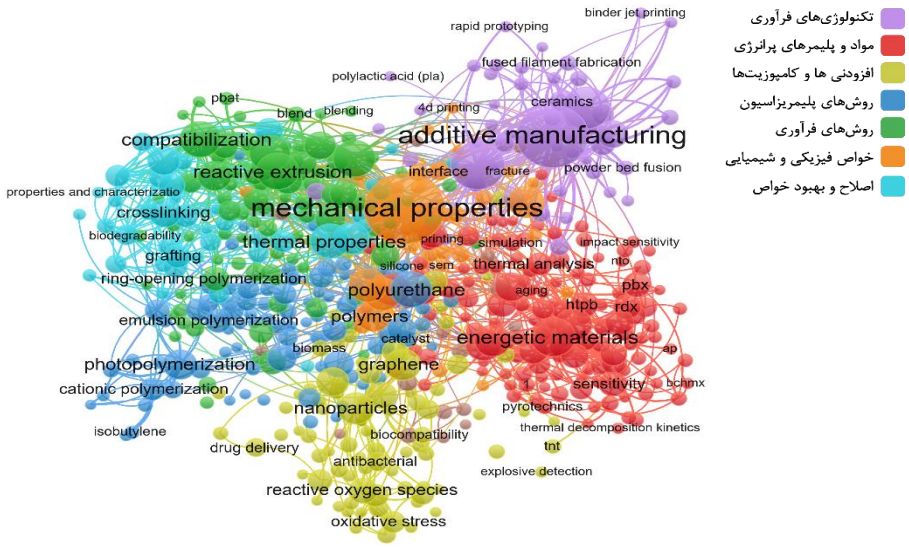
حضور کلیدواژه‌های "نانولوله‌های کربنی"، "نانوکامپوزیت‌ها"، "گرافن"، "نانوذرات" در کنار کلیدواژه‌هایی چون "رئولوژی"، "مورفولوژی"، "سازگاری"، "خواص حرارتی" و "پایداری حرارتی" در ۲۰ کلیدواژه برتر همگی گواهی بر این حقیقت است که عمده تلاش‌های تحقیقاتی بر روی بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی و عملکرد پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی با استفاده از افزودنی‌ها در فرمولاسیون این دسته از مواد بوده است.

جدول۲. بیست کلیدواژه پرتکرار حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی و معادل فارسی آن‌ها

معادل فارسی	معادل لاتین
خواص مکانیکی	Mechanical Properties
تولید افزایشی	Additive Manufacturing
پرینت سه بعدی	3D Printing
جت بایندر	Binder Jetting
مواد پرانرژی	Energetic Materials
اکستروژن واکنشی	Reactive Extrusion
رئولوژی (روانه شناسی)	Rheology
مورفولوژی (ریخت شناسی)	Morphology
پلی‌یورتان	Polyurethane
سازگاری	Compatibilization
خواص گرمایی	Thermal Properties
نانولوله‌های کربنی	Carbon Nanotubes
نانوکامپوزیت‌ها	Nanocomposites
تجزیه گرمایی	Thermal Decompostion
گرافن	Graphene
نانوذرات	Nanoparticles
مقاومت گرمایی	Thermal Stability
میکروساختار	Microstructure
کامپوزیت‌ها	Composites
سینتیک	Kinetics

نقشه علمی و شبکه ارتباطی کلیدواژه‌های مقالات مرتبط با حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۲۴ در شکل ۳ آورده شده است (تهیه شده در نرم افزار VOS Viewer). شبکه ارتباطی کلیدواژه‌ها از هفت خوشه اصلی (هفت رنگ) تشکیل شده است که هر خوشه نشانگر یکی از موضوعات اصلی حوزه تحقیقاتی پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی می‌باشد. بر اساس شکل مهم‌ترین و سنگین ترین المان در این شبکه کلیدواژه "خواص مکانیکی" می‌باشد، که با توجه به مرکزیت آن می‌توان گفت که هسته اصلی تحقیقات این حوزه مرتبط با بهبود خواص مکانیکی این پلیمرها و در کل فرمولاسیون‌های پرانرژی است. المان مهم

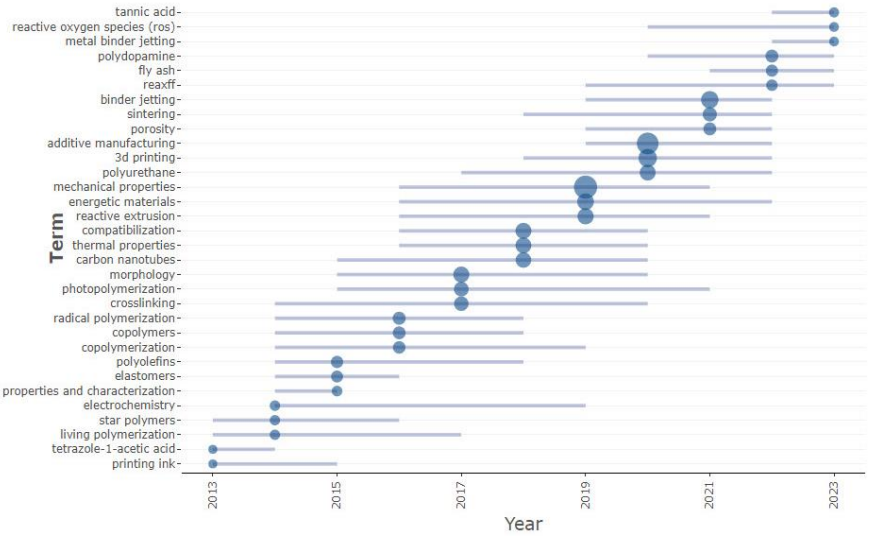
بعدی که با رنگ بنفش مشخص است به کلیدواژه "تولید افزایشی" و تحقیقات حوزه تکنولوژی پرینت سه بعدی مرتبط است. این تکنولوژی و تحقیقات حوزه تولید افزایشی در سال‌های اخیر بین محققین رشته‌های مختلف محبوبیت بسیار فراوانی پیدا کرده است. کلیدواژه‌های "مواد پرانرژی" و "اکستروژن واکنشی" نیز در خوشه‌های قرمز و سبز جزء المان‌های اصلی و هسته خوشه خود هستند. در این نمودار ارتباط تنگاتنگ بین خوشه‌ها و موضوعات کلی تحقیقاتی کاملا مشهود است که تاکیدی بر اهمیت همکاری محققین از حوزه‌های تخصصی مختلف می‌باشد.



شکل۳. نقشه علمی و شبکه ارتباطی کلیدواژه‌های مقالات مرتبط با حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۲۴ (تهیه شده در نرم افزار VOS Viewer)

روند موضوعات، کلیدواژه‌های نوظهور و درحال رشد

برای بررسی موضوعات و کلیدواژه‌های در حال رشد و نوظهور ابتدا به بررسی نمودار روند تغییر موضوعات برتر در حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی در ده سال اخیر پرداختیم (شکل ۴. نمودار تهیه شده در نرم افزار Bibliometrix). در این نمودار در هر سال ۳ موضوع فراگیر و رشد یافته معرفی شده است. اندازه دایره مربوط به هر موضوع نشانگر میزان تکرار این موضوع در مقالات منتشره در سال مد نظر می‌باشد. همچنین خطوط اطراف دایره‌های هر موضوع نیز نشان‌دهنده بازه زمانی فراگیر بودن و رشد آن موضوع می‌باشد.



شکل۴. نمودار روند تغییر موضوعات برتر و فراگیر در حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۲۴ (تهیه شده در نرم افزار Bibliometrix)

به عنوان مثال "تانیک اسید[۱]"، از سال ۲۰۲۲ در بین موضوعات فراگیر و در حال رشد قرار گرفته و در سال ۲۰۲۳ به یکی از سه موضوع فراگیر برتر سال در مقالات حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی تبدیل شد. در حالی که موضوع "جت بایندر" در بین سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۲۲ از موضوعات فراگیر مقالات این حوزه بوده اما از سال ۲۰۲۲ به بعد جای خود را به "جت بایندر فلزی[۲]" داده است و این موضوع در سال ۲۰۲۳ به یکی از ۳ موضوع فراگیر برتر مقالات حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی تبدیل شده است. "گونه‌های اکسیژن واکنش پذیر[۳]"، "پلی دوپامین[۴]"، "خاکستر بادی[۵]"، "مدل دینامیک مولکولی reaxff"، "تف‌جوشی[۶]"، "پروزیته (تخلخل)[۷]"، "تولید افزایشی"، "پرینت سه بعدی" و "مواد پرانرژی" از دیگر موضوعات فراگیر و در حال رشد مهم این حوزه در ۳ سال اخیرند.

1 Tannic Acid
2 Metal Jet Binder
3 Reactive Oxygen Species (ROS)
4 Polydopamine
5 Fly Ash
6 Sintering
7 Porosity

برای بررسی و آنالیز بیشتر موضوعات و کلیدواژه‌های درحال رشد، نوظهور و مهم حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی به بررسی نمودار استراتژیک[1] در بازه زمانی ۲۰۲۱-۲۰۲۴ پرداختیم (شکل ۵. تهیه شده از نرم افزار Bibliometrix). همانگونه که در شکل مشخص است این نقشه دارای محورهای درجه ارتباط[2] یا مرکزیت کالون[3] (محور افقی) و درجه توسعه[4] یا چگالی کالون[5](محور عمودی) است. می‌توان مرکزیت را به عنوان معیاری از اهمیت یک موضوع در توسعه کل زمینه تحقیقاتی مد نظر دانست. همچنین چگالی را می‌توان به عنوان معیار توسعه موضوعی زمینه تحقیقاتی در نظر گرفت (Aria & Cuccurullo, 2017; Cobo et al., 2011). همانگونه که مشخص است این نقشه از چهار ربع تشکیل شده است که دارای نام‌های موضوعات موتور[6] (نیرو محرکه، هسته) (بالا سمت راست)، موضوعات پایه[7] (زمینه‌ای) (پایین سمت راست)، موضوعات ویژه[8] (بسیار تخصصی، حاشیه‌ای) (بالا سمت چپ) و موضوعات نوظهور[9] (توسعه نیافته) (پایین سمت چپ) می‌باشند؛ بنابراین موضوعات قرار گرفته در ربع بالا سمت راست، با توجه به اینکه دارای مرکزیت قوی و تراکم بالا هستند، هم به خوبی توسعه یافته‌اند و هم برای ساختن یک زمینه تحقیقاتی مهم هستند. همانگونه که مشخص است سه خوشه یا حوزه تحقیقاتی مختلف در این ربع قرار دارند. موضوعات و کلیدواژه‌هایی همچون "خواص مکانیکی"، "پلی یورتان"، "رئولوژی"، "دینامیک مولکولی"، "بایندر"، "گرافن"، "کامپوزیت"، "مواد پرانرژی"، "سوختن"، "تجزیه حرارتی"، "مقاومت حرارتی"،"hmx"، "اکستروژن واکنشی"، "پلی لاکتیک اسید"، "تطبیق پذیری"، "نانوکامپوزیت‌ها"، "بازیافت[10] "، "مخلوط پلیمری"، "مورفولوژی" و

---

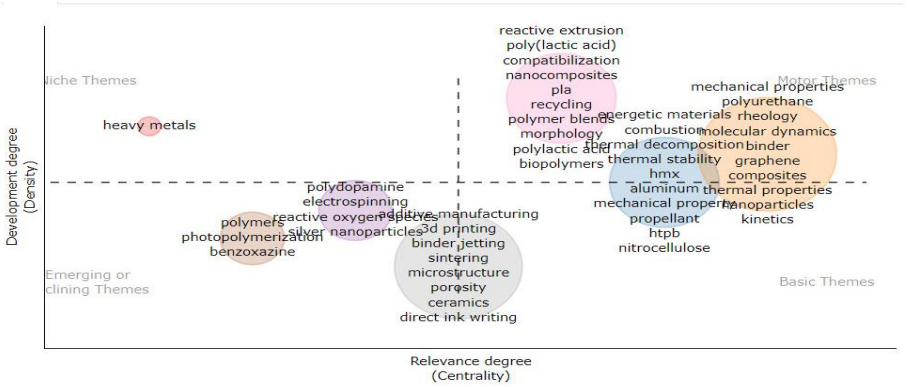
۱ نمودار استراتژیک، مضامین اصلی شناسایی‌شده مورد مطالعه توسط حوزه FST در دوره مورد مطالعه را نشان می‌دهد و آنها را بر اساس چگالی کالون و معیارهای مرکزیت کالون در چهار دسته طبقه‌بندی می‌کند .هر مضمون در نمودار استراتژیک با یک کره و یک برچسب مرتبط است .برچسب‌ها با انتخاب مرکزی‌ترین گره شبکه‌های موضوعی مرتبط با آن انتخاب شدند، که در آن هر گره با یک کلمه کلیدی مطابقت دارد .حجم کره‌ها نشان دهنده تعداد اسناد مرتبط با هر مضمون (یا کلمه کلیدی در شبکه‌های موضوعی) است .این اطلاعات همچنین با برچسب‌ها مرتبط است .در نهایت، اندازه خطوط در شبکه‌های موضوعی نشان دهنده درجه ارتباط (شاخص هم‌ارزی) بین دو گره است.

2 Relevance Degree
3 Callon’s centrality
4 Development Degree
5 Callon’s density
6 Motor Themes
7 Basic Themes
8 Niche Themes
9 Emerging or Clining Themes
10 Recyceling

"زیســـت پلیمر[1] " در این ربع قرار دارند. این کلیدواژه‌ها به نوعی مهم‌ترین کلیدواژه‌های به کار رفته در مقالات سه سال اخیر هستند و باید توجه ویژه‌ای به آن‌ها کرد.

موضوعات قرار گرفته در ربع پایین سمت راست(مرکزیت بالا، چگالی پایین) برای یک زمینه تحقیقاتی مهم هستند. بنابراین، کلیدواژه‌های این ربع مضامین کلی و پایه‌ای هستند که هنوز نیاز به توجه بیشتر برای توسعه دادن دارند (Cobo et al., 2011). سه خوشه یا حوزه تحقیقاتی مختلف در این ربع قرار دارند. کلیدواژه‌های "خواص حرارتی"، "نانوذرات"، "ســینتیک"، "آلومینیوم"، "پیشرانه"، "htpb" و "نیتروسلولوز" در این ربع قرار دارند. موضوعات قرار گرفته در ربع پایین سمت چپ خیلی کم توسعه یافته و در حاشیه تحقیقات هستند. مضامین این ربع دارای چگالی کم و مرکزیت پایینی هستند که عمدتاً نمایانگر مضامین نوظهور و رو به رشد هستند (Callon et al., 1991). سه خوشه یا حوزه تحقیقاتی مختلف در این ربع قرار دارند. کلیدواژه‌های "پلی دوپامین"، "الکتروریسی[2] "، "گونه‌های اکسیژن واکنش پذیر"، "نانوذرات نقره"، "فوتوپلیمریزاسیون[3]" و "بنزوکسازین[4]" در بخش کلیدواژه‌های نوظهور قرار دارند. این موضوعات نیاز به توجه ویژه‌ای دارند، زیرا امکان دارد در سال‌های آینده به موضوعات اصلی تحقیقات پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی تبدیل شوند (Cobo et al., 2011; Porter & Cunningham, 2004). در ربع آخر که مرتبط به موضوعات حاشیه‌ای است هم تنها نام "فلزات سنگین[5]" به چشم می‌خورد (Callon et al., 1991). نکته قابل توجه دیگر قرار گرفتن خوشه خاکستری در ما بین ربع‌های پایه و نوظهور است . که نشانگر اهمیت بسیار زیاد این موضوعات در صورت توسعه یافتن، در سال‌های آینده می‌باشد (Cobo et al., 2011). کلیدواژه‌های این خوشه "تولید افزایشی"، "پرینت سه بعدی"، "جت بایندر"، "تف جوشی"، "میکروساختار"، "پروزیته (تخلخل)"، "سرامیک‌ها" و "روش جوهر مستقیم[6]" می‌باشند که همگی از مضامین مهم تولید افزایشی و تکنولوژی پرینت سه‌بعدی هستند (Tan et al., 2024).

1 Biopolymers
2 Electrospinning
3 Photopolymerization
4 Benzoxazine
5 Heavy Metals
6 Direct Ink Writing



شکل۵. نمودار استراتژیک موضوعات و کلیدواژه‌های درحال رشد، نوظهور و مهم حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی در بازه زمانی ۲۰۲۱-۲۰۲۳ (تهیه شده از نرم افزار Bibliometrix)

کشورهای پیشرو در حوزه پلیمرهای پرانرژی

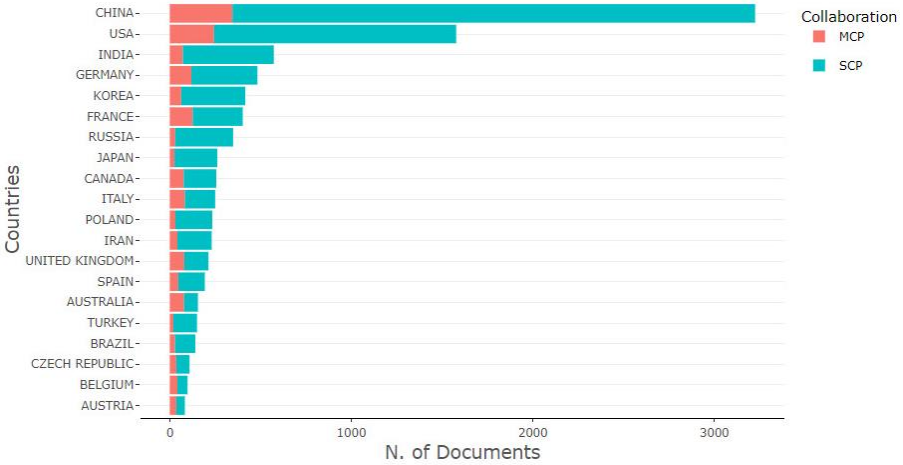
شناسایی کشورهای پیشرو در هر زمینه علمی و بررسی شبکه همکاریشان به شناخت نحوه پیش‌برد عمده تحقیقات و استراتژی‌های کشورهای پیشرفته کمک شایانی می‌کند. فهرست ۲۰ کشور برتر و پیشرو در انتشار مقالات حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی و نحوه همکاری آن‌ها در ۱۰ سال اخیر در شکل ۶ آورده شده است (تهیه شده در نرم افزار Bibliometrix). در این نمودار رنگ قرمز نشانگر تعداد مقالات بین المللی و در همکاری با کشورهای دیگر و رنگ آبی نشانگر تعداد مقالات منتشره بدون همکاری با سایر کشورها است.

بر اساس نتایج، کشور چین با ۳۲۲۵ مقاله در رتبه اول کشورهای حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی قرار دارد که از این تعداد ۳۴۵ مقاله در همکاری با سایر کشورها می‌باشد (حدود ۱۰.۷٪ از مقالات منتشره در این کشور). ایالات متحده آمریکا با ۱۵۷۸ مقاله در رتبه دوم قرار دارد که حدود ۱۵.۵٪ (۲۴۴ مقاله) از این مقالات حاصل همکاری بین المللی بوده و باقی تحقیقات انجام شده در این کشور به صورت داخلی انجام شده است.

نکته جالب توجه اختلاف دوبرابری تعداد مقالات منتشره چین و آمریکاست که نشان‌گر اهمیت بسیار زیاد حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی برای کشور چین در سال‌های اخیر می‌باشد. در رتبه‌های بعدی نام کشورهای هند، آلمان، کره جنوبی، فرانسه، روسیه، ژاپن، کانادا و ایتالیا به

عنوان ده کشور پیشرو در این حوزه دیده می‌شود. نام کشور ایران هم با ۲۳۱ مقاله منتشر و همکاری بین المللی ۱۸.۲٪ (۴۲ مقاله) در رتبه دوازدهم لیست کشورهای پیشرو دیده می‌شود.

در این لیست محققین کشورهای استرالیا و اتریش بیشترین میزان همکاری بین المللی را با سایر کشورها داشته اند (استرالیا ۵۱٪ و اتریش ۴۳.۴٪) و کمترین میزان همکاری بین المللی مرتبط به محققان کشورهای روسیه و ژاپن می‌باشد (روسیه ۸.۶٪ و ژاپن ۹.۹٪). با توجه به حساسیت موضوع پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی بخصوص در صنایع دفاعی و نظامی، تمایل کم محققان و سیاستگذاران کشورهای پیشرفته (چین، آمریکا، هند، روسیه، ژاپن، کره) برای انجام تحقیقات مشارکتی با سایر کشورها نسبت به سایر حوزه‌های تحقیقاتی و علمی امری طبیعی و قابل درک است.



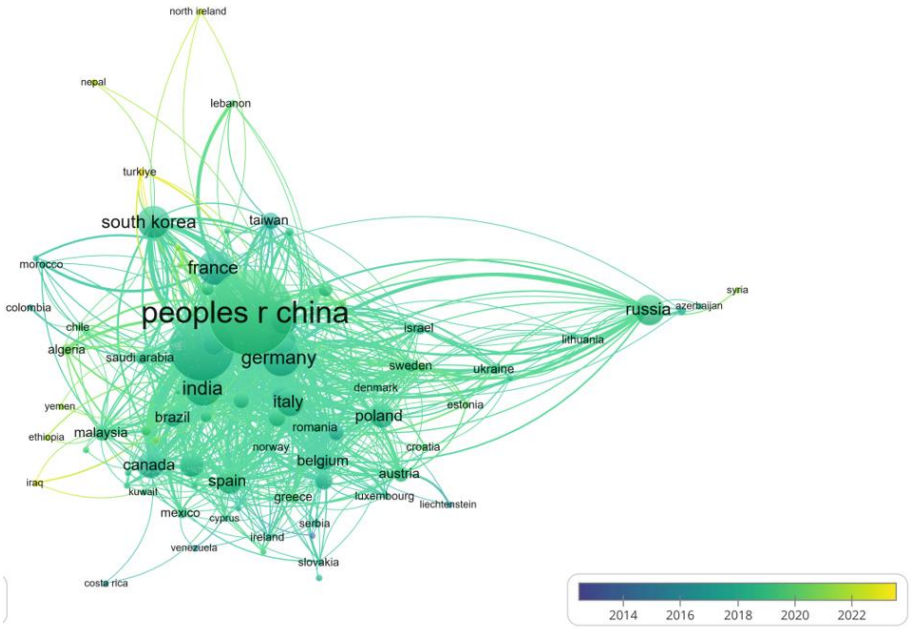
شکل۶. فهرست ۲۰ کشور برتر و پیشرو در انتشار مقالات حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی در ۱۰ سال اخیر

به منظور رصد دقیق‌تر کشورهای پیشرو در حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی نقشه همکاری و ارتباطی کشورها در ده سال اخیر نیز مورد بررسی قرار گرفت. روند سالیانه و نقشه ارتباطی کشورها در چاپ اسناد مختلف در حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۲۴ در شکل ۷ آورده شده است. بر اساس این شکل نتایج مربوط با وزن المان‌ها کاملا منطبق با فهرست کشورهای پیشرو می‌باشد که در آن کشور چین و آمریکا سنگین وزن

ترین المان‌های شبکه همکاری را دارند و این دو کشور مرکزیت و هسته تحقیقات و همکاری‌ها در حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی هستند.

بر اساس رنگ مربوط به المان‌های این دو کشور، عمده مقالات کشور چین در حدود سال ۲۰۲۰ منتشر شده‌اند در صورتی که این رنگ برای کشور آمریکا در حدود ۲۰۱۸ می‌باشد که نشانگر پیشرو تر بودن کشور چین در سال‌های اخیر نیز می‌باشد. همچنین شبکه همکاری و ارتباطی بین سایر کشورها نیز کاملا مشهود است. از نکات قابل توجه، تشکیل یک خوشه و شبکه ارتباطی جداگانه با مرکزیت کشور روسیه در این نقشه ارتباطی است که لهستان، لیتوانی، آذربایجان، سوریه، اسرائیل، سوئد، استونی و اوکراین از سایر عناصر مربوط به این خوشه هستند.

همچنین بر اساس رنگ المان‌های نقشه کشورهای عراق، ترکیه، ایرلند شمالی و نپال از جمله کشورهای نوظهور تحقیقات حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی هستند.



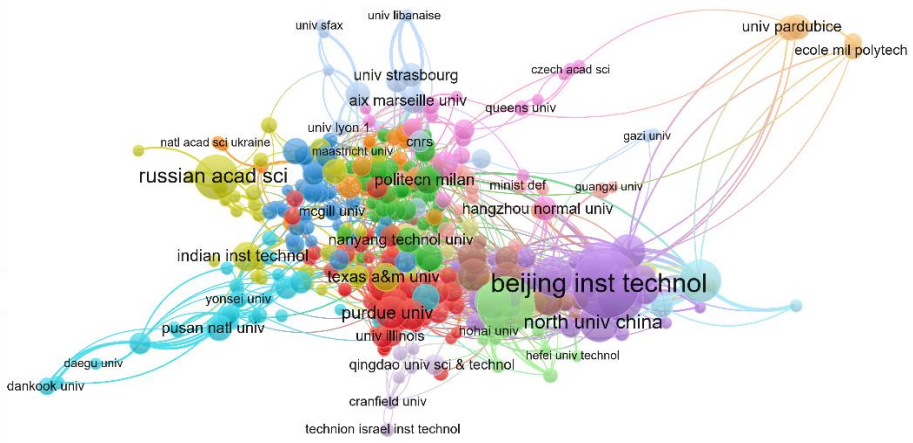
شکل۷. روند سالیانه و نقشه ارتباطی کشورها در چاپ اسناد مختلف در حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۲۴

سازمان‌های پیشرو در حوزه پلیمرهای پرانرژی

شناخت مهم‌ترین سازمان‌ها، موسسات و مراکز تحقیقاتی و علمی و نحوه ارتباط آن‌ها در هر حوزه علمی منجر به دستیابی اطلاعات فراوانی از نحوه کارکرد و سیاست‌های کشورهای پیشرفته خواهد شد. این حقیقت می‌تواند الگوی استراتژیک و پیشرفتی بسیار مناسبی را پیش روی ما بگذارد. به منظور شناسایی مهم‌ترین سازمان‌ها، موسسات و مراکز تحقیقاتی حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی نقشه ارتباطی و شبکه همکاری سازمان‌ها و مؤسسات در چاپ اسناد مختلف در این حوزه در ۱۰ سال اخیر مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۸).

همانگونه که در این شکل مشخص است، این شبکه ارتباطی از خوشه‌های مختلفی تشکیل شده است (با رنگ‌های مختلف). موسسه تکنولوژی پکن[1] (بنفش رنگ)، دپارتمان انرژی آمریکا[2] (سبز کم رنگ) و آکادمی علوم روسیه[3] (زرد رنگ) مهم ترین و سنگین وزن ترین المان‌های این نقشه ارتباطی هستند و هر کدام خوشه مربوط به خودشان را تشکیل داده اند. مرکز تحقیقات CNRS[4] به دلیل همکاری که تنها با موسسات و دانشگاه‌های کشور فرانسه داشته است هسته مرتبط با خوشه کشور خود است و وزن نسبتا کم این موسسه نشان‌دهنده همکاری بین المللی کم آن می‌باشد. در این نقشه ارتباطی نام‌ها و خوشه‌های مختلفی قابل مشاهده‌اند که در این میان اسامی چون موسسه تکنولوژی اسرائیل (تکنیون)[5]، دانشگاه پلی تکنیک میلان ایتالیا[6]، دانشگاه ملی پوسان کره[7] و دانشگاه پاردوبیس جمهوری چک[8] به عنوان المان مرکزی هر خوشه قابل توجه هستند.

1 Beijing Institute of Technology
2 United States Department of Energy
3 Russian Academy of Sciences
4 Centre national de la recherche scientifique
5 Technion Israel Institute of Technology
6 Politecnico di Milano
7 Pusan National University
8 University of Pardubice



شکل۸. شبکه همکاری و نقشه ارتباطی سازمان‌ها و موسسات در چاپ اسناد مختلف در حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی از سال ۲۰۱۴-۲۰۲۴

افراد فعال و برتر در حوزه پلیمرهای پرانرژی

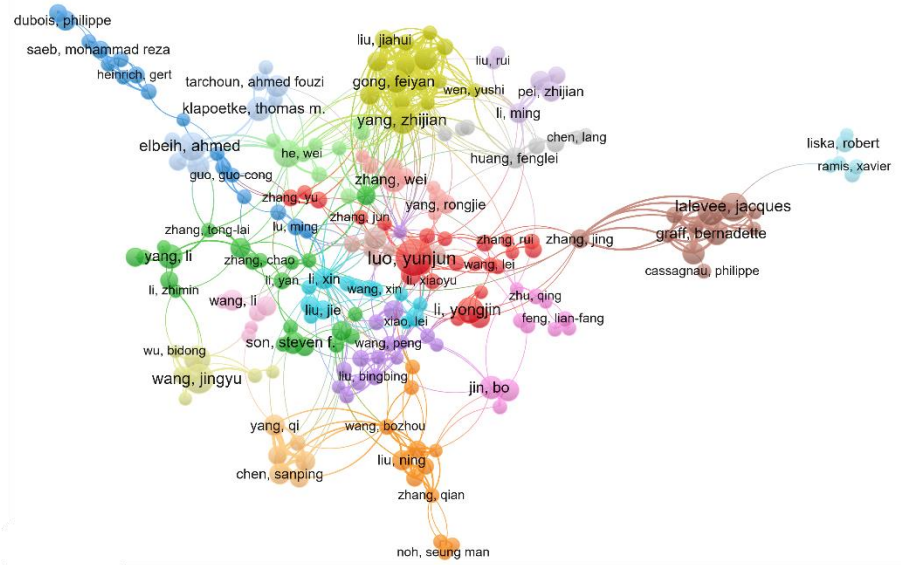
مهم ترین عناصر حوزه تحقیقاتی دانشمندان و نخبگان برتر آن حوزه می‌باشند. بدون حضور دانشمندان و محققان امکان پیشرفت علم و فناوری در هر حوزه علمی امکان پذیر نیست. در نتیجه شناخت برترین دانشمندان هر حوزه، دنبال کردن مسیر تحقیقاتی آن‌ها و بررسی نحوه تعامل آن‌ها با دانشمندان دیگر از مهم ترین اصول شناخت کامل آن حوزه علمی می‌باشد. برای این منظور نقشه ارتباطی و شبکه همکاری میان نویسندگان برتر حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی در ۱۰ سال اخیر مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۹).

حضور خوشه‌های گسترده همکاری و شبکه‌های متصل به هم در این نقشه نشانگر اهمیت بسیار زیاد همکاری جهت پیشبرد اهداف در این حوزه علمی است. پروفسور لو یانجن[1] (موسسه تکنولوژی پکن) در مرکز و صاحب سنگین ترین المان این نقشه است و لی یونگجین[2] (دانشگاه شمال چین) از دیگر عناصر و همکاران وی می‌باشد. جینگ یو وانگ[3] در رتبه دوم مهم ترین افراد بوده و در سمت

1 Yunjun Luo
2 Li Yongjin
3 Jingyu Wang

چپ نقشه خوشه (سبز کم رنگ) قرار دارد. همچنین نام پروفسور ژاک لالویه[1] (CNRS فرانسه) و احمد البیح[2] (دانشکده فنی نظامی مصر[3]) هم در این نقشه به عنوان عناصر اصلی دیده می‌شود.

جینگ ژانگ (رنگ قهوه‌ای) از موسسه تکنولوژی پکن از مهم ترین عناصر این نقشه است که مسیر ارتباطی بین محققان CNRS فرانسه و موسسه تکنولوژی پکن است. گستردگی همکاری در این حوزه بسیار بالا بوده که اهمیت همکاری در حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی را نشان می‌دهد.



شکل۹. نقشه ارتباطی و شبکه همکاری میان نویسندگان برتر حوزه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی در ۱۰ سال اخیر

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

از دهه ۱۹۷۰ تاکنون، روند رو به رشد انتشار مقالات و ثبت اختراعات نشان‌دهنده اهمیت روزافزون پژوهش‌های مرتبط با پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی است. این موضوع نشان می‌دهد که جامعه علمی و صنعتی توجه ویژه‌ای به این حوزه حساس و راهبردی دارند.

1 Jacques Lalevee
2 Ahmed Elbeih
3 Egypt Military Technical University

تحلیل نمودار استراتژیک در شکل ۵ و تحلیل بررسی های انجام شده بیانگر آن است که در ابتدا فناوری نوظهور سفارشی سازی (مانند پرینت سه‌بعدی و تولید افزایشی) در آینده برای رسیدن همزمان درجه توسعه (چگالی کالون) و ارتباط (مرکزیت کالون) بالا یعنی قرار گرفتن در ربع سمت راست بالای نمودار استراتژیک می بایست در هر خوشه موضوعی ضمن تقویت تحقیقات شبکه های داخل خوشه موضوعی، درجه ارتباطی بین تحقیقات سایر خوشه های موضوعی را افزایش دهد.

پیشنهاد می شود؛ برای توسعه با مفهوم نوآوری پایدار[1] (Silva, G., & Di Serio, L. C. 2016) این فناوری نوظهور در آینده که مستلزم بهبود خواص مکانیکی و عملکردی پیشرانه ها می باشد؛ تحقیقات این فناوری با علوم و فناوری های مرتبط از جمله بهبود فرایندها و واکنش های شیمیایی در علوم و فناوری های پلیمر همگرا گردد. این تمرکز و همگرایی فزاینده موجب خواهد شد؛ فرایندهای شیمیایی توسط واکنشگرها، مواد اولیه، افزودنی و واکنش های شیمیایی نوظهور توسعه یابد. در کانون توجه قرار گرفتن استفاده از پلیمرهای موجود در بستر فناوری‌های نوظهور همچون چاپ سه‌بعدی، با طراحی فرمولاسیون های جدید با استفاده از واکنش های نوظهور چون شیمی کلیک از نشانه های شروع تمرکز و همگرایی اینگونه تحقیقات در دنیا می باشد. همچنین دستیابی به فرایندهای شیمیایی که رسیدن به خواص مکانیکی و عملکردی مطلوب مواد پرانرژی در شرایط محیطی پیچیده، مثل افزایش مقررات بین المللی مربوط به حمل و نقل نظامی(ITAR[2]) که دسترسی به برخی مواد مورد استفاده در این سیستم ها را در آینده محدود خواهد کرد (Dossi, L., Smith, J., 2024). لزوم توسعه پایدار فناوری نوظهور سفارشی سازی را بیش از پیش آشکار می کند. این یافته ها به‌طور مستقیم به مسئله اصلی پژوهش پاسخ می‌دهد و بیانگر تغییر پارادایم۳ از فناوری های بدیع یا نوظهور حاصل از پژوهش های بنیادی شیمی به سوی کاربردی سازی برای توسعه پایدار فناوری نوظهور سفارشی‌سازی در شرایط پیچیده آینده است. علاوه بر این موارد، ظهور پژوهش های بنیادی نوظهوری در موضوعات پلی‌دوپامین، گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر و فوتوپلیمریزاسیون نمایانگر شکل‌گیری زمینه‌های جدید و آینده‌دار در این حوزه است و ظرفیت بالایی برای تأثیرگذاری در مسیر تحقیقات آینده دارند. به بیان دیگر،

1 Sustainable innovation
2 increased prevalence of international traffic in arms regulations
3 Paradigm

پژوهش های بنیادی انجام شده موجب جهت دهی، شکل گیری و پدیدار شدن دانش های جدید برای پایدارسازی فناوری های جدیدی چون ساخت سفارشی در آینده خواهد بود.

فناوری‌های نوظهور نه‌تنها افق‌های تازه‌ای برای کاربرد پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی گشوده‌اند، بلکه موجب شکل‌گیری مسیرهای تحقیقاتی میان‌رشته‌ای شده‌اند که بر تلفیق فناوری‌های هوش مصنوعی، ساخت افزایشی، نانوفناوری، فوتوشیمی و مهندسی مواد استوار است. بر این اساس، می‌توان پیشنهاد کرد که در آینده‌ای نزدیک امکان تولید پیشرانه‌ها با فناوری نوظهور ساخت با ویژگی‌های دقیق و قابل‌کنترل از طریق چاپ سه‌بعدی فراهم گردد.

در این پژوهش، با بهره‌گیری از تحلیل شبکه‌های هم‌نویسندگی، تعاملات علمی میان کشورها، سازمان‌ها و پژوهشگران برجسته شناسایی و تبیین شده است. این یافته‌ها اطلاعات راهبردی مهمی درباره ساختار علم در این حوزه ارائه می‌دهند و می‌توانند مبنای سیاست‌گذاری علمی آینده قرار گیرند. از نظر جغرافیای علمی، کشور چین با فاصله قابل توجهی در صدر تولید علم پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی قرار دارد و پس از آن، ایالات متحده، هند، آلمان و کره جنوبی به‌عنوان فعال‌ترین کشورها مطرح هستند. با وجود این، به دلیل حساسیت موضوع، همکاری‌های بین‌المللی در این حوزه نسبتا محدود است. همچنین، بررسی شبکه سازمان‌های پیشرو نشان می‌دهد که مؤسساتی مانند مؤسسه تکنولوژی پکن، وزارت انرژی آمریکا و آکادمی علوم روسیه نقش کلیدی در هدایت تحقیقات ایفا می‌کنند و ساختارهای همکاری سازمانی متنوعی در سطح جهانی شکل گرفته است. بررسی تعاملات میان پژوهشگران برجسته نیز تأکید بر اهمیت همکاری‌های بین‌فردی و میان‌سازمانی دارد که حضور پررنگ پژوهشگران چینی، اروپایی و خاورمیانه‌ای در این میان دیده می‌شود.

نتایج این پژوهش لزوم توجه تصمیم سازان و سیاست گذاران مواد پرانرژی روی علوم و فناوری های همگرای مورد نیاز فناوری نوظهور ساخت افزایش که خواهد توانست موجب توسعه با مفهوم پایدار در نوآوری های آینده این خوشه موضوعی شود را بوضوح نشان می دهد. این سیاستگذاری مستلزم سرمایه‌گذاری‌های هدفمند و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت برای تقویت زیرساخت‌های تحقیقاتی و گسترش ارتباطات علمی در خوشه های موضوعی سفارشی سازی بویژه ساخت افزایش و تقویت ارتباط با خوشه های موضوعی مرتبط که موجب همگرایی علوم در

این زمینه میشود مورد توجه قرار گیرد. پژوهش های بنیادی برای دستیابی به علوم بدیع و نوظهور در خوشه پلیمرهای مورد استفاده در مواد پرانرژی مثل موضوعات نوظهوری نظیر پلی‌دوپامین، الکتروریسی و فوتوپلیمریزاسیون نیز می‌تواند فرصت‌های جدیدی برای توسعه این حوزه ایجاد کند در کانون حمایت و به جای رویکردهای انفرادی، مسیر حرکت به سوی شبکه‌های علمی بین المللی مورد توجه قرار گیرد.

همچنین، تمرکز پژوهش‌های آینده می‌تواند بر بهره‌گیری از فناوری‌های نوین مانند ساخت افزایشی، نانوکامپوزیت‌ها و فرمولاسیون‌های پیشرفته باشد و همکاری‌های بین‌رشته‌ای میان حوزه‌های هوش مصنوعی، مواد، نانو و مهندسی مکانیک تقویت شود.

با توجه به توسعه برخی از فناوری های سفارشی سازی چون چاپ سه بعدی در کشور، نتایج این تحلیل نشان می‌دهد؛ حمایت از پژوهش های بنیادی علوم پلیمر به عنوان یکی از لایه های عمیق دانشی فناوری نوظهور سفارشی سازی، در کنار سایر علوم همگرای مورد نیاز می‌تواند در توسعه مواد پرانرژی پیشرفته نسل جدید مورد نیاز آینده با ویژگی‌های مهندسی‌شده و نوآوری پایدار کمک شایانی نماید.

از سوی دیگر، به دلیل محدودیت همکاری‌های بین‌المللی در کشورهای پیشرو، توسعه دیپلماسی علمی و تقویت همکاری‌های منطقه‌ای و بین‌المللی با کشورهای همسو، می‌تواند تبادل دانش را تسهیل و رشد علمی این حوزه را تسریع نماید. همچنین، مراکز پژوهشی داخلی می‌توانند با الگوبرداری از نهادهای کلیدی بین‌المللی ساختارهای خود را بهبود داده و تعاملات بین‌نهادی را گسترش دهند.

ایجاد قطب‌های پژوهشی ملی و تمرکز بر همکاری با سازمان‌های فعال در کشورهای مشارکتی، به ارتقای جایگاه علمی کشور کمک خواهد کرد. در نهایت، حمایت از همکاری‌های بین‌المللی، فرصت‌های مطالعاتی و پروژه‌های مشترک با پژوهشگران برجسته، به‌ویژه تسهیل ارتباط با پژوهشگران ایرانی فعال در خارج از کشور، می‌تواند نقش مهمی در افزایش سطح علمی کشور ایفا کند.

فهرست منابع

Ardeshir, H., Hoseinzadeh, M., Limooei, M. B., & Hosseini, S. (2024). A scientometrics study and its practical implications for fused deposition modeling. Alexandria Engineering Journal, 99, 217–231. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.05.009

Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. Journal of Informetrics, 11(4), 959–975. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007

Ayzac, V., Dirany, M., Raynal, M., Isare, B., & Bouteiller, L. (2021). Energetics of competing chiral supramolecular polymers. Chemistry–A European Journal, 27(37), 9627–9633.

Badgujar, D. M., Talawar, M. B., Zarko, V. E., & Mahulikar, P. P. (2017). New directions in the area of modern energetic polymers: An overview. Combustion, Explosion, and Shock Waves, 53, 371–387.

Born, M., Plank, J., & Klapötke, T. M. (2022). Energetic polymers: a chance for lightweight reactive structure materials? Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 47(4), e202100368.

Callon, M., Courtial, J. P., & Laville, F. (1991). Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: The case of polymer chemsitry. Scientometrics, 22(1), 155–205. https://doi.org/10.1007/BF02019280

Castillo, M., Monroy, R., & Ahmad, R. (2024). Scientometric analysis and systematic review of smart manufacturing technologies applied to the 3D printing polymer material extrusion system. Journal of Intelligent Manufacturing, 35(1), 3–33. https://doi.org/10.1007/s10845-022-02049-1

Cheng, T. (2019). Review of novel energetic polymers and binders–high energy propellant ingredients for the new space race. Designed Monomers and Polymers, 22(1), 54–65.

Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2011). Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 62(7), 1382–1402. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/asi.21525

Dossi, L., Smith, J., (2024), Binders by Design: the development of novel energetic materials, Cranf. Univ., https://www.cranfield.ac.uk/case-studies/binders-by-design.

Gu, F., Li, Q., & Xiao, J. (2024). Analytical Techniques in Molecular Simulation and Its Application in Energetic Materials. Langmuir, 40(52), 27137–27164.

Lindsey, R. K., Huy Pham, C., Goldman, N., Bastea, S., & Fried, L. E. (2022). Machine-Learning a Solution for Reactive Atomistic Simulations of Energetic Materials. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 47(8), e202200001.

Liu, Z. (2021). Review and prospect of thermal analysis technology applied to study thermal properties of energetic materials. FirePhysChem, 1(3), 129–138. https://doi.org/10.1016/j.fpc.2021.05.002

Marginson, S. (2022). Global science and national comparisons: Beyond bibliometrics and scientometrics. Comparative Education, 58(2), 125–146.

Muravyev, N. V, Fershtat, L., & Zhang, Q. (2024). Synthesis, design and development of energetic materials: Quo Vadis? Chemical Engineering Journal, 150410.

Naqvi, Shehbaz Husain. (2014). Polymer Science Research in India during 1999–2012: A Scientometric Study Based on Science Citation Index-Expanded. Science, Technology and Society, 19(1), 95–108. https://doi.org/10.1177/0971721813514288

Ninkov, A., Frank, J. R., & Maggio, L. A. (2022). Bibliometrics: methods for studying academic publishing. Perspectives on Medical Education, 11(3), 173–176.

Oliveira, T. A. B. de, Silva, G. da, & Mattos, E. da C. (2024). Trends and prospects in the use of energetic materials: A comprehensive analysis of cyclotrimethylenetrinitramine, cyclotetramethylene-tetranitramine, and hexanitrohexaazaisowurtzitane. Journal of Aerospace Technology and Management, 16, e1326.

Paraskos, A. J. (2017). Energetic polymers: synthesis and applications. Energetic Materials: From Cradle to Grave, 91–134.

Porter, A. L., & Cunningham, S. W. (2004). Tech mining: Exploiting new technologies for competitive advantage. John Wiley & Sons.

Rashid, A. Bin, & Hoque, M. E. (2022). Polymer nanocomposites for defense applications. In Advanced Polymer Nanocomposites (pp. 373–414). Elsevier.

Ravi, S., & Palaniappan, M. (2023). Global Research Assessment of Synthetic Polymers Research: A Scientometric Study. SSRN Electron J.

Silva, G., & Di Serio, L. C. (2016). The sixth wave of innovation: Are we ready?. RAI Revista de Administração e Inovação, 13(2), 128-134.

Tan, B., Dou, J., Wen, Y., Duan, B., Mo, H., Wei, Z., Zhang, J., Pan, Y., Ding, X., & Liu, N. (2024). 3D printing for explosive and propellant applications. Additive Manufacturing Frontiers, 200151.

Tomaszewski, R. (2023). Visibility, impact, and applications of bibliometric software tools through citation analysis. Scientometrics, 128(7), 4007–4028. https://doi.org/10.1007/s11192-023-04725-2

Zheng, Y., Zhang, W., Baca Lopez, D. M., & Ahmad, R. (2021). Scientometric Analysis and Systematic Review of Multi-Material Additive Manufacturing of Polymers. In Polymers (Vol. 13, Issue 12). https://doi.org/10.3390/polym13121957

استادی, ر., عرب بافرانی, م. (۲۰۲۰). آینده پژوهی تهدیدات جهانی مؤثر بر انقلاب اسلامی. آینده پژوهی انقلاب اسلامی, ۱(۱), ۹-۴۸ .

پایگاه منابع علمی سراج، (۱۴۰۳)، Https://seraj.ihu.ac.ir

عطیفه, س.م., نصراله زاده, م., لالی, ا. (۲۰۲۴). شناسایی تحولات، چالش‌ها، فرصت‌ها و بررسی روندهای پیش رو در حوزه عوامل شیمیایی جنگی (مطالعه علم‌سنجی). آینده پژوهی انقلاب اسلامی, ۵(۲), ۱۹۱-۱۶۳.

مومیوند, ح. ا., حسنی آهنگر ,م. ر., طهماسب کاظمی, ب., صالح نژاد, س. ع., کاملی, ب. (۲۰۲۲). ترسیم و تدوین نقشه دانش حوزه تجاری‌سازی بر اساس تحلیل هم‌واژگانی مقالات نمایه شده در web of science. مدیریت دانش سازمانی, ۵(۲), ۷۷-۱۱۰.