

A Framework for the Identification, Prioritization, and Assessment of Emerging Technologies in Alignment with the Objectives of Iran's Industrial Policy

Kamal Kaviani^{1✉}, Hossein Hosseini², Gholamreza Goudarzi³, Babak Hamidiya⁴

1 -M.A. Student, Department of Islamic Studies and Industrial Management, Faculty of Islamic Studies and Management, Imam Sadiq University, Tehran, Iran.

2 -Ph.D. Student, Industrial Strategies, Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran.

3 -Professor, Department of Complex Systems Management, Faculty of Islamic Studies and Management, Imam Sadiq University, Tehran, Iran.

4- Assistant Professor, Department of Business Management, Faculty of Islamic Studies and Management, Imam Sadiq University, Tehran, Iran.

Abstract:

Targeted industrial development in the era of emerging technologies requires the convergence of industrial policy and technology development strategies. However, the current formulation of industrial development goals in Iran suffers from the absence of a coherent technological mapping, and the systematic integration and prioritization of emerging technologies within industrial policy objectives remains a critical gap. This study aims to address the disjunction between industrial and technological policies, as well as the lack of structured prioritization of emerging technologies in Iran's industrial policy framework, by proposing a comprehensive model for the identification, ranking, and evaluation of technologies. To this end, 151 emerging technologies were extracted from nine reputable international institutions and categorized into fourteen major technological domains. Subsequently, using twenty-three economic, social, technological, environmental, and policy indicators, and employing the Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) as a multi-criteria decision-making method, the identified technologies were ranked according to their compatibility with Iran's industrial ecosystem. The validity and coherence of the results were verified through a focus group of six experts in technology policy and foresight to ensure analytical consistency and research reliability. The findings indicate that renewable energy technologies, 3D printing, and artificial intelligence possess the highest potential for creating competitive advantage, strengthening technological ecosystems, and aligning with the strategic objectives of Iran's industrial policy.

Keywords: Prioritization, Technological Development, Industrial Policy, Emerging Technologies

DOI: 10.22034/jmi.2026.557075.3257

1. ✉Corresponding author: k.kavyani@isu.ac.ir



ارائه چارچوبی برای شناسایی، اولویت‌بندی و ارزیابی فناوری‌های نوظهور در راستای اهداف سیاست‌گذاری صنعتی ایران

دوره ۲۰ شماره ۳ (پیاپی
۷۳) فصل پاییز ۱۴۰۵

نوع مقاله: پژوهشی (تاریخ دریافت: ۱۱/۰۸/۱۴۰۴ تاریخ پذیرش: ۰۱/۰۷/۱۴۰۵) صفحات ۱۲۵ تا ۱۵۹

کمال کاویانی ✉

دانشجوی کارشناسی ارشد رشته معارف اسلامی و مدیریت صنعتی، دانشکده معارف اسلامی و مدیریت، دانشگاه
امام صادق(ع)، تهران، ایران.

حسین حسینی

دانشجوی دکتری رشته استراتژی‌های صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

غلامرضا گودرزی

استاد، گروه مدیریت سیستم‌های پیچیده، دانشکده معارف اسلامی و مدیریت، دانشگاه امام صادق(ع)، تهران،
ایران.

بابک حمیدیا

استادیار، گروه مدیریت کسب‌وکار، دانشکده معارف اسلامی و مدیریت، دانشگاه امام صادق(ع)، تهران، ایران.

چکیده

پیشرفت صنعتی هدفمند در عصر فناوری‌های نوظهور مستلزم همگرایی سیاست‌های صنعتی و توسعه فناوری است. از طرفی بررسی اهداف توسعه صنعتی در حال حاضر با خلأ نداشت فناوریانه همراه بوده و فرآیند کاربست و اولویت‌گذاری فناوری‌های نوظهور به‌صورت روشمند در اهداف توسعه صنعتی، به‌عنوان یکی از خلأهای اساسی در سیاست‌گذاری صنعتی قلمداد می‌شود. پژوهش حاضر با هدف پاسخ به چالش جدایی سیاست‌ها و خلأ اولویت‌بندی فناوری‌های نوظهور در اهداف سیاست‌گذاری صنعتی ایران، چارچوبی جامع برای شناسایی، رتبه‌بندی و ارزیابی فناوری‌ها ارائه می‌دهد. در این مطالعه، ۱۵۱ فناوری نوظهور از ۹ مؤسسه بین‌المللی معتبر استخراج و در ۱۴ کلان‌حوزه فناوریانه دسته‌بندی شدند. سپس با تعیین ۲۳ شاخص اقتصادی، اجتماعی، فناوریانه، محیط‌زیستی و سیاسی و استفاده از روش تصمیم‌گیری چندشاخصه تاپسیس، فناوری‌های نوظهور احصاء شده متناسب با زیست بوم صنعت ایران اولویت‌بندی شدند. اعتبارسنجی نتایج، توسط گروه کانونی ۶ خبره حوزه سیاست‌گذاری فناوری و آینده‌پژوهی انجام گرفت تا انسجام تحلیلی و روایی پژوهش تضمین شود. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، هوش مصنوعی و پرینت سه‌بعدی بیشترین ظرفیت را برای ایجاد مزیت رقابتی، تقویت زیست‌بوم‌های فناوریانه و تناسب بیشتری در راستای اهداف سیاست‌گذاری صنعتی ایران دارند.

واژگان کلیدی: اولویت‌بندی، توسعه فناوریانه، سیاست‌گذاری صنعتی، فناوری‌های نوظهور

۱- مقدمه

فناوری‌های نوظهور با سرعتی شگفت‌انگیز در حال دگرگون‌سازی جهان هستند. ظهور این فناوری‌ها، تمامی صنایع را دستخوش بازسازماندهی کرده و نیازمند آن است که رهبران، توانمندی‌های جدیدی برای بهره‌گیری از این فناوری‌ها در راستای مزیت رقابتی کسب کنند. فناوری‌های نوظهور می‌توانند قابلیت‌های استثنایی و مزیت‌های رقابتی ویژه‌ای برای سازمان‌ها به ارمغان بیاورند. با عبور این فناوری‌ها از مراحل گذار، سازمان‌ها می‌توانند با ترکیب آن‌ها، ارزش واقعی را از طریق همگرایی فناوری‌ها آشکار کنند و تأثیر ملموسی بر کسب‌وکارها بر جای بگذارند (SGU, ۲۰۲۰). در واقع، فناوری‌های نوظهور در قرن بیست و یکم در حال بازتعریف بسیاری از ابعاد جامعه، اقتصاد و فرهنگ هستند.

فناوری‌ها در الگوی سیاست صنعتی کشورها نقش بسزایی ایفا می‌کنند؛ تا جایی که الگوی سیاست‌گذاری صنعتی آنها مبتنی بر الگوی توسعه فناوری طراحی می‌گردد؛ از این رو صنعت، مسیر توسعه نوآورانه خود را در حوزه‌های کلیدی و فناورانه دنبال خواهد کرد (Song, ۲۰۲۱). در زیست بوم نوآوری ایران، نهادهای توسعه فناوری تا حد زیادی مجزا و منفک از مسائل بخش صنعت عمل کرده و اهداف خود را پیگیری می‌کنند. از سوی دیگر سازمان‌ها و نهادهای مرتبط با مسائل سیاست صنعت و فناوری، با یک الگوی غیرمتمرکز و بدون در نظر گرفتن فناوری‌های پیشران و اولویت‌دار، به اهداف توسعه فناوری و صنعت می‌پردازند (خالدی و همکاران، ۲۰۲۴، ۲۳). در نتیجه، اهداف سیاست فناوری کشور دچار افتراق معناداری با سیاست صنعتی می‌شود و عملاً منابع و تمرکز کشور، بدون جهت‌گیری مشخص و در نظر گرفتن فناوری‌های اولویت‌دار، هزینه می‌شود. گسترش علم و فناوری در کشور، مستلزم به‌کارگیری ذی‌نفعان مختلف از جامعه صنعتگران، فناوران و مصرف‌کننده‌های بزرگ علم و فناوری است که پس از اظهار نظر این ذی‌نفعان، اولویت‌های کلیدی توسط هر بخش ارائه شود (فاطمی و آراستی، ۱۳۹۸، ۱۳۱).

در سال‌های اخیر، پژوهش‌هایی در زمینه توسعه فناورانه همسو با سیاست‌های صنعتی انجام شده است که هر یک به بخشی از ابعاد مختلف این حوزه پرداخته‌اند. امینی، مصباحی‌نیا و فرحی (۱۴۰۲) به بررسی الزامات تجاری‌سازی قابلیت‌های دانشی در فناوری‌های نوظهور با روش تحلیل کمی-کیفی پرداخته‌اند و نتایجی در خصوص تبیین الزامات نهادی و ساختاری برای انتقال مؤثر فناوری به بازار ارائه نموده‌اند. همچنین، النقی مهری (۱۴۰۲) با تمرکز بر تحولات ناشی از انقلاب صنعتی چهارم، تأثیر این دگرگونی فناورانه را بر ساختار سازمان‌های دولتی و صنایع تحلیل کرده و با اشاره به الزامات سیاست‌گذاری، بر لزوم آمادگی نهادهای حاکمیتی برای مواجهه با چالش‌های این تغییرات تأکید نموده است. در همین راستا، محمدی فاتح و ابراهیمی (۱۳۹۹)، با بهره‌گیری از روش کیفی دلفی و تحلیل نظرات خبرگان، به شناسایی و رتبه‌بندی ۲۳ فناوری اطلاعاتی نوظهور در بخش دفاعی پرداخته‌اند و آن‌ها را برحسب زمان لازم برای تسلط و نیز کاربردهای تکنیکی، تاکتیکی و راهبردی دسته‌بندی

کرده‌اند. همچنین فاطمی و آراستی (۱۳۹۸) با مرور ادبیات اولویت‌گذاری فناوری و مقایسه روش‌های اولویت‌گذاری، تلاش کرده‌اند راهنمایی کاربردی برای تصمیم‌سازی خبرگان در انتخاب و اولویت‌گذاری پروژه‌های توسعه فناوری ارائه دهند.

در خصوص پژوهش‌های خارجی، بنگی‌سو (۲۰۰۳) با ادغام داده‌های مختلف از منابع متعدد و تحلیل آمار انتشار مقالات و پتنت‌ها، به بررسی و شناسایی فناوری‌های بحرانی و نوظهور در حوزه‌های مواد، تولید و مهندسی صنعتی پرداخته و با استفاده از داده‌های منتشرشده و پتنت‌ها، فناوری‌های اولویت‌دار را تعیین کرده است. همچنین کنگ، کیم و سول (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای در حوزه آینده‌پژوهی با روش تحلیل سلسله‌مراتبی دوگانه به مقایسه اولویت‌بندی فناوری‌ها و نقش‌های پژوهش و توسعه عمومی در صنایع تولیدی و خدماتی کره جنوبی در بستر انقلاب صنعتی چهارم پرداخته‌اند. علاوه بر این، نیماوات و گیدوانی (۲۰۲۰) در پژوهشی با بهره‌گیری از دو تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی و تحلیل شبکه‌ای، به تحلیل و اولویت‌بندی عوامل کلیدی مؤثر بر وضعیت پیاده‌سازی صنعت ۴،۰ در صنایع تولیدی هند پرداخته‌اند.

با وجود این تحقیقات، هنوز پژوهش مشخصی به اولویت‌گذاری فناوری‌های نوظهور در نظام توسعه صنعتی ایران نپرداخته است. این نکته نشان‌دهنده ضرورت انجام پژوهشی است که به صورت جامع و اولویت‌بندی‌شده، فناوری‌های نوظهور در عصر اقتصادی امروز را بررسی کند. همچنین فرآیند سیاست‌گذاری صنعتی مبتنی بر فناوری‌های نوظهور، مستلزم بسترسازی هوشمند همراه با اولویت‌گذاری دقیق فناوری‌های منتخب است؛ فقدان این رویکرد و عدم اولویت‌بندی دقیق این فناوری‌ها متناسب با شاخص‌های بومی، یکی از خلأهای جدی در نظام سیاست‌گذاری صنعتی ایران می‌باشد. بنابراین، این مسئله که فناوری‌های نوظهور اولویت‌دار در نظام توسعه صنعتی ایران کدام‌اند؟ سؤال اصلی این پژوهش است. هدف اصلی پژوهش حاضر، شناسایی، رتبه‌بندی و ارزیابی فناوری‌های نوظهوری است که بیشترین ظرفیت در جهت توسعه صنعتی کشور را دارا باشند. به این ترتیب، پژوهش حاضر در پی پاسخ به این نیازها، با تمرکز بر اولویت‌بندی فناوری‌های نوظهور با استفاده از شاخص‌های بومی، تلاش می‌کند فناوری‌های پیشران و اثرگذار در حوزه صنعت را اولویت‌بندی کرده و جایگاهی نوین در این حوزه ایجاد نماید. نهایتاً این پژوهش کمک می‌کند تا تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران، منابع محدود را به بهترین شکل ممکن به فناوری‌های کلیدی تخصیص دهند تا به اهداف توسعه صنعتی دست یابند. نتایج پژوهش حاضر در بهبود تصمیم‌گیری مدیران، افزایش کارایی در استفاده از منابع محدود، توسعه صنعتی پایدار، کاهش ریسک سرمایه‌گذاری و افزایش رقابت‌پذیری صنایع داخلی تأثیرگذار خواهد بود.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در دهه‌های اخیر، شناسایی و اولویت‌گذاری فناوری‌های نوظهور به‌عنوان یکی از محورهای کلیدی در سیاست‌گذاری علم، فناوری و نوآوری مطرح بوده و مطالعات متعددی از منظرهای مختلف به آن

پرداخته‌اند. بخشی از این پژوهش‌ها بر توسعه چارچوب‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند ANP، AHP، DAHP و OPA متمرکز بوده‌اند تا به کمک آن‌ها ارزیابی و رتبه‌بندی فناوری‌ها در سطوح صنعتی یا ملی انجام شود. برخی دیگر به رهیافت‌های کتاب‌سنجی و تحلیل داده‌های ثبت اختراع روی آورده‌اند تا از طریق داده‌کاوی در منابع اطلاعاتی جهانی، روندها و اولویت‌های فناورانه کشورها و صنایع مختلف را استخراج کنند. در حوزه کاربردی نیز، مطالعاتی به بررسی نیاز شرکت‌های تولیدی، به‌ویژه بنگاه‌های کوچک و متوسط در اولویت‌بندی و اجرای پروژه‌های انقلاب صنعتی چهارم پرداخته‌اند و برخی دیگر نیز موانع نهادینه‌سازی فناوری‌هایی نظیر بلاک‌چین و سیستم‌های سایبرفیزیکی در صنایع سنتی را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. با در نظر گرفتن تنوع حوزه‌ها و روش‌ها، جدول شماره (۱) در ادامه، مرور ساختاریافته‌ای از مطالعات برجسته داخلی و بین‌المللی را ارائه می‌دهد که در آن، نوع فناوری‌های بررسی‌شده، ابزار تحلیل و سطح تحلیل پژوهش‌ها به تفکیک مشخص شده‌اند.

جدول ۱: پیشینه پژوهش

ردیف	عنوان پژوهش	نویسندگان	یافته‌ها	محوریت پژوهش
۱	بررسی نقش واسطه‌های نوآوری در پذیرش فناوری‌های نوظهور در صنایع خودروسازی ایران	(ملکی و نیلفروشان، ۱۴۰۳)	بررسی نقش واسطه‌های نوآوری در تسهیل پذیرش فناوری‌های نوظهور در صنعت خودروسازی	ترویج فناوری در خودروسازی
۲	تجاری‌سازی قابلیت‌های دانشی برای فناوری‌های نوظهور در مراکز دانشگاهی و صنعتی	امینی، مصباحی‌نیا و فرحی، ۱۴۰۲)	تمرکز بر نقش شبکه‌های همکاری، تحقیق و توسعه و بازاریابی فناورانه و ارائه مدل سیاست‌محوری برای تجاری‌سازی دانش دانشگاهی	تجاری‌سازی فناوری‌های نوظهور
۳	تاثیرات انقلاب صنعتی چهارم در سازمان‌های دولتی و صنایع، چالش‌ها، فرصت‌ها و راهبردها	(النقی، مهری، ۱۴۰۲)	بررسی نقش فناوری‌های برهم‌زننده در انقلاب صنعتی چهارم و ارائه چارچوبی برای سیاست‌گذاری و آمادگی ساختاری دولت‌ها	انعکاس فناوری‌های نوظهور در سازمان‌ها
۴	شناسایی و رتبه‌بندی فناوری‌های اطلاعاتی نوظهور در بخش دفاعی	(محمدی فاتح و ابراهیمی، ۱۳۹۹)	ارائه دسته‌بندی بومی شده از فناوری‌های اطلاعاتی نوظهور در ۵ حوزه دفاعی با تأکید بر زمان‌بندی تملک و نوع کاربرد آن‌ها	رتبه‌بندی فناوری‌های نوظهور دفاعی

ردیف	عنوان پژوهش	نویسندگان	یافته‌ها	محوریت پژوهش
۵	اولویت‌گذاری فناوری‌های پیشرفته با معیارهای چندگانه	(مجیدپور و منوری، ۱۳۹۹)	ترکیب مرور نظام‌مند معیارهای ارزیابی فناوری با یک چارچوب موردی عملیاتی برای اولویت‌گذاری پروژه‌ها	اولویت‌گذاری فناوری‌های پیشرفته
۶	پیشنهاد یک مدل اولویت‌گذاری آینده‌پژوهانه علم و فناوری برای ایران براساس نظر خبرگان	(نصر اصفهانی و همکاران، ۱۴۰۱)	طراحی یک مدل چهارمرحله‌ای و بومی‌شده برای اولویت‌گذاری علم و فناوری با رویکرد آینده‌پژوهانه	ارائه مدل اولویت‌گذاری فناوری
۷	نقش مدیریت فناوریانه صنایع کوچک در توسعه پایدار اقتصادی	نظریان پاریزی و الهی‌فرد، ۱۳۹۸)	بررسی فرصت‌ها و چالش‌های فناوریانه خاص در صنایع کوچک و متوسط	توسعه فناوری پایه صنایع کوچک
۸	شناسایی ابزارهای سیاستی برای توسعه همکاری‌های فناوریانه شرکت‌های بزرگ صنعتی با شرکت‌های دانش‌بنیان	(شکری و همکاران، ۱۴۰۱)	تحلیل سیستماتیک و دسته‌بندی ابزارهای سیاستی موثر بر توسعه همکاری فناوریانه میان شرکت‌های بزرگ صنعتی و دانش‌بنیان	همکاری فناوریانه بنگاه‌ها
۹	فناوری‌های حیاتی و نوظهور در مواد، تولید و مهندسی صنایع: مطالعه‌ای برای تعیین اولویت.	(Bengisu, 2003)	بررسی و شناسایی فناوری‌های بحرانی و نوظهور در حوزه‌های مواد، تولید و مهندسی صنعتی و تعیین فناوری‌های اولویت‌دار	اولویت‌بندی بخشی فناوری‌های نوظهور
۱۰	اولویت‌بندی فناوری‌ها و نقش‌های تحقیق و توسعه عمومی بین صنایع تولیدی و خدماتی در انقلاب صنعتی چهارم	(Kang, Kim, & Seol, 2019)	تأکید بر اهمیت نقش مکمل دولت در تسهیل توسعه فناوری‌های اولویت‌دار و پیوند آن‌ها با نیازهای صنعت	اولویت‌بندی فناوری‌ها با نگاه بخشی
۱۱	فرآیند سلسله مراتبی تحلیلی دوگانه برای اولویت‌بندی فناوری‌های نوظهور	(Kim و همکاران، ۲۰۱۰)	معرفی روش DAHP و ارائه چارچوبی منعطف برای اولویت‌بندی فناوری‌های نوظهور در تصمیم‌گیری‌های سیاستی کره جنوبی	اولویت‌بندی فناوری‌های نوظهور

ردیف	عنوان پژوهش	نویسندگان	یافته‌ها	محوریت پژوهش
۱۲	هوشمندسازی به‌عنوان جهت‌گیری اولویت‌دار توسعه بنگاه‌های صنعتی در شرایط صنعت ۴,۰	(Bryukhovetskaya & Chorna, 2019)	تمرکز بر نقش هوشمندسازی در تحول صنعت و ارائه چارچوبی مفهومی برای توسعه صنایع در عصر انقلاب صنعتی چهارم	هوشمندسازی بنگاه‌های صنعتی
۱۳	اولویت‌بندی عوامل مهم در وضعیت اجرای صنعت ۴,۰ با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و تحلیل شبکه‌ای (ANP)	(Nimawat & Gidwani, 2020)	تعیین اولویت عوامل اثرگذار بر پیاده‌سازی انقلاب صنعتی چهارم در صنایع هند با بهره‌گیری از تکنیک AHP و ANP	پیاده‌سازی انقلاب صنعتی چهارم
۱۴	شناسایی و اولویت‌بندی پروژه‌های صنعت ۴,۰ در شرکت‌های کوچک و متوسط: رویکردی فرآیندی	(Igartua, Ganzarain, & Ibarra, 2020)	ارائه یک مدل فرایندی برای اولویت‌بندی و پیاده‌سازی پروژه‌های انقلاب صنعتی چهارم در بنگاه‌های کوچک و متوسط	اولویت‌بندی پروژه‌های انقلاب صنعتی چهارم

در مجموع، علی‌رغم تنوع مطالعات صورت گرفته، کمتر پژوهشی به‌بررسی نقش فناوری‌های نوظهور در سیاست‌گذاری صنعتی ایران با نگاه ملی پرداخته است و به‌طور خاص، اولویت‌گذاری فناوری‌های نوظهور با هدف سیاست‌گذاری صنعتی متناسب با شرایط بومی ایران فاقد تحقیق نظام‌مند بوده و نوآوری مقاله حاضر، پوشش این خلأ است. در این مقاله با ترکیب منابع معتبر جهانی، مجموعه‌ای از فناوری‌های نوظهور گردآوری، دسته‌بندی و بر اساس اهداف سیاست‌گذاری صنعتی ایران رتبه‌بندی و در پایان از منظر سیاستی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج این پژوهش می‌تواند مبنایی راهبردی برای سیاست‌گذاری صنعتی در کشور باشد.

۲-۱- فناوری‌های نوظهور

فناوری‌های نوظهور، نیروهای محرکه رقابت بین کشورها و مردم در اقتصاد جهانی قرن ۲۱ هستند. دسترسی به فناوری و سهم در بازده مالی فناوری، عامل مهمی در تعیین این خواهد بود که آیا یک فرد یا یک کشور در اقتصاد جهانی برنده است یا بازنده (OECD, ۱۹۹۶). در خصوص چیستی فناوری‌های نوظهور و شاخص نوظهوری، پژوهش‌های متعددی طی سالیان اخیر انجام شده است. در این میان، مقاله روتلو (۲۰۱۵) به‌نظر می‌رسد جامع‌ترین پژوهش باشد. روتلو با استفاده از روش مرور نظام‌مند ادبیات، ویژگی‌های منحصر بفرد و مشخصی برای فناوری‌های نوظهور احصاء کرده است. از نظر او یک فناوری نوظهور، فناوری‌ای است که نوآوری رادیکال، رشد سریع، انسجام، تأثیر قابل توجه و درجه‌ای از

عدم قطعیت و ابهام را ترکیب می‌کند. به عبارت دیگر، فناوری‌ای که وعده تأثیر بزرگ می‌دهد اما هنوز به‌طور کامل شکل نگرفته یا درک نشده است (Rotolo, ۲۰۱۵، ۱۱). علاوه بر این، بر اساس دیدگاه مگروک (۲۰۲۱)، فناوری‌های نوظهور، الزاماً فناوری جدیدی نیستند چراکه ممکن است در یک زمینه خاص مانند مکان، حوزه یا کاربرد، نوظهور تلقی شوند در حالی که در زمینه‌ای دیگر وجود حقیقی داشته باشند. این فناوری‌ها همچون یک پیکره در حال تکامل است که در وضعیت در حال پدیدار شدن قرار دارد و چرخه‌های هیجانی را تجربه می‌کند؛ درعین حال معیار «هنوز نه» را دارد؛ یعنی هنوز به‌طور کامل درک نشده یا به‌طور کامل مورد پژوهش قرار نگرفته است (Magruk, ۲۰۲۱، ص ۳). با وجود این تعاریف متنوع، هنوز تعریف نهایی و مبتنی بر اجماع درباره فناوری نوظهور وجود ندارد؛ چراکه دیدگاه‌های پژوهشی مختلف می‌توانند منجر به تفسیرهای متفاوتی از این اصطلاح شوند. در مجموع، ویژگی مشابهی که در همه تعاریف ذکر شده است، شدت عدم قطعیت این فناوری‌ها است.

به‌طور کلی، فناوری‌های نوظهور به آن دسته از فناوری‌هایی اشاره دارند که هم‌اکنون در حال توسعه‌اند یا انتظار می‌رود در پنج تا ده سال آینده در دسترس قرار گیرند (SGU, ۲۰۲۰). فناوری‌های نوظهور در توسعه انقلاب صنعتی چهارم با یکی از بالاترین سطوح عدم قطعیت بالقوه مواجه‌اند. این عدم قطعیت در مسیر تکامل فناوریانه و پذیرش آن‌ها در بازار و همچنین به دلیل نبود تعریف روشنی از مرزهای آن‌ها تشدید می‌شود (SGU, ۲۰۲۰). رقابت کشورهای مختلف در این عدم قطعیت‌ها نیز قابل ملاحظه است. این رقابت‌ها با هدف کاهش شکاف فناوری و ارتقای قابلیت‌های فناوریانه شکل می‌گیرد؛ به گونه‌ای که شکاف فناوری بیانگر تفاوت سطح پیشرفت‌های فناوریانه میان کشورها بوده و تحت تأثیر عواملی همچون سیاست‌های حکمرانی، ساختارهای نهادی، ظرفیت‌های نوآوری و زیرساخت‌های پژوهشی قرار دارد (فارسی و همکاران، ۱۴۰۰، ۵).

یکی از بزرگ‌ترین مزایای به کارگیری فناوری‌های نوظهور، افزایش بهره‌وری و کارایی است. به عنوان مثال فناوری‌های خودکارسازی و هوش مصنوعی در صنایع مختلفی مانند حمل و نقل، مراقبت‌های بهداشتی و تولید صنعتی برای انجام وظایف تکراری و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده‌ها به کار گرفته می‌شوند. این امر منجر به صرفه‌جویی در هزینه‌ها و ارتقاء بهره‌وری می‌شود. مزیت دیگر این فناوری‌ها، بهبود ارتباطات و اتصال‌پذیری است. این پیشرفت به افزایش همکاری، تبادل ایده‌ها و اطلاعات و خلق فرصت‌های تازه برای کسب‌وکار و ارتباطات اجتماعی می‌انجامد (Irar, ۲۰۲۳). با وجود اینکه پدیده نوظهوری به فرآیند پدید آمدن یا مهم و قابل مشاهده شدن اشاره دارد، ضروری است این نکته مورد توجه قرار گیرد که مهم‌ترین عرصه تحلیل فناوری‌های نوظهور، آینده توسعه آن‌هاست که با توجه به ماهیت نوآوری بنیادین این فناوری‌ها، از درجه بالایی از عدم قطعیت برخوردار است. در واقع، عدم قطعیت یکی از نقاط آغازین کلیدی برای بسیاری از مطالعاتی است که بر نقش انتظارات نسبت به توسعه فناوری تمرکز دارند (Magruk, ۲۰۲۱، ص ۴).

۲-۲- فناوری‌های نوظهور از منظر مؤسسات بین‌المللی

سالانه مؤسسات متعددی از مجامع و دانشگاه‌های علمی معتبر در سطح جهان، به احصاء و ارائه فناوری‌های نوظهور با روش‌شناسی مشخص می‌پردازند. در پژوهش حاضر، فناوری‌های نوظهور ارائه‌شده توسط مهم‌ترین سازمان‌های علمی و پژوهشی با ذکر روش‌شناسی به‌کار گرفته شده آنها احصاء گردیده است. مؤسسه مکنزی در سال ۲۰۲۵، مؤسسه گارتنر در سال ۲۰۲۴، گروه مشاوره بوستون در سال ۲۰۲۵، دانشگاه استنفورد در سال ۲۰۲۵، انجمن نوآوری اروپا در سال ۲۰۲۱، انجمن جهانی اقتصاد در سال‌های ۲۰۱۹، ۲۰۲۰، ۲۰۲۱، ۲۰۲۲، ۲۰۲۳ و ۲۰۲۴، مؤسسه فناوری ماساچوست در سال ۲۰۲۴، آکادمی آزاد کمبریج برای سال ۲۰۲۵ و مؤسسه فیزیک کاخ سفید آمریکا در سال ۲۰۲۴، به‌روزترین فهرست فناوری‌های نوظهور را منتشر نموده‌اند.

• مؤسسه مکنزی!

مؤسسه مکنزی به‌عنوان یکی از مراکز مهم ارائه مشاوره‌های سیاستی، هر ساله روندهای نوظهور فناوری را احصاء و منتشر می‌کند. از دیدگاه مک‌کینزی، شناسایی و احصای فناوری‌های نوظهور و لبه‌ای بر مبنای مجموعه‌ای از شاخص‌های کمی و کیفی انجام می‌شود. این شاخص‌ها شامل میزان توجه عمومی و مدیریتی، شدت و گستره نوآوری، حجم و جهت‌گیری سرمایه‌گذاری‌های سهامی، جریان استعداد و نیروی انسانی متخصص است که پشتوانه هر روند فناوری را شکل می‌دهد. در کنار این سنجه‌ها، بررسی فناوری‌های زیربنایی، عدم قطعیت‌های موجود و پرسش‌های کلیدی پیرامون هر روند نیز در نظر گرفته می‌شود تا علاوه بر سنجش جایگاه فعلی، مسیر احتمالی تحول و میزان اثرگذاری آن‌ها در صنایع مختلف و فضای رقابتی جهانی نیز مشخص گردد (Yee و همکاران، ۲۰۲۵).

از نمونه فناوری‌های معرفی‌شده توسط مؤسسه مکنزی در سال ۲۰۲۵، می‌توان به مواردی از قبیل: هوش مصنوعی عاملیت‌محور، نیمه‌رساناهای کاربرد ویژه، رایانش ابری و لبه‌ای، فناوری‌های کوانتومی، رباتیک و... اشاره کرد.

• مؤسسه گارتنر!

مؤسسه گارتنر بینش‌های عملی و عینی در حوزه کسب‌وکار و فناوری در بخش‌های مختلف را ارائه می‌دهد. گارتنر برای انتخاب فناوری‌های نوظهور از شاخص‌های سه‌گانه اصلی استفاده می‌کند که عبارت‌اند از: وسعت تأثیر (تعداد صنایع و مناطق جغرافیایی که تحت تأثیر قرار می‌گیرند)، عمق تأثیر (سطح تحول و تغییراتی که فناوری می‌تواند ایجاد کند) و سرعت تأثیر (سرعت رسیدن فناوری به مرحله پذیرندگان اولیه و اثرگذاری عملی آن). همچنین این رادار، توجه ویژه‌ای به نوآوران و پیشروان فناوری، موارد استفاده واقعی و عملیاتی و زمان‌بندی تأثیر فناوری‌ها بر بازارهای موجود دارد تا سازمان‌ها بتوانند استراتژی محصول و سرمایه‌گذاری خود را بر اساس فرصت‌ها و ریسک‌های نوظهور بازطراحی کنند (Gartner، ۲۰۲۴).

^۱Mckinsey & Company

^۲Gartner

از نمونه فناوری‌های معرفی شده توسط مؤسسه گارتنر در سال ۲۰۲۴، می‌توان به مواردی از قبیل: دوقلوهای دیجیتال، هوش مصنوعی مولد، هوش مصنوعی مسئولانه، توکنیزه‌سازی، یادگیری خودنظارتی و... اشاره کرد.

• گروه مشاوره بوستون (BCG):

گروه مشاوره بوستون یک شرکت مشاوره مدیریتی جهانی است که با رهبران حوزه‌های کسب‌وکار و جامعه برای حل چالش‌های اساسی و بهره‌گیری از بزرگ‌ترین فرصت‌ها همکاری می‌کند. از نگاه BCG، یک فناوری زمانی «نوظهور» محسوب می‌شود که بتواند به چالش‌های بنیادین و اهداف بلندپروازانه پاسخ دهد، قابلیت‌ها و مزیت‌های رقابتی بی‌سابقه ایجاد کند، از هیجانات تبلیغاتی فاصله بگیرد و ارزش واقعی و پایدار برای کسب‌وکار به همراه آورد. این فناوری می‌تواند در مرحله بلوغ اولیه مانند هوش مصنوعی یا در حال رشد مانند رباتیک پیشرفته باشد، اما باید ظرفیت عملیاتی شدن و ارزش‌آفرینی داشته باشد؛ همچنین، پیوندپذیری با اکوسیستم‌های گسترده علمی و صنعتی و توانایی دگرگون‌سازی چهره کسب‌وکارها در بازه زمانی پنج تا ده سال آینده از دیگر شاخص‌های کلیدی BCG برای انتخاب و شناسایی فناوری‌های نوظهور است (BCG، ۲۰۲۵).

از نمونه فناوری‌های معرفی شده توسط شرکت مشاوره BCG در سال ۲۰۲۵، می‌توان به مواردی از قبیل: واقعیت مجازی و افزوده، متاورس، هوش مصنوعی، بلاک‌چین، اینترنت اشیاء و... اشاره کرد (BCG، ۲۰۲۵).

• دانشگاه استنفورد^۱:

دانشگاه استنفورد به‌عنوان کانونی بنیادین برای شکل‌گیری و تداوم اکوسیستم نوآوری در حال فعالیت است؛ به‌گونه‌ای که فناوری‌های توسعه‌یافته در این دانشگاه از دهه ۱۹۳۰ پایه‌گذار شرکت‌های پیشگام منطقه سیلیکون‌ولی شدند و از آن زمان تاکنون، اعضای هیئت علمی، پژوهشگران و دانش‌آموختگان آن با تأسیس شرکت‌های بزرگ و پیشرو، نقش اصلی در تغذیه این اکوسیستم داشته‌اند. در گزارش سال ۲۰۲۵ دانشگاه استنفورد با عنوان «مرور فناوری‌های نوظهور استنفورد»، مرور جامعی بر ده حوزه کلیدی از فناوری‌های نوظهور است. هدف این گزارش از منظر استنفورد، تمرکز بر مهم‌ترین حوزه‌هایی است که بیشترین تأثیر را بر جامعه، اقتصاد و ژئوپلیتیک دارند.

از نمونه فناوری‌های معرفی شده توسط دانشگاه استنفورد در سال ۲۰۲۵، می‌توان به مواردی از قبیل: رباتیک، کریپتوگرافی، توسعه پایدار انرژی، لیزرها، نوروساینس و... اشاره کرد (Rice و همکاران، ۲۰۲۵).

• انجمن نوآوری اروپا (EIC):

^۱Boston Consulting Group

^۲Stanford University

^۳European Innovation Council

کمیسیون اروپا در مارس ۲۰۲۱ انجمن نوآوری اروپا را به‌عنوان یک ابتکار پرچمدار برای شناسایی، توسعه و گسترش فناوری‌های نوظهور و نوآوری‌های پیشگامانه راه‌اندازی کرد. این شورا با بیش از ۱۰ میلیارد یورو بودجه برای سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۲۷ تأسیس شد. انجمن نوآوری اروپا از طریق یک مدل عمدتاً از پایین به بالا حمایت می‌کند که امکان ارائه ایده‌های پیشگامانه از زمینه‌های مختلف علمی و فناوری را فراهم می‌کند که می‌تواند بر طیف گسترده‌ای از بخش‌ها و کاربردها تأثیر بگذارد. این مدل برای چالش‌های انجمن برنامه‌ریزی شده است که زمینه‌های خاص علمی و فناوری‌های نوظهور یا نوآوری‌های پیشگامانه با اهمیت استراتژیک برای اتحادیه اروپا را هدف قرار می‌دهند (EIC، ۲۰۲۲).

از نمونه فناوری‌های معرفی شده توسط انجمن نوآوری اروپا در سال ۲۰۲۲، می‌توان به مواردی از قبیل: بیوالکترونیک، فتوسنتز مصنوعی، مواد دوبعدی، سلول‌های سوختی میکروبی، ربات نرم و... اشاره کرد (EIC، ۲۰۲۲).

• انجمن جهانی اقتصاد!

مجمع جهانی اقتصاد به‌صورت تدریجی از سال ۲۰۱۹ تا اکنون، هر ساله ۱۰ فناوری نوظهور مطرح، متناسب با روش‌شناسی مشخص خود شناسایی و ارائه می‌کند. فناوری‌های مورد بررسی، از طریق یک نظرسنجی توزیع شده به گروه هدایت‌کننده و شبکه گسترده‌تر متخصصان و جوامع نوآور مجمع جهانی اقتصاد گردآوری می‌شود. بیش از ۹۰ متخصص از ۲۰ کشور در تهیه این گزارشات مشارکت داشته‌اند. پاسخ‌دهندگان نظرسنجی‌ها مواردی از جمله، حوزه‌های تحت تأثیر فناوری، میزان نوآوری به‌کار گرفته شده، عمق و قدرت‌آفرینی فناوری، پتانسیل فناوری در افزایش رفاه عمومی، ایجاد بازارهای جدید و... را به‌عنوان شاخص در نظر می‌گیرند (World Economic Forum، ۲۰۲۳). همچنین محققان این انجمن معتقدند، این فناوری‌ها در بازه زمانی سه تا پنج سال، تأثیر چشمگیری بر جوامع و اقتصادها خواهند گذاشت. روش‌شناسی نوآورانه‌ای که برای تحلیل روندها در نظر گرفته شده است شامل مرور ادبیات علمی، ردیابی روندهای سرمایه‌گذاری و بررسی ثبت اختراعات است که دقت و انسجام فرایند انتخاب را تقویت می‌کند (World Economic Forum، ۲۰۲۴).

از نمونه فناوری‌های معرفی شده توسط انجمن جهانی اقتصاد طی سال‌های ۲۰۱۹ الی ۲۰۲۴، می‌توان به مواردی از قبیل: ربات‌های اجتماعی، ردیابی و بسته‌بندی پیشرفته مواد غذایی، سیمان کم‌کربن، آمونیاک سبز، اومیکس فضایی و... اشاره کرد.

• مؤسسه فناوری ماساچوست^۲

در مؤسسه فناوری ماساچوست، یک مجله بسیار معتبر و شناخته شده در حوزه فناوری به نام «تکنولوژی ریویو» وجود دارد که به‌بررسی و انتشار آخرین پیشرفت‌ها، نوآوری‌ها و روندهای تکنولوژیکی می‌پردازد (Massachusetts Institute of Technology، ۲۰۲۴). از نمونه فناوری‌های معرفی شده توسط

^۱World Economic Forum

^۲MIT

مؤسسه فناوری ماساچوست در سال ۲۰۲۴، می‌توان به‌مواردی از قبیل: یادگیری ماشین بیزی، پرتوهای تراهرتز، نانوسیم‌ها، زیست‌شناسی مصنوعی، ذخیره‌سازی توزیع شده و... اشاره کرد (Massachusetts Institute of Technology, ۲۰۲۴).

• آکادمی آزاد کمبریج^۱

آکادمی آزاد کمبریج، یک نهاد آینده‌پژوهانه فناوری است که مأموریت آن شناسایی و معرفی روندهای نوظهور در حوزه فناوری‌های تحول‌آفرین است. گزارش سال ۲۰۲۵ این مؤسسه متناسب با اهداف مذکور، ۱۰ فناوری کلیدی که بنا بر تحلیل‌های این مؤسسه در سال ۲۰۲۶ نقش‌آفرینی جدی خواهند داشت، به‌صورت فشرده و کاربردمحور معرفی شده‌اند (Cambridge open academy, ۲۰۲۵). از نمونه فناوری‌های معرفی‌شده توسط آکادمی آزاد کمبریج در سال ۲۰۲۵، می‌توان به‌مواردی از قبیل: واقعیت گسترده، اینترنت اشیاء، چاپ زیستی، هاپر اتوماسیون، محاسبات کوانتومی و... اشاره کرد (Cambridge open academy, ۲۰۲۵).

• مؤسسه فیزیک آمریکا (AIP)

مؤسسه فیزیک آمریکا یک سازمان غیرانتفاعی در کاخ سفید است. این مؤسسه در سال ۱۹۳۱ باهدف هماهنگی سیاست‌های انجمن‌های عضو تأسیس شد. کاخ سفید آمریکا در اوایل سال ۲۰۲۴ یک لیست به‌روزرسانی شده از فناوری‌های حیاتی و نوظهوری که به‌طور بالقوه، برای امنیت ملی ایالات متحده مهم می‌داند منتشر کرد (Ambrose, ۲۰۲۴). طبق گزارش کاخ سفید، فهرست فناوری‌های حیاتی و نوظهور ارائه شده نه به‌عنوان ابزار اولویت‌بندی رسمی برای سیاست‌گذاری یا تأمین مالی، بلکه به‌عنوان منبعی راهبردی در نظر گرفته شده است؛ به این معنا که انتخاب و معرفی این فناوری‌ها بر پایه چهار کارکرد اصلی صورت می‌گیرد: نخست، جهت‌دهی به تلاش‌های آینده برای ارتقای رهبری فناورانه ایالات متحده؛ دوم، تسهیل همکاری با متحدان و شرکا به‌منظور توسعه و حفظ مزیت‌های مشترک فناورانه؛ سوم، توسعه، طراحی، حکمرانی و بهره‌برداری از این فناوری‌ها در راستای منافع اجتماعی و همسویی با ارزش‌های دموکراتیک و چهارم، فراهم کردن مبنایی برای اقدامات دولت آمریکا در پاسخ به تهدیداتی که متوجه امنیت ملی کشور هستند (Ambrose, ۲۰۲۴).

از نمونه فناوری‌های معرفی‌شده توسط مؤسسه فیزیک آمریکا در سال ۲۰۲۴، می‌توان به‌مواردی از قبیل: فناوری‌های پیشرفته موتور توربین گازی، حسگری و مدیریت امضا پیشرفته و شبکه‌ای، هوش مصنوعی، رباتیک بسیار خودکار، فناوری‌های هاپرسونیک و... اشاره کرد.

^۱Cambridge open academy

^۲American Institute of Physics

جدول ۲: رویکرد روش‌شناختی به کار رفته توسط مؤسسات مختلف در فرآیند شناسایی و معرفی فناوری‌ها

ردیف	نام مؤسسه	سال انتشار	رویکرد روش‌شناختی در شناسایی فناوری‌ها
۱	مؤسسه مکنزی	۲۰۲۵	شناسایی فناوری‌ها مبتنی بر ترکیب شاخص‌های کمی و کیفی شامل شدت نوآوری، میزان توجه مدیریتی، جریان سرمایه‌گذاری و استعداد، همراه با تحلیل عدم قطعیت‌ها و مسیر اثرگذاری فناوری‌ها بر صنایع و رقابت‌پذیری جهانی.
۲	مؤسسه گارتنر	۲۰۲۴	شناسایی فناوری‌های نو ظهور مبتنی بر «رادار تأثیر» و ارزیابی آن‌ها بر اساس سه شاخص وسعت، عمق و سرعت تأثیر، با تأکید بر موارد استفاده عملی، نوآوران پیشرو و زمان‌بندی اثرگذاری فناوری‌ها بر بازار.
۳	گروه مشاوره بوستون	۲۰۲۵	شناسایی فناوری‌های نو ظهور مبتنی بر پایش اکوسیستم‌های علمی و صنعتی، ارزیابی ظرفیت ارزش‌آفرینی واقعی، ایجاد مزیت رقابتی پایدار و توان دگرگون‌سازی کسب‌وکارها در افق ۵ تا ۱۰ ساله، با تمرکز بر هم‌افزایی میان فناوری‌ها و قابلیت عملیاتی‌سازی.
۴	دانشگاه استنفورد	۲۰۲۵	شناسایی فناوری‌های نو ظهور مبتنی بر مرور چندلایه علمی-سیاستی در حوزه‌های کلیدی، با هدایت خبرگان دانشگاهی، تحلیل تحولات فناورانه و ارزیابی پیامدهای فنی، اقتصادی، اجتماعی و مقرراتی در افق آینده.
۵	انجمن نوآوری اروپا	۲۰۲۲	شناسایی فناوری‌های نو ظهور مبتنی بر رویکرد ترکیبی پایین‌به‌بالا و تحلیل ثانویه ادبیات، پیش‌بینی علم و فناوری و گزارش‌های تجاری، با لحاظ ملاحظات راهبردی و اولویت‌های سیاستی اتحادیه اروپا.
۶	انجمن جهانی اقتصاد	۲۰۱۹ تا ۲۰۲۴	شناسایی فناوری‌های نو ظهور مبتنی بر اجماع خبرگان بین‌المللی از طریق نظرسنجی تخصصی، همراه با مرور ادبیات علمی، ردیابی سرمایه‌گذاری و تحلیل پتنت‌ها، با تمرکز بر عمق اثرگذاری و تأثیر اقتصادی-اجتماعی در افق ۳ تا ۵ ساله.
۷	مؤسسه فناوری ماساچوست	۲۰۲۴	شناسایی فناوری‌های نو ظهور مبتنی بر ارزیابی تحولی پژوهشگران متخصص در حوزه‌های کلیدی، با تمرکز بر پتانسیل اثرگذاری انقلابی در محاسبات، پزشکی، ارتباطات، زیرساخت‌های انرژی و...
۸	آکادمی آزاد کمبریج	۲۰۲۵	شناسایی فناوری‌های نو ظهور مبتنی بر تحلیل روندهای تحول‌آفرین، با تأکید بر سرعت اثرگذاری، توان بازتعریف شیوه زندگی و کار، قابلیت سازگاری با واقعیت‌های نو و همسویی با ارزش‌های انسانی.
۹	مؤسسه فیزیک آمریکا	۲۰۲۴	شناسایی فناوری‌های نو ظهور مبتنی بر فرآیند بین‌سازمانی تحت نظارت شورای امنیت ملی آمریکا، با هدف جهت‌دهی به رهبری فناورانه، تسهیل همکاری بین‌المللی، همسویی با ارزش‌های اجتماعی و دموکراتیک و پشتیبانی از امنیت ملی آمریکا.

۲-۳- سیاست صنعتی

سیاست صنعتی به تلاش راهبردی دولت برای تشویق دگرگونی‌های اقتصادی اطلاق می‌شود؛ به عبارت دیگر، سیاستی است در جهت گذار از فعالیت‌هایی با بهره‌وری پایین‌تر به فعالیت‌هایی با بهره‌وری بالاتر، چه در میان بخش‌های مختلف اقتصادی و چه در درون یک بخش مشخص. به طور خاص، سیاست صنعتی به هر نوع مداخله یا سیاست‌گزینشی دولت اشاره دارد که در تلاش است ساختار تولید را به گونه‌ای تغییر دهد که به نفع بخش‌ها یا فعالیت‌هایی باشد که انتظار می‌رود چشم‌انداز بهتری برای رشد اقتصادی فراهم کنند؛ رشدی که در صورت عدم مداخله و صرفاً در وضعیت تعادلی بازار قابلیت تحقق ندارد (OECD، ۲۰۲۵).

سیاست‌های صنعتی، غالباً در نزاع بین دو دیدگاه، رفت و برگشت کرده‌اند. نخست، دیدگاهی که برای هرگونه فعالیت اقتصادی، برنامه‌ریزی‌های مرسوم دولتی را تشویق می‌کند؛ و دوم، دیدگاهی که هرگونه فعالیت دولت در توسعه صنعتی را انکار می‌نماید. سیاست‌گذاری صنعتی عملاً به مثابه یک فرایند یادگیری در بستر همکاری‌های شبکه‌ای استراتژیک بین دولت و کارآفرینان پیشگام شکل می‌گیرد؛ فرایندی که در آن، دولت به جای ایفای نقش صرفاً مداخله‌گر یا ناظر، به مثابه یک تسهیل‌گر عمل می‌کند و از طریق تعامل مستمر با بازیگران نوآور، مسیرهای توسعه صنعتی را شناسایی، تقویت و تنظیم می‌نماید. در این الگو، یادگیری نهادی و انباشت تجربیات مشترک میان بخش عمومی و خصوصی، بنیان سیاست‌گذاری صنعتی را تشکیل می‌دهد و موجب ارتقای ظرفیت پاسخ‌گویی سیاست‌ها به نیازهای در حال تغییر بازار و فناوری می‌شود (بابایی و همکاران، ۲۰۱۵، ص ۸۹).

۲-۴- توسعه فناورانه صنعت

در عصر انقلاب صنعتی چهارم، سیاست‌گذاری صنعتی نوین از حمایت‌های سنتی مالی فراتر رفته و به سمتی حرکت کرده است که در آن راهبردهای توسعه فناوری با ساختارهای تولیدی کاملاً ادغام می‌شوند تا پیشرفت صنعتی هدفمند محقق شود. در مدل‌های پیشرفته، این رویکرد سیستمیک بر پیوند میان سه لایه استوار است: صنایع آینده که بنیان‌های علمی را شکل می‌دهند؛ صنایع نوظهور که بر تجاری‌سازی متمرکز هستند و صنایع سنتی که از این دستاوردها برای ارتقای بهره‌وری استفاده می‌کنند (Schindowski و همکاران، ۲۰۲۶). هدف اصلی در این فرآیند، ایجاد یک نگاشت فناورانه منسجم است که شکاف میان نهادهای تحقیق و توسعه و بخش صنعت را از بین برده و منابع محدود ملی را به سمت حوزه‌هایی هدایت کند که بیشترین ارزش افزوده را ایجاد می‌کنند (OECD، ۲۰۲۵). این همگرایی با تکیه بر هم‌افزایی میان دولت پیشرو و بازارهای کارآمد، تضمین می‌کند که نوآوری‌های آزمایشگاهی به سرعت به چرخه‌های تولید انبوه وارد شوند.

سیاست‌گذاری علم، فناوری و نوآوری با هدف جهت‌دهی به مسیر توسعه فناورانه و حل چالش‌های کلان اجتماعی و اقتصادی تدوین می‌شود (حیرانی و همکاران، ۱۴۰۴، ۴). در این میان، فناوری‌های

نوظهور به‌عنوان تعیین‌کنندگان پارادایم‌های رقابت جهانی، در نقطه کانونی قرار دارند. این فناوری‌ها از طریق فرآیند همگرایی، در محیط‌های تخصصی با یکدیگر ترکیب شده و پتانسیل‌های جدیدی برای تولید هوشمند و خودکار ایجاد می‌کنند که سرعت نوآوری را تا چندین برابر افزایش می‌دهد (OECD، ۲۰۲۵). به‌عنوان نمونه، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوظهور به کشورها اجازه می‌دهد با کسب مزیت نفر اول، از رقابتی سنتی سبقت گرفته و در حوزه‌هایی مانند خودروهای برقی یا انرژی‌های پاک، جایگاهی مستحکم در زنجیره‌های ارزش جهانی به دست آورند. این تحول فناورانه فراتر از بهبودهای جزئی، منجر به بازسازماندهی کامل زنجیره‌های تأمین و ایجاد صنایع نوین می‌شود که پیش از این وجود نداشته‌اند. نقش نهایی فناوری‌های پیشرفته در تحقق اهداف استراتژیک، از ارتقای بهره‌وری و کاهش هزینه‌های طراحی گرفته تا توسعه صادرات و کاهش وابستگی‌های گلوگاهی مشهود است؛ به‌عنوان مثال هوش مصنوعی با بهینه‌سازی فرآیندها می‌تواند هزینه‌های طراحی را به میزان قابل توجهی کاهش داده و نرخ تشخیص نقص در تولید را به شدت ارتقا دهد (European Commission، ۲۰۲۱).

۳- روش‌شناسی

مقاله حاضر با هدف شناسایی، اولویت‌بندی و ارزیابی فناوری‌های نوظهور و کاربرست آنها در نظام توسعه صنعتی ایران، از رویکردی ترکیبی بهره گرفته است که مراحل آن شامل تحلیل مضمون، رتبه‌بندی و اعتبارسنجی خبرگانی است. چارچوب روش‌شناسی در سه گام به شرح زیر تنظیم شده است. در گام نخست، شناسایی فناوری‌های نوظهور با هدف استخراج فهرستی از فناوری‌های واجد شرایط ورود به فرآیند تحلیل انجام شده است. در این مرحله، فناوری‌ها بر اساس سه مؤلفه نوظهور بودن، اقتدارآفرینی و توان خلق ارزش افزوده بالا مورد شناسایی قرار گرفتند. داده‌های موردنیاز این بخش از طریق تحلیل ۹ سند از گزارش‌های بین‌المللی، اسناد سیاستی، مطالعات آینده‌پژوهی و منابع علمی معتبر گردآوری و تحلیل شد تا فناوری‌های دارای بیشترین ظرفیت راهبردی شناسایی شوند. در ادامه فهرست فناوری‌های شناسایی‌شده به‌منظور دسته‌بندی بهینه، تحلیل مضمون شدند. روش تحلیل مضمون، روشی برای شناخت، تحلیل الگوهای موجود در داده‌های کیفی و فرایندی برای تحلیل داده‌های متنی است و داده‌های پراکنده و متنوع را به داده‌هایی غنی و تفصیلی تبدیل می‌کند (عابدی جعفری و همکاران، ۱۳۹۰). تحلیل مضمون، رویکردی نظام‌مند به تحلیل داده‌های کیفی است که شناسایی مضامین یا الگوهای معنادار، کدگذاری و دسته‌بندی داده‌ها را به‌دنبال دارد و معمولاً به‌صورت متن نمایش داده می‌شود. دسته‌بندی داده‌ها در این روش، بر اساس مضامین و تفسیر نتایج با ساختار مضمون‌بنیاد در راستای مشابهت‌یابی، تعیین روابط، تعیین الگوهای غالب و اصول تبیینی انجام می‌شود (لاپادت، ۲۰۱۰، ۱۲).

بدین منظور برای پیاده‌سازی مرحله شناسایی، با استفاده از گزارشات بین‌المللی یعنی گزارش مؤسسه مکنزی (۲۰۲۵)، مؤسسه گارتنر (۲۰۲۴)، گروه مشاوره بوستون (۲۰۲۵)، دانشگاه

استنفورد (۲۰۲۵)، انجمن جهانی اقتصاد (۲۰۱۹-۲۰۲۴)، انجمن نوآوری اروپا (۲۰۲۲)، مؤسسه فناوری ماساچوست (۲۰۲۴)، آکادمی آزاد کمبریج (۲۰۲۵) و آکادمی فیزیک آمریکا (۲۰۲۴)، فهرستی از به‌روزترین فناوری‌های نوظهور دنیا استخراج شد. سپس این فناوری‌ها یکپارچه، کدگذاری و دسته‌بندی شدند. در مرحله بعد با بازبینی مضامین و رفع همپوشانی‌ها، ۱۴ مضمون به دست آمد که این مضامین همان فناوری‌های نوظهور نهایی جهت اولویت‌بندی بودند. دسته‌بندی ۱۴ گانه بر اساس سه معیار ذیل انجام شده است:

- اشتراک در بنیان علمی فناوری‌ها
- اشتراک در حوزه کاربرد صنعتی
- اشتراک در اکوسیستم توسعه فناوری

در گام بعدی پژوهش، جهت اولویت‌بندی فناوری‌های نوظهور احصا شده، از روش رتبه‌بندی تاپسیس استفاده شد. در این گام ابتدا و مجدداً با استفاده از روش تحلیل مضمون، مهم‌ترین شاخص‌ها جهت اولویت‌بندی فناوری‌های نوظهور با استفاده از مرور اسناد و مراجعه به خبرگان احصا گردید؛ پس از استخراج مضامین اصلی به‌عنوان شاخص‌های ارزیابی، این شاخص‌ها مجدداً جهت تأیید نهایی برای خبرگان مربوطه ارسال و مورد تأیید قرار گرفت. خبرگان مورد نظر دارای تخصص‌های مرتبط با اکوسیستم صنعت و فناوری بوده‌اند. شاخص‌های تأییدشده بر مبنای ۵ موضوع اساسی شامل نسبت داشتن با اقتصاد ایران، ماهیت فناوری، سمت تقاضا، سمت عرضه و مؤلفه‌های خوداتکایی دسته‌بندی شدند.

در ادامه، مضامین اصلی یعنی فناوری‌های نوظهور، بر اساس شاخص‌های احصا شده به‌عنوان متغیرهای مرتبط با مسئله، توسط متخصصان ارزیابی شدند که مجموع این نظرات ماتریس تصمیم را تشکیل و با روش تاپسیس، تحلیل و رتبه‌بندی شدند. واژه تاپسیس به معنی روش‌های ترجیح براساس مشابهت به راه‌حل ایده‌آل است. این مدل از قوی‌ترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه است (سهرابی و احدی، ۱۳۹۶، ۹۸) که در سال ۱۹۸۱ توسط هوانگ و یون ارایه شد. در این روش M گزینه به وسیله N شاخص بررسی می‌شود و هر مسئله به صورت سیستم هندسی شامل M نقطه در فضای N بعدی در نظر گرفته می‌شود (امیری و همکاران، ۱۳۹۵). در این روش گزینه‌های مختلف که توسط شاخص‌های گوناگون مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند، طبق فرایندی باهم مقایسه می‌شود و در نهایت گزینه‌ای که شاخص روش تاپسیس آن از همه بهتر است، انتخاب خواهد شد. هدف این روش حداکثر کردن فاصله بین گزینه انتخاب شده تا گزینه ضد ایده‌آل و حداقل کردن همین فاصله تا گزینه ایده‌آل مثبت است (خاتمی فیروز آبادی، ۱۳۹۴). روش تاپسیس برای مواردی مناسب می‌باشد که نرخ تبادل در بین شاخص‌های موجود ثابت باشد (اصغرپور، ۱۳۷۷، ص ۲۶۶).

به‌منظور جمع‌آوری داده‌ها جهت تحقق اهداف پژوهش تعداد ۴۸ پرسشنامه تهیه شد و در اختیار متخصصان حوزه فناوری و صنعت از جمله: مدیران شرکت‌های دولتی و خصوصی، مشاورین طرح‌های مدیریتی و کسب و کارها، مجریان و مشاوران پروژه‌های صنعتی و از سوی دیگر در اختیار اساتید دانشگاهی که هریک دارای شرایط زیر می‌باشند قرار گرفت:

۱. متخصص حوزه فناوری

۲. توان تجزیه و تحلیل مسائل صنعت

۳. آشنایی با رویکردهای آینده‌نگر

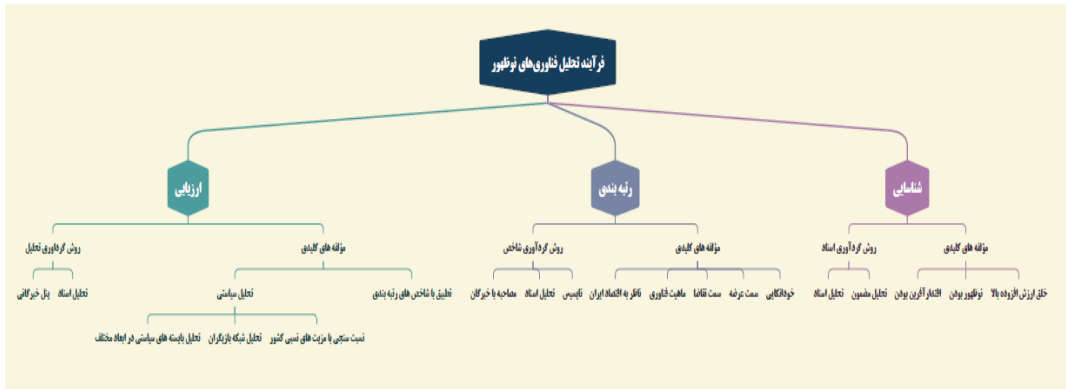
در گام نهایی فرایند اولویت‌بندی، پس از تحلیل داده‌ها بر اساس روش رتبه‌بندی تاپسیس، جهت اعتبارسنجی خروجی پژوهش، «گروه کانونی خبرگانی» متشکل از خبرگان حوزه صنعت و فناوری تشکیل و پس از ارائه پژوهش و جمع‌بندی نکات ایشان، مدل نهایی تحلیل و تایید گردید. شکل ۱- فرایند روش‌شناسی استفاده‌شده در رتبه‌بندی فناوری‌های نوظهور را نمایش می‌دهد.



شکل ۱- فرایند روش‌شناسی رتبه‌بندی فناوری‌های نوظهور در راستای اهداف سیاست‌گذاری صنعتی ایران

در گام سوم پژوهش، پس از شناسایی و اولویت‌بندی فناوری‌های نوظهور، ارزیابی فناوری‌های دارای اولویت با تأکید بر فناوری‌هایی که رتبه بالاتری کسب کرده بودند، انجام شد. در این مرحله، فناوری‌های منتخب با بهره‌گیری از تحلیل اسناد و ارزیابی‌های حاصل از جلسه گروه کانونی خبرگان، مورد ارزیابی سیاستی قرار گرفتند. این ارزیابی با هدف تبیین ابعاد راهبردی فناوری‌ها انجام شد و سه محور اصلی را در بر گرفت: نخست، تحلیل شبکه بازیگران و ذی‌نفعان مؤثر در توسعه هر فناوری؛ دوم، تطبیق فناوری‌های اولویت‌دار با مزیت‌های نسبی و ظرفیت‌های ملی کشور و سوم، تحلیل بایسته‌ها و الزامات

سیاستی موردنیاز برای توسعه، استقرار و بهره‌برداری از هر فناوری. بدین ترتیب، این مرحله فراتر از رتبه‌بندی کمی فناوری‌ها، به ارزیابی کیفی و سیاست‌محور فناوری‌های منتخب پرداخته و زمینه تدوین پیشنهاد‌های سیاستی مبتنی بر شواهد را فراهم ساخته است. شکل ۲- چارچوب روش‌شناسی مقاله را نمایش می‌دهد.



شکل ۲- چارچوب روش‌شناسی پژوهش

۴- یافته‌ها

همانطور که در بخش روش‌شناسی تحقیق بیان شد، در گام نخست پژوهش، با مراجعه به اسناد سیاستی منبع‌باز، فناوری‌هایی که واجد ویژگی نوظهوری، توان خلق ارزش‌افزوده بالا و قابلیت اقتدارآفرینی بودند شناسایی شدند. پس از شناسایی مؤسسات، به‌منظور دسته‌بندی فناوری‌های نوظهور از روش تحلیل مضمون استفاده شد. منابع مورد استفاده شامل مجموعه‌ای از گزارش‌ها و پایگاه‌های تحلیلی آینده‌نگر و سیاست‌گذار در سطح بین‌المللی بودند. این منابع عبارت‌اند از:

- گزارش «مؤسسه مکنزی» در سال ۲۰۲۵
- گزارش «مؤسسه گارتنر» در سال ۲۰۲۴
- گزارش «گروه مشاوره بوستون» در سال ۲۰۲۵
- گزارش «دانشگاه استنفورد» در سال ۲۰۲۵
- گزارش‌های سالیانه «مجمع جهانی اقتصاد» طی سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۲۴
- گزارش «انجمن نوآوری اروپا» در سال ۲۰۲۲
- فناوری‌های نوظهور منتشرشده توسط «مؤسسه فناوری ماساچوست» در سال ۲۰۲۴
- گزارش «آکادمی آزاد کمبریج» در سال ۲۰۲۵
- گزارش راهبردی «انجمن فیزیک آمریکا» وابسته به کاخ سفید ایالات متحده در سال ۲۰۲۴

از این منابع، تعداد ۲۰۵ فناوری نوظهور استخراج گردید که پس از هم‌پوشانی و ادغام موارد تکراری به ۱۵۱ فناوری رسید. در ادامه هر یک از این فناوری‌ها مطابق جدول شماره (۳) دسته‌بندی شد. خروجی این مرحله، شکل‌گیری ۱۴ حوزه کلان فناوری نوظهور بود که فناوری‌های نوظهور استخراج‌شده ذیل آن‌ها سامان یافتند. این ساختار معنایی، پایه تحلیل‌های اولویت‌گذاری در مراحل بعد قرار گرفت.

جدول ۳: فناوری‌های نوظهور احصاء شده توسط مؤسسات بین‌المللی

ردیف	نام خوشه	نام فناوری	ردیف	نام خوشه	نام فناوری
۱	زیست فناوری	سنسورهای گیاهان پوشیدنی	۷۷	اطلاعات و ارتباطات	سطوح هوشمند قابل تنظیم (واحدهای کوچک مجهز به تنظیمات الکترونیکی)
۲		فاج‌خورهای طراحی شده ^۱ (درمان میکروبی)	۷۸		پردازش ابری
۳		الکترونیک عصبی اعطاف‌پذیر	۷۹		دوقلوهای دیجیتال (شبیه‌سازی دقیق با مدل‌های دیجیتالی)
۴		مهندسی عصبی	۸۰		رابط‌های کاربری چندمدلی ^۲ (استفاده از یک شیوه ارتباطی متنوع در تعامل انسان-ماشین)
۵		بیوالکترونیک	۸۱		حضور از راه دور مشارکتی
۶		فتوسنتز مصنوعی	۸۲		ذخیره‌سازی داده‌ها در DNA
۷		بیوانفورماتیک ^۳ (تحلیل داده‌های زیستی)	۸۳		ذخیره‌سازی توزیع شده
۸		تولید زیستی توزیع‌شده	۸۴		استانداردهای Wi-Fi 6 (نسل جدید از شبکه‌های بی‌سیم پیشرفته)
۹		حسگری زیستی	۸۵		فیبرهای نوری میکروسیالی
۱۰		ویرایش ژن	۸۶		اینترنت اشیاء
۱۱		سلول‌های انسانی برنامه‌ریزی مجدد شده	۸۷		سامانه‌های مخابراتی نسل ششم ^۴
۱۲		سنتز زیستی الکتریکی	۸۸		شبکه‌های بی‌سیم کم‌مصرف
۱۳		سنسورهای زیست‌تجزیه‌پذیر	۸۹		فناوری فضاهای هوشمند

فناوری‌های یکپارچه ارتباط و شبکه‌سازی		۹۰	خواندن و نوشتن توزیع شده DNA (ویرایش و شناسایی ژنتیکی)		۱۴
موقعیت‌یابی، ناوبری و زمان‌سنجی ^۲		۹۱	هیدروژل‌ها ^۱		۱۵
شبکه‌های خصوصی نسل ۵ ^۳		۹۲	مواد خودترمیمی		۱۶
اسپینترونیک ^۴ (ذخیره و پردازش اطلاعات با اسپین الکترون)		۹۳	فناوری تشخیص مولکولی		۱۷
فناوری‌های تقویت حریم خصوصی		۹۴	مدل‌های زبانی بزرگ زیستی		۱۸
چاپ سه‌بعدی اشیاء بزرگ	پرینت سه‌بعدی	۹۵	فناوری ارتباط گیاهان		۱۹
خانه‌های با چاپ سه بعدی		۹۶	کشاورزی داخلی خودکار		۲۰
چاپ جهانی (تولید افزایشی اجسام سه‌بعدی)		۹۷	فناوری جذب و حذف کربن		۲۱
ربات نرم (ربات‌های با ساختار انعطاف‌پذیر)	رباتیک	۹۸	تجزیه دی اکسید کربن		۲۲
ربات‌های جراحی کنترل‌شونده		۹۹	میکروبیوم (تحلیل و مهندسی میکروبی)		۲۳
فناوری تشخیص احساسات		۱۰۰	اومیکس فضایی ^۵ (تحلیل مکانی مولکول‌های بیولوژیک)		۲۴
ربات‌های اجتماعی (تعامل انسان-ماشین)		۱۰۱	سیناپس مغز مصنوعی		۲۵
جاروبرقی‌های رباتیک مجهز به هوش مصنوعی		۱۰۲	نگاشت عملکرد مغز (تحلیل سیگنال‌های عصبی)		۲۶
رباتیک بسیار خودکار		۱۰۳	واکسن‌های ژنومی		۲۷
ربات‌های انسان‌نما		۱۰۴	فناوری‌های تغییر اپی‌ژنتیک (کنترل فعالیت ژن‌ها)		۲۸
کامپیوترهای کوانتومی	کوانتوم	۱۰۵	بیولومینسانس ^۶ (تولید نور زیستی)		۲۹
حسگری کوانتومی		۱۰۶	پروتئین‌های نامنظم به عنوان اهداف دارویی		۳۰
شبکه‌های ارتباطی امن		۱۰۷	کودهای هوشمند		۳۱

¹Hydrogels²PNT³Private 5G⁴Spintronics⁵Spatial Omics⁶Spintronics

حسگری و مدیریت امضا پیشرفته و شبکه‌ای		۱۰۸	ردیابی و بسته‌بندی پیشرفته مواد غذایی		۳۲
فناوری‌های اطلاعات کوانتومی		۱۰۹	میکروسوزن‌ها (تزریق و انجام و آزمایش‌های بدون درد)		۳۳
استخراج از سیارک‌ها (استخراج مواد معدنی)		۱۱۰	بیماران مجازی (شبیه‌سازی پزشکی)		۳۴
پرتاب‌گرهای نوین		۱۱۱	پزشکی دیجیتال		۳۵
ماژول‌های ایستگاهی (اجزای سازنده ایستگاه فضایی)		۱۱۲	سنتز کامل ژنوم (ساخت ژنوم مصنوعی)		۳۶
اتصال جهان با فضا	هوافضا	۱۱۳	محصولات کشاورزی خودبارور		۳۷
ماهواره‌های مدار پایین زمین ^۱		۱۱۴	سنسورهای تنفسی		۳۸
فناوری‌های هایپرسونیک		۱۱۵	تولید دارو به صورت سفارشی		۳۹
آگاهی وضعیتی فضایی (رصد لحظه‌ای و منسجم)		۱۱۶	مهندسی پیری بهتر		۴۰
فناوری‌های اکتشاف		۱۱۷	بازیابی مواد مغذی از پساب		۴۱
تراشه‌های نورومورفیک ^۲		۱۱۸	محصولات کشاورزی خود بارور		۴۲
آزمایشگاه روی تراشه		۱۱۹	پرتوهای تراهرتز (تصویربرداری پزشکی امن)		۴۳
هوش مصنوعی مولد		۱۲۰	دستگاه‌های تشخیص زیستی بی‌سیم (شناسایی عوامل زیستی از طریق حسگرها)		۴۴
مراقبت‌های بهداشتی تسهیل‌شده توسط هوش مصنوعی		۱۲۱	میکروب‌های جذب‌کننده کربن		۴۵
نیمه‌رساناهای کاربرد ویژه	هوش مصنوعی و پردازشگرهای داده	۱۲۲	ژنومیک برای پیوندها		۴۶
ادغام دوونیم‌بعدی چیپ‌لت‌ها (تولید تراشه با قطعات کوچک‌تر و تخصصی‌تر)		۱۲۳	درمان RNAi (خاموش کردن ژن‌های بیماری‌زا)		۴۷
هوش مصنوعی مسئولانه ^۴		۱۲۴	ژنومیک شخصی		۴۸
یادگیری خودنظارتی		۱۲۵	چاپ زیستی		۴۹
هوش مصنوعی برای کشف علمی		۱۲۶	راکتورهای نمک مذاب	هسته‌ای	۵۰
ترنسفورمرهای بینایی		۱۲۷	راکتورهای هسته‌ای ایمن‌تر		۵۱
رایانش لبه‌ای با مقیاس فوق‌العاده		۱۲۸	پنجره‌های هوشمند (کنترل هوشمند نور و گرما)	انرژی‌های تجدیدپذیر	۵۲

ترجمه جهانی		۱۲۹	سلول‌های سوختی میکروبی		۵۳
ادغام ناهمگن سه‌بعدی روی تراشه‌ها (چینش لایه به لایه و سه‌بعدی تراشه‌ها)		۱۳۰	رنگ ترموالکتریک (تبدیل مستقیم گرما به برق)		۵۴
هایپر اتوماسیون		۱۳۱	فناوری‌های انرژی دریایی و جزر و مدی		۵۵
هوش مصنوعی عاملیت‌محور		۱۳۲	زیست پلاستیک‌ها برای اقتصاد چرخشی		۵۶
یادگیری ماشین بیزی		۱۳۳	ذخیره‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر در مقیاس بزرگ		۵۷
لنزهای بسیار کوچک برای دستگاه‌های مینیاتوری		۱۳۴	هواپیمای برقی (منبع تأمین انرژی)		۵۸
متاورس/ متاورس برای سلامت روان	واقعیت تعمیم‌یافته (XR)	۱۳۵	سیستم‌های انرژی مبتنی بر هوش مصنوعی و داده		۵۹
فناوری غوطه‌ور برای دنیای ساخته شده (تجربه‌های کاربری واقع‌گرایانه)		۱۳۶	سیمان کم‌کربن		۶۰
ارزهای دیجیتال		۱۳۷	انرژی مبتنی بر آلومینیوم		۶۱
کریپتوگرافی	بلاک‌چین	۱۳۸	سوخت‌های هیدروژنی (مشابه هیدروژن سبز)		۶۲
توکنیزه‌سازی		۱۳۹	برداشت انرژی (از طریق سیگنال‌های بی‌سیم، ارتعاشات صوتی و...)		۶۳
مواد دوبعدی (مواد حاوی ویژگی‌های فیزیکی، رسانایی و... ویژه)		۱۴۰	تجزیه آب (تولید هیدروژن پاک)		۶۴
باتری‌های انعطاف‌پذیر (حاوی ویژگی‌های منعطف و ذخیره‌سازی بالا)		۱۴۱	آمونیاک سبز		۶۵
تبادل انرژی بین خودرو و شبکه برق	فناوری‌های الکترونیک	۱۴۲	سوخت پایدار هواپیما		۶۶
هواگردهای برقی شهری ^۱		۱۴۳	فناوری‌های پیشرفته موتور توربین گازی		۶۷
ریز تحرک‌های برقی (آحمل‌ونقل با مسافت کوتاه)		۱۴۴	نانو-ال‌ای‌دی‌ها ^۲	نانو	۶۸
خودروهای خودران		۱۴۵	نانوتیوب‌های کربن		۶۹

کنترل شبکه برق		۱۴۶	نانوسیم‌ها		۷۰
ترانزیستورهای گرافنی		۱۴۷	مواد معماری‌شده (ساخت و تولید با ویژگی‌های خاص)		۷۱
الکترونیک انعطاف‌پذیر		۱۴۸	مواد مهندسی پیشرفته (ساخت قطعات سبک و مقاوم)		۷۲
استفاده‌های باتری با عمر دوم (بهره‌گیری مجدد، پس از پایان عمر مفید)		۱۴۹	حسگری و ارتباط یکپارچه	اطلاعات و ارتباطات	۷۳
اپتوالکترونیک (ارتباط بین نور و سیگنال‌های الکترونیک)		۱۵۰	تحول حافظه رایانه‌ای		۷۴
لیزر	فوتونیک	۱۵۱	امنیت سایبری در دنیایی فوق متصل		۷۵
			متامواد (مواد مهندسی‌شده با قابلیت‌های حسگری و...)		۷۶

کلان فناوری‌های نوظهور احصاء شده، به‌عنوان متغیرهای مرتبط با مسئله در مرحله بعدی پژوهش، یعنی روش تاپسیس به‌کارگیری شدند. در این بخش در گام نخست نیاز بود که شاخص‌های مرتبط با هدف پژوهش استخراج گردد. از آنجایی که پژوهشگران در این پژوهش به‌دنبال این سوال هستند که متناسب با اقتضائات اقتصادی و صنعتی، توسعه کدام فناوری‌های نوظهور می‌تواند مسیر توسعه صنعتی ایران را تسهیل و تقویت نماید؛ بدین جهت بایستی شاخص‌هایی طراحی گردد که این نیاز پژوهشی را پاسخ دهد. از این‌رو ابتدا از طریق مرور اسناد و گزارش‌های سیاستی، تعداد ۲۱ شاخص مرتبط با ابعاد اقتصادی، اجتماعی، فناورانه، محیط‌زیستی و سیاستی گردآوری شدند. سپس شاخص‌های احصاء شده در اختیار خبرگان قرار داده شد و در قالب مصاحبه نیمه‌ساختاریافته با ۷ نفر از خبرگان دانشگاهی و سیاست‌گذار، نهایتاً ۵۱ شاخص شناسایی شد. شاخص‌های دارای هم‌پوشانی ابتدا ادغام و شاخص‌های با ارتباط ضعیف حذف شدند. در پایان این گام، تعداد ۲۳ شاخص نهایی به‌صورت تلفیقی تعیین شده و به‌عنوان معیارهای ارزیابی فناوری‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین نوع هر شاخص نیز مشخص شدند. این شاخص‌ها به شرح جدول شماره (۴) است.

جدول ۴: شاخص‌های ارزیابی فناوری‌های نوظهور

ردیف	موضوع شاخص	عنوان شاخص	نوع شاخص
۱	ناظر به اقتصاد ایران	میزان قابلیت استفاده صنعت ایران از فناوری مورد نظر	مثبت
۲		میزان قدرت‌آفرینی بین‌المللی برای ایران	مثبت

ردیف	موضوع شاخص	عنوان شاخص	نوع شاخص
۳		تحریم‌پذیر بودن	منفی
۴		مزیت‌ها، زیرساخت‌ها و قابلیت‌های فناورانه داخل کشور جهت توسعه فناوری	مثبت
۵		ارزیابی توانایی و مهارت‌های نیروی کار مرتبط با فناوری	مثبت
۶		پیامدهای سوء اجتماعی و فرهنگی	منفی
۷		میزان رشد بهره‌وری، رشد اقتصادی و بازدهی سرمایه‌گذاری برای اقتصاد ایران	مثبت
۸	ماهیت فناوری	نرخ رشد فناوری: سرعتی که فناوری در حال پیشرفت و به‌روزرسانی است و نوآوری‌های جدیدی ارائه می‌دهد	مثبت
۹		ریسک و عدم قطعیت: میزان ریسکی که با پذیرش و پیاده‌سازی فناوری همراه است	منفی
۱۰		سرریز فناوری: فناوری‌هایی که در عرصه‌های اجتماعی و کلان کاربرد داشته و تاثیر در کارکردهای مختلف دارند.	مثبت
۱۱		میزان تحول آفرینی	مثبت
۱۲		سرعت دستیابی به فناوری (چرخه عمر)	مثبت
۱۳		سازگاری با شرایط آب، انرژی و اقلیم (میزان سازگاری با روندهای آینده جهانی)	مثبت
۱۴		نرخ رشد بازار داخلی	مثبت
۱۵	سمت تقاضا	نرخ رشد بازار جهانی	مثبت
۱۶		اندازه بازار داخلی	مثبت
۱۷		اندازه بازار جهانی	مثبت
۱۸	سمت عرضه	انگیزه کارآفرینان بزرگ	مثبت
۱۹		توانمندی کارآفرینان بزرگ	مثبت
۲۰		ایجاد اثرات شبکه‌ای: استفاده تعدادی محدود موجب استفاده سایر اعضا و پیوستن آنها به شبکه می‌شود.	مثبت
۲۱		حجم سرمایه‌گذاری مورد نیاز / میزان ارزیابی	منفی
۲۲	خوداتکایی	میزان دسترسی به مواد اولیه	مثبت
۲۳		میزان همکاری بین‌المللی در توسعه فناوری و دسترسی به دانش خارجی	مثبت

در این مرحله پس از احصاء مضامین (کلان فناوری‌های نوظهور) و شاخص‌ها، از روش رتبه‌بندی تاپسیس به‌عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه جبرانی استفاده شد. بدین منظور، ۴۸ پرسشنامه در اختیار خبرگان قرار گرفت. همچنین با مشارکت ۵ خبره و تجزیه و تحلیل نظرات ایشان، شاخص‌ها وزن‌دهی شدند. در مرحله بعد، داده‌ها پس از نرمال‌سازی و تعیین وزن معیارها و تجزیه و تحلیل داده‌ها بر اساس روش تاپسیس، رتبه هر یک از کلان فناوری‌های نوظهور مشخص گردید و به ترتیب از ۱ تا ۱۴ رتبه‌بندی شدند. جدول شماره (۵) اولویت‌بندی کلان فناوری‌های نوظهور را نشان می‌دهد.

جدول ۵: اولویت‌بندی فناوری‌های نوظهور با استفاده از روش تاپسیس

فناوری / شاخص	قابلیت همکاری صنایع با این نوآوری	میزان قدرت آفرینی بین المللی برای ایران	تحریم‌پذیر بودن	مزیت‌ها، زیرساخت‌ها و قابلیت‌های فناوری داخل کشور	سرمایه انسانی: ارزیابی توانایی و مهارت‌های نیروی کار مرتبط با فناوری	پیامدهای سوء اجتماعی و فرهنگی	میزان رشد بهره‌وری و رشد اقتصادی و بازدهی سرمایه گذاری	نرخ رشد فناوری: سرعتی که فناوری در حال پیشرفت و به‌روزرسانی است و نوآوری‌های جدیدی ارائه می‌دهد.	ریسک و عدم قطعیت: میزان ریسکی که با پذیرش و پیاده‌سازی فناوری و همین‌طور ریسک قابلیت همراه است.	فناوری‌هایی که در عرصه‌های کلان کاربرد دارند و تأثیر در کارکردهای مختلف دارند.	میزان رادیکال بودن	سرعت دستیابی (چرخه عمر)
زیست فناوری	1/44	1/97	1/70	1/94	1/42	0/90	2/41	1/58	1/66	1/89	2/07	1/68
فناوری هسته‌ای	1/80	1/97	2/03	1/96	1/36	0/92	2/03	1/08	1/53	1/99	1/90	1/66
فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر	2/01	2/14	1/01	2/03	1/29	0/57	2/11	1/58	1/07	2/27	2/35	2/32
فناوری نانو	0/78	0/56	0/76	0/58	1/36	0/28	1/29	0/85	1/13	1/06	1/01	1/08
فناوری اطلاعات و ارتباطات	2/30	1/97	1/74	1/60	1/36	1/35	2/26	1/85	1/90	2/13	1/27	2/21
فناوری پرینت سه بعدی	2/20	0/90	0/39	1/36	1/55	0/66	2/11	1/37	1/36	2/08	1/78	1/89
فناوری رباتیک	2/16	2/10	2/20	2/32	1/55	0/61	1/36	1/13	1/32	1/56	0/85	1/42
فناوری کوانتوم	2/01	1/32	1/28	1/45	0/97	0/82	1/21	1/78	1/46	2/18	1/41	1/37
فناوری هوافضا	1/65	1/91	1/33	1/67	1/36	0/43	2/11	1/75	2/34	1/99	2/11	1/82
فناوری هوش مصنوعی	1/58	1/66	1/62	1/31	1/36	1/04	2/56	1/75	1/46	2/34	2/25	2/68
فناوری XR	1/82	1/97	1/16	1/45	1/42	0/86	1/81	1/51	1/85	2/18	1/83	2/10
فناوری بلاک‌چین	1/34	1/89	0/62	1/65	1/17	1/06	2/31	1/85	1/75	1/61	2/16	1/68
فناوری‌های الکترونیک	1/34	1/89	1/62	1/65	0/97	1/31	1/81	1/71	2/24	2/27	1/22	2/00
فناوری فوتونیک	2/40	2/22	1/31	1/55	1/36	0/33	2/01	1/85	1/46	2/27	0/28	2/10
+A	2/30	2/14	0/39	2/32	1/55	0/28	2/56	1/85	1/07	2/34	2/35	2/68
-A	0/78	0/56	2/20	0/58	0/97	1/35	1/21	0/85	2/34	1/06	0/85	1/08

رتبه	نمره	میزان همکاری بین‌المللی در توسعه فناوری و دسترسی به دانش خارجی	میزان دسترسی مواد اولیه	حجم سرمایه گذاری مورد نیاز / میزان ارزی بری	ایجاد اثرات شبکه‌ای: استفاده یک عده محدود موجب استفاده سایر اعضا و پیوستن آنها به شبکه میشود	توانمندی کارآفرینان بزرگ	انگیزه کارآفرینان بزرگ	اندازه بازار جهانی	اندازه بازار داخلی	نرخ رشد بازار جهانی	نرخ رشد بازار داخلی	سازگاری با شرایط آب، انرژی و اقلیم (میزان سازگاری با روندهای آینده جهانی)	فناوری / شاخص
9	0/563	1/67	1/36	2/12	1/29	1/58	1/96	1/37	1/68	1/30	2/10	1/69	زیست فناوری
12	0/442	0/94	1/34	1/86	0/90	1/73	1/04	0/80	1/34	0/84	1/02	1/80	فناوری هسته‌ای
1	0/707	1/42	1/89	1/86	2/31	2/00	1/27	1/31	1/90	1/42	1/97	2/40	انرژی تجدیدپذیر
14	0/289	1/00	1/57	1/33	1/19	0/95	0/59	0/66	0/53	0/69	0/74	0/95	فناوری نانو
8	0/574	1/26	1/73	2/12	1/66	1/42	2/25	1/52	1/17	1/60	2/03	2/14	فناوری اطلاعات و ارتباطات
3	0/669	1/51	2/62	1/15	1/85	2/10	1/85	1/19	1/79	1/30	2/22	1/96	فناوری پرینت سه بعدی
11	0/478	1/63	1/89	1/73	1/66	2/36	1/73	0/89	0/67	0/89	1/29	1/34	فناوری رباتیک
10	0/530	1/42	1/57	1/59	1/94	2/31	2/54	1/01	1/12	1/01	1/23	1/96	فناوری کوانتوم
6	0/591	1/13	1/65	1/92	2/08	1/58	1/73	1/49	1/45	1/48	1/97	2/20	فناوری هوافضا
2	0/670	1/57	1/65	2/06	2/15	1/58	2/43	1/69	2/26	1/56	2/40	2/14	فناوری هوش مصنوعی
7	0/578	1/76	1/78	2/26	1/94	1/79	1/50	1/31	1/68	1/19	1/60	1/96	فناوری XR
5	0/607	1/84	2/20	1/95	2/12	1/79	1/73	1/01	1/34	1/19	2/46	1/51	فناوری بلاک‌چین
13	0/406	1/26	1/36	2/21	1/38	1/37	1/39	1/16	0/67	0/98	0/74	1/96	فناوری‌های الکترونیک
4	0/624	0/84	1/78	2/57	1/66	1/79	2/66	1/67	2/35	1/66	2/71	2/40	فناوری فوتونیک
		1/84	2/62	1/15	2/31	2/36	2/54	1/69	2/26	1/60	2/46	2/40	+A
		0/94	1/34	2/26	0/90	0/95	0/59	0/66	0/53	0/69	0/74	0/95	-A

پس از تحلیل داده‌ها با استفاده از تکنیک تاپسیس، هر یک از فناوری‌ها بر مبنای شاخص‌های ارائه‌شده مورد ارزیابی قرار گرفتند و به‌ترتیب اولویت، رتبه‌بندی شدند. جدول شماره (۶) اولویت هر فناوری را نشان می‌دهد.

جدول ۶: اولویت‌گذاری فناوری‌های نوظهور با رویکرد تاپسیس

rank	Ci	فناوری
۱	۰/۷۰۷	انرژی‌های تجدیدپذیر
۲	۰/۶۷۰	هوش مصنوعی
۳	۰/۶۶۹	پرینت سه‌بعدی
۴	۰/۶۲۴	فوتونیک
۵	۰/۶۰۷	بلاک‌چین
۶	۰/۵۹۱	هوافضا
۷	۰/۵۷۸	واقعیت‌تعمیم‌یافته (XR)
۸	۰/۵۷۴	اطلاعات و ارتباطات
۹	۰/۵۶۳	زیست‌فناوری
۱۰	۰/۵۳۰	کوانتوم
۱۱	۰/۴۷۸	ریاتیک
۱۲	۰/۴۴۲	هسته‌ای
۱۳	۰/۴۰۶	الکترونیک
۱۴	۰/۲۸۹	نانو

در مرحله نهایی، جهت اعتبارسنجی نتایج، گروه کانونی خبرگانی تشکیل شد. در این گروه کانونی، ۶ خبره ارشد از حوزه‌های مختلف سیاست‌گذاری فناوری، آینده‌پژوهی و نوآوری حضور داشتند. در طی جلسات بحث و تحلیل مشارکتی، رتبه‌بندی‌ها مورد بررسی قرار گرفت و فناوری‌های اولویت‌بندی شده جدول شماره (۶) مورد تأیید و ارزیابی خبرگان در گروه کانونی قرار گرفت. این مرحله باعث افزایش روایی محتوایی، انسجام تحلیلی و اعتبار نهایی نتایج گردید. نهایتاً نویسندگان جدول شماره (۶) را به‌عنوان خروجی نهایی پژوهش قلمداد نمودند.

۴-۱- ارزیابی و تحلیل سیاستی نتایج رتبه‌بندی

پس از اولویت‌بندی فناوری‌های نوظهور شناسایی‌شده، موارد مورد اولویت با تأکید بیشتر توسط گروه کانونی خبرگانی و با مراجعه به اسناد مرتبط مورد ارزیابی سیاستی قرار گرفت. همچنین میزان تطبیق‌پذیری هر یک از این فناوری‌ها با شاخص‌های اولویت‌بندی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این

ارزیابی نشان می‌دهد که جایگاه حوزه‌های فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر، هوش مصنوعی و پرینت سه‌بعدی صرفاً ناشی از روندهای جهانی فناوری نیست، بلکه از انطباق آن‌ها با نیازها و چالش‌های توسعه صنعتی ایران ناشی می‌شود. این فناوری‌ها در شاخص‌هایی نظیر قابلیت استفاده در صنعت ایران، ظرفیت افزایش بهره‌وری، تحول‌آفرینی فناوریانه، سرریز فناوری، رشد بازار، توان ایجاد مزیت رقابتی و امکان توسعه داخلی امتیاز بالاتری نسبت به سایر حوزه‌ها کسب کرده‌اند و از این منظر می‌توانند نقش پیشران در تحول صنعتی کشور ایفا کنند.

کسب رتبه نخست توسط حوزه فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر را می‌توان در پیوند مستقیم با یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های توسعه صنعتی کشور یعنی ناترازی انرژی تفسیر کرد. طی سال‌های اخیر، محدودیت تأمین برق به یکی از موانع اصلی تولید صنعتی تبدیل شده و توسعه ظرفیت‌های انرژی پاک از یک موضوع صرفاً زیست‌محیطی به یک ضرورت صنعتی تبدیل شده است. در مقابل، ایران از مزیت‌های قابل توجهی همچون بیش از ۳۰۰ روز آفتابی در بسیاری از مناطق کشور، ظرفیت‌های مناسب انرژی بادی، وجود نهادهای تخصصی مانند سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر (ساتبا) و همچنین بخشی از توانمندی‌های تولید تجهیزات داخلی برخوردار است. این حوزه از ظرفیت‌های تقنینی نسبتاً خوبی در کشور مانند ماده ۶۱ قانون اصلاح الگوی مصرف و احکام برنامه هفتم توسعه نیز برخوردار است. با این حال، شکاف میان قانون و اجرا همچنان پابرجاست. برای پر کردن این شکاف، نهادهای توسعه صنعتی باید به جای تصدی‌گری، صرفاً بر ایجاد زیرساخت‌های آزمون و استانداردسازی تجهیزات تجدیدپذیر در شرایط خاص اقلیمی ایران متمرکز شوند تا ریسک سرمایه‌گذاری کاهش یابد. شرکت‌های بزرگ صنعتی که اکنون طبق قانون، مکلف به تأمین برق تجدیدپذیر شده‌اند، باید با تشکیل کنسرسیوم‌های خرید تضمینی، تقاضای انبوه و پایدار ایجاد کنند تا تولید داخلی تجهیزات کلیدی مانند سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی توجیه اقتصادی بیابد. دانشگاه‌ها نیز موظف‌اند از پایان‌نامه‌های نظری فاصله گرفته و با راه‌اندازی مزارع آزمایشی تجدیدپذیر متصل به شبکه، نیروی انسانی ماهر در بهره‌برداری و نگهداشت این نیروگاه‌ها را تربیت کنند. در مجموع، زیست‌بوم نوآوری این بخش باید مزیت خود را بر طراحی سیستم‌های هیبرید تجدیدپذیر متناسب با مناطق مختلف کشور و ارتقای ظرفیت‌های صادراتی نظیر خدمات فنی مهندسی متمرکز کند.

در حوزه هوش مصنوعی نیز رتبه بالا عمدتاً ناشی از عملکرد مطلوب این حوزه در شاخص‌های تحول‌آفرینی، سرریز فناوری، اثرات شبکه‌ای، رشد بازار جهانی و ظرفیت افزایش بهره‌وری بوده است. برخلاف بسیاری از فناوری‌های سخت‌افزارمحور، مزیت نسبی ایران در این حوزه بیش از آنکه مبتنی بر تجهیزات باشد، بر سرمایه انسانی و ظرفیت‌های علمی کشور استوار است. توسعه دانشگاه‌ها، شرکت‌های دانش‌بنیان و نیروی انسانی متخصص طی سال‌های اخیر، بستر مناسبی برای گسترش این فناوری‌ها ایجاد کرده است. با این حال، محدودیت در زیرساخت‌های پردازشی، دسترسی به داده‌های صنعتی، توان پردازش ابری و برخی تجهیزات پیشرفته همچنان از چالش‌های اصلی این حوزه محسوب می‌شود. برای

عبور از شکاف مقیاس و فقدان زیست‌بوم در فناوری هوش مصنوعی، سیاست‌های کلان می‌بایست به‌جای حمایت کلی، صنایع مورد اولویت به‌منظور بهبود زنجیره ارزش را شناسایی کند. بازیگران ملی صنعت نیز لازم است به‌جای خرید پراکنده تجهیزات پردازشی، یک مرکز پردازش ابری ملی ویژه آموزش مدل‌های بومی را راه‌اندازی کنند و اشتراک آن را بر اساس کیفیت پروژه‌ها به دانشگاه‌ها و استارت‌آپ‌ها داده تا شکاف مقیاس جبران شود. در همین راستا دانشگاه‌ها ملزم خواهند بود به‌جای آموزش‌های غیروالویت‌دار، رشته‌هایی نظیر امنیت مدل‌های زبانی، فشرده‌سازی مدل و... را ایجاد کنند. در مجموع، مسیر ایران برای تبدیل زیست‌بوم فناوری هوش مصنوعی به قدرت ملی، عبور از تقلید و پروژه‌های نمایشی است و این هدف تنها با تعیین چند مأموریت قطعی، گره‌زدن داده‌های حاکمیتی به تیم‌های داخلی، ایجاد مرکز اشتراکی پردازش و تمرکز بر مدل‌های کوچک و بومی فارسی محقق می‌شود.

پس از هوش مصنوعی، قرار گرفتن فناوری‌های پرینت سه‌بعدی در میان اولویت‌های نخست نیز نشان‌دهنده اهمیت این حوزه در افزایش انعطاف‌پذیری تولید، کاهش وابستگی به واردات قطعات و ارتقای توان ساخت داخل است. این حوزه در شاخص‌های مرتبط با بهره‌وری، سرریز فناوری، قابلیت استفاده صنعتی و خوداتکایی عملکرد مناسبی داشته است. اهمیت این فناوری برای ایران بیش از هر چیز به شرایط ناشی از محدودیت‌های تجاری و تحریمی بازمی‌گردد؛ شرایطی که نیاز به تولید داخلی قطعات پیچیده، کاهش وابستگی به زنجیره‌های تأمین خارجی و افزایش سرعت توسعه محصول را برجسته کرده است. ایران در حوزه پرینت سه‌بعدی از مزیت نسبی در فناوری‌های رومیزی و نیمه‌صنعتی پلاستیکی برخوردار است؛ جایی که تولید داخلی پرینتر از جمله پرینترهای ساخت قطعات فلزی به بلوغ رسیده و با تکیه بر نیروی کار متخصص و هزینه پایین، ظرفیت صادراتی قابل توجهی به بازارهای منطقه‌ای مانند عراق ایجاد کرده است. با این حال، زیرساخت این صنعت در لایه‌های پیشرفته‌تر، به‌ویژه در تولید مواد اولیه لازم در پرینترهای قطعات فلزی با برخی محدودیت‌ها مواجه است. از این رو، رتبه بالای این حوزه بیانگر آن است که دولت و نهادهای توسعه‌ای باید بر تکمیل زیرساخت‌های ساخت دیجیتال، مقیاس‌دهی آن و حمایت از صنعتی‌سازی فناوری تمرکز کنند و صنایع نیز از این فناوری‌ها به‌عنوان ابزاری برای افزایش انعطاف‌پذیری تولید و توسعه محصولات با ارزش افزوده بالاتر بهره بگیرند. علاوه بر این، نهادهای صنعتی به‌جای حمایت کلی، سرمایه‌گذاری خطرپذیر را منحصراً بر بومی‌سازی زنجیره مواد اولیه مورد نیاز از جمله پودر فلز و فیلامنت‌های مهندسی متمرکز کنند. همچنین ضروری است دانشگاه‌ها آزمایشگاه‌های ملی صدور گواهی کیفیت قطعه را راه‌اندازی کنند تا شکاف اعتماد صنعت پر شود. در نهایت، زیست‌بوم نوآوری باید مزیت خود را از فروش دستگاه به صادرات خدمات طراحی و پرینت به بازار منطقه‌ای آن هم با مقیاس گسترده‌تر تغییر دهد.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

تحولات سریع فناوری‌های نوظهور و نیاز به توسعه صنعتی هدمند، ضرورت همگرایی سیاست‌های صنعتی و فناوری را بیش از پیش آشکار کرده است. مقاله حاضر با هدف پاسخ به مسئله جدایی و عدم هماهنگی میان سیاست‌های صنعتی و توسعه فناوری در ایران نگارش شده است؛ مسئله‌ای که موجب اتلاف منابع، کاهش بهره‌وری و غفلت از فناوری‌های اولویت‌دار شده است. نوآوری اصلی این تحقیق در ارائه چارچوبی جامع برای شناسایی، اولویت‌بندی و ارزیابی فناوری‌های نوظهور متناسب با شاخص‌های بومی کشور است که قابلیت پشتیبانی از توسعه صنعتی هدمند و سیاست‌گذاری هوشمند در این راستا را دارد.

در این پژوهش، با تحلیل ۱۵۱ فناوری نوظهور استخراج‌شده از ۹ مؤسسه معتبر بین‌المللی و دسته‌بندی آن‌ها در ۱۴ کلان حوزه فناورانه، فناوری‌های پیشران با بیشترین ظرفیت اثرگذاری بر توسعه صنعتی ایران شناسایی شد. رتبه‌بندی نهایی مبتنی بر ۲۳ شاخص اقتصادی، اجتماعی، فناورانه، محیط‌زیستی و سیاسی با رویکرد تاپسیس انجام شد و تحلیل تاپسیس نشان داد که فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، پرینت سه‌بعدی و هوش مصنوعی بیشترین اولویت را برای ایجاد مزیت رقابتی و تقویت زیست‌بوم‌های فناورانه کشور در بخش صنعت دارند. این رتبه‌بندی امکان تصمیم‌گیری دقیق و هدمند سیاست‌گذاران و تخصیص بهینه منابع را فراهم می‌سازد.

اعتبارسنجی نتایج توسط گروه کانونی خبرگان انسجام تحلیلی و روایی پژوهش را تقویت کرده و نوآوری تحقیق را در پیاده‌سازی یک فرآیند تلفیقی از احصاء، دسته‌بندی، اولویت‌بندی و ارزیابی فناوری‌های نوظهور برجسته می‌کند. این رویکرد جامع به سیاست‌گذاران امکان می‌دهد تا تصمیم‌گیری‌ها را بر پایه شواهد علمی و مشارکت ذی‌نفعان انجام داده و همزمان ابعاد اجتماعی، اقتصادی، و سیاسی فناوری‌ها را لحاظ کنند. در نهایت، پژوهش حاضر با پر کردن خلأ موجود در نظام سیاست‌گذاری صنعتی ایران، مسیر توسعه فناوری‌های نوظهور را هدمند کرده و نشان می‌دهد که تمرکز بر فناوری‌های پیشران شناسایی شده می‌تواند هم توانمندی‌های داخلی را تقویت کند و هم جایگاه کشور در رقابت صنعتی جهانی را ارتقاء دهد. به بیان دیگر، این تحقیق به دنبال همگرایی سیاست‌ها، شناسایی فناوری‌های اثرگذار و ارائه چارچوب ارزیابی دقیق برای توسعه صنعتی کشور است. نتایج این پژوهش در بهبود تصمیم‌گیری مدیران، افزایش کارایی در استفاده از منابع محدود، توسعه صنعتی پایدار، کاهش ریسک سرمایه‌گذاری و افزایش رقابت‌پذیری صنایع داخلی تأثیرگذار خواهد بود.

این مقاله مدعی طراحی کل زنجیره ارزش تدوین سیاست‌گذاری صنعتی نیست و صرفاً به بخشی از «نظام فناورانه توسعه صنعت» به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های مؤثر در توسعه صنعتی می‌پردازد. تأکید این پژوهش بر تحلیل تطبیقی فناوری‌های مورد نیاز صنعت از منظر بین‌المللی است؛ بدین معنا که فناوری‌های راهبردی و نوظهور مورد توجه در سطح جهان شناسایی و برای امکان‌سنجی و ارزیابی ملی

مورد بررسی قرار گرفته‌اند. با این حال، اولویت‌گذاری فناوری‌ها در توسعه صنعتی نیازمند توجه هم‌زمان به رویکردهای دیگری نیز هست؛ از جمله بررسی مزیت‌های رقابتی و ظرفیت‌های فناورانه داخلی کشور که می‌تواند مبنای تدوین سیاست‌های کلان قرار گیرد. از این رو، یکی از محدودیت‌های این پژوهش آن است که تحلیل آن از منظر مزیت‌های رقابتی ملی و قابلیت‌های بومی فناوری انجام نشده و در نتیجه، برای تجویز سیاستی کامل‌تر، لازم است در پژوهش‌های آتی این بعد نیز مورد توجه قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده، با تلفیق رویکرد تطبیقی و رویکرد مبتنی بر مزیت‌های رقابتی کشور، تصویری جامع‌تر از اولویت‌های فناورانه لازم برای توسعه صنعتی ایران ارائه شود.

ارزیابی سیاستی نتایج رتبه‌بندی نشان داد که فناوری‌های اولویت‌دار شناسایی شده صرفاً بر اساس روندهای جهانی انتخاب نشده‌اند؛ بلکه بیشترین انطباق را با نیازها و چالش‌های توسعه صنعتی ایران دارند. این فناوری‌ها از ظرفیت مناسبی برای رفع برخی محدودیت‌های ساختاری کشور از جمله ناترازی انرژی، ارتقای بهره‌وری، کاهش وابستگی فناورانه و تقویت صنایع دانش‌بنیان برخوردار بوده و می‌توانند به‌عنوان پیشران‌های تحول صنعتی کشور ایفای نقش کنند. با این حال، بهره‌برداری از ظرفیت این فناوری‌ها مستلزم فراهم‌سازی الزامات نهادی و زیست‌بومی متناسب است. توسعه زیرساخت‌های فیزیکی و دیجیتال، تقویت سرمایه انسانی، بهبود سازوکارهای تأمین مالی، توسعه همکاری میان دانشگاه و صنعت، ارتقای نظام تنظیم‌گری و حمایت از تجاری‌سازی فناوری‌ها از مهم‌ترین پیش‌نیازهای تحقق این ظرفیت‌ها به شمار می‌روند.

بر این اساس، نتایج پژوهش نشان می‌دهد که سیاست‌گذاری صنعتی کشور نیازمند حرکت به‌سمت رویکردی فناوری‌محور و مأموریت‌گرا است؛ رویکردی که در آن اولویت‌های فناورانه به‌صورت مستقیم در تخصیص منابع، توسعه زیست‌بوم نوآوری و برنامه‌ریزی صنعتی مورد توجه قرار گیرند تا زمینه ارتقای رقابت‌پذیری و توسعه پایدار صنعتی کشور فراهم شود.

منابع

- اصغرپور، محمدجواد. ۱۳۷۷. تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره. چاپ اول. تهران: مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- النقی مهری، هادی. ۱۴۰۲. «تأثیرات انقلاب صنعتی چهارم در سازمان‌های دولتی و صنایع، چالش‌ها، فرصت‌ها، راهبردها». در مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی تحقیقات میان‌رشته‌ای در علوم مهندسی و مدیریت، ۳۳۴-۳۴۸.
- امینی، میلاد، مصباحی‌نیا، علی محمد، و فرحی، سیدمهدی. ۱۴۰۲. «تجاری‌سازی قابلیت‌های دانشی برای فناوری‌های نوظهور در مراکز دانشگاهی و صنعتی». مدیریت و حسابداری در هزاره سوم، ۲۵: ۱۳۳-۱۶۰.
- امیری، مقصود، دارستانی فراهانی، احمد، و محبوب‌قدسی، مهسا. ۱۳۹۵. تصمیم‌گیری چندمعیاره. چاپ اول. تهران: انتشارات دانشگاهی کیان.
- بابایی، علی، حمیدی‌مطلق، روح‌الله، ملکی، علی، و اشعاری، محسن. ۱۳۹۵. «در جست‌وجوی راه سوم در سیاست‌گذاری توسعه صنعتی». سیاست‌نامه علم و فناوری، ۱۶(۱): ۳-۲۴.
- حیرانی، حسین، اکبری، محمدرضا، و همایون، محمدباقر. ۱۴۰۴. «پیشنهاد سیاست‌های کلی انرژی در حوزه صنعت و فناوری». نشریه بهبود مدیریت، ۱۹(۴): ۷۰-۳۳.
- خالدی، آرمان، اسدی‌فرد، رضا، و میرزایی دورکی، سیدرضا. ۱۴۰۳. «کارکردهای واسطه‌های نوآوری در فرایند همکاری‌های فناورانه بین‌بنگاهی». سیاست علم و فناوری، ۱۷(۲): ۱۷-۳۲.
- خاتمی فیروزآبادی، سیدمحمدعلی. ۱۳۹۴. تصمیم‌گیری چندشاخصه، روش‌ها و رویکردها. چاپ اول. تهران: انتشارات شریبانی.
- سهرابی، روح‌الله، احدی، مهدی. ۱۳۹۶. فنون تصمیم‌گیری کمی در مدیریت (MIDM). چاپ اول. تهران: ترمه.
- شکری، حمیدرضا، سادات رسول، سیدمهدی، اسدی‌فرد، رضا، و حسینی، سیدحمزه. ۱۴۰۱. «شناسایی ابزارهای سیاستی برای توسعه همکاری‌های فناورانه شرکت‌های بزرگ صنعتی با شرکت‌های دانش‌بنیان». مدیریت نوآوری، ۱۱(۲): ۱۴۷-۱۷۳.
- عابدی جعفری، حسن، تسلیمی، محمدسعید، فقیهی، ابوالحسن، و شیخ‌زاده، محمد. ۱۳۹۰. «تحلیل مضمون و شبکه مضامین: روشی ساده و کارآمد برای تبیین الگوهای موجود در داده‌های کیفی». اندیشه مدیریت راهبردی، ۵(۲): ۱۵۱-۱۹۸.
- فارسی، ابوالقاسم، منطقی، منوچهر، فارسی‌جانی، حسن، و والمحمدی امامچائی، چنگیز. ۱۳۹۹. «همپایی فناورانه در صنایع مبتنی‌بر سامانه‌های پیچیده: مطالعه موردی صنعت پتروشیمی ایران». فصلنامه بهبود مدیریت، ۱۷(۱): ۵۱-۳۸-۱.
- فاطمی، سیدمهدی، آراستی، محمدرضا. ۱۳۹۸. «اولویت‌گذاری حوزه‌های علم، فناوری و نوآوری». سیاست علم و فناوری، ۱۱(۲): ۱۱۹-۱۳۳.
- لی، کئون، مالربا، فرانکو. ۱۳۹۵. «چرخه‌های همپایی و تغییرات در رهبری صنعتی: پنجره‌های فرصت و پاسخ بنگاه‌ها و کشورها در تکامل نظام‌های بخشی». ترجمه خان‌احمدلو، رضا، و مقدس، مسعود. سیاست‌نامه علم و فناوری، ۶(۳): ۸۹-۱۰۸.
- محمدی فاتح، اصغر، ابراهیمی، سیدعباس. ۱۳۹۹. «شناسایی و رتبه‌بندی فناوری‌های اطلاعاتی نوظهور در بخش دفاعی-نظامی». آینده‌پژوهی دفاعی، ۱۷: ۱۴۳-۱۷۱.

مجیدپور، مهدی، منوری، صدیقه. ۱۳۹۹. «اولویت‌گذاری فناوری‌های پیشرفته با معیارهای چندگانه». در مجموعه مقالات هفدهمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت، ۳۰۱۴-۳۰۳۲.

ملکی، علی، نیلفروشان، هادی. ۱۴۰۳. «بررسی نقش واسطه‌های نوآوری در پذیرش فناوری‌های نوظهور در صنایع خردوسازی ایران». مدیریت صنعتی، ۵۲: ۳-۳۶.

نصر اصفهانی، علیرضا، ناظمی، امیر، ملکی، عباس، و باقری‌مقدم، ناصر. ۱۴۰۱. «پیشنهاد یک مدل اولویت‌گذاری آینده‌پژوهانه علم و فناوری برای ایران براساس نظر خبرگان». راهبرد اجتماعی فرهنگی، ۴۲: ۲-۴۰.

نظریان پاریزی، رضا، الهی‌فرد، احسان. ۱۳۹۸. «نقش مدیریت فناوریانه صنایع کوچک در توسعه پایدار اقتصادی». پژوهش‌های نوین علوم انسانی، ۸: ۱۲۴-۱۴۰.

Abedi Jafari, H., M. S. Taslimi, A. Faghihi, and M. Sheikhzadeh. 2011. "Thematic Analysis and Thematic Network: A Simple and Effective Method for Explaining Patterns in Qualitative Data." *Strategic Management Thought* 5(2), Autumn and Winter: 151-198. [In Persian]

Asgharpoor, M.J. 1998. *Multi-Criteria Decision Making*. 1st ed. Tehran: University of Tehran Press. [In Persian]

Alnaghi Mehri, H. 2023. "Impacts of the Fourth Industrial Revolution on Public Organizations and Industries: Challenges, Opportunities, and Strategies." In *Proceedings of the Eighth National Conference on Interdisciplinary Research in Engineering and Management*, 334-348. National Conference on Interdisciplinary Research. [In Persian]

Amini, M., A.-M. Mesbahinia, and S. M. Farahi. 2023. "Commercialization of Knowledge Capabilities for Emerging Technologies in Academic and Industrial Centers." *Management and Accounting in the Third Millennium* 25: 133-160. [In Persian]

Ambrose, M. 2024. "White House Tweaks List of Critical and Emerging Technologies." <https://www2.aip.org/fyi/white-house-tweaks-list-of-critical-and-emerging->

Amiri, M., A. D. Farahani, and M. Mahboob-Ghods. 2016. *Multi-Criteria Decision Making*. 1st ed. Tehran: Kiyan Academic Publishing. [In Persian]

Babaei, A., R. Hamidi-Motlagh, A. Maleki, and M. Ashari. 2016. "In Search of the Third Way in Industrial Development Policy-Making." *Science and Technology Policy Journal* 6(1), Spring: 3-24. [In Persian]

Bailey, D., A. Glasmeier, P. R. Tomlinson, and P. Tyler. 2019. "Industrial Policy: New Technologies and Transformative Innovation Policies?" *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society* 12: 169-177.

Bengisu, M. 2003. "Critical and Emerging Technologies in Materials, Manufacturing, and Industrial Engineering: A Study for Priority Setting." *Scientometrics* 58(3): 473-487.

Boston Consulting Group (BCG). 2025. "Digital, Technology, and Data / Emerging Technologies." <https://www.bcg.com/capabilities/digital-technology-data/emerging-technologies>

Bryukhovetskaya, N. Ye., and O. A. Chorna. 2019. "Intellectualization as a Priority Direction of Industrial Enterprise Development in the Conditions of Industry 4.0." *Science and Innovation* (4)88. <https://journals.uran.ua/2306-4412/article/view/185693>

Cambridge Open Academy. 2025. "Top 10 Technology Trends in 2026 That Will Shape The Next Decade." June 30. <https://cambridgeopenacademy.com/top-10-technology-trends-in-2026/>

Donor Committee for Enterprise Development. 2025. *Industrial Policy*. Accessed July 28, 2025. <https://www.enterprise-development.org/implementing-psd/industrial-policy/>

European Innovation Council. 2022. *Identification of Emerging Technologies and Breakthrough Innovations*. <https://apre.it/wp-content/uploads/2022/02/EIC-Emerging-Tech-and-Breakthrough-Innov-report-2022-1502-final.pdf>

European Commission. 2021. *Advanced Technologies for Industry – Sectoral Watch: Technological Trends in the Machinery Industry*. Brussels: European Commission.

Fatemi, S. M., and M. Arasti. 2019. "Prioritization of Science, Technology, and Innovation Fields." *Science and Technology Policy* 11(2), Summer Special Issue: 119-133. [In Persian]

Farsi, Abolghasem, Manteghi, Manouchehr, Farsi-Jani, Hassan, and Valmohammadi Emamchaei, Changiz. 2020. "Technological Catch-up in Complex Product Systems: A Case Study of Iran's Petrochemical Industry." *Management Improvement Quarterly* 17(1): 1–38. [In Persian]

Gartner. 2024. "Gartner Emerging Tech – Technology." LinkedIn post. https://www.linkedin.com/posts/gartner_gartnerht-emergingtech-technology-activity-7175172553961828352-v_2z/

Gartner. 2025. "Emerging Technologies and Trends for Tech Product Leaders." <https://www.gartner.com/en/industries/high-tech/topics/emerging-tech-trends>

He, J. 2023. "Government Role in Fostering Emerging Technological Industries: A New Perspective for Industrial Policy Research." *China Economist* 18(5): 15–28.

Heirani, Hossein, Akbari, Mohammad Reza, and Homayoun, Mohammad Bagher. 2025. "Proposed General Energy Policies in the Field of Industry and Technology." *Management Improvement Journal* 19(4): 1–33. [In Persian]

Igartua, J. I., J. Ganzarain, and D. Ibarra. 2020. "Identification and Prioritization of Industry 4.0 Projects in SMEs: A Process Approach." In *Advances in Engineering Networks*, 53–60. Lecture Notes in Management and Industrial Engineering. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41057-5_7

Irar, K. 2023. "Emerging Technologies, Pros and Cons." LinkedIn, January 24. <https://www.linkedin.com/pulse/emerging-technologies-pros-cons-khaled-irar>

Institute for Manufacturing, University of Cambridge, and United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). 2013. *Emerging Trends in Global Advanced Manufacturing: Challenges, Opportunities and Policy Responses*. Cambridge, UK: University of Cambridge. https://www.ifm.eng.cam.ac.uk/uploads/Resources/Reports/UNIDO_FINAL_VERSION.pdf

Kang, J., J.-S. Kim, and S. Seol. 2019. "The Prioritization of Technologies and Public R&D Roles between the Manufacturing and Service Industries in the Fourth Industrial Revolution." *Foresight* 21(6). <https://doi.org/10.1108/FS-11-2018-0094>

Khaledi, A., R. Asadifard, and S. R. Mirzaei Douraki. 2024. "Functions of Innovation Intermediaries in the Process of Inter-Firm Technological Collaboration." *Science and Technology Policy* 17(2): 17–32. [In Persian]

Khatami Firouzabadi, S. M. A. 2015. *Multi-Attribute Decision Making: Methods and Approaches*. 1st ed. Tehran: Sharbiani Publications. [In Persian]

Kim, W., S. K. Han, K. J. Oh, T. Y. Kim, H. Ahn, and C. Song. 2010. "The Dual Analytic Hierarchy Process to Prioritize Emerging Technologies." *Technological Forecasting and Social Change* 77(4): 566–577. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2009.12.008>

Lapadat, J. C., N. E. Black, P. G. Clark, R. M. Gremm, L. W. Karanja, L. W. Mieke, and L. Quinlan. 2010. "Life Challenge Memory Work: Using Collaborative Autobiography".

Lee, K., and F. Malerba. 2016. "Catching-Up Cycles and Changes in Industrial Leadership: Windows of Opportunity and Firms' and Countries' Responses in Sectoral System Evolution." Translated by R. Khanahmadlou and M. Moghaddas. *Science and Technology Policy Journal* 6(3): 89–108. [In Persian]

Maleki, A., and H. Nilforoushan. 2024. "The Role of Innovation Intermediaries in the Adoption of Emerging Technologies in Iran's Automotive Industry." *Industrial Management (University of Tehran)* 52: 3–36. [In Persian]

Majidpour, M., and S. Monavari. 2020. "Prioritization of Advanced Technologies Using Multi-Criteria Decision Making." 17th International Management Conference, 3014–3032. [In Persian]

Massachusetts Institute of Technology. 2024. 10 Emerging Technologies That Will Change Your World. https://thz.mit.edu/documents/10_emerging_tech.pdf

Mohammadi Fateh, A., and S. A. Ebrahimi. 2020. "Identification and Ranking of Emerging Information Technologies in the Defense-Military Sector." *Defensive Futures Studies* 17: 143–171. [In Persian]

Nasr Esfahani, A., A. Nazemi, A. Maleki, and N. Bagheri-Moghadam. 2022. "A Proposed Foresight-Based Model for Science and Technology Prioritization in Iran Based on Expert Opinions." *Socio-Cultural Strategy* 42: 2–40. [In Persian]

Nazarian Parizi, R., and E. Elahi-Fard. 2019. "The Role of Technological Management of Small Industries in Sustainable Economic Development." *Modern Researches in Humanities* 8: 124–140. [In Persian]

Nimawat, D., and B. D. Gidwani. 2020. "Prioritization of Important Factors towards the Status of Industry 4.0 Implementation Utilizing AHP and ANP Techniques." *Benchmarking: An International Journal* 28(2). <https://doi.org/10.1108/BIJ-06-2020-0302>

OECD. 2025. *Science, Technology and Innovation Outlook 2025: Driving Change in a Shifting Landscape*. Paris: OECD Publishing.

Radhakrishnan, A. 2024. "Top 12 Global Megatrends [2025–2030]: The Forces Driving Tomorrow's Business Decisions." *StartUs Insights*, February 27. Accessed June 7, 2025. <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/global-megatrends-full-guide/>

Rotolo, D., D. Hicks, and B. R. Martin. 2015. "What Is an Emerging Technology?" *Research Policy*. [Manuscript accepted for publication, Version: July 7, 2015]

Shokri, H. R., S. M. S. Rasoul, R. Asadifard, and S. H. Hasani. 2022. "Identification of Policy Instruments for Promoting Technological Cooperation Between Large Industrial Enterprises and Knowledge-Based Firms." *Innovation Management* 11(2): 147–173. [In Persian]

SGU (Swiss German University). 2020. *Challenges in Industry and Emerging Technology Trends for the Future*. Swiss German University.

Sohrabi, R., and M. Ahadi. 2017. *Quantitative Decision-Making Techniques in Management (MIDM)*. 1st ed. Tehran: Termeh Publications. [In Persian]

Schindowski, R., et al. 2026. *Industrial Policy and Technology Linkages: Conceptualizing China's Approach*. VIVES Discussion Paper.

Song, D. 2021. "Thinking on Development of Emerging Industries of Strategic Importance in New Stage." *Bulletin of Chinese Academy of Sciences (Chinese Version)* 36(3): 328–335.

Yee, L., M. Chui, R. Roberts, and S. Smit. 2025. *McKinsey Technology Trends Outlook 2025* (Fifth edition, July 22, 2025). <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-top-trends-in-tech/#>

World Economic Forum. 2019. *Top 10 Emerging Technologies of 2019*. https://www.chemie.com/fileadmin/user_upload/content/schule/LK_2019/Lehrerkongress2019_Bioplastik_Rosenboom.pdf

World Economic Forum. 2020. *Top 10 Emerging Technologies of 2020*. <https://www.weforum.org/publications/top-10-emerging-technologies-2020/>

World Economic Forum. 2021. *Top 10 Emerging Technologies of 2021*. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Top_10_Emerging_Technologies_of_2021.pdf

World Economic Forum. 2022. "5 Tech Trends to Watch in 2022." <https://www.weforum.org/agenda/2022/01/tech-trends-in-2022/>

World Economic Forum. 2023. *Top 10 Emerging Technologies of 2023*. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Top_10_Emerging_Technologies_of_2023.pdf

World Economic Forum. 2024. *Top 10 Emerging Technologies of 2024*. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Top_10_Emerging_Technologies_of_2024.pdf

European Commission. 2021. *Advanced Technologies for Industry – Sectoral Watch: Technological Trends in the Machinery Industry*. Brussels: European Commission.