



Analytical Application of the Science Network in Monitoring Science and Technology Trends in Iran

Behrooz Shahmoradi ♦

- **Article Type:** Research Paper
- **Vol.** 34 | **No.** 3 | **Serial** 95 | Oct. 2024
- **Received:** 2025.03.12
- **Revised:** 2025.06.09
- **Accepted:** 2025.09.11
- **Published Online:** 2025.10.19
- **Pages:** 23-42
- **P-ISSN:** 1027-2690
- **E-ISSN:** 2783-4514

Abstract

The transformation of science and technology policy in recent decades has heightened the need for advanced analytical tools capable of mapping national knowledge systems and forecasting developmental pathways. Traditional metrics-such as publication counts, citation scores, and global rankings-remain valuable but often overlook the structural, relational, and interdisciplinary dynamics that drive scientific progress. Addressing these limitations, network-based approaches have gained prominence in global science policy, enabling comprehensive representation of knowledge domains as interconnected structures and revealing both strengths and gaps in scientific production.

Within this framework, the science network, constructed using measures of revealed comparative advantage (RCA) in scientific output, has emerged as a strategic tool. By mapping proximities between scientific fields, it identifies knowledge clusters, adjacent domains, and potential growth corridors. This study presents the first national-level application of the RCA-based science network to Iran's science and technology system, examining its structure during 2018–2023 using bibliometric data from Scimago. The dual objective is to explore the actual and potential uses of science-network analysis for monitoring scientific development and to generate evidence-based policy recommendations that support optimal resource allocation.

Background and Rationale

Over the past two decades, Iran's scientific output has grown markedly, increasing its global share. Yet

Keywords

Science Map, Science Policy, Scientific Monitoring, Analysis of Scientific Output, Knowledge Structure Analysis.

♦ Assistant Professor of International Economics, National Research Institute for Science Policy (NRISP), Tehran, Iran (Corresponding Author) Shahmoradi@nrisp.ac.ir
ORCID: 0000-0002-5135-4162

Cite This Paper: Shahmoradi, B. (2024). Analytical Application of the Science Network in Monitoring Science and Technology Trends in Iran. *Rahyافت*, 34 (3), 23-42. (Persian).

DOI: 10.22034/RAHYAFT.2025.11950.1589



Publisher: National Research Institute for Science Policy (N.R.I.S.P)

this expansion remains uneven: medical sciences, basic sciences, and engineering dominate, while interdisciplinary domains, advanced technologies, and much of the humanities and social sciences are underrepresented. This imbalance limits the system's capacity to foster innovation, address complex societal problems, and maintain competitiveness. Comparable patterns are common among middle-income countries heavily invested in the hard sciences, whereas scientific leaders such as the United States, China, and India exhibit diversified systems with strong contributions from environmental sciences, policy studies, and cross-disciplinary research.

These disparities underscore the need for tools that monitor trends, expose domain-level strengths and weaknesses, and support diversification and capacity-building strategies. Science-network analysis detects hidden capabilities, maps gaps, and enables strategic expansion based on knowledge proximity-the principle of moving into adjacent domains where existing strengths increase the likelihood of sustainable growth. International evidence indicates that adjacency-driven diversification yields more durable gains than unrelated domain shifts.

Conceptual Framework

In science networks, domains are nodes connected by edges representing proximity as determined by RCA. High RCA signals relative specialization against a global baseline, indicating potential competitive advantage. Proximity metrics estimate the likelihood that competencies in one domain can support advances in another. This model draws on complexity theory, economic geography, and network science, embedding analytical insights within evidence-based science-policy practice.

The approach supports:

- ◆ Monitoring: systematic observation to detect gaps, emergent opportunities, and evolving trends;
- ◆ Policymaking: targeted intervention design, priority setting, and coordinated action among research actors.

Integrating both functions constitutes the study's central innovation in the Iranian context.

Methodology

The analysis draws on SCImago publication data for Iran and selected comparator countries for 2018–2023. RCA values were computed per domain; $RCA > 1$ denotes above-average specialization. Network maps visualize proximities, revealing central clusters (highly connected, high-output domains), peripheries (low RCA and connectivity), and adjacency frontiers (underdeveloped domains near core strengths).

RCA outputs were complemented with conventional bibliometrics (publication counts, citations, field-weighted citation impact) and network measures (degree centrality, betweenness centrality, clustering coefficient). Benchmarking against Turkey, Saudi Arabia, the United States, China, and India informed diversification strategies.

Findings

Iran's network forms dense clusters in medical sciences, engineering, and basic sciences, each with RCA values well above 1. However, environmental sciences, agriculture, interdisciplinary research areas, and multiple humanities/social-science fields display low RCA and limited connectivity. A high Herfindahl–Hirschman Index (≈ 0.177) confirms concentration in a small set of domains.

Some adjacency-based growth has emerged: peripheral domains-such as renewable-energy policy and certain cross-disciplinary technologies-are showing increased visibility. Yet overall diversity remains limited compared with global leaders and even regional peers such as Saudi Arabia, which has successfully targeted diversification into environmental science and policy through strategic funding and international collaboration. Trend analysis indicates gradual movement from concentrated specialization toward diversification, but progress remains incomplete. Several underdeveloped yet proximate domains represent optimal policy targets for coherent expansion, minimizing risks associated with unrelated diversification.

Policy Implications

For maximum impact, the science network should move beyond descriptive visualization to become a planning instrument embedded in national science policy. Key applications include:

1. Priority identification: targeting high-proximity domains with strong potential RCA gains;
2. Resource allocation: directing competitive funds toward high-impact growth areas;
3. Intervention design: crafting capacity-building initiatives for low-RCA, high-proximity domains;
4. Collaboration strategy: aligning international partnerships with adjacency frontiers;
5. Performance monitoring: using temporal network analysis to evaluate diversification outcomes and refine strategies.

For resource-constrained environments, adjacency-based diversification offers a rational path toward sustainable growth. It curtails overinvestment in saturated fields and avoids inefficiencies from diversifying into unrelated domains, enhancing both spending efficiency and system resilience.

Contributions and Novelty

This investigation delivers the first integrated RCA-based science-network analysis in Iran that addresses both monitoring and policymaking. Novel contributions include:

- ◆ Combining RCA with network metrics for actionable insights;
- ◆ Regional comparative analysis spotlighting successful diversification strategies;
- ◆ Designing a dual-function framework for real-time monitoring and policy relevance;
- ◆ Aligning national recommendations with leading practices in global science governance.

By positioning the science network as both diagnostic and prescriptive, the work bridges analytical capability with strategic decision-making.

Conclusion

Science-network analysis provides Iranian policymakers with a rigorous, evidence-based means of mapping capabilities, identifying adjacency-growth opportunities, and structuring interventions for balanced diversification. Implemented effectively, it strengthens peripheral domains, optimizes limited resources, and aligns Iran's trajectory with the global shift toward strategically diversified research capacity—a prerequisite for addressing complex challenges and enhancing competitiveness. By emphasizing both monitoring and policy design, this approach transforms the science network from a static descriptive device into a dynamic governance tool, supporting the evolution of a resilient, adaptive, and balanced national science system.



کاربست تحلیلی شبکه دانشی در روندیابی علم و فناوری در ایران

بهرز شاهمرادی

- نوع مقاله: پژوهشی
- دوره ۳۴ | شماره ۳ | پیاپی ۹۵ | مهر ۱۴۰۳
- تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۲
- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۱۹
- تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۰
- تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۴/۰۷/۲۷
- صفحات: ۴۲-۲۳
- شابای چاپی: ۹۰-۲۶۹۰-۱۰۲۷
- شابای الکترونیکی: ۴۵۱۴-۲۷۸۳

چکیده

در سال‌های اخیر، در سطح بین‌المللی، شبکه علم به عنوان یکی از ابزارهای نوین و راهبردی تحلیل ساختار دانشی نظام‌های علمی جایگاه مهمی در سیاست‌گذاری علم و فناوری یافته است. این ابزار با فراهم ساختن امکان تحلیل شبکه‌ای از ارتباطات و مجاورت‌های دانشی میان حوزه‌های مختلف علمی، ضمن نمایان ساختن ساختار درونی نظام علم هر کشور، به شناسایی شکاف‌ها و ظرفیت‌های توسعه‌ای کمک شایسته‌ای می‌کند. پژوهش حاضر برای نخستین بار در کشور، از چارچوب «شبکه علم» بر مبنای شاخص مزیت نسبی آشکارشده برای تحلیل ساختار تولیدات علمی ایران بهره گرفته است و با هدف بررسی کاربردهای بالفعل و بالقوه شبکه علم در رصد تحولات علمی کشور و تدوین سیاست‌های مبتنی بر شواهد، به تحلیل ساختار تولیدات علمی جمهوری اسلامی ایران در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۳ پرداخته است. برای دستیابی به این هدف، از شاخص مزیت نسبی آشکارشده همراه با رویکرد تحلیل شبکه‌ای و برداساس داده‌های معتبر پایگاه سایمگو استفاده شده و نتایج به‌دست آمده با کشورهای منتخب از جنبه مقایسه تطبیقی بررسی شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که ساختار علمی ایران عمدتاً به صورت ساختاریافته و هدفمند در حوزه‌های پزشکی، علوم پایه و مهندسی شکل گرفته است و هم‌زمان ضعف نسبی مشهودی در حوزه‌های علوم انسانی، میان‌رشته‌ای و محیط زیست به چشم می‌خورد. شبکه علم، مرزهای دانشی، شکاف‌های موجود و مسیرهای بالقوه توسعه علمی را تبیین کرده و بستری برای تصمیم‌سازی هدفمند در طراحی سیاست‌های پژوهشی، تخصیص بهینه منابع و جهت‌دهی به اولویت‌های آینده ایجاد می‌کند. نوآوری پژوهش حاضر در ارائه چارچوبی تحلیلی و کاربردی برای تلفیق کارویژه‌های رصد علمی با تصمیم‌سازی سیاستی بر پایه ساختار دانشی کشور است که می‌تواند نقش مهمی در ارتقای اثربخشی و کارایی نظام سیاست‌گذاری علم و فناوری ایران و تسهیل حرکت از رشد کمی صرف به توسعه متوازن و کیفی ایفا کند.

کلیدواژه‌ها

شبکه علم، سیاست‌گذاری علم، رصد علمی، تحلیل تولیدات علمی، ساختار دانشی کشور.

۱. استاد یار اقتصاد بین‌الملل، مؤسسه تحقیقات سیاست علمی کشور، تهران، ایران (پدیدآور رابط)

shahmoradi@nrisp.ac.ir

ORCID: 0000-0002-5135-4162

استناد به این مقاله: شاهمرادی، ب. (۱۴۰۳). کاربست تحلیلی شبکه دانشی در روندیابی علم و فناوری در ایران. *رهیافت*، ۳۴ (۳)، صص. ۴۲-۲۳.

DOI: 10.22034/RAHYAFT.2025.11950.1589

ناشر: مؤسسه تحقیقات سیاست علمی کشور
نویسندگان: © حق مؤلف



مقدمه

ارتباطات دانشی، به ترسیم شبکه‌ای از حوزه‌های علمی می‌پردازد و زمینه لازم برای تحلیل راهبردی نظام علمی کشور را فراهم می‌کند (Hidalgo, 2021). این ابزار با کمک به شناسایی خوشه‌های دانشی قوی و همچنین حوزه‌های کمرشده، به سیاست‌گذاران امکان می‌دهد که منابع محدود را به صورت بهینه تخصیص دهند و بر توسعه حوزه‌هایی تمرکز کنند که ظرفیت بالایی برای رشد دارند (Leydesdorff & Rafols, 2009).

در شرایط کنونی، جمهوری اسلامی ایران به‌رغم رشد کمی قابل توجه در تولیدات علمی طی دو دهه اخیر، با چالش‌های مهمی روبه‌رو است. تحلیل‌های علم‌سنجی اخیر نیز تأکید دارد که سهم ایران از تولیدات علمی جهانی طی دو دهه اخیر افزایش یافته، اما این رشد به صورت نامتوازن میان حوزه‌های مختلف توزیع شده است (Shahmoradi & Janavi, 2019). بخش عمده‌ای از تولیدات علمی کشور در حوزه‌های پزشکی، علوم پایه و مهندسی متمرکز شده، درحالی‌که علوم بین‌رشته‌ای، فناوری‌های پیشرفته، و برخی حوزه‌های علوم انسانی و اجتماعی با کمبود توجه مواجه‌اند (Mansourzadeh et al., 2019). در بلندمدت، این وضعیت توسعه علمی کشور را با چالش‌های ماندگاری مواجه می‌کند و مزیت رقابتی ایران را کاهش می‌دهد.

در چنین شرایطی، بهره‌گیری از شبکه علمی می‌تواند نقش مؤثری در رصد تحولات علمی، شناسایی شکاف‌های دانشی، و تعیین مسیرهای اولویت‌دار توسعه علمی ایفا کند. با تحلیل شبکه دانشی کشور، می‌توان حوزه‌هایی را که در مرزهای توسعه قرار دارند شناسایی کرد و سیاست‌هایی هدفمند برای تقویت آنها تدوین نمود (Alshamsi et al., 2018). همچنین، این رویکرد می‌تواند در طراحی برنامه‌های حمایتی پژوهشی، تخصیص بودجه‌های رقابتی، و جهت‌دهی به همکاری‌های بین‌المللی علمی مؤثر باشد.

نوآوری پژوهش حاضر در ترکیب کارکرد رصد علمی و تصمیم‌سازی سیاستی بر پایه تحلیل شبکه علم است. این پژوهش بر خلاف مطالعات پیشین که عمدتاً به توصیف وضعیت تولیدات علمی محدود شده‌اند، با ارائه چارچوبی مبتنی بر تحلیل شبکه دانشی، هم‌زمان به رصد ساختاریافته نظام علمی کشور و تدوین مسیرهای سیاست‌گذاری هدفمند می‌پردازد. همچنین این پژوهش با ارائه مدلی کاربردی برای بهره‌گیری از شبکه علم در فرایند سیاست‌گذاری، گامی در جهت پیوند دقیق‌تر میان داده‌های علمی و طراحی سیاست‌های ملی علم و فناوری برداشته است. این تمرکز دوگانه بر رصد و سیاست‌گذاری، وجه تمایز اصلی تحقیق حاضر نسبت به مطالعات مشابه داخلی و خارجی به شمار می‌آید. توجه به این نکته ضروری است که سیاست‌گذاری موفق در حوزه علم و فناوری مستلزم شواهد دقیق، تحلیل ساختاریافته و درک صحیحی از ظرفیت‌های

تحول در سیاست‌گذاری علم و فناوری در دهه‌های اخیر، به ابزارهای تحلیلی پیشرفته‌ای نیاز دارد تا تصویری دقیق از وضعیت دانشی کشورها و روند تحولات آن ارائه دهد (Hidalgo, 2023). در گذشته، شاخص‌هایی مانند تعداد مقالات، میزان استنادات و رتبه‌های بین‌المللی، اصلی‌ترین معیار سیاست‌گذاری علمی بودند. اما امروزه برای تحلیل وضعیت علم و فناوری، ابزارهای پیشرفته‌تر و شبکه‌ای مورد نیاز است (Glanzel & Schubert, 2004). یکی از ابزارهای اصلی که در پاسخ به این نیاز توسعه یافته، شبکه علم است. در این پژوهش، برای نخستین بار در سطح ملی، رویکرد شبکه علم در قالب شاخص مزیت نسبی آشکار شده، برای تحلیل ساختار علمی ایران به کار گرفته شده است. این رویکرد در مطالعات بین‌المللی پیش‌تر به کار رفته، اما در ایران تاکنون برای رصد علمی و سیاست‌گذاری کلان علمی به کار نرفته است، زیرا به‌جای ترسیم هم‌وابستگی‌های استنادی یا کلیدواژه‌ای، شبکه بر حسب مزیت‌های نسبی آشکار شده تولیدات علمی کشورها در حوزه‌های گوناگون ترسیم شده است. شبکه علم با شناسایی پیوندها و نزدیکی علمی بین حوزه‌های مختلف، امکان تحلیل ساختار نظام علمی کشور را فراهم می‌کند. این ابزار به شناسایی گره‌های دانشی اصلی و مسیرهای بالقوه توسعه کمک می‌کند (Hausmann et al., 2014; Shahmoradi & Chiniforoshan, 2017).

در سال‌های اخیر، شتاب تحولات علمی و پیچیدگی فضای پژوهشی، سیاست‌گذار را ناگزیر ساخته تا از ابزارهای پیشرفته برای تحلیل ساختار و پیش‌بینی مسیرهای توسعه نظام علمی بهره گیرد (Hidalgo, 2021). مدل‌های سنتی متکی به شمار تولیدات علمی یا استنادها، دیگر پاسخگوی نیازهای روزافزون نظام علم نبوده و بسیاری از کشورها (از جمله کشورهای پیشرو و سازمان‌های بین‌المللی مانند یونسکو و سازمان توسعه و همکاری اقتصادی) بر استفاده از روش‌های شبکه‌ای و تحلیل شبکه دانشی برای تصمیم‌سازی‌های کلان تأکید دارند (OECD, 2023; UNESCO, 2023). کاربرد ابزارهایی همانند شبکه علم، از سویی امکان شناسایی قابلیت‌های پنهان و شکاف‌های دانشی را فراهم می‌آورد و از سوی دیگر، زمینه‌ساز تخصیص هدفمند منابع و طراحی سیاست‌های مؤثر بر پایه شواهد به شمار می‌آید (Hausmann, et al., 2014). بر این مبنا، ضرورت تحقیق حاضر ناشی از نیاز روزافزون تصمیم‌سازان به رویکردهای داده‌محور و ساختاریافته در رصد و مدیریت توسعه علمی کشور است. شبکه علم بر خلاف روش‌های سنتی که علم را صرفاً بر اساس کمیت تولیدات علمی ارزیابی می‌کردند، با تمرکز بر مشابهت‌ها و

در یک شبکه دانشی نمایش داده می‌شوند و میزان نزدیکی آنها نشان‌دهنده مجاورت دانشی و فرصت‌های میان‌رشته‌ای است. این مدل‌سازی بر پایه نظریه‌های پیچیدگی و تحلیل شبکه بنا شده و امکان پیش‌بینی مسیرهای بالقوه توسعه دانشی را فراهم می‌آورد.

تحلیل‌های ساختاری از شبکه علم نشان می‌دهد که حوزه‌های دانشی تمایل دارند در خوشه‌های مجاور رشد کنند، به‌گونه‌ای که توسعه علمی پایدار غالباً از طریق تعمیق و گسترش حوزه‌های نزدیک دانشی حاصل می‌شود (Alshamsi et al., 2018; Balland & Rigby, 2017). این یافته‌ها بر اهمیت شناخت دقیق خوشه‌های دانشی، شناسایی ظرفیت‌های توسعه و برنامه‌ریزی استراتژیک بر مبنای ساختارهای واقعی علم تأکید دارند.

رصد علمی، به عنوان فرایند گردآوری، پایش و تحلیل مستمر داده‌های علمی، نقش مهمی در شناسایی تحولات دانشی و حمایت از سیاست‌گذاری علم و فناوری ایفا می‌کند (OECD, 2023). درصد علمی با تکیه بر ابزارهایی مانند شبکه علم، قادر است شکاف‌های دانشی، فرصت‌های جدید پژوهشی و روندهای نوظهور را شناسایی کند و به تصمیم‌گیران اطلاعاتی دقیق و به‌موقع ارائه دهد (Glänzel et al., 2020). بر اساس گزارش یونسکو کشورهایی که نظام‌های مؤثر رصد علم دارند، در تطبیق با تحولات جهانی و جهت‌دهی به توسعه علمی خود موفق‌تر عمل کرده‌اند (UNESCO, 2023).

در این میان، تحلیل شبکه‌های دانشی^۲ به عنوان یکی از روش‌های اصلی و مهم در رصد علمی شناخته می‌شود. شبکه‌های دانشی نمایانگر ساختار روابط میان پژوهشگران، مؤسسات یا حوزه‌های علمی‌اند و تحلیل آنها اطلاعات ارزشمندی درباره جریان دانش، همکاری‌های علمی و الگوهای تمرکز دانشی فراهم می‌کند (Patelli et al., 2022). کشورهایی با شبکه‌های دانشی متراکم و متنوع، انعطاف‌پذیری و قدرت رقابتی بیشتری در نظام علم جهانی دارند.

سیاست‌گذاری مبتنی بر شواهد علمی به عنوان رویکردی غالب در تدوین سیاست‌های علم و فناوری، بر استفاده از داده‌های واقعی، تحلیل‌های ساختاریافته و یافته‌های پژوهشی تأکید دارد (Nutley et al., 2020). در این چارچوب، شبکه‌های دانشی و تحلیل شبکه‌های علمی ابزارهای مهمی برای تصمیم‌سازی آگاهانه هستند. یافته‌های هیدالگو (Hidalgo, 2021) و کاسیا و همکاران (Coscia et al., 2020) نشان می‌دهد که سیاست‌گذاری موفق در علم و فناوری، مستلزم درک دقیق ساختارهای دانشی و جهت‌دهی به توسعه بر مبنای قابلیت‌های بالفعل است.

بررسی مطالعات اخیر (Alshamsi et al., 2018) نشان می‌دهد که توسعه دانشی پایدار عمدتاً از طریق حرکت در مسیر خوشه‌های

بالفعل و بالقوه علمی کشور است (Hidalgo, 2015). در نبود چنین تحلیل‌هایی سیاست‌گذاری علمی ممکن است به تخصیص ناهم‌هنگ منابع، تمرکز بیش از حد بر حوزه‌های اشباع‌شده، و نادیده گرفتن فرصت‌های دانشی نوظهور بینجامد.

بر این اساس، هدف اصلی این مقاله تحلیل کاربست شبکه علم در فرایندهای رصد و سیاست‌گذاری نظام علمی کشور است. این تحلیل مبتنی بر داده‌های واقعی تولیدات علمی کشور و کشورهای منتخب^۱ در دوره زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳ انجام شده و بر ترسیم شبکه علم ایران و شناسایی حوزه‌های دارای ظرفیت توسعه متمرکز است. در نهایت، بر مبنای یافته‌های به‌دست‌آمده، پیشنهادهایی برای ارتقای فرایند تصمیم‌سازی علمی در کشور ارائه می‌شود تا مسیر توسعه علمی ایران با کارایی بیشتر و هماهنگی با تحولات جهانی هدایت شود.

همچنین سؤال اصلی پژوهش نیز چنین است:

♦ شبکه علم چگونه می‌تواند با تحلیل ساختار شبکه‌ای دانش، مزیت‌های نسبی آشکارشده و شناسایی جهت‌گیری‌های نوین نظام علمی ایران، پیشنهادهای سیاستی برای ارتقای تصمیم‌سازی علمی ارائه دهد؟

مبانی نظری

درک سازوکارهای تولید و توزیع دانش، تحلیل ظرفیت‌های علمی و طراحی سیاست‌های توسعه‌ای، مستلزم تکیه بر چارچوب‌های نظری مبتنی بر شواهد است. در مطالعات علم و فناوری، نقش تحلیل شبکه‌های دانشی و شبکه‌های علم طی سال‌های اخیر اهمیت ویژه‌ای یافته و به عنوان رویکردی کلیدی برای ارزیابی ساختارهای علمی و طراحی مداخلات سیاستی مطرح شده است. بر خلاف رویکردهای سنتی که عمدتاً به شمارش تولیدات علمی یا استنادها متکی بودند، رهیافت‌های شبکه‌ای با تمرکز بر ساختارهای درونی علم، امکان شناسایی خوشه‌های دانشی، مجاورت‌های علمی و شکاف‌های دانشی را فراهم می‌کنند. در این چارچوب، شبکه علم ابزاری تحلیلی برای بازنمایی ساختار دانشی حوزه‌های علمی است. این شبکه‌ها روابط میان حوزه‌ها را بر اساس همکاری‌های پژوهشی، هم‌استنادی یا شباهت‌های موضوعی ترسیم می‌کنند (Hidalgo, 2023; Coscia et al., 2020). در شبکه علم، حوزه‌های علمی به صورت گره‌هایی

۱. کشورهای منتخب برای مقایسه شامل بازیگران منطقه‌ای (ترکیه و عربستان سعودی)، قدرت‌های علمی نوظهور (چین و هند)، و یک کشور پیشرو جهانی (ایالات متحده آمریکا) انتخاب شده‌اند تا تصویری جامع از جایگاه ایران در سطوح مختلف منطقه‌ای و جهانی فراهم شود. مبنای این گزینش، شباهت‌های تاریخی، ساختار اقتصادی/علمی، و اهمیت این کشورها در نظام علم جهانی بوده است.

علم گسترش یافت (Shahmoradi & Ellili, 2024). این چارچوب بر شناسایی مجاورتهای دانشی و گسترش تدریجی خوشه‌های مجاور تمرکز دارد (Hidalgo, 2021).

مطالعات متعددی بر اهمیت توسعه مبتنی بر شبکه دانشی تأکید کرده‌اند. مثلاً بالند و ریگی (Balland & Rigby, 2017) نشان دادند که نواحی موفق علمی، معمولاً از طریق تقویت حوزه‌های نزدیک دانشی رشد کرده‌اند. الشمسی و همکاران (Alshamsi et al., 2018) نیز با معرفی مفهوم «منفعت فرصت»، به صورت تجربی اثبات کردند که با تحلیل شبکه‌های دانشی، می‌توان حوزه‌هایی را شناسایی کرد که توسعه آنها بیشترین مزیت نسبی را برای کشورها ایجاد می‌کند. در همین راستا، کاسیا و همکاران (Coscia et al., 2020) با تحلیل شبکه جهانی علم، تأکید کردند که مسیر رشد علمی کشورها باید از خوشه‌های دانشی مجاور آغاز شود و به صورت تدریجی و ساختاریافته گسترش یابد.

در ایران نیز مطالعاتی در این زمینه انجام شده است. جنوی و شاهمرادی (Janavi & Shahmoradi, 2019) سعی کردند با بهره‌گیری از شاخص پیچیدگی علمی، به بررسی موقعیت ایران در منطقه پردازند و تأکید کردند که توسعه حوزه‌های مجاور دانشی، شرط ارتقای جایگاه علمی کشور است. جنوی و همکاران (Janavi et al., 2021) نیز با تحلیل شبکه جامع علمی کشور، نیاز به تنوع‌بخشی ساختاریافته در نظام پژوهشی ایران را گوشزد کردند.

تحقیقات دیگری نیز از جمله چیمینی و همکاران (Cimini et al., 2014)، با تأکید بر پایداری بیشتر در توسعه تدریجی نسبت به جهش‌های علمی ناگهانی، اهمیت مجاورت دانشی را برجسته کرده‌اند. لیدسدورف و رافولس (Leydesdorff & Rafols, 2009) نیز بر لزوم سیاست‌گذاری مبتنی بر تحلیل شبکه‌ای علم تأکید کرده و نشان داده‌اند که صرف افزایش تولیدات علمی، بدون درک ساختار دانشی و گسترش خوشه‌های مجاور، نمی‌تواند به ارتقای واقعی نظام علمی منجر شود.

در مجموع، مرور پیشینه پژوهش حاکی از آن است که بر استفاده از شبکه علم و تحلیل شبکه‌های دانشی، به عنوان رویکردهایی راهبردی برای طراحی سیاست‌های توسعه علم و فناوری تأکید شده است (Hidalgo, 2021; Coscia et al., 2020). با این حال، همچنان نیاز به مطالعاتی وجود دارد که این رویکرد را به صورت کاربردی در فرایند سیاست‌گذاری ملی اجرا کرده و پیوند تحلیلی آن با تصمیم‌سازی علمی را تبیین کنند. بر این اساس، ضرورت انجام پژوهش‌هایی که ضمن تکیه بر داده‌های واقعی و تحلیل ساختارهای دانشی، امکان پیوند موثر میان یافته‌های تحلیلی و فرایندهای سیاست‌گذاری را فراهم سازند، به شدت احساس می‌شود. این پژوهش‌ها می‌توانند با تمرکز بر شناسایی خوشه‌های دانشی فرصت‌آفرین و بهره‌گیری

دانشی مجاور امکان‌پذیر است. این یافته‌ها با نتایج پاتلیتی و همکاران (Patelli et al., 2022) نیز همسو است که تأکید دارند پیشرفت علمی پایدار نه از طریق ورود تصادفی به حوزه‌های جدید، بلکه از طریق تعمیق تدریجی خوشه‌های موجود رخ می‌دهد. در همین راستا مفهوم منفعت فرصت^۱، الشمسی و همکاران (Alshamsi et al., 2018) معرفی کرده‌اند، به عنوان ابزاری عملیاتی برای سیاست‌گذاری توسعه دانشی، بر تحلیل موقعیت حوزه‌های علمی در شبکه دانشی تکیه دارد. این شاخص به سیاست‌گذاران امکان می‌دهد تا حوزه‌هایی را که توسعه آنها بیشترین بازدهی دانشی و اقتصادی را در پی دارد، شناسایی و از آنها حمایت کنند. افزون بر این، مطالعات جدید در سطح جهانی (OECD, 2022; UNESCO, 2023) نشان می‌دهد که استفاده از شبکه‌های دانشی و تحلیل شبکه‌های علمی در سیاست‌گذاری علم در حال تبدیل شدن به رویه‌ای استاندارد است. کشورهایی مانند هلند، کره جنوبی و سنگاپور با استفاده از این ابزارها توانسته‌اند استراتژی‌های توسعه علمی هدفمندتری تدوین کنند و جایگاه علمی خود را در سطح بین‌المللی ارتقا دهند (OECD, 2021; Cagnin & Soete, 2016). در مجموع، چارچوب نظری تحلیل شبکه علم، رصد علمی و سیاست‌گذاری مبتنی بر شواهد علمی، یک نظام مفهومی منسجم برای ارزیابی وضعیت علمی کشورها و تدوین استراتژی‌های توسعه علمی فراهم می‌آورد. این چارچوب نه تنها بر شناخت ساختار دانشی موجود و تحلیل ظرفیت‌های بالقوه تأکید دارد، بلکه جهت‌دهی به توسعه علمی را به فرایندی مبتنی بر داده‌های واقعی و تحلیل‌های ساختاری تبدیل می‌کند. بهره‌گیری مؤثر از این چارچوب می‌تواند زمینه‌ساز بهبود کارایی نظام علم و فناوری و ارتقاء جایگاه علمی کشورها در سطح جهانی شود.

پیشینه پژوهش

رصد علمی و تحلیل ساختار دانش تولیدشده، به عنوان یکی از رویکردهای اساسی در سیاست‌گذاری علم و فناوری در دهه‌های اخیر مطرح شده است (Moed, 2005; Samandar et al., 2020). افزایش رقابت علمی جهانی و رشد سریع تولیدات پژوهشی، ضرورت بهره‌گیری از ابزارهای دقیق‌تر برای شناسایی ظرفیت‌های دانشی کشورها را دوچندان ساخته است. در این میان، تحلیل شبکه‌های دانشی و شبکه علم به عنوان ابزارهایی ساختاریافته و فراتر از ارزیابی‌های کمی سنتی، توجه سیاست‌گذاران را به خود جلب کرده‌اند (Glänzel & Schubert, 2005).

رویکرد شبکه علم ریشه در مطالعات هیدالگو و هاسمن (Hidalgo & Hausmann, 2009) دارد که در ابتدا در قالب تحلیل فضای محصول در پیچیدگی اقتصادی مطرح شد و سپس به حوزه

نظام‌مند از شبکه علم، نقش مهمی در ارتقای کارایی سیاست‌های علم و فناوری ایفا کنند.

با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در مطالعات شبکه علم و تحلیل شبکه‌های دانشی، عمدتاً دو خلأ محسوس مشاهده می‌شود: نخست، فقدان پژوهش‌های کاربردی که این رویکرد را به طور نظام‌مند به فرایند سیاست‌گذاری ملی علم و فناوری پیوند زده باشند؛ دوم، کمبود تحلیل‌های دقیق درباره وضعیت ساختاری ایران و مقایسه آن با کشورهای منتخب به کمک شاخص‌های مزیت نسبی و خوشه‌بندی موضوعی. پژوهش حاضر می‌کوشد این شکاف را با ارائه چارچوبی ترکیبی برای تحلیل ساختار دانشی کشورهای منتخب و ارزیابی کاربرد مستقیم این چارچوب در سیاست‌گذاری علمی ایران، پوشش دهد.

روش تحقیق

این پژوهش با هدف ترسیم شبکه علم و کاربست آن در رصد و سیاست‌گذاری نظام علمی کشور، از نظر راهبرد کلی در زمره مطالعات توصیفی-تحلیلی قرار می‌گیرد. رویکرد پژوهش مبتنی بر تحلیل داده‌های ثانویه از پایگاه سایمگو^۱ بوده و به صورت تمام‌شمار به بررسی کشورها در حوزه‌های گوناگون علمی پرداخته شده است. این روش مشابه چارچوب‌هایی است که در تحلیل‌های پیچیدگی اقتصادی برای ترسیم شبکه محصول به کار گرفته می‌شود (Hidalgo & Hausmann, 2009).

داده‌های اولیه از پایگاه سایمگو^۲ استخراج شده‌اند که یکی از معتبرترین پایگاه‌های علم‌سنجی مبتنی بر داده‌های پایگاه اسکوپوس است و اطلاعاتی همچون تعداد مقالات، استنادات، شاخص اچ^۳ و رتبه‌بندی کشورها به تفکیک حوزه‌های علمی ارائه می‌دهد. این پایگاه به دلیل پوشش گسترده، دقت طبقه‌بندی موضوعی و امکان تحلیل سطح کشور-حوزه علمی انتخاب شد و در مقالات معتبری چون (Lopez-Illescas et al. 2009) و (OECD 2021) به عنوان مرجع تحلیل داده‌های علم‌سنجی به کار رفته است. بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۳ با هدف تشخیص دقیق تحولات ساختاری علم کشورها در دورهای به‌روز انتخاب شد تا علاوه بر پوشش کافی داده‌ها، تحلیل روندهای معاصر با پایداری بیشتر انجام گیرد.

در گام نخست، داده‌های مربوط به ۲۳۸ کشور جهان برای بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۳ و در قالب ۲۷ حوزه علمی کلی و ۳۰۷ زیرحوزه تخصصی گردآوری شد. برای افزایش دقت تحلیل و حذف کشورهایی با فعالیت علمی ناچیز، یک آستانه فیلترگذاری

اعمال شد؛ به گونه‌ای که فقط کشورهایی که میانگین مجموع مقالات منتشرشده آنها در این بازه زمانی برابر یا بیش از ۳۰۰۰ مقاله بود، در تحلیل نهایی لحاظ شدند (Bornmann & Mutz, 2015). در نتیجه، تعداد کشورها به ۱۲۸ کشور محدود شد. این جامعه آماری، بیش از ۹۹/۸۳ درصد از تولیدات علمی جهان و ۹۳ درصد از جمعیت جهانی را پوشش می‌دهد و از این‌رو می‌توان گفت که قابلیت اتکای بالایی دارد. در خصوص طبقه‌بندی حوزه‌های علمی، با وجود تنوع در نظام‌های بین‌المللی طبقه‌بندی علوم، پایگاه سایمگو به دلیل دقت ساختاری و گستره داده‌ها، مبنای اصلی پژوهش قرار گرفت. این پایگاه سالانه به‌روزرسانی می‌شود و در پژوهش‌های متعددی برای رتبه‌بندی علمی کشورها و دانشگاه‌ها به کار رفته است.

برای تحلیل ساختار نظام علمی کشورها و شناسایی جایگاه ایران، از الگویی مشابه با آنچه در اطلس پیچیدگی اقتصادی برای تحلیل شبکه محصول^۴ ارائه شده، استفاده شد. به همین منظور، ابتدا داده‌های خام مربوط به تولیدات علمی کشورهای مختلف از پایگاه سایمگو استخراج و طی مرحله پیش‌پردازش، کشورها بر اساس حد آستانه فعالیت علمی فیلتر شده و حوزه‌های دانشی بر اساس ساختار استاندارد این پایگاه دسته‌بندی شد. در گام بعد، ماتریس دوجهی کشور-حوزه علمی ساخته و شاخص مزیت نسبی آشکارشده برای هر کشور و حوزه محاسبه شد (Hausmann et al., 2014). با استفاده از نتایج این شاخص، ماتریس باینری حضور و سپس ماتریس مجاورت حوزه‌ها تولید و سپس شبکه دانشی نهایی به فرمت قابل پردازش برای نرم‌افزار شبکه آماده شد. برای ترسیم شبکه و تحلیل ساختار شبکه، از نرم‌افزار Gephi و الگوریتم ForceAtlas2 جهت پراکندگی فضایی گره‌ها بهره گرفته شد. در تمام مراحل پردازش داده و ساخت شبکه، از کدنویسی اختصاصی در محیط پایتون کتابخانه‌های مرتبط^۵ استفاده شده است.

در این پژوهش، به منظور تحلیل شبکه علم و تبیین ابعاد ساختاری و عملکردی نظام علمی کشور، مجموعه‌ای از شاخص‌های مکمل به کار گرفته شد. این شاخص‌ها عبارت‌اند از نرخ رشد علمی و شاخص مشارکت افزایشی برای سنجش پویایی و نقش‌آفرینی کشورها در تحولات علم جهانی (Bornmann & Mutz, 2015; Massucci & Docampo, 2019)؛ شاخص کارایی علمی برای ارزیابی بهرهوری نظام علمی نسبت به ظرفیت بالقوه (May, 1997; King, 2004)؛ شاخص تمرکز موضوعی و شاخص انحراف موضوعی برای بررسی الگوی توزیع دانش و میزان انطباق ساختار دانشی با روندهای جهانی (OECD, 2023; Glänzel & Moed, 2013)؛ و شاخص

4. Product Space
5. pandas, network and matplotlib

1. SCImago
2. <https://www.scimagojr.com/>
3. h-index

مزیت نسبی آشکار شده (RCA)^۱ برای تعیین حوزه‌های رقابت‌پذیر و ممتاز علمی. انتخاب این شاخص‌ها بر اساس توان آنها در ارائه تصویری جامع و مکمل از وضعیت ساختار دانشی کشور و اولویت‌های سیاست‌گذاری صورت گرفته است.

پس از استخراج داده‌های مربوط به تولیدات علمی کشورها ماتریس اولیه کشور-حوزه علمی برای ۱۲۸ کشور و ۳۰۷ حوزه علمی فرعی تهیه شد. هر گره^۲ در این شبکه نمایانگر یک کشور است و رنگ آن معرف حوزه علمی غالب آن کشور است که بر اساس طبقه‌بندی سایمگو در ۲۷ گروه موضوعی کلی دسته‌بندی شده‌اند.

برای شناسایی حوزه‌های تخصصی واقعی هر کشور - یعنی حوزه‌هایی که با قدرت رقابت‌پذیری در سطح بین‌المللی تولید می‌شوند - از شاخص مزیت نسبی آشکار شده استفاده شده است. این شاخص را نخستین بار بالاسا (Balassa, 1965) برای تحلیل تجارت بین‌الملل معرفی کرد و بعدها به دلیل ساختار مقایسه‌ای و بی‌وابستگی به ماهیت موضوع، پژوهشگران حوزه علم‌سنجی (Mansourzadeh et al., 2019; Janavi et al., 2021) نیز آن را به کار بردند تا برای تحلیل پیچیدگی و مزیت‌های نسبی در حوزه‌های علمی استفاده شود. در این پژوهش، شاخص RCA برای هر کشور و حوزه علمی طبق رابطه زیر محاسبه شده است:

$$RCA_{cd} = \frac{X_{cd}}{\sum_d X_{cd}} / \frac{\sum_c X_{cd}}{\sum_{cd} X_{cd}}$$

که در آن X_{cd} تعداد مقالات کشور c در حوزه d است. مقدار RCA بزرگتر از ۱ نشان‌دهنده تخصص نسبی کشور c در حوزه d تلقی می‌شود. مثلاً، چنانچه در سال ۲۰۲۱، سهم حوزه مهندسی از کل تولیدات علمی ایران برابر با ۲۰ درصد (معادل ۱۲۰۰۰ مقاله از مجموع ۶۰۰۰۰ مقاله) بوده باشد و در همین سال، سهم حوزه مهندسی از کل تولیدات علمی جهان نیز ۲۰ درصد (معادل ۱۲۰۰۰۰ مقاله از مجموع ۶۰۰۰۰۰ مقاله) باشد، آنگاه با استفاده از این داده‌ها، مقدار RCA ایران در حوزه مهندسی برابر با ۱ محاسبه می‌شود. این بدان معناست که ایران در حوزه مهندسی دارای سطح فعالیتی هم‌تراز با میانگین جهانی است. حال اگر سهم ایران در حوزه‌ای مانند ریاضیات کاربردی ۱/۱ درصد و سهم جهانی آن حوزه تنه ۰/۴۵ درصد باشد، مقدار RCA برابر با ۲/۴۵ خواهد بود؛ که نشان‌دهنده مزیت نسبی آشکار شده ایران در آن حوزه و قرار گرفتن آن در میان کشورهای رقابت‌پذیر علمی محسوب می‌شود. در ادامه بر اساس این

شاخص، یک ماتریس باینری حضور^۳ ساخته شد که مبنای ایجاد شبکه مجاورت^۴ و سپس ساختار هم‌وابستگی حوزه‌ها و کشورها شد (Hausmann et al., 2014; Hidalgo, 2021).

در این پژوهش، چارچوب مفهومی و روش‌شناسی تحلیل شبکه دانشی با الگوبرداری تلفیقی از دو منبع اصلی شکل گرفته است. ابتدا، ساختار اولیه ماتریس کشور-حوزه و تعریف شاخص مزیت نسبی آشکار شده بر اساس مدل پایه ارائه شده در پژوهش هیدالگو و هاسمن (Hidalgo & Hausmann, 2009) اقتباس شد تا بنیان ارزیابی تخصص نسبی کشورها در حوزه‌های علمی فراهم شود. در ادامه، توسعه مدل شبکه و نحوه استخراج ساختار مجاورت دانشی از رویکرد اطلس پیچیدگی اقتصادی (Hausmann et al., 2014) پیروی کرده و روش‌های آن با داده‌ها و شاخص‌های علم‌سنجی بومی‌سازی شده است. شایان ذکر است که برخی شاخص‌ها و گام‌های تحلیلی - از جمله تبدیل مفهوم محصول به حوزه علمی و تطبیق کامل فرمول‌های مجاورتی با داده‌های علم‌سنجی - به صورت نوآورانه بازتعریف شده تا با ساختار و الزامات تحلیل نظام علمی همخوان شود. این شیوه، نوآوری پژوهش حاضر در پیوند میان مدل‌های اقتصادی و کاربرد آن در ارزیابی و سیاست‌گذاری علمی کشور را برجسته ساخته است. شبکه نهایی حاصل از این تحلیل، در شکل ۱ نمایش داده شده است. این شبکه شامل ۳۰۷ گره است که هر یک نمایانگر یک زیرحوزه علمی^۵ است و بر اساس روابط هم‌پوشانی دانشی میان حوزه‌ها در یک شبکه پیچیده قرار گرفته‌اند. رنگ هر گره بر اساس یکی از ۲۷ حوزه علمی کلی تعیین شده که در طبقه‌بندی پایگاه سایمگو تعریف شده است. موقعیت مکانی گره‌ها نیز با استفاده از الگوریتم چیدمان فضایی شبکه^۶ تعیین شده که نزدیکی مفهومی و ساختاری میان حوزه‌های علمی را نشان می‌دهد. این شبکه امکان شناسایی خوشه‌های دانشی، حوزه‌های مرکزی یا حاشیه‌ای، و مسیرهای احتمالی توسعه دانشی را در سطح بین‌المللی فراهم می‌سازد. این شبکه مبتنی بر چارچوب جهانی ثابت حوزه‌های علمی است که با استفاده از شاخص مزیت نسبی آشکار شده برای هر کشور قابل تفسیر می‌شود. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش و نحوه استقرار حوزه‌های علمی در شبکه علم، سه خوشه اصلی حوزه‌های دانشی شناسایی شد. این دسته‌بندی محصول تحلیل پژوهشگر بر مبنای رنگ‌گذاری و چیدمان خروجی شبکه است و به طبقه‌بندی رسمی خاصی ارجاع ندارد:

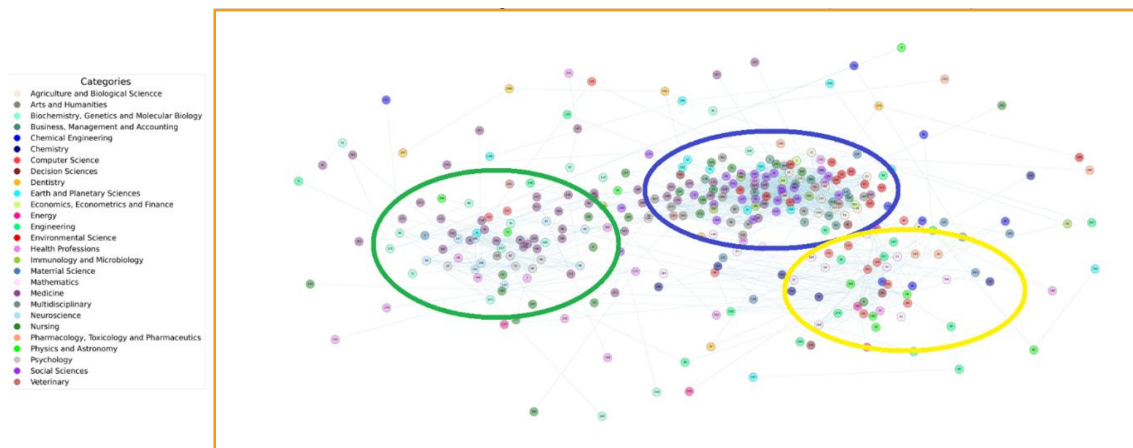
۱. خوشه علوم سلامت و پزشکی (ناحیه سبز): شامل رشته‌هایی با کاربرد بالینی و سلامت‌محور (مثل پزشکی، پرستاری، داروسازی، روان‌شناسی)؛

3. Presence Matrix
4. Proximity Matrix
5. subject area
6. force-directed layout

1. Revealed Comparative Advantage
2. Node

۳. خوشه علوم پایه و فنی-مهندسی (ناحیه زرد): شامل رشته‌هایی با ماهیت محاسباتی، مهندسی، ریاضیاتی یا فناوریانه (مثل فیزیک، ریاضیات، کامپیوتر، مهندسی).

۲. خوشه علوم انسانی و اجتماعی (ناحیه آبی): شامل رشته‌هایی که به رفتار، جامعه، سیاست، فرهنگ و معنا می‌پردازند (مثل اقتصاد، جامعه‌شناسی، فلسفه، زبان‌شناسی، آموزش، علوم سیاسی)؛



شکل ۱. شبکه علم بر اساس مقالات تولیدشده کشورها

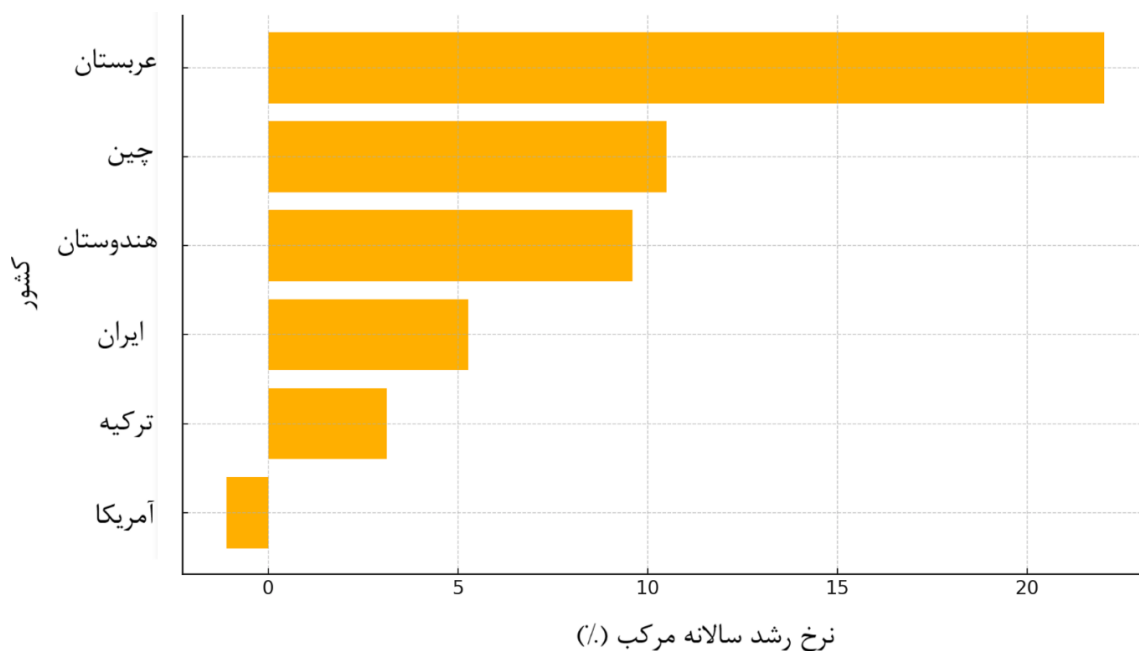
حرکت‌های پیوسته و پایدار ارائه می‌دهد. در این تحلیل، تعداد مقالات علمی منتشرشده در شش کشور منتخب طی سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۳ بررسی شده است. نرخ رشد سالانه مرکب بر اساس فرمول ذیل محاسبه می‌شود:

$$\text{نرخ رشد سالانه مرکب} = \left(\frac{V_t}{V_0} \right)^{\frac{1}{t}} - 1$$

یافته‌های پژوهش

نرخ رشد سالانه مرکب^۱

برای سنجش روندهای بلندمدت در تولیدات علمی، استفاده از نرخ رشد سالانه مرکب روشی رایج و معتبر در تحلیل‌های کمی محسوب می‌شود. این نرخ بیانگر متوسط رشد سالانه در یک دوره مشخص است و نوسانات سالانه را هموار می‌کند و تصویر واقعی‌تری از



نمودار ۱. نرخ رشد سالانه مرکب ایران و کشورهای منتخب

1. Compound Annual Growth Rate

ملی رشد مناسبی را تجربه کنند، اما از منظر جهانی سهم اندکی در افزایش کل تولیدات علمی داشته باشند. به همین دلیل، استفاده از شاخص‌های مکمل مانند شاخص مشارکت افزایشی ضروری به نظر می‌رسد. این شاخص، سهم هر کشور از رشد مطلق تولیدات علمی جهانی در یک بازه زمانی مشخص را اندازه‌گیری می‌کند و به ما کمک می‌کند تا درک دقیق‌تری از «اثرگذاری واقعی» کشورها بر رشد علم جهانی به دست آوریم (Massucci and Docampo, 2019).

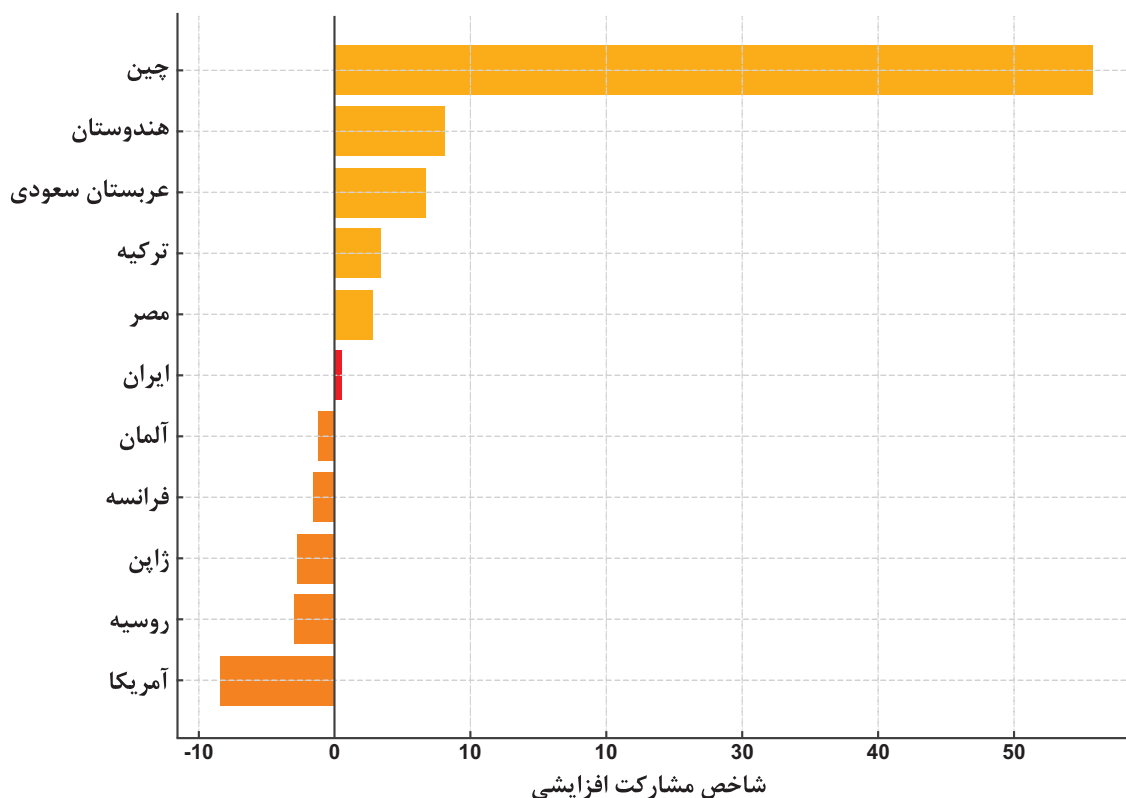
$$\text{شاخص مشارکت افزایشی} = \frac{\Delta P_c}{\Delta P_{world}} \times 100$$

که در آن ΔP_c تغییر مطلق تعداد مقالات کشور در دوره مورد نظر و ΔP_{world} تغییر مطلق تعداد مقالات جهان در همان دوره است. یافته‌های این شاخص نشان می‌دهد که در فاصله سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۳، چین با اختصاص ۵۵/۵۸ درصد از کل رشد جهانی تولیدات علمی، نقش بی‌بدیلی در گسترش علم ایفا کرده است. هند (۸/۳ درصد) و عربستان سعودی (۶/۷۳ درصد) نیز در جایگاه‌های دوم و سوم قرار دارند. این سه کشور آسیایی در مجموع سهم درخور توجهی از رشد علمی جهان را به خود اختصاص داده‌اند که بیانگر موفقیت راهبردهای ملی آنها در جهت‌گیری‌های بین‌المللی علم

که در آن V_t و V_0 تعداد مقالات در سال‌های ابتدایی و انتهایی دوره، و t طول دوره به سال است. بر اساس داده‌های مستخرج از پایگاه سایمگو، ایران با نرخ رشد سالانه مرکب ۵/۲ درصد در جایگاهی میانی قرار گرفته و عملکردی بالاتر از کشورهای چین (۱۰/۲ درصد)، هند (۹/۳ درصد) و ایالات متحده آمریکا (۱/۲- درصد) داشته است. این روند نشان‌دهنده رشد پایدار و برنامه‌ریزی‌شده در نظام علمی ایران در مواجهه با محدودیت‌های منابع و تحریم‌هاست. در نقطه مقابل، عربستان سعودی با نرخ رشد ۲۲ درصد، بیشترین شتاب را در تولید مقالات علمی داشته و از این منظر در میان کشورهای مورد بررسی پیش‌تاز است. ترکیه نیز با رشد سالانه ۳/۶ درصد پایین‌تر از ایران قرار گرفته است. نکته مهم اینکه ایالات متحده با وجود دارا بودن بزرگ‌ترین حجم تولیدات علمی جهان، در این بازه پنج‌ساله رشد منفی داشته است. این مسئله می‌تواند نشان‌دهنده بلوغ نسبی نظام علمی آمریکا یا تمرکز بر کیفیت به‌جای کمیت در دوره اخیر باشد.

شاخص مشارکت افزایشی^۱

در ارزیابی عملکرد نظام‌های علمی، تمرکز صرف بر تعداد کل مقالات یا حتی نرخ رشد سالانه نمی‌تواند تصویر دقیقی از نقش یک کشور در نظام علم جهانی ارائه دهد. بسیاری از کشورها ممکن است در سطح



نمودار ۲. جایگاه ایران در میان کشورهای با بیشترین و کمترین سهم از رشد جهانی تولید علم (۲۰۱۹-۲۰۲۳)

فراهم می‌سازد، بلکه می‌تواند همچون مبنایی برای تدوین سیاست‌های جدید در حوزه علم و فناوری باشد. تمرکز آینده باید نه فقط بر رشد داخلی، بلکه بر افزایش سهم واقعی ایران از تحولات جهانی علم از طریق تقویت همکاری‌های علمی بین‌المللی، سرمایه‌گذاری هدفمند و ارتقای کیفیت نظام انتشارات علمی کشور معطوف شود.

شاخص کارایی علمی^۱

برای سنجش بهرهوری نسبی نظام‌های علمی، استفاده از شاخص‌هایی ضروری است که صرفاً به تعداد مطلق مقالات اتکا ندارند. از جمله این شاخص‌ها، شاخص کارایی علمی است که با در نظر گرفتن جمعیت کشور و سهم آن از تولید علم جهانی، تصویری دقیق‌تر از عملکرد نظام علمی در مقایسه با ظرفیت‌های واقعی ارائه می‌دهد. شاخص کارایی علمی، که از نسبت مقالات سرانه (به‌ازای هر یک میلیون نفر جمعیت) به سهم کشور از کل تولید علم جهانی به دست می‌آید، نشان می‌دهد که کدام کشورها در مقایسه با سهم جهانی خود، عملکرد مؤثرتری در تولید علم دارند.

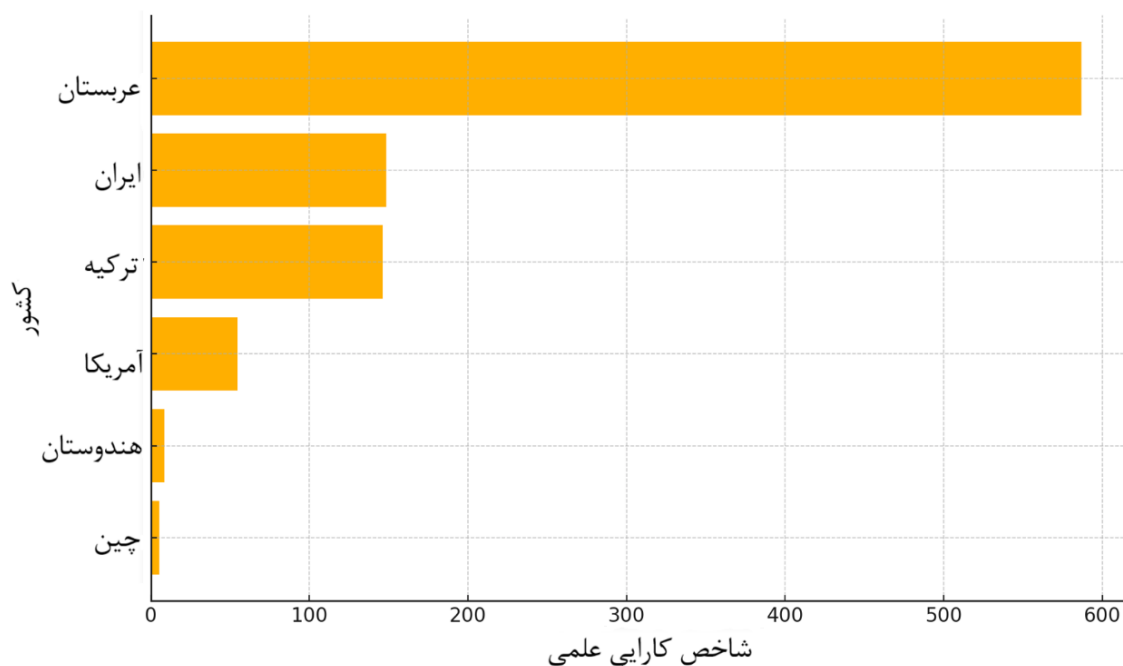
$$\text{شاخص کارایی علمی} = \frac{\text{نسبت سرانه مقاله}}{\% \text{ سهم جهانی}}$$

بر این اساس، در سال ۲۰۲۳ عربستان سعودی با شاخصی معادل ۵۸۷، بالاترین کارایی علمی را در میان کشورهای مورد بررسی داشته و نشان داده است که سیاست‌های پژوهشی هدفمند

است. همچنین، کشورهای نوظهور علمی مانند ترکیه (۳/۴۱ درصد) و مصر (۲/۷۹ درصد) با بهره‌گیری از ظرفیت‌های منطقه‌ای و تقویت شبکه‌های پژوهشی توانسته‌اند در جمع پنج کشور برتر قرار گیرند. در سوی دیگر، برخی کشورهای پیشرو علمی مانند ایالات متحده آمریکا (۸/۳۹- درصد)، روسیه (۲/۹۶- درصد)، ژاپن (۲/۸۲- درصد)، فرانسه (۱/۶۱- درصد) و آلمان (۱/۲۱- درصد) نه تنها سهمی در رشد جهانی نداشته‌اند، بلکه به واسطه کاهش تولیدات علمی خود، تأثیری منفی بر رشد جهانی بر جای گذاشته‌اند. این روند می‌تواند ناشی از عواملی چون اشباع نظام‌های پژوهشی، تمرکز بر کیفیت به جای کمیت، یا بازنگری در سیاست‌های انتشاراتی و پژوهشی در این کشورها باشد.

در این میان، جایگاه ایران با سهمی معادل ۰/۴۷ درصد از رشد جهانی، گرچه مثبت ارزیابی می‌شود، اما نسبت به ظرفیت‌های علمی کشور و رتبه آن در سطح منطقه، چندان چشمگیر نیست. این وضعیت نشان‌دهنده آن است که هرچند ایران رشد نسبی سالانه مناسبی داشته است، اما نتوانسته در جهت‌دهی به روندهای کلان جهانی سهم معناداری ایفا کند. دلایل این شکاف می‌تواند به عواملی چون تمرکز بیش از حد بر تولید کمی، محدودیت در همکاری‌های بین‌المللی، یا نبود سیاست‌های هدفمند برای توسعه انتشار بین‌المللی مقالات بازگردد.

از این‌رو، استفاده از شاخص‌هایی چون شاخص مشارکت افزایشی نه تنها امکان تحلیل دقیق‌تری از جایگاه ایران در نظام علم جهانی



نمودار ۳. شاخص کارایی علمی ایران و کشورهای منتخب

ناحیه تمرکز بالا قرار دارد و نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از تولیدات علمی کشور به حوزه‌هایی مانند پزشکی، مهندسی و علوم رایانه‌ای اختصاص دارد. چنین تمرکزی، اگرچه ممکن است ناشی از مزیت‌های تاریخی، ظرفیت‌های زیرساختی یا نیروی انسانی متخصص باشد، اما در بلندمدت می‌تواند به ضعف در حوزه‌های کم‌توجه‌تر و کاهش تاب‌آوری ساختار دانشی کشور منجر شود.

$$S_i^2 = \sum_{i=1}^n s_i^2$$

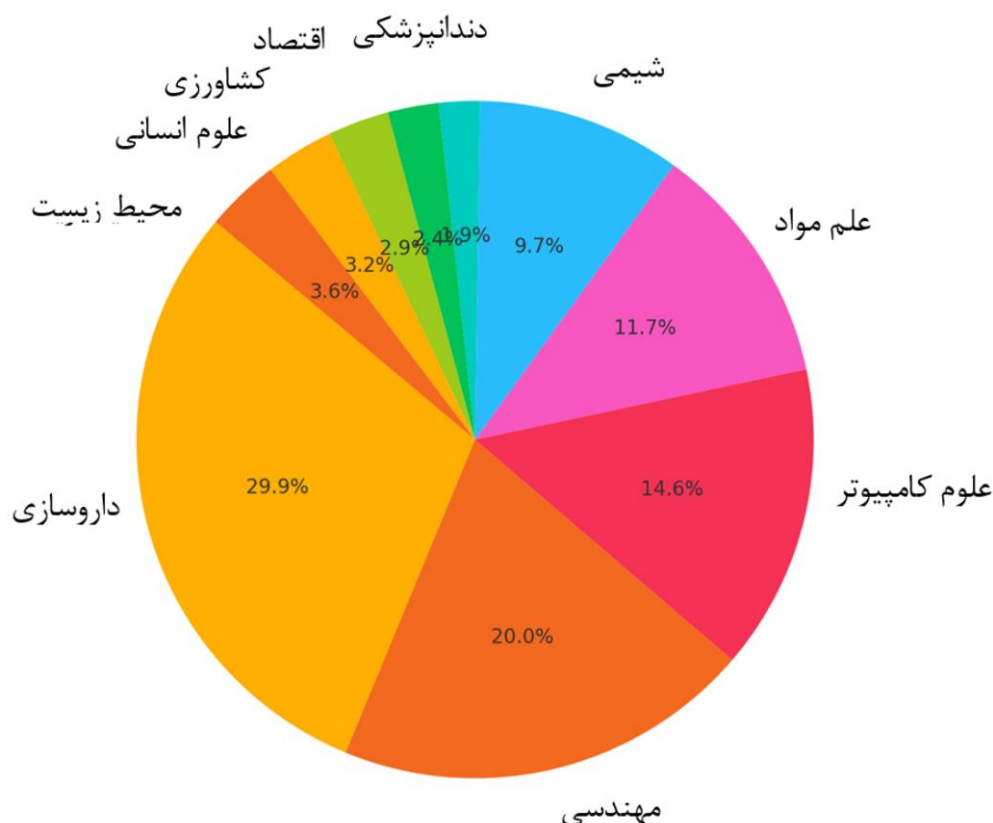
شاخص تمرکز موضوعی

S_i سهم نسبی هر حوزه از کل مقالات است. بالا بودن این شاخص نشان‌دهنده تمرکز بیش از حد در چند حوزه خاص (مثل پزشکی) و ضعف تنوع است. در نظام‌های علمی متنوع و پیشرفته، معمولاً HHI مقادیری کمتر از ۰/۱۵ دارد که بیانگر تعادل نسبی در توزیع دانشی است. بنابراین، مقدار فعلی HHI برای ایران زنگ خطری برای لزوم سیاست‌گذاری‌های متوازن‌تر و حمایتی‌تر در حوزه‌های مغفول علمی به شمار می‌آید.

و سرمایه‌گذاری‌های متمرکز چگونه می‌توانند به بهره‌وری بالا منجر شوند. ایران با شاخص ۱۴۵ در جایگاه دوم قرار گرفته و با وجود چالش‌های اقتصادی و سیاسی توانسته است عملکردی بسیار مؤثرتری از بسیاری از کشورها، از جمله ایالات متحده، چین و هند داشته باشد. ترکیه نیز با شاخص ۱۳۸ جایگاه سوم را از آن خود کرده است. در مقابل، ایالات متحده آمریکا، با وجود تولید حجم بالایی از مقالات (۱۵/۱ درصد از کل جهانی)، شاخصی معادل ۴۸ دارد که نشان می‌دهد مقیاس بزرگ آن موجب کاهش نسبی کارایی شده است. چین و هند نیز که از تولیدکنندگان عمده علم در جهان هستند، به دلیل جمعیت بسیار بالا و ساختار متمرکز بر کمیت، شاخص‌هایی به ترتیب ۱۵ و ۱۲ دارند.

شاخص تمرکز موضوعی^۱

شاخص هرفیندال-هیرشمن (HHI) که برای سنجش تمرکز موضوعی ساختار دانشی کشور استفاده می‌شود (OECD, 2023)، در مورد ایران برابر با ۰/۱۷۷ محاسبه شده است. این مقدار در مرز ورود به



نمودار ۴. سهم حوزه‌های علمی در ساختار دانشی ایران — مبتنی بر شاخص هرفیندال-هیرشمن (HHI)

شاخص انحراف موضوعی^۱

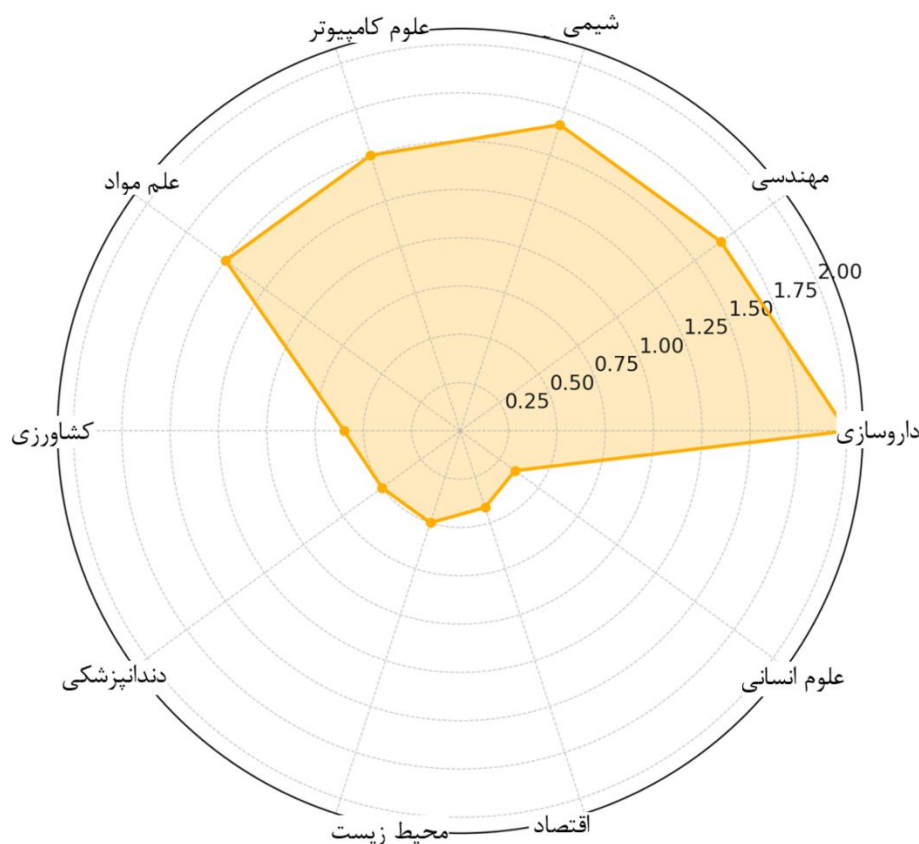
برای سنجش میزان تطابق ساختار دانشی ایران با الگوی جهانی، شاخصی با عنوان شاخص انحراف موضوعی تعریف شد که نسبت سهم ایران در هر حوزه علمی به سهم جهانی آن حوزه را اندازه‌گیری می‌کند (Glänzel & Moed, 2013). این شاخص به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{شاخص انحراف موضوعی} = \frac{\text{سهم ایران در حوزه } i}{\text{سهم جهان در حوزه } i}$$

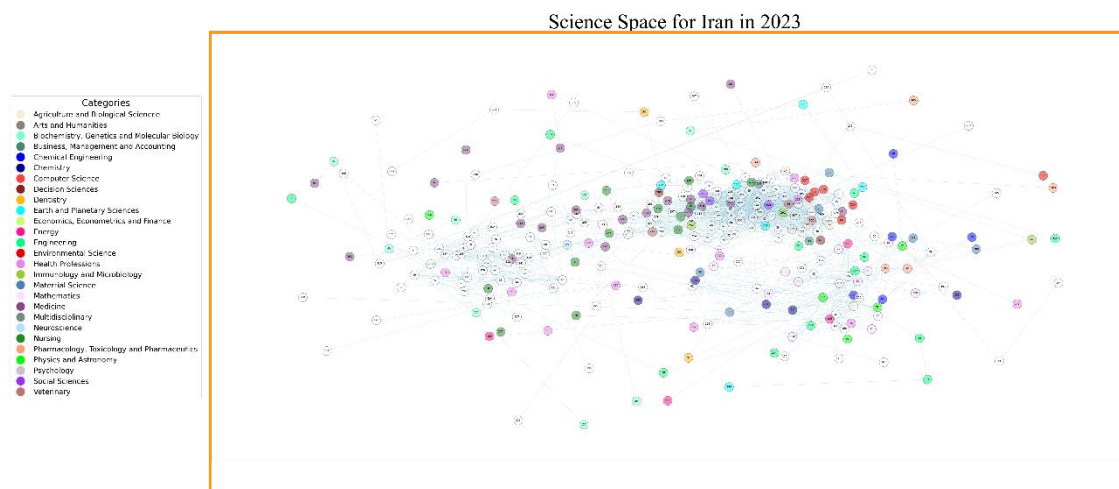
تحلیل‌ها نشان داد که ایران در حوزه‌هایی مانند پزشکی و مهندسی دارای تمرکز بیش از حد است (شاخص بزرگتر از ۱/۵)، درحالی‌که در حوزه‌هایی چون علوم انسانی، اقتصاد، کشاورزی و محیط زیست دچار کم‌تمرکز می‌باشد (شاخص کوچکتر از ۰/۵). این الگوی نامتوازن در تولید علم، بیانگر عدم تطابق ساختار دانشی ایران با اولویت‌های جهانی و نشانه‌ای از ناترازی در حمایت سیاستی از علوم اجتماعی و میان‌رشته‌ای است.

شبکه علم ایران در مقایسه با کشورهای منتخب

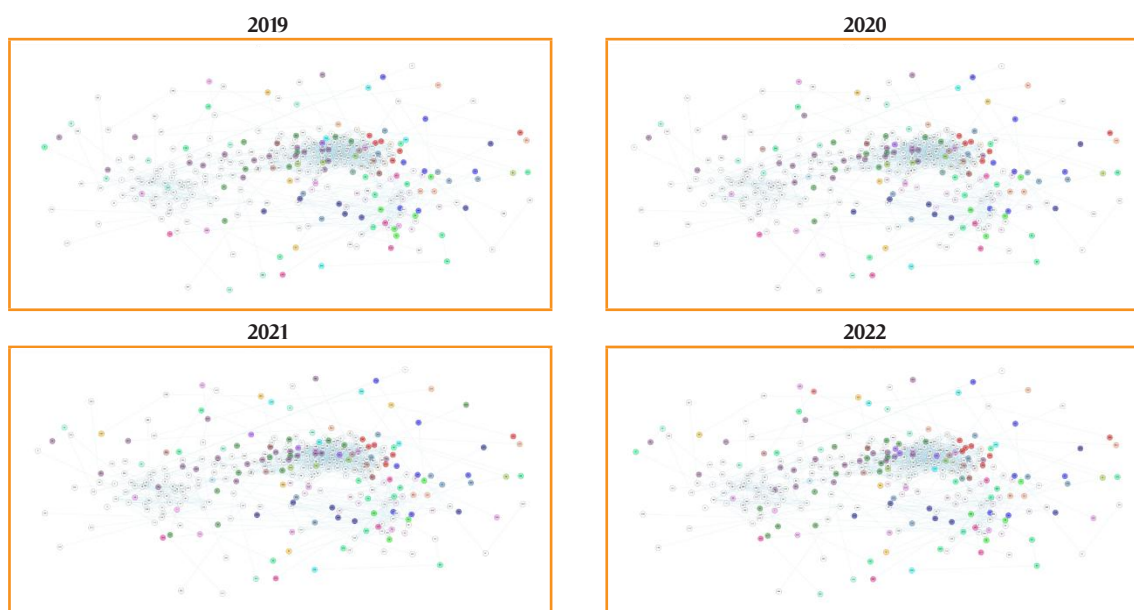
پس از تحلیل توصیفی داده‌های علم‌سنجی، ساختار دانشی ایران در قالب شبکه علم ارزیابی شد. در چارچوب شبکه جهانی علم که مبتنی بر تحلیل ساختار شبکه‌های حوزه‌های دانشی با استفاده از تعداد مقالات و هم‌رخدادی موضوعات است، جایگاه هر کشور بر اساس پراکندگی و تراکم مزیت‌های نسبی علمی آن ($RCA > 1$) قابل ترسیم و ارزیابی است. در این شبکه، گره‌های رنگی نمایانگر زیرحوزه‌هایی هستند که کشور در آنها دارای مزیت نسبی آشکار شده ($RCA > 1$) است. بررسی سری زمانی شبکه‌های علم ایران در بازه ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۳ نشان می‌دهد که الگوی مزیت نسبی کشور از یک‌سوی ثبات ساختاری در خوشه‌های علوم پایه، فنی و سلامت بوده و از سوی دیگر، در مسیر گسترش به نواحی حاشیه‌ای‌تر همچون علوم انسانی، میان‌رشته‌ای و محیط‌زیست قرار گرفته است (شکل ۲ و ۳).



نمودار ۵. الگوی انحراف ساختار دانشی ایران نسبت به متوسط جهانی در حوزه‌های علمی منتخب



شکل ۲. شبکه علم ایران^۱ (۲۰۲۳)



شکل ۳. شبکه‌های علم ایران (۲۰۲۲-۲۰۱۹)

شود. این یافته‌ها بر پایه شاخص مزیت نسبی آشکارشده، الگوهای تمرکز و انحراف موضوعی، و تحلیل برداری تغییرات ساختاری تدوین شده‌اند و تصویری دقیق از موقعیت دانشی ایران، مسیرهای رشد، و نقاط ضعف پایدار در ساختار علمی کشور ترسیم می‌کنند. این تحلیل‌ها زمینه‌ساز مقایسه تطبیقی با سایر کشورها و ارائه پیشنهادی سیاستی در ادامه مقاله خواهند بود.

۱. پایداری تمرکز در حوزه‌های فنی و پزشکی

طی دوره ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۳ مزیت‌های نسبی ایران به طور پیوسته در حوزه‌هایی چون مهندسی، شیمی، علوم مواد، علوم کامپیوتر و پزشکی بالینی متمرکز باقی مانده است. این پایداری نشان‌دهنده همراستایی

یافته‌ها نشان می‌دهد که ایران در سال ۲۰۲۳ توانسته در ۱۴۴ زیرحوزه علمی دارای مزیت نسبی آشکارشده باشد، به دیگر سخن از بین ۳۰۷ زیرحوزه علمی ایران توانسته در ۱۴۴ حوزه علمی در سال ۲۰۲۳ بالاتر از میانگین جهانی قرار گیرد. برای تحلیل عمیق‌تر این موضوع در ادامه سعی شده مهم‌ترین یافته‌های حاصل از تحلیل شبکه علم ایران طی سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۳ به صورت دسته‌بندی‌شده ارائه

۱. در این پژوهش، منظور از «شبکه علمی هر کشور»، تصویر شبکه‌ای حوزه‌های دانشی است که کشور مورد نظر در آنها دارای مزیت نسبی آشکارشده ($RCA > 1$) است و موقعیت و پراکندگی این حوزه‌ها نسبت به الگوی جهانی نمایش داده می‌شود.

۴. بردار حرکت دانشی به‌سوی حوزه‌های نرم‌تر (۲۰۱۹-۲۰۲۳)

بر اساس تحلیل بُرداری (یعنی سنجش تغییر مختصات مرکز ثقل مزیت‌های نسبی ایران در شبکه علم طی بازه زمانی)، جهت‌گیری کلی از سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۳ به سمت ناحیه بالای-راست شبکه بوده است. منطقه‌ای که معمولاً با حوزه‌های میان‌رشته‌ای، علوم اجتماعی و زیست‌محیطی مشخص می‌شود. این حرکت، هرچند آهسته، اما هم‌راستا با الگوی توصیه‌شده در گزارش‌های تحقیقات رافولس و همکاران (Rafols et al., 2010) و واگنر و همکاران (Wagner et al., 2015) است که تأکید دارند تنوع موضوعی و ترکیب علوم اجتماعی در توسعه علمی، به افزایش پیچیدگی، نوآوری و انعطاف‌پذیری نظام‌های علمی منجر می‌شود. چنین برداری، بیانگر پویایی بالقوه در نظام علمی ایران است که در صورت جهت‌دهی مناسب، می‌تواند شکاف موجود میان ساختار علمی ایران با الگوهای جهانی را کاهش دهد. با این حال، بدون سیاست‌های حمایتی مشخص و پایدار برای تقویت این جهت‌گیری، خطر بازگشت به الگوی تک‌بعدی گذشته وجود دارد.

مقایسه ساختار دانشی ایران با کشورهای منتخب بر اساس شبکه علم

تحلیل تطبیقی شبکه علم در این پژوهش برای ایران و پنج کشور منتخب، از جمله ایالات متحده آمریکا، چین، ترکیه، عربستان سعودی و هند انجام شد. مبنای این مقایسه، توزیع حوزه‌های علمی با مزیت نسبی آشکار شده ($RCA > 1$) بود که بر پایه داده‌های پایگاه سایمگو و الگوریتم‌های سنجش هم‌پوشانی دانشی استخراج شد. کشورهای مورد بررسی به‌گونه‌ای انتخاب شده‌اند که ترکیبی از اقتصادهای منطقه‌ای با سطح توسعه مشابه ایران و کشورهایی با ساختار دانشی متنوع‌تر و توسعه‌یافته‌تر را دربرگیرند.

در مقایسه، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد ایالات متحده آمریکا با ۱۷۷ زیرحوزه علمی از بیشترین تنوع در مزیت‌های نسبی برخوردار است (شکل ۴). در این کشور، حوزه‌هایی چون علوم انسانی، علوم اجتماعی، آموزش، سیاست‌گذاری علم و مطالعات میان‌رشته‌ای در مرکز و بالای شبکه دارای مزیت هستند (Leydesdorff et al., 2015). این ساختار بیانگر جهت‌گیری متعادل و مسئله‌محور در تولید دانش است و نشان می‌دهد که تنوع موضوعی چگونه می‌تواند به انسجام ساختاری منجر شود.

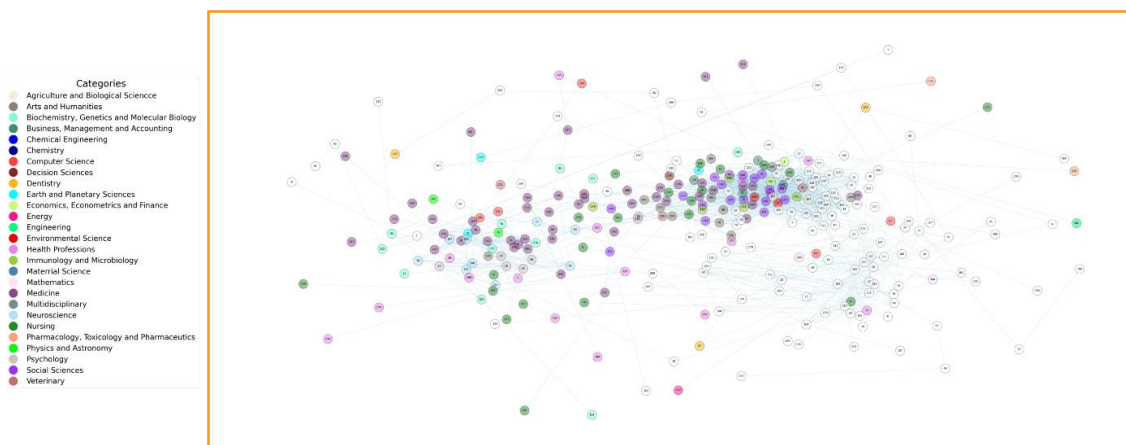
بلندمدت سیاست‌های پژوهشی ایران با اهداف فناورانه و سلامت‌محور است. چنین الگویی نه تنها بازتاب‌دهنده اولویت‌های تاریخی نظام علمی کشور است، بلکه گویای تمرکز بر قابلیت‌های موجود، منابع انسانی متخصص و زیرساخت‌های فنی است. از منظر نظری، این الگو با آنچه بوناچورسی (Bonaccorsi, 2018) با عنوان تمرکز کشورها بر مزیت‌های تاریخی قابل دفاع مطرح می‌کند، همخوانی دارد. با این حال، پایداری مزیت در این حوزه‌ها لزوماً به معنای تنوع یا تاب‌آوری نظام علمی نیست، بلکه ممکن است به مرور به انسداد در مسیر توسعه حوزه‌های نوظهور و کاهش قابلیت پاسخ‌گویی نظام علم به مسائل پیچیده بین‌رشته‌ای منجر شود.

۲. گسترش تدریجی مزیت‌ها به حوزه‌های پیرامونی

از سال ۲۰۲۱ شاهد شکل‌گیری مزیت‌های نسبی در رشته‌هایی همچون محیط زیست، اقتصاد کشاورزی، و علوم میان‌رشته‌ای بوده‌ایم. این حوزه‌ها که در حاشیه شبکه علم قرار دارند، نشان‌دهنده تلاش‌های اولیه برای گسترش سبد علمی کشور هستند. بر اساس مفهوم مرز قابلیت‌ها توسعه مزیت در این نواحی معمولاً از حوزه‌های هم‌جوار سرچشمه می‌گیرد و مستلزم حمایت هدفمند سیاست‌گذار است تا از مزیت‌های نوظهور به مزیت‌های پایدار تبدیل شود (Hidalgo & Hausmann, 2009). این تغییرات گرچه هنوز محدود و پراکنده‌اند، اما نشانه‌هایی از پویایی در ساختار دانشی کشور به شمار می‌آیند. تقویت سرمایه‌گذاری در این حوزه‌های در حال رشد می‌تواند همچون کاتالیزوری برای عبور از ساختار سنتی علم و حرکت به‌سوی نظامی متنوع‌تر و پیچیده‌تر عمل کند.

۳. ثبات ناترازی در مرکز شبکه: علوم انسانی و اجتماعی

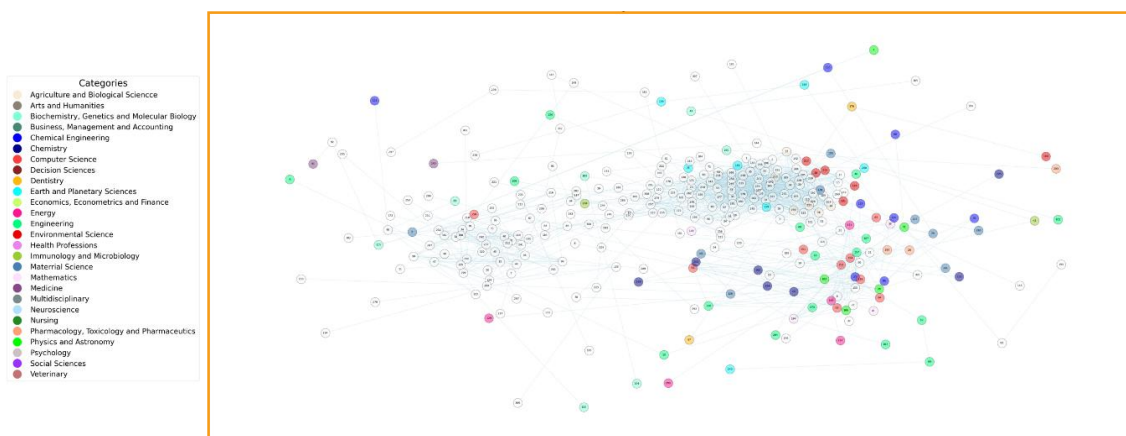
با وجود گذشت پنج سال، مزیت نسبی ایران در حوزه‌های علوم انسانی، اجتماعی، فلسفه، روان‌شناسی، آموزش و سیاست‌گذاری علم همچنان بسیار ضعیف و پراکنده است. این مرکز که در بسیاری از کشورها محل تمرکز مزیت‌های دانشی نرم، اخلاقی و میان‌رشته‌ای است (همچون هلند، کانادا و بریتانیا)، در ایران فاقد پشتیبانی ساختاری است. این وضعیت نه تنها نشان‌دهنده خلأ در حمایت نهادی و تأمین مالی برای این حوزه‌هاست، بلکه بازتابی از کم‌توجهی به نقش علوم انسانی در توانمندسازی زیربنای فکری، فرهنگی و سیاست‌گذاری کشور نیز محسوب می‌شود. مطالعه گلنزل و همکاران (Glänzel et al., 2013) نیز بر اهمیت تعادل بین علوم سخت و علوم انسانی برای حکمرانی علمی و تحقق توسعه پایدار تأکید دارد. بی‌توجهی به این بخش از دانش، در بلندمدت می‌تواند به ناتوانی نظام علمی در پاسخ‌گویی به چالش‌های اجتماعی، اخلاقی و فرهنگی منجر شود.



شکل ۴. شبکه علمی آمریکا

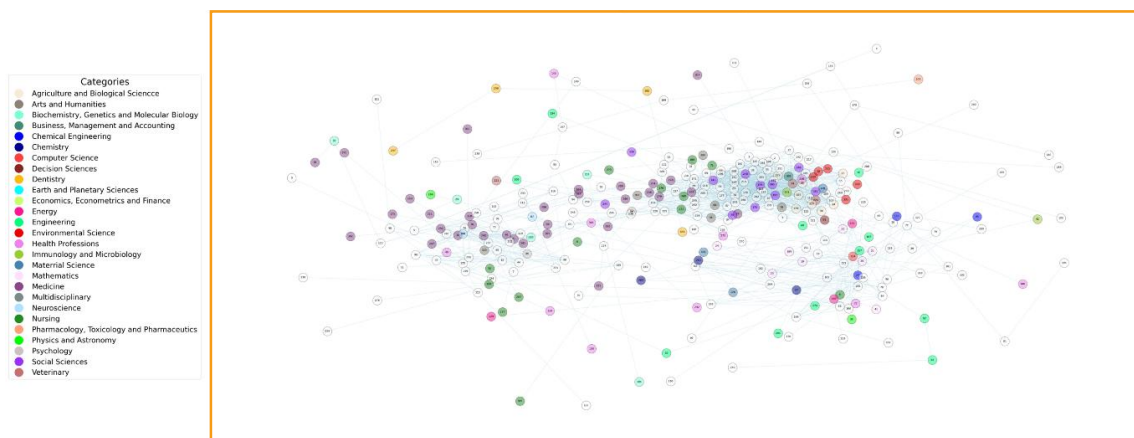
نواحی مرکزی و بالایی (شکل ۵)، بیانگر حرکت به سوی ساختاری متنوع‌تر است. در مقابل، چین با وجود سرمایه‌گذاری گسترده، مزیت‌های خود را عمدتاً در علوم فنی و تجربی متمرکز کرده است (Zhou & Leydesdorff, 2006; Basole et al., 2015).

بررسی شاخص مزیت نسبی آشکار شده در سال ۲۰۲۳ نشان می‌دهد ایران با ۱۴۴ زیرحوزه مزیت، دامنه‌ای متنوع‌تر از چین با ۹۷ زیرحوزه دارد. علاوه بر حوزه‌های مهندسی و سلامت‌محور، ایران در محیط زیست، کشاورزی و علوم میان‌رشته‌ای نیز مزیت تثبیت کرده است. توزیع گره‌های مزیت‌دار در بخش‌های مختلف شبکه، به ویژه



شکل ۵. شبکه علمی چین

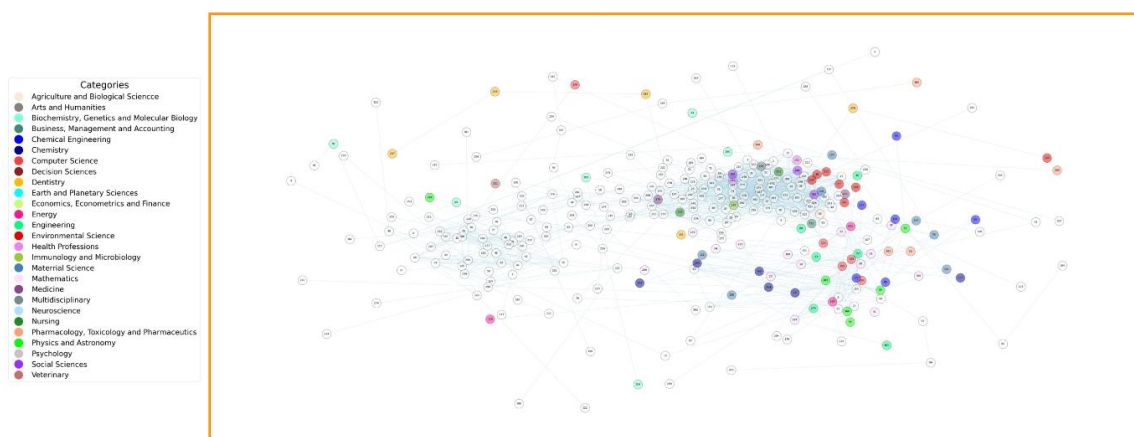
در مورد ترکیه، یافته‌ها حاکی از وجود شباهت‌های ساختاری چشمگیری با ایران است. مزیت‌های ترکیه نیز عمدتاً در حوزه‌های مهندسی، پزشکی و علوم پایه متمرکزند (شکل ۶)، اما این کشور در مقایسه با ایران، از نظر تعداد حوزه‌های دارای مزیت نسبی آشکار شده با تعداد ۱۴۸ زیرحوزه، جایگاه بالاتری دارد. شواهد حاصل از تحلیل شبکه‌های علم بیانگر الگوهای نسبتاً مشابهی در توزیع موضوعی مزیت‌های علمی این دو کشور است، هرچند ترکیه طی سال‌های اخیر گام‌هایی برای گسترش مزیت به حوزه‌های میان‌رشته‌ای و علوم اجتماعی نیز برداشته است (Pouris & Pouris, 2009).



شکل ۶. شبکه علمی ترکیه

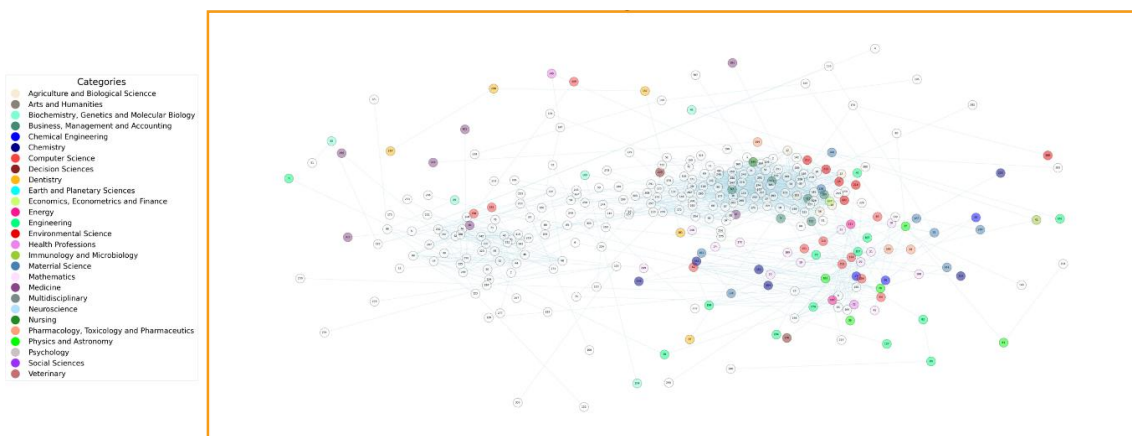
و رایانه متمرکز است و حضور محدودی در حوزه‌های میان‌رشته‌ای و علوم اجتماعی دارد (شکل ۷). تعداد بالاتر حوزه‌های دارای $RCA > 1$ در ایران، بیانگر پویایی و سیاست‌پذیری بیشتر ساختار دانشی آن نسبت به رقیب منطقه‌ای است.

تحلیل مقایسه‌ای ساختار دانشی ایران و عربستان در سال ۲۰۲۳ نشان می‌دهد ایران با مزیت نسبی در حوزه‌های متنوع‌تری از جمله فنی، علوم مواد، مهندسی و پزشکی، گستره‌ای متوازن‌تر دارد. در مقابل، عربستان با ۹۰ زیرحوزه مزیت، بیشتر بر علوم زمین، مهندسی شیمی



شکل ۷. شبکه علمی عربستان

ساختار دانشی هند در سال ۲۰۲۳ با ۹۷ زیرحوزه، مزیت عمدتاً بر مهندسی، علوم رایانه، فیزیک، شیمی و علوم زیستی متمرکز است؛ تمرکزی هم‌راستا با رویکرد فناورمحور این کشور پراکندگی محدود مزیت‌ها در محیط‌زیست و بهداشت نشان‌دهنده تلاش تدریجی برای تنوع‌بخشی است. در مقایسه، ایران در همان سال گره‌های مزیت‌دار بیشتری در حوزه‌های میان‌رشته‌ای و زیست‌محیطی داشته و از نظر تعداد و تنوع فضایی مزیت‌ها در جایگاه بهتری قرار گرفته است؛ یافته‌ای که تحلیل داده‌های عددی نیز تأیید می‌کند (Basole et al., 2015; Shahmoradi et al., 2024). این امر بیانگر انعطاف‌پذیری و گستره موضوعی بالاتر ایران نسبت به هند و ظرفیت بیشتر آن برای ورود به حوزه‌های نوظهور است.



شکل ۸. شبکه علمی هندوستان

بحث و نتیجه گیری

تحلیل شبکه علم ایران در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۳ نشان می‌دهد که مزیت‌های نسبی کشور عمدتاً در حوزه‌هایی مانند مهندسی، علوم پزشکی، فیزیک، علوم رایانه و شیمی متمرکز بوده‌اند. گره‌های دانشی مزیت‌دار ایران عمدتاً در نواحی جنوبی و شرقی شبکه قرار گرفته‌اند که نمایانگر ساختاری با تمرکز بر علوم فناور محور و در مان محور است. این الگو که با شاخص مزیت نسبی آشکار شده ($RCA > 1$) نیز تأیید می‌شود، بازتابی از جهت‌گیری تاریخی سیاست‌های علم و فناوری کشور است.

تأکید این پژوهش بر تنوع‌بخشی ساختار دانشی ایران، ناظر بر رویکرد تنوع هدفمند است؛ رویکردی که توسعه حوزه‌های علمی را به حوزه‌های دارای مجاورت دانشی با خوشه‌های مزیت‌دار موجود پیوند می‌دهد. این منطق، از یکسو با اصول محدودیت منابع و لزوم انتخاب حوزه‌های اولویت‌دار سازگار است و از سوی دیگر، با افزودن زمینه‌های میان‌رشته‌ای و حوزه‌های نوظهور به ترکیب مزیت‌های نسبی، تاب‌آوری و انعطاف ساختار علمی را در برابر تغییرات محیطی و فناوری افزایش می‌دهد. در این چارچوب، توصیه‌های سیاستی باید شامل تقویت حوزه‌هایی باشد که هم ظرفیت علمی داخلی و هم پیوندهای بالقوه قوی با حوزه‌های مزیت‌دار فعلی دارند. چنین استراتژی، پیشینه‌سازی بازده سرمایه‌گذاری علمی و جلوگیری از پراکندگی منابع را ممکن می‌سازد.

مقایسه با شبکه‌های سایر کشورها نشان می‌دهد که ساختار دانشی ایران شباهت‌هایی با کشورهایی همچون ترکیه و عربستان سعودی دارد؛ کشورهایی که آنها نیز تمرکز بالایی بر علوم سخت و کاربردی دارند. با این حال، کشورهایی مانند ایالات متحده، چین و هند توانسته‌اند با گسترش مزیت‌های نسبی در حوزه‌های میان‌رشته‌ای، زیست‌محیطی و علوم اجتماعی، ساختار علمی متنوع‌تری شکل دهند. شاخص تمرکز موضوعی ($HHI = 0.177$) برای ایران نشان‌دهنده

تمرکز بالای تولیدات علمی در تعداد محدودی از حوزه‌هاست، که این یافته با ساختار خوشه‌های مزیت‌دار در شبکه علم نیز هم‌راستا است. از سوی دیگر، سهم ایران در برخی حوزه‌ها مانند علوم انسانی، کشاورزی و محیط زیست بر اساس شاخص انحراف موضوعی کمتر از میانگین جهانی است (نمودار ۵). این وضعیت نشان‌دهنده نوعی ناترازی ساختار تولید علم در این حوزه‌هاست. البته تبیین علل دقیق این ناترازی نیازمند مطالعات سیاستی و نهادی بیشتر است.

بررسی شبکه‌های کشورهایی مانند ایالات متحده و هند، توزیع خوشه‌ای، متوازن و متنوعی از مزیت‌های نسبی را در بخش‌های مرکزی و بالایی شبکه علم نشان می‌دهد. این ساختارها که با مطالعات لیدسدورف و همکاران (Leydesdorff et al., 2015) و بنورث و همکاران (Benneworth et al., 2016) هم‌راستا هستند، نشان‌دهنده بلوغ علمی، تنوع ساختاری و توانمندی در پیوند علم با مسائل اجتماعی پیچیده‌اند. همچنین، رشد سریع عربستان سعودی در حوزه‌هایی مانند سیاست‌گذاری علم، انرژی‌های نو و محیط زیست، نمونه‌ای از تحول راهبردی موفق در تنوع‌بخشی ساختار دانشی منطقه‌ای محسوب می‌شود.

تحلیل روند پنج‌ساله ایران، از حرکت تدریجی از تمرکز به‌سوی تنوع حکایت دارد. اگرچه این حرکت هنوز ناتمام و نابرابر است، اما ظرفیت‌های بالقوه شبکه علم، همچون شناسایی مجاورت‌های دانشی و حوزه‌های پیرامونی، می‌تواند مسیر توسعه پایدارتر و هدفمندتر را برای سیاست‌گذاران ترسیم کند.

در این چارچوب، شبکه علم نباید تنها ابزاری توصیفی تلقی شود، بلکه باید به عنوان چارچوبی راهبردی برای شناسایی نواحی اولویت‌دار، مداخله در حوزه‌های کم‌مزیت، و تخصیص هوشمندانه منابع استفاده شود. این شبکه با نمایش خوشه‌های فعال، نواحی حاشیه‌ای، و ساختارهای کم‌تنوع، امکان بازطراحی سیاست‌های علمی را بر اساس شواهد فراهم می‌سازد.

شبکه‌ای، قابلیت‌های شبکه علم را به طور عمیق برای شناسایی خوشه‌های دانشی، رصد نقاط قوت و ضعف ساختار دانشی کشور، و ارتقای شواهد تصمیم‌سازی‌های سیاستی به نمایش گذاشته است. این رویکرد، امکان مقایسه تطبیقی ساختار دانشی ایران با کشورهای منتخب و ارائه توصیه‌های سیاستی مبتنی بر شواهد را نیز فراهم ساخته است.

بر این اساس، چارچوب ارائه‌شده می‌تواند در ارتقای کفایت و کارایی سیاست‌گذاری علم و فناوری، و تسهیل حرکت از رشد کمی به توسعه متوازن و کیفی در نظام علمی کشور نقشی مؤثر ایفا کند. در مجموع، شبکه علم به عنوان ابزاری داده‌محور، تحلیل‌پذیر و سیاست‌ساز می‌تواند مسیر طراحی آینده علمی کشور را به سمت ساختاری پایدارتر، متوازن‌تر و انعطاف‌پذیرتر هدایت کند. به کارگیری هوشمندانه این ابزار در نظام تصمیم‌گیری می‌تواند نقش بنیادینی در ارتقای جایگاه علمی ایران و همراستاسازی آن با تحولات جهانی ایفا کند.

نگارنده از حمایت‌های معاونت پژوهش و فناوری وزارت علوم، تحقیقات و فناوری در قالب اجرای طرح مطالعاتی ترسیم شبکه علم کشور (سال ۱۴۰۲) قدردانی می‌کند.

در سطح سیاست‌گذاری، کاربست شبکه علم می‌تواند ابزار مؤثری در تدوین اولویت‌های پژوهشی، جهت‌دهی به سرمایه‌گذاری‌های راهبردی، و بازطراحی نظام‌های حمایت از پژوهش در کشور باشد. یکی از ظرفیت‌های مهم این ابزار، شناسایی «مرزهای دانشی» است؛ نواحی‌ای که توسعه مزیت در آنها می‌تواند به گسترش افقی و تدریجی ساختار علمی کشور کمک کند. این منطق با مفهوم «قابلیت مجاورت دانشی» همراستاست و از گسترش ناگهانی و ناسازگار به حوزه‌های غیرمرتبط جلوگیری می‌کند.

همچنین، ترسیم شبکه‌های زمانی بر پایه این رویکرد، امکان رصد روندهای بلندمدت، پایش نتایج مداخلات، و مقایسه تطبیقی با سایر کشورها را فراهم می‌کند. این قابلیت، به ویژه برای کشوری چون ایران که با محدودیت منابع و فشارهای بین‌المللی مواجه است، اهمیت بالایی دارد.

نواوری اصلی این پژوهش در ارائه چارچوب تحلیلی-کاربردی برای کاربست شبکه علم در فرایندهای سیاست‌گذاری نظام علمی ایران است. بر خلاف مطالعات پیشین که صرفاً به توصیف کمی ساختار تولیدات علمی یا تحلیل استنادی اکتفا کرده‌اند، این تحقیق با بهره‌گیری از شاخص مزیت نسبی آشکارشده (RCA) و تحلیل

References

- Alshamsi, A., Pinheiro, F. L., & Hidalgo, C. A. (2018). Optimal diversification strategies in the networks of related products and of related research areas. *Nature Communications*, 9 (1), 1328. DOI: 10.1038/s41467-018-03740-9
- Balassa, B. (1965). Trade liberalisation and "revealed" comparative advantage. *The Manchester School*, 33 (2), 99-123. DOI: 10.1111/j.1467-9957.1965.tb00050.x
- Balland, P. A., & Rigby, D. L. (2017). The geography of complex knowledge. *Economic Geography*, 93 (1), 1-23. DOI: 10.1080/00130095.2016.1205947
- Basole, R. C., Karla, J., & Watters, A. (2015). Mapping research productivity in India using network visualization. *Scientometrics*, 104 (3), 927-945. DOI: 10.1007/s11192-015-1611-2
- Benneworth, P., Gulbrandsen, M., & Hazelkorn, E. (2016). *The impact and future of arts and humanities research*. London: Palgrave Macmillan.
- Bonaccorsi, A. (2018). *The evaluation of research in social sciences and humanities: Lessons from the Italian experience*. Switzerland: Springer Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-68554-0
- Bormmann, L., & Mutz, R. (2015). Growth rates of modern science: A bibliometric analysis based on the number of publications and cited references. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 66 (11), 2215-2222. DOI: 10.1002/asi.23329
- Cimini, G., Gabrielli, A., & Sylos Labini, F. (2014). The scientific competitiveness of nations. *PLoS ONE*, 9 (12), e113470. DOI: 10.1371/journal.pone.0113470
- Michele Coscia & Frank M. H. Neffke & Ricardo Hausmann, 2020. "Knowledge diffusion in the network of international business travel," *Nature Human Behaviour*, *Nature*, vol. 4 (10), pages 1011-1020, October. DOI: 10.1038/s41562-020-0922-x
- Glänzel, W., & Moed, H.F. (2013). Opinion paper: Thoughts and facts on bibliometric indicators. *Scientometrics*, 96 (1), 381-394. DOI: 10.1007/s11192-012-0898-z
- Glänzel, W., & Schubert, A. (2004). Analysing scientific networks through co-authorship. In H. F. Moed, W. Glänzel, & U. Schmoch (Eds.), *Handbook of quantitative science and technology research: The use of publication and patent statistics in studies of S&T systems* (pp. 257-276). Dordrecht: Springer Netherlands. DOI: 10.1007/1-4020-2755-9_12
- Glänzel, W., Leta, J., & Thijs, B. (2013). Science in Brazil. Part 1: A macro-level comparative study. *Scientometrics*, 97 (2), 505-524. DOI: 10.1007/s11192-013-0987-6

- Hausmann, R., Hidalgo, C. A., Bustos, S., Coscia, M., Simoes, A., & Yildirim, M. A. (2014). *The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity*. Massachusetts: MIT Press.
- Hidalgo, C. A. (2015). *Why Information Grows: The Evolution of Order, from Atoms to Economies*. New York City: Basic Books.
- Hidalgo, C. A. (2021). Economic complexity theory and applications. *Nature Reviews Physics*, 3 (2), 92-113. DOI: 10.1038/s42254-020-00275-1
- Hidalgo, C. A., & Hausmann, R. (2009). The building blocks of economic complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106 (26), 10570-10575. DOI: 10.1073/pnas.0900943106
- Janavi, E., & Shahmoradi, B. (2019). Determining Iran's scientific competitiveness ranking using Scientific Complexity Index (A comparative study in Middle-Eastern Countries). *Scientometrics Research Journal*, 5 (1), 66-84. DOI: 10.22070/rsci.2018.698
- Janavi, E., Mansourzadeh, M., & Shahmoradi, B. (2021). Investigating the priorities of the national master plan for science and education with adjacent scientific fields for diversification of iran research system by Scientific Complexity Approach. *Scientometrics Research Journal*, 8 (2), 1-30. DOI: 10.22070/rsci.2021.13754.1469
- King, D.A. (2004). The scientific impact of nations. *Nature*, 430 (7997), 311-316. DOI: 10.1038/430311a
- Leydesdorff, L., & Rafols, I. (2009). A global map of science based on the ISI subject categories. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 60 (2), 348-362. DOI: 10.1002/asi.20967
- Leydesdorff, L., Wagner, C. S., & Bornmann, L. (2015). The European Union, China, and the United States in the top-1% and top-10% of most-frequently cited publications: Competition and collaborations. *Journal of Informetrics*, 9 (3), 566-571. DOI: 10.1016/j.joi.2015.06.003
- Mansourzadeh, M. J., Shahmoradi, B., Dehdarirad, H., & Janavi, E. (2019). A note on using revealed comparative advantages in scientometrics studies. *Scientometrics*, 121 (1), 595-599. DOI: 10.1007/s11192-019-03207-8
- May, R. M. (1997). The scientific wealth of nations. *Sciences*, 275 (5301), 793-796. DOI: 10.1126/science.275.5301.793
- Moed, H. F. (2005). *Citation analysis in research evaluation*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Nutley, S., Walter, I., & Davies, H. T. O. (2020). *Using evidence: How Research Can Inform Public Services*. Bristol: Policy Press.
- OECD (2023). *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2023: Enabling Transitions in Times of Disruption*. Paris: OECD Publishing. DOI: 10.1787/0b55736e-en.
- OECD. (2022). *Mobilising Science for Innovation: Building Resilient Science Systems*. Paris: OECD Publishing.
- Patelli, A., Napolitano, L., Cimmini, G., Pugliese, E., & Gabrielli, A. (2022). The evolution of competitiveness across economic, innovation and knowledge production activities. DOI: 10.48550/arXiv.2206.00368
- Rafols, I., Leydesdorff, L., O'Hare, A., Nightingale, P., & Stirling, A. (2010). How journal rankings can suppress interdisciplinary research: A comparison between innovation studies and business & management. *Research Policy*, 39 (5), 1031-1043. DOI: 10.1016/j.respol.2010.01.004
- Wagner, C. S., Roessner, J. D., Bobb, K., Klein, J. T., Boyack, K. W., Keyton, J., ... & Börner, K. (2015). Approaches to understanding and measuring interdisciplinary scientific research (IDR): A review of the literature. *Journal of Informetrics*, 9 (4), 897-916. DOI: 10.1016/j.joi.2015.06.004
- Samandar Ali Eshtehardi, M., Azimi, N. A., & Shahmoradi, B. (2020). The causal relationship between knowledge-based economy components and economic complexity. *Iranian Journal of Economic Research*, 25 (82), 217-242. DOI: 10.22054/ijer.2020.11915
- SCImago Research Group. (2023). *SCImago Journal & Country Rank*. Retrieved from <https://www.scimagojr.com>
- Shahmoradi, B., & chiniforoshan, P. (2017). Measuring the knowledge and skill using Economic Complexity Approach. *Rahyafat*, 27 (67), 39-58.
- Shahmoradi, B., Hafezi, R., & Chiniforooshan, P. (2024). Industrial development policies based on economic complexity under plausible scenarios: Case of Iran 2027. *Journal of the Knowledge Economy*, 15 (2), 6578-6603. DOI: 10.1007/s13132-023-01354-1
- Soete, L., & Cagnin, C. (2016). Monitoring the knowledge society: The role of science mapping in STI policy. In D. Archibugi & A. Filippetti (Eds.), *The Handbook of Global Science, Technology, and Innovation* (pp. 341-361). New Jersey: Wiley-Blackwell. DOI: 10.1002/9781118739044.ch16
- UNESCO. (2023). *UNESCO Science Report 2023: The Race Against Time for Smarter Development*.

UNESCO Publishing. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377433>
Zhou, P., & Leydesdorff, L. (2006). The emergence of

China as a leading nation in science. *Research Policy*, 35 (1), 83-104. DOI: 10.1016/j.respol.2005.08.006



بهرروز شاهمرادی



عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات سیاست علمی کشور است که در حوزه‌های پیچیدگی اقتصادی، سیاست‌گذاری علم و فناوری و سازوکارهای تأمین مالی در بخش‌های علمی و فناوریانه تخصص دارد. او دانش‌آموخته دکتری اقتصاد با گرایش سرمایه‌گذاری بین‌الملل دارد و دارای بیش از یک دهه تجربه پژوهشی، تدریس در دانشگاه‌های معتبر، ترجمه کتاب‌های مرجع و انتشار دهها مقاله علمی در نشریات معتبر بین‌المللی است. همکاری نزدیک با نهادهای سیاست‌گذار و بخش خصوصی و انجام پروژه‌های ملی، جایگاه او را به عنوان یکی از چهره‌های اثرگذار در گفتمان سیاست‌گذاری مبتنی بر شواهد و توسعه نظام‌های نوآوری محکم ساخته است.

