Science Popularization

Industry 5.0: Drivers, Emerging Trends, and Policy Implications

Majid Barzanouni[1], Jalil Heidary Dahooie*[,1] , Ahmad Jafar Nezhad Chaghoushi[1], Mehdi Mohamadi[1], Ayoub Mohammadian[1]

Article Info

Article type: Popularization of Science

Article history:

Receive Date:
13 September 2025

Revise Date:
15 June 2025

Accept Date:
20 June 2026

Available online:
21 June 2026

Keywords:

Industry 5.0
Digital Governance
Artificial Intelligence
Circular Economy
Industrial Resilience

Industry 5.0, as a new paradigm in industrial development, emphasizes human-centricity, sustainability, and resilience. This article aims to identify the key drivers and trends influencing the future of Industry 5.0 based on a systematic literature review and qualitative content analysis. To enrich the discussion and derive practical implications for Iran, selected international experiences were also considered in the interpretation of the findings. The results indicate that digital governance, artificial intelligence regulation, quantum technologies, human capital development, human–machine collaboration, supply chain resilience, the circular economy, and smart technologies are among the most important factors shaping this transition. The findings also reveal that success in the transition toward Industry 5.0 depends not only on technological advancement but also on the alignment of governance, human resources, sustainability, and institutional capacities. Therefore, strengthening data and artificial intelligence governance, promoting the development and adoption of enabling technologies, redesigning the skills system, and aligning industrial policies with sustainability and resilience objectives are among the main prerequisites for Iran's transition toward Industry 5.0.

Cite this article: Barzanouni,M , Heidary Dahooie,J , Jafar Nezhad Chaghoushi,A , mohamadi,M and Mohammadian,A . (2026). "Industry 5.0: Drivers, Emerging Trends, and Policy Implications". *Science Cultivation*, 16 (1), pp. 104-113.

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.
Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Associate Professor. Tel: +982161117686, Fax: +982166498873, E-mail: heidaryd@ut.ac.ir
[1] Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran

انقلاب صنعتی پنجم: پیشران‌ها، روندهای نوظهور و دلالت‌های سیاستی

مجید برزنونی[۱]، دکتر جلیل حیدری دهوئی*[،۱]، دکتر جعفرنژاد چقوشی[۱]، دکتر مهدی محمدی[۱]، دکتر ایوب محمدیان[۱]

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت:
۳۱ اردیبهشت ۱۴۰۵
تاریخ بازنگری:
۲۵ خرداد ۱۴۰۵
تاریخ پذیرش:
۳۰ خرداد ۱۴۰۵
تاریخ انتشار:
۳۱ خرداد ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:
انقلاب صنعتی پنجم
حکمرانی دیجیتال
هوش مصنوعی
اقتصاد چرخشی
تاب‌آوری صنعتی

چکیده

انقلاب صنعتی پنجم به‌عنوان پارادایمی نوین در توسعه صنعتی، بر انسان‌محوری، پایداری و تاب‌آوری تأکید دارد. این مقاله باهدف شناسایی پیشران‌ها و روندهای مؤثر بر آینده صنعت ۵.۰، بر پایه مرور نظام‌مند ادبیات و تحلیل محتوای کیفی تدوین شده است. در تفسیر یافته‌ها، تجارب منتخب بین‌المللی نیز برای غنی‌سازی بحث و استخراج دلالت‌های کاربردی برای ایران لحاظ شد. نتایج نشان می‌دهد که حکمرانی دیجیتال، تنظیم‌گری هوش مصنوعی، فناوری‌های کوانتومی، توسعه سرمایه انسانی، همکاری انسان و ماشین، تاب‌آوری زنجیره‌های تأمین، اقتصاد چرخشی و فناوری‌های هوشمند از مهم‌ترین عوامل شکل‌دهنده این گذار هستند. یافته‌ها همچنین بیانگر آن است که موفقیت در مسیر صنعت ۵.۰ تنها به پیشرفت فناوری وابسته نیست، بلکه به هم‌سویی حکمرانی، نیروی انسانی، پایداری و ظرفیت‌های نهادی نیاز دارد. ازاین‌رو، تقویت حکمرانی داده و هوش مصنوعی، توسعه و به‌کارگیری فناوری‌های توانمندساز، بازطراحی نظام مهارتی و همسوسازی سیاست‌های صنعتی با اهداف پایداری و تاب‌آوری از الزامات اصلی ایران در این مسیر به شمار می‌رود.

استناد: برزنونی,مجید , حیدری دهویی,جلیل , جعفرنژاد چقوشی,احمد , محمدی,مهدی و محمدیان,ایوب . (۱۴۰۵). انقلاب صنعتی پنجم: پیشران‌ها، روندها و دلالت‌های سیاستی.، ۱۶ (۱)،ص ۱۰۴-۱۱۳.

ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران

© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

* عهده‌دار مکاتبات: دانشیار. تلفن: ۰۹۱۲۳۱۰۲۳۷۳، دور نگار: ۶۶۴۹۸۸۷۳ (۹۸۲۱+) ، آدرس الکترونیکی: heidaryd@ut.ac.ir
[۱] دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۱. مقدمه

انقلاب صنعتی چهارم با تأکید بر دیجیتالی‌سازی، اتوماسیون و اتصال هوشمند سامانه‌های تولیدی، تحولات قابل‌توجهی در صنایع و زنجیره‌های ارزش ایجاد کرده است [۱]. بااین‌حال، گسترش اتوماسیون نگرانی‌هایی درباره کاهش نقش انسان در فرایندهای تولیدی ایجاد کرده است. همچنین، پیامدهای زیست‌محیطی توسعه صنعتی و افزایش آسیب‌پذیری زنجیره‌های تأمین در برابر بحران‌هایی مانند همه‌گیری کووید-۱۹، چالش‌های جدیدی را مطرح کرده‌اند. در پاسخ به این چالش‌ها، کمیسیون اروپا در سال ۲۰۲۱ مفهوم انقلاب صنعتی پنجم را به‌عنوان پارادایمی نوین مطرح کرد که بر سه اصل انسان‌محوری، پایداری و تاب‌آوری استوار است [۲]. در این چارچوب، فناوری‌هایی نظیر هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، ربات‌های همکار و دوقلوهای دیجیتال نه باهدف جایگزینی انسان، بلکه برای تقویت توانمندی‌های انسانی، ارتقای کیفیت زندگی، افزایش بهره‌وری و حمایت از توسعه پایدار به کار گرفته می‌شوند [۳]. به تعبیر کلاوس شواب، بنیان‌گذار و رئیس اجرایی مجمع جهانی اقتصاد، فناوری سرنوشتی نیست که بر ما تحمیل شده باشد، بلکه ابزاری برای توانمندسازی انتخاب‌های انسانی است [۴].

با وجود رشد قابل‌توجه ادبیات مرتبط با صنعت ۵.۰ در سال‌های اخیر، هنوز مطالعات محدودی به طور نظام‌مند به شناسایی پیشران‌ها و روندهای مؤثر بر آینده این پارادایم پرداخته‌اند. ازسوی‌دیگر، اغلب پژوهش‌ها بر ابعاد فناورانه تأکید داشته و تعامل هم‌زمان عوامل PESTEL[1] را کمتر موردتوجه قرار داده‌اند [۵]. علاوه بر این، بخشی از ادبیات موجود بر تجربه کشورهای توسعه‌یافته متمرکز است و دلالت‌های سیاستی متناسب با شرایط کشورهای درحال‌توسعه، از جمله ایران، کمتر به‌صورت منسجم مورد بررسی قرار گرفته است. درحالی‌که موفقیت در گذار به این انقلاب صرفاً به توسعه فناوری وابسته نیست و عواملی نظیر حکمرانی دیجیتال، سرمایه انسانی، ظرفیت‌های نهادی، پایداری و تاب‌آوری نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در این فرایند دارند.

نوآوری پژوهش حاضر در ارائه تصویری یکپارچه از پیشران‌ها و روندهای مؤثر بر آینده انقلاب صنعتی پنجم، سازماندهی آن‌ها در چارچوب PESTEL، بررسی تجارب منتخب بین‌المللی و استخراج دلالت‌های سیاستی متناسب با شرایط ایران است. این رویکرد به درک جامع‌تری از ابعاد فناورانه، انسانی، نهادی و زیست‌محیطی نسل پنجم انقلاب صنعتی کمک می‌کند و می‌تواند راهگشایی برای سیاست‌گذاری علم، فناوری در این حوزه باشد.

براین‌اساس، پرسش اصلی پژوهش چنین است: پیشران‌ها و روندهای کلیدی مؤثر بر آینده انقلاب صنعتی پنجم کدام‌اند و چه دلالت‌هایی برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در ایران دارند؟

۲. انقلاب صنعتی پنجم و چارچوب تحلیلی پژوهش

صنعت پنجم به‌عنوان نسل جدید تحول صنعتی، پاسخی به برخی محدودیت‌ها و پیامدهای انقلاب صنعتی چهارم محسوب می‌شود. درحالی‌که انقلاب صنعتی چهارم عمدتاً بر دیجیتال‌سازی، اتوماسیون و افزایش بهره‌وری تمرکز داشت، این مفهوم تلاش می‌کند میان پیشرفت فناوری و نیازهای انسانی، اجتماعی و محیط‌زیستی تعادل برقرار کند. به بیانی بهتر صنعت ۵.۰، بازگشتِ لمس انسانی و خلاقیت فردی به قلب خطوط تولید هوشمند است [۶]. همچنین همان‌گونه که موسوی‌موحدی و کیانی بختیاری نشان داده‌اند، انقلاب صنعتی چهارم تنها به دیجیتالی‌سازی تولید محدود نبود، بلکه بر صنعت، محصولات و خدمات، مدل‌های کسب‌وکار، محیط کار و توسعه مهارت‌ها نیز اثرات بنیادین برجای گذاشت؛ ازاین‌رو، گذار به صنعت پنجم را باید پاسخی به همین دگرگونی‌های عمیق و نیاز به انسان‌محوری و تاب‌آوری بیشتر دانست [۷]. کمیسیون اروپا این مفهوم را بر سه رکن اصلی انسان‌محوری، پایداری و تاب‌آوری استوار دانسته و آن را چارچوبی برای توسعه صنعتی آینده معرفی کرده است در این رویکرد، فناوری‌های نوظهور نظیر هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، ربات‌های همکار و دوقلوهای دیجیتال نه به‌عنوان جایگزین انسان، بلکه به‌عنوان ابزاری برای افزایش توانمندی‌های انسانی، بهبود کیفیت زندگی و ارتقای پایداری به کار گرفته می‌شوند.

نخستین رکن انقلاب صنعتی پنجم، انسان‌محوری است. در این دیدگاه، انسان در مرکز فرایندهای صنعتی قرار دارد و فناوری باید در خدمت ارتقای رفاه، ایمنی، خلاقیت و توانمندی نیروی انسانی باشد. دومین رکن، پایداری است که بر کاهش اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های صنعتی، استفاده بهینه از منابع، توسعه اقتصاد چرخشی و کاهش انتشار آلاینده‌ها تأکید دارد. سومین رکن، تاب‌آوری است

[1] سیاسی، اقتصادی، اجتماعی، فناوری،زیست‌محیطی و قانونی

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی https:/www.sciencecultivation.ir 2783-0934

یعنی ظرفیت یک سیستم برای بقا، سازگاری و رشد در مواجهه با تغییرات پیش‌بینی‌ناپذیر [۸].

علوم و فناوری‌های تاب‌آور یکی از ارکان کلیدی صنعت ۵.۰ محسوب می‌شوند. این حوزه بر طراحی سامانه‌هایی تمرکز دارد که بتوانند اختلالات را پیش‌بینی، جذب، مدیریت و پس از بحران به‌سرعت بازیابی شوند. در این چارچوب، تاب‌آوری صرفاً به معنای مقاومت در برابر شوک‌ها نیست، بلکه شامل توانایی سازگاری، بازپیکربندی و تداوم عملکرد در شرایط عدم‌قطعیت نیز می‌شود [۲، ۹]، از جمله مهم‌ترین فناوری‌های تاب‌آور می‌توان به دوقلوهای دیجیتال، هوش مصنوعی برای پایش و مدیریت ریسک، زیرساخت‌های دیجیتال تاب‌آور، امنیت سایبری صنعتی، معماری‌های ماژولار، سامانه‌های خودترمیم و فناوری‌های بازپیکربندی فرایندهای تولید اشاره کرد توسعه این فناوری‌ها می‌تواند ضمن افزایش تاب‌آوری زنجیره‌های تأمین و زیرساخت‌های صنعتی، ظرفیت رقابت‌پذیری و آمادگی کشور را در برابر بحران‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و فناورانه ارتقا دهد [۹].

برای روشن‌تر شدن تفاوت این دو پارادایم، ویژگی‌های کلیدی انقلاب صنعتی چهارم و پنجم در جدول ۱ مقایسه شده‌اند:

جدول ۱: مقایسه تطبیقی ویژگی‌های کلیدی انقلاب صنعتی چهارم و پنجم

شاخص مقایسه	انقلاب صنعتی چهارم (Industry 4.0)	انقلاب صنعتی پنجم (Industry 5.0)
هدف بنیادین	بهینه‌سازی فرآیند و کاهش هزینه	ارتقای رفاه انسان و پایداری محیطی
محوریت	فناوری‌محور (سایبر–فیزیکی)	انسان‌محور (همکاری انسان–ماشین)
مدل اقتصادی	تولید انبوه (Mass Production)	شخصی‌سازی انبوه[1]
تاب‌آوری	تمرکز بر بهره‌وری زنجیره تأمین	تمرکز بر انطباق‌پذیری در برابر بحران‌ها
محیط زیست	افزایش کارایی برای مصرف کمتر	اقتصاد چرخشی و بازتولید منابع

باتوجه‌به ماهیت چندبعدی این مفهوم، بررسی آن صرفاً از منظر فناوری کافی نیست. این پارادایم تحت‌تأثیر مجموعه‌ای از عوامل نهادی و محیطی شکل می‌گیرد که به طور هم‌زمان مسیر تحول صنایع را جهت‌دهی می‌کنند. براین‌اساس، در این پژوهش از چارچوب PESTEL برای تحلیل محیط کلان استفاده شده است. این چارچوب امکان شناسایی و طبقه‌بندی نظام‌مند عوامل اثرگذار بر آینده یک پدیده را فراهم کرده و ارتباط میان تحولات محیطی و روندهای کلان را آشکار می‌سازد. در این چارچوب، بعد سیاسی به سیاست‌های عمومی، حکمرانی فناوری و رقابت‌های ژئوپلیتیکی مربوط می‌شود. بعد اقتصادی بر تحول مدل‌های کسب‌وکار، بهره‌وری و زنجیره‌های تأمین تمرکز دارد. بعد اجتماعی به سرمایه انسانی، مهارت‌ها و پذیرش فناوری می‌پردازد. بعد فناورانه شامل فناوری‌های توانمندساز مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، دوقلوهای دیجیتال و فناوری‌های کوانتومی است.

فناوری‌های کوانتومی را می‌توان یکی از کلیدی‌ترین توانمندسازهای انقلاب صنعتی پنجم دانست؛ چارچوبی که بر انسان‌محوری، پایداری و تاب‌آوری استوار است. اگرچه کوانتوم خودِ انقلاب نیست، اما با فراهم کردن ابزارهایی چون رایانش فوق‌سریع، امنیت ارتباطی، حسگرهای بسیار دقیق و شبیه‌سازی پیشرفته، تحقق اهداف صنعت ۵.۰ را امکان‌پذیر می‌سازد. به‌ویژه، بهره‌گیری از اصول برهم‌نهی و درهم‌تنیدگی کوانتومی می‌تواند در بهینه‌سازی زنجیره‌های تأمین، نگهداری پیش‌بینانه، ارتقای همکاری انسان‌ماشین و توسعه سامانه‌های هوشمند در حوزه‌هایی نظیر سلامت، انرژی، حمل‌ونقل و تولید پیشرفته نقشی تعیین‌کننده ایفا کند [۱۰]. در کنار آن، بعد زیست‌محیطی موضوعاتی مانند اقتصاد چرخشی و مدیریت منابع را در برمی‌گیرد و بعد قانونی نیز به مقررات، استانداردها و ملاحظات اخلاقی فناوری اختصاص دارد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش با هدف شناسایی، پالایش و طبقه‌بندی پیشران‌ها و روندهای کلیدی مؤثر بر آینده انقلاب صنعتی پنجم، از رویکرد مرور نظام‌مند ادبیات همراه با تحلیل محتوای کیفی و چارچوب PESTEL استفاده کرده است.

جستجوی نظام‌مند در پایگاه داده Scopus (به دلیل پوشش جامع نشریات معتبر بین‌المللی) در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۵ انجام شد. کلیدواژه‌های جستجو در عنوان مقالات عبارت بودند از:

[1] Mass Personalization

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی https:/www.sciencecultivation.ir 2783-0934

- مفاهیم اصلی Industry 5.0" OR "Fifth Industrial Revolution":
- مفاهیم تحول و آینده: "Drivers" OR "Trends" OR "Roadmap" OR "Future directions"
- مفاهیم مکمل: "Human-centric" OR "Sustainability" OR "Resilience"

در مرحله نخست، ۱۴۲۱ مقاله شناسایی شد. پس از حذف موارد تکراری، غربالگری براساس عنوان، چکیده و متن کامل، در نهایت ۴۷ مقاله برای تحلیل نهایی انتخاب شد همچنین چند منبع تکمیلی از طریق بررسی ارجاعات مقالات منتخب اضافه گردید (شکل ۱). در گام بعد، مقالات منتخب با استفاده از تحلیل محتوای کیفی بررسی شدند. در این فرایند، مفاهیم و الگوهای تکرارشونده استخراج و به‌صورت کدهای اولیه ثبت شدند. سپس این کدها بر اساس شباهت مفهومی در قالب تم‌ها و خوشه‌های تحلیلی ادغام شدند تا پیشران‌ها و روندهای کلیدی شناسایی شوند. به‌موجب افزایش اعتبار و اطمینان‌پذیری نتایج، یافته‌های حاصل از تحلیل ادبیات با نظر گروهی از خبرگان حوزه آینده‌پژوهی، سیاست‌گذاری فناوری و تحول دیجیتال بازبینی و اصلاح شد. در نهایت، پیشران‌ها و روندهای استخراج‌شده در دسته‌بندی و تحلیل شدند.

۴. یافته‌ها

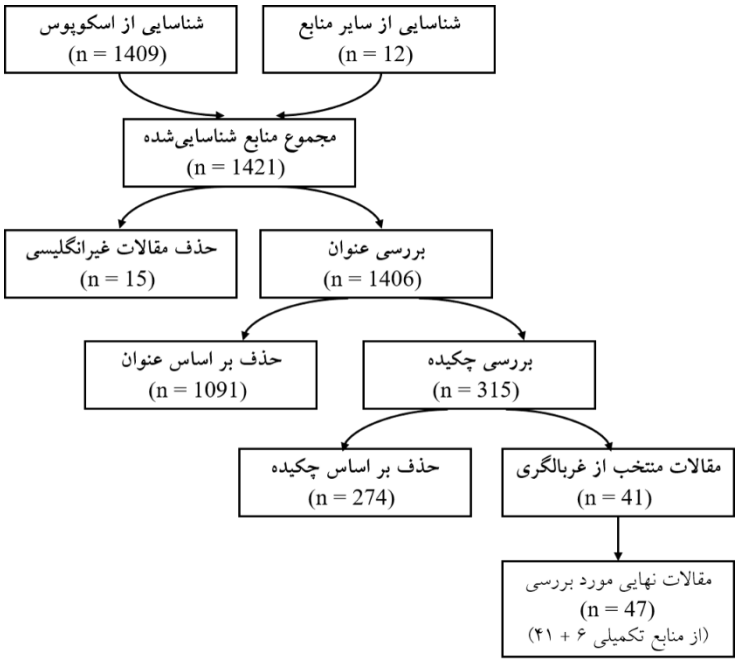
تحلیل محتوای ۴۷ منبع منتخب نشان داد که ادبیات انقلاب صنعتی پنجم عمدتاً حول چهار محور اصلی شکل گرفته است. بیشترین فراوانی مفاهیم به انسان‌محوری و همکاری انسان و ماشین اختصاص داشت و پس از آن موضوعات پایداری، فناوری‌های دیجیتال توانمندساز و تاب‌آوری صنعتی قرار گرفتند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که انقلاب صنعتی پنجم صرفاً بر توسعه فناوری متمرکز نیست، بلکه بر نقش انسان، پایداری محیط‌زیستی و افزایش انعطاف‌پذیری سیستم‌های صنعتی نیز تأکید دارد.

جدول۲: تم‌های اصلی ادبیات انقلاب صنعتی پنجم

تم اصلی	فراوانی تقریبی	شرح مختصر
انسان‌محوری و همکاری انسان و ماشین	≈ 50	تقویت نقش انسان، همکاری انسان و ربات و ارتقای رفاه و ایمنی نیروی کار
پایداری و بهره‌وری منابع	≈ 35	کاهش ضایعات، بهینه‌سازی مصرف منابع و توسعه تولید پایدار
فناوری‌های دیجیتال توانمندساز	≈ 30	هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، کلان‌داده و فناوری‌های هوشمند پشتیبان تولید
تاب‌آوری و انعطاف‌پذیری صنعتی	≈ 15	افزایش توان سازگاری صنایع در برابر بحران‌ها و اختلالات

۵. روندها و پیشران‌های کلیدی انقلاب صنعتی پنجم در چارچوب PESTEL

برای ارائه تصویری یکپارچه از عوامل مؤثر بر آینده صنعت پنجم، روندها و پیشران‌های استخراج‌شده در چارچوب PESTEL دسته‌بندی شدند. انتخاب این عوامل بر اساس تکرار در ادبیات، تراکم مفهومی در تحلیل محتوا و تأیید خبرگان انجام شد.



شکل ۱: جریان اطلاعات مرور سیستماتیک بر اساس PRISMA 2020 [۱۱]

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی https:/www.sciencecultivation.ir 2783-0934

یافته‌های جدول فوق، پیشران‌ها و روندهای کلیدی را در سطح ادبیات جهانی شناسایی کرد. اما می‌توان بررسی کرد کشورها در عمل چگونه این پیشران‌ها را مدیریت کرده‌اند و دلالت‌های سیاستی متناسب با ایران چگونه است؟ به همین خاطر تجربه پنج کشور با تنوع منطقه‌ای (ژاپن، آلمان، آمریکا، ترکیه و برزیل) بررسی می‌شود.

جدول ۳: روندها و پیشران‌های کلیدی صنعت پنجم در چارچوب PESTEL

بعد تحول	روندهای کلیدی	پیشران‌های اصلی	دلالت سیاستی	نمونه رفرنس
سیاسی	جهانی‌شدن حکمرانی فناوری و استانداردهایAI	رقابت ژئوپلیتیک بر سر هوش مصنوعی، داده و زیرساخت‌های دیجیتال	تکمیل و اجرایی‌سازی سند ملی هوش مصنوعی با تأکید بر حکمرانی داده، استقلال فناورانه و آمادگی برای الزامات انقلاب صنعتی پنجم	[۲]
سیاسی	افزایش حکمرانی دیجیتال دولت‌ها	نگرانی از انحصار پلتفرم‌ها و تمرکز داده	توسعه نظام حکمرانی داده و یکپارچه‌سازی پایگاه‌های اطلاعاتی کشور در راستای توسعه دولت هوشمند	[۱۲]
سیاسی	توسعه نهادهای تخصصی تنظیم‌گر فناوری	پیچیدگی و سرعت تحولات انقلاب صنعتی پنجم	تقویت سازوکارهای تنظیم‌گری فناوری‌های نوظهور و ایجاد هماهنگی میان نهادهای مسئول حکمرانی دیجیتال	[۱۳، ۱۴]
قانونی	رشد مقررات اخلاقی و شفافیت الگوریتمی	افزایش سوگیری‌ها و مخاطرات تصمیم‌گیری خودکار	تدوین مقررات ملی برای شفافیت الگوریتمی، مسئولیت‌پذیری هوش مصنوعی و حفاظت از داده‌های شهروندان	[۱۵]
اقتصادی	شخصی‌سازی و خدمت‌محوری	فشار برای افزایش بهره‌وری و انعطاف‌پذیری	حمایت از توسعه مدل‌های کسب‌وکار داده‌محور و پلتفرمی در صنایع دانش‌بنیان کشور	[۱۶، ۱۷]
اقتصادی	هوشمندسازی و تاب‌آوری زنجیره تأمین	بحران‌های جهانی و ریسک‌های ژئوپلیتیک	افزایش تاب‌آوری زنجیره‌های تأمین راهبردی کشور از طریق دیجیتالی‌سازی و بومی‌سازی فناوری‌های کلیدی	[۱۸، ۱۹]
اجتماعی	گسترش همکاری انسان–ماشین و محیط‌های کاری انسان‌محور	نیاز به بهره‌وری همراه با رفاه نیروی کار	تدوین استانداردهای ملی همکاری انسان و ماشین و ارتقای ایمنی محیط‌های کاری هوشمند	[۳]
اجتماعی	بازآموزی و توسعه مهارت‌های دیجیتال	شکاف مهارتی ناشی از AI و اتوماسیون	بازنگری برنامه‌های آموزش عالی و مهارتی با تمرکز بر مهارت‌های دیجیتال، خلاقیت و همکاری انسان–ماشین	[۲۰، ۲۱]
اجتماعی	افزایش توجه به عدالت دیجیتال و پذیرش اجتماعی فناوری	نابرابری دسترسی به فناوری و مقاومت فرهنگی	گسترش عدالت دیجیتال از طریق توسعه زیرساخت‌ها و آموزش مهارت‌های دیجیتال در مناطق کمتر برخوردار	[۲۲، ۲۳]
فناورانه	گسترش اینترنت اشیا صنعتی، AI و تحلیل بلادرنگ داده	پیشرفت سریع یادگیری ماشین و پردازش داده	توسعه مراکز نوآوری و آزمایشگاه‌های کاربردی هوش مصنوعی در صنایع اولویت‌دار کشور	[۲۴]
فناورانه	توسعه فناوری های کوانتومی دوقلوهای دیجیتال و شبیه‌سازی هوشمند	افزایش قدرت محاسباتی و کاهش هزینه حسگرها	اجرای پروژه‌های پایلوت دوقلوی دیجیتال در صنایع بزرگ، انرژی و زیرساخت‌های حیاتی	[۱۰، ۲۵، ۲۶]
فناورانه	رشد شبکه‌های ۶ Gو پردازش لبه	نیاز به تبادل داده‌های بلادرنگ در کارخانه‌های هوشمند	سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های ارتباطی و پردازشی مورد نیاز کارخانه‌های هوشمند آینده	[27]
زیست‌محیطی	رشد اقتصاد چرخشی و تولید پایدار	فشار برای کاهش انتشار کربن و تغییرات اقلیمی	ادغام اصول اقتصاد چرخشی و تولید سبز در سیاست‌های صنعتی و زیست‌محیطی کشور	[۲۸]
زیست‌محیطی	دیجیتالی‌شدن مدیریت انرژی و منابع	افزایش هزینه انرژی و کمیابی منابع	توسعه سامانه‌های هوشمند مدیریت انرژی و بهره‌وری منابع در بخش صنعت و خدمات	[۲۹، ۳۰، ۳۱]

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی https:/www.sciencecultivation.ir 2783-0934

۶. تجارب بین‌المللی در گذار به انقلاب صنعتی پنجم

ژاپن یکی از نخستین کشورهایی است که از طریق راهبرد «جامعه ۵.۰[1]» چارچوبی ملی برای گذار به عصر جدید ارائه کرده است. در این رویکرد، فناوری‌هایی مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و رباتیک بیشتر به‌عنوان ابزاری برای حل مسائل اجتماعی، بهبود کیفیت زندگی و ارتقای رفاه عمومی به کار گرفته می‌شوند، نه صرفاً به‌عنوان هدف.همچنین مطالعات نشان می‌دهد شرکت‌های ژاپنی توجه ویژه‌ای به همکاری انسان و ماشین و توسعه ربات‌های همکار در محیط‌های صنعتی داشته‌اند [۳۲].

بررسی‌ها حاکی از آن است که آلمان به‌عنوان پیش‌گام انقلاب صنعتی چهارم، در سال‌های اخیر تلاش کرده است زیرساخت‌های دیجیتال و صنعتی خود را در راستای اهداف انقلاب صنعتی پنجم بازآرایی کند. توسعه کارخانه‌های هوشمند، بهره‌گیری گسترده از اینترنت اشیا صنعتی و توجه روزافزون به پایداری و تاب‌آوری زنجیره‌های تأمین از مهم‌ترین اقدامات این کشور محسوب می‌شود. مطالعات تطبیقی نشان می‌دهد که آلمان در حال گذار از رویکرد صرفاً اتوماسیون محور به سمت الگوی متوازن‌تری مبتنی بر همکاری انسان و ماشین است [۳۳].

ایالات متحده آمریکا از بازیگران اصلی توسعه و استقرار این انقلاب به شمار می‌رود. رشد سریع فناوری‌هایی نظیر هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، ربات‌های همکار، دوقلوهای دیجیتال و تولید افزایشی، زمینه گذار صنایع این کشور به الگوهای انسان‌محور و هوشمند را فراهم کرده است. شواهد بازار نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری‌های گسترده در کارخانه‌های هوشمند، همکاری انسان و ماشین، زنجیره‌های تأمین تاب‌آور و تولید پایدار، از مهم‌ترین محرک‌های توسعه Industry 5.0 در آمریکا هستند. همچنین توسعه دوقلوهای دیجیتال، رباتیک مبتنی بر هوش مصنوعی و شخصی‌سازی انبوه محصولات، به‌ویژه در صنایع خودروسازی و تولید پیشرفته، جایگاه ویژه‌ای یافته است. حمایت‌های سیاستی دولت آمریکا، از جمله سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های نیمه‌رسانا و فناوری‌های هوشمند، نیز نقش مهمی در تسریع این گذار ایفا می‌کند. این تجربه نشان می‌دهد که تلفیق نوآوری فناورانه با بهره‌گیری از خلاقیت انسانی، پایداری و تاب‌آوری زنجیره‌های تأمین، از مهم‌ترین الزامات تحقق این انقلاب صنعتی است [۳۴].

ترکیه نیز از جمله کشورهایی است که اقدامات عملی و ملی‌محوری برای گذار به انقلاب صنعتی پنجم با تمرکز بر مدل «جامعه ۵.۰» انجام داده است. برگزاری مجمع تخصصی منابع انسانی استانبول با محوریت جامعه ۵.۰، اجرای «برنامه ملی کارآموزی» با مدل سنجش منحصربه‌فرد دیجیتال، و توسعه پلتفرم‌های استخدام هوشمند نظیر «Kariyer Kapisi» از مهم‌ترین اقدامات این کشور محسوب می‌شود. همچنین ترکیه با مطالعه موارد کاربردی در صنایع دفاع، حمل‌ونقل، شهرهای هوشمند و امنیت سایبری، تلاش کرده است فناوری‌های انسان‌محور را با نیازهای ملی و منطقه‌ای تلفیق کند [۳۵].

در میان کشورهای درحال‌توسعه، برزیل از جمله کشورهایی است که توجه فزاینده‌ای به مفاهیم انقلاب صنعتی پنجم نشان داده است. مطالعات انجام‌شده در این کشور فرصت‌های قابل‌توجهی را در بخش‌هایی نظیر کشاورزی هوشمند، انرژی‌های تجدیدپذیر و صنایع فناوری‌محور شناسایی کرده‌اند. بااین‌حال، چالش‌هایی همچون شکاف مهارتی، محدودیت زیرساخت‌های دیجیتال و پایین بودن بلوغ فناورانه همچنان از مهم‌ترین موانع گذار به انقلاب صنعتی در این کشور محسوب می‌شوند در مورد برزیل، نتایج نشان‌دهنده آن است که موفقیت در این مسیر نیازمند سرمایه‌گذاری هم‌زمان در فناوری، آموزش و سیاست‌گذاری است [۳۳، ۳۶].

بررسی‌های تطبیقی نشان می‌دهد که آمادگی کشورها برای گذار به انقلاب صنعتی پنجم قابل رتبه‌بندی است. در یکی از این ارزیابی‌ها، کشورهای اروپایی بر پایه شاخص آمادگی صنعت ۵.۰ در چهار بُعد تحول دیجیتال، انسان‌محوری، پایداری، و نوآوری و تاب‌آوری سیستمی سنجیده شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد سوئد، هلند، دانمارک، آلمان و ایرلند در میان کشورهای پیشرو قرار دارند، درحالی‌که لهستان، یونان، بلغارستان و رومانی با محدودیت‌های ساختاری و سطح آمادگی پایین‌تر روبه‌رو هستند [۳۷].

مرور تجارب بین‌المللی بیانگر آن است که توسعه فناوری به‌تنهایی برای تحقق صنعت پنجم کافی نیست و عواملی مانند راهبرد ملی، سرمایه انسانی، زیرساخت دیجیتال و تنظیم‌گری مناسب نیز نقش تعیین‌کننده‌ای دارند. در این میان، تجربه کشورهایی مانند ژاپن، آلمان، آمریکا، ترکیه و برزیل نشان می‌دهد که هرچند مسیرهای

[1] Society 5.0

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی https:/www.sciencecultivation.ir 2783-0934

طی‌شده متفاوت‌اند، اما موفقیت پایدار تنها زمانی حاصل می‌شود که فناوری در خدمت انسان، تاب‌آوری و توسعه مسئولانه قرار گیرد.

۷. وضعیت ایران و الزامات گذار به انقلاب صنعتی پنجم

اگرچه هدف این پژوهش سنجش میزان آمادگی ایران برای انقلاب صنعتی پنجم نیست، اما چارچوب آمادگی صنعت ۵.۰ [۳۷] مبنای مناسبی برای یکپارچه‌سازی یافته‌های استخراج‌شده از ادبیات فراهم می‌کند. ازاین‌رو، دلالت‌های سیاستی پژوهش با اتکا به چهار بعد تحول دیجیتال، انسان‌محوری، پایداری و نوآوری و تاب‌آوری سیستمی صورت‌بندی شد.

تحول دیجیتال و حکمرانی فناوری

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که یکی از مهم‌ترین روندهای آینده صنعت ، گسترش حکمرانی دیجیتال، تنظیم‌گری هوش مصنوعی و تقویت سازوکارهای اعتماد دیجیتال است. رشد سامانه‌های هوشمند، هوش مصنوعی و پردازش کلان‌داده‌ها موجب شده است موضوعاتی مانند حریم خصوصی، امنیت داده، شفافیت الگوریتمی و مسئولیت‌پذیری فناوری به بخشی جدایی‌ناپذیر از سیاست‌گذاری صنعتی تبدیل شوند. تجربه آمریکا و اتحادیه اروپا نشان می‌دهد که توسعه فناوری بدون چارچوب‌های روشن حکمرانی داده، اخلاق هوش مصنوعی و سازوکارهای پاسخ‌گویی، پایدار و قابل‌اتکا نخواهد بود. براین‌اساس، هوش مصنوعی باید به‌گونه‌ای تنظیم شود که کنترل انسانی را تقویت کند، نه آنکه جایگزین قضاوت انسان شود.

در ایران نیز طی سال‌های اخیر خصوصا با تصویب برنامه هفتم توسعه اقداماتی مانند تدوین سند ملی هوش مصنوعی، توسعه دولت هوشمند و حرکت به‌سوی یکپارچه‌سازی خدمات دیجیتال آغاز شده است. بااین‌حال، همچنان خلأهایی در حوزه حکمرانی داده، تنظیم‌گری هوش مصنوعی، امنیت سایبری صنعتی و هماهنگی نهادی مشاهده می‌شود. ازاین‌رو، ایجاد سازوکار ملی حکمرانی داده، تعیین متولی روشن برای تنظیم‌گری هوش مصنوعی، و تدوین قواعد اجرایی برای کاربردهای صنعتی فناوری‌های هوشمند از مهم‌ترین الزامات گذار کشور به صنعت پنجم به شمار می‌آید.

۸. انسان‌محوری و توسعه سرمایه انسانی

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که برخلاف تصور رایج، توسعه فناوری به معنای حذف نقش انسان نیست، بلکه بر همکاری انسان و ماشین و ارتقای توانمندی‌های انسانی تأکید دارد. از این منظر، توسعه سرمایه انسانی و مهارت‌های آینده به یکی از مهم‌ترین پیشران‌های انقلاب صنعتی پنجم تبدیل شده است. بازآموزی نیروی کار، یادگیری مادام‌العمر، توسعه مهارت‌های دیجیتال، تفکر سیستمی، خلاقیت و توانایی تعامل با سامانه‌های هوشمند از جمله الزامات اصلی این دوران محسوب می‌شوند. تجربه ترکیه و ژاپن نیز نشان می‌دهد که بازآموزی مستمر نیروی کار و توسعه مهارت‌های دیجیتال از مهم‌ترین پیش‌نیازهای این گذار است.

ایران از ظرفیت‌هایی همچون جمعیت جوان، شبکه گسترده آموزش عالی و رشد شرکت‌های دانش‌بنیان برخوردار است. بااین‌حال، شکاف میان نیازهای جدید صنعت و برنامه‌های آموزشی موجود همچنان قابل‌توجه است. بنابراین بازنگری در برنامه‌های آموزش عالی و مهارتی، توسعه دوره‌های میان‌رشته‌ای، طراحی برنامه‌های بازآموزی برای نیروی کار شاغل، و تقویت پیوند دانشگاه و صنعت می‌تواند نقش مهمی در آماده‌سازی سرمایه انسانی کشور برای الزامات صنعت پنجم ایفا کند.

۹. پایداری و بهره‌وری منابع

می‌توان عنوان کرد پایداری در انقلاب صنعتی پنجم تنها یک ملاحظه زیست‌محیطی نیست، بلکه به یکی از عوامل مهم رقابت‌پذیری صنایع تبدیل شده است. افزایش هزینه انرژی، محدودیت منابع و الزامات محیط‌زیستی، صنایع را به سمت استفاده کارآمدتر از منابع و کاهش اتلاف سوق داده است. تجربه کشورهایی مانند آلمان و برزیل نیز نشان می‌دهد که بهره‌وری انرژی و مدیریت بهینه منابع به بخشی از سیاست‌های صنعتی تبدیل شده‌اند.

در ایران نیز اگرچه اقداماتی در حوزه بهره‌وری انرژی همچون تاسیس سازمان ملی بهره‌وری و تأکید شدید برنامه هفتم توسعه[۱] انجام شده است، اما همچنان ظرفیت قابل‌توجهی برای بهبود مدیریت منابع و کاهش اتلاف وجود دارد. ازاین‌رو، توسعه فناوری‌های پاک، به‌کارگیری سامانه‌های هوشمند مدیریت انرژی

[۱] سهم ۳۵ درصدی بهره‌وری در رشد اقتصادی سالانه ۸ درصدی (ماده ۲ قانون برنامه هفتم) و تحقق حداقل ۱۰ درصد افزایش بهره‌وری خدمات دولتی (ماده ۱۱۱)

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی https:/www.sciencecultivation.ir 2783-0934

و توجه بیشتر به بهره‌وری منابع می‌تواند از الزامات مهم حرکت به سمت صنعت پنجم باشد.

۱۰. نوآوری و تاب‌آوری سیستمی

بررسی‌ها نشان می‌دهد که نوآوری و توان سازگاری با شرایط متغیر، از عوامل کلیدی موفقیت در صنعت پنجم هستند. کشورهایی که سرمایه‌گذاری بیشتری در تحقیق‌وتوسعه، فناوری و زیرساخت‌های نوآوری انجام داده‌اند، آمادگی بیشتری برای مواجهه با تغییرات و بحران‌ها داشته‌اند.

ایران از ظرفیت‌هایی مانند دانشگاه‌ها، نیروی انسانی متخصص و شرکت‌های دانش‌بنیان برخوردار است، اما برای بهره‌گیری بهتر از این ظرفیت‌ها، تقویت ارتباط دانشگاه و صنعت، حمایت از فعالیت‌های نوآورانه و افزایش تاب‌آوری زنجیره‌های تأمین ضروری به نظر می‌رسد. این اقدامات می‌تواند زمینه آمادگی بیشتر کشور برای الزامات صنعت پنجم را فراهم کند.

۱۱. نتیجه‌گیری

صنعت ۵.۰ برخلاف انقلاب صنعتی چهارم، صرفاً یک تحول فناورانه نیست، بلکه پارادایمی نوین است که بر همگرایی فناوری‌های پیشرفته با نیازهای انسانی، پایداری و تاب‌آوری استوار است. در این چارچوب، علوم و فناوری‌های تاب‌آور به‌عنوان یکی از پیشران‌های کلیدی، با ارتقای ظرفیت پیش‌بینی، سازگاری، تداوم عملکرد و بازیابی سامانه‌های صنعتی در برابر مخاطرات، نقش مهمی در تحقق اهداف صنعت ۵.۰ ایفا می‌کنند. بررسی ادبیات و تجربه کشورهای پیشرو نشان می‌دهد که تحول دیجیتال، انسان‌محوری، بهره‌وری و پایداری منابع، نوآوری و تاب‌آوری سیستمی، مهم‌ترین ابعاد این گذار هستند. ازاین‌رو، موفقیت کشورها بیش از توسعه صرف فناوری، به توانایی آن‌ها در ایجاد تعادل میان پیشرفت فناوری، توسعه سرمایه انسانی، حکمرانی مؤثر، ظرفیت‌های نهادی و بهره‌گیری از فناوری‌های تاب‌آور و اخلاق حرفه‌ای وابسته است.

در کشور اگرچه اقداماتی در حوزه دولت هوشمند، توسعه شرکت‌های دانش‌بنیان و سیاست‌های فناوری آغاز شده است، اما تحقق الزامات صنعت ۵.۰ مستلزم رویکردی یکپارچه در حکمرانی علمی، فناوری و علوم داده، توسعه مهارت‌های آینده، ارتقای بهره‌وری منابع و تقویت ظرفیت‌های نوآوری و تاب‌آوری است.

در این مسیر، توسعه و به‌کارگیری علوم و فناوری‌های تاب‌آور می‌تواند ضمن افزایش پایداری و امنیت سامانه‌های صنعتی، توان رقابت‌پذیری، انعطاف‌پذیری و آمادگی کشور را در برابر بحران‌ها و تغییرات شتابان فناوری ارتقا داده و زمینه‌ساز توسعه صنعتی هوشمند، پایدار و آینده‌نگر شود.

نویسندگان اعلام می دارند که این مقاله توسط هوش مصنوعی نگارش نشده است . کل و یا بخشی از آن نیز در هیچ‌کدام از پایگاه‌های اطلاعاتی چاپ نشده است.

منابع

Reference

[1]. Schwab, K. (2024). The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond, In: Handbook of research on strategic leadership in the Fourth Industrial Revolution, Edward Elgar Publishing. PP. 29–34.

[2]. European Commission (2021). Industry 5.0 Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry, Directorate-General for Research and Innovation.

[3]. Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A human-centric solution, Sustainability, Vol. 11, No. 16. PP. 4371.

[4]. Schwab, K. (2017). The fourth industrial revolution, Crown Business, New York, Vol. 192.

[5]. Ghobakhloo, M., Mahdiraji, H. A., Iranmanesh, M., Jafari-Sadeghi, V. (2024). From Industry 4.0 Digital Manufacturing to Industry 5.0 Digital Society: a Roadmap Toward Human-Centric, Sustainable, and Resilient Production, Information Systems Frontiers.

[6]. Elangovan, U. (2021). Industry 5.0: The future of the industrial economy, CRC Press.

[۷]. ابوالفضل کیانی بختیاری، علی‌اکبر موسوی موحدی (۱۴۰۰)، "انقلاب صنعتی چهارم و تغییرات بنیادین پیش رو"، فصلنامه نشاء علم، دوره ۱۱، شماره ۲، صص ۱۵۵-۱۶۳.

[8]. Fiksel, J. (2015). Resilient by design: Creating businesses that adapt and flourish in a changing world, Princeton University Press.

[9]. Ivanov, D. (2023). The Industry 5.0 framework: viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives, International Journal of Production Research, Vol. 61, No. 5. PP. 1683–1695.

[10]. Ganiyat, S., Bright, G. (2026). Quantum Computing as a Disruptive Technology: Implications for Advanced Manufacturing and Industry 5.0, Applied Sciences, Vol. 16, No. 10. PP. 4856.

[11]. Page, M. J., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews, BMJ, Vol. 372.

[12]. Kumar, S., Mallipeddi, R. (2022). Impact of cybersecurity on operations and supply chain management: Emerging trends and future research directions, Production and Operations Management, Vol. 31.

[13]. Barata, J., Kayser, I. (2023). Industry 5.0 - past, present, and near future, Procedia Computer Science, Elsevier B.V. PP. 778–788.

[14]. Zeb, S., et al. (2024). Towards defining industry 5.0 vision with intelligent and softwarized wireless network architectures and services: A survey, Journal of Network and Computer Applications, Vol. 223. PP. 103796.

[15]. Anand, P., Kumar, J., Mukherjee, S. (2024). Review of Industry 5.0: Evolution and Future Advancements. PP. 87–105.

[16]. Adel, A., Alani, N. H. S., Jan, T. (2024). Factories of the future in industry 5.0—Softwarization, Servitization, and Industrialization, Elsevier B.V.

[17]. Jiménez-Partearroyo, M., Medina-López, A., Juárez-Varón, D. (2024). Towards industry 5.0: Evolving the product-process matrix in the new paradigm, Journal of Technology Transfer, Vol. 49, No. 4. PP. 1496–1531.

[18]. Nazarian, H., Khan, S. A. (2024). The impact of industry 5.0 on supply chain performance, International Journal of Engineering Business Management, Vol. 16.

[19]. Sonar, H., Ghag, N., Sharma, I. (2025). Reshaping Industry 5.0: unveiling supply chain resilience for a carbon-neutral future, Sustainable Futures, Vol. 9. PP. 100513.

[20]. Gamberini, L., Pluchino, P. (2024). Industry 5.0: A comprehensive insight into the future of work, social sustainability, sustainable development, and career, Australian Journal of Career Development, Vol. 33, No. 1. PP. 5–14.

[۲۱]. سیده معصومه احمدی، علی خلخالی، اسماعیل کاظم‌پور (۱۴۰۴)، "انقلاب صنعتی پنجم: از ماشین بخار تا هم‌افزایی دیجیتال"، فصلنامه نشاء علم، سال پانزدهم، شماره ۲، ص ۱۵۲–۱۵۸.

[22]. Carayannis, E. G., Morawska, J. (2023). University and Education 5.0 for Emerging Trends, Policies and Practices in the Concept of Industry 5.0 and Society 5.0, In: Industry 5.0: Creative and Innovative Organizations, Springer International Publishing. PP. 1–25.

[23]. Roblek, V., Meško, M., Podbregar, I. (2021). Mapping of the emergence of Society 5.0: A bibliometric analysis, Organizacija, Vol. 54, No. 4. PP. 293–305.

[24]. Piccarozzi, M., Silvestri, L., Silvestri, C., Ruggieri, A. (2024). Roadmap to Industry 5.0: Enabling technologies, challenges, and opportunities towards a holistic definition in management studies, Technological Forecasting and Social Change, Vol. 205.

[25]. Verma, A., et al. (2022). Blockchain for industry 5.0: Vision, opportunities, key enablers, and future directions, IEEE Access, Vol. 10. PP. 69160–69199.

[26]. Gaffinet, B., Ali, J. A. H., Naudet, Y., Panetto, H. (2025). Human digital twins: A systematic literature review and concept disambiguation for industry 5.0, Computers in Industry, Vol. 166. PP. 104230.

[27]. Lauria, M., Azzalin, M. (2024). Digital Twin Approach in Buildings: Future Challenges via a Critical Literature Review, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).

[28]. Sonar, H., Ghag, N., Sharma, I. (2025). Reshaping industry 5.0: Unveiling supply chain resilience for a carbon-neutral future, Sustainable Futures, Vol. 9. PP. 100513.

[29]. Hu, J.-L., Li, Y., Chew, J.-C. (2025). Industry 5.0 and human-centered energy system: a comprehensive review with socio-economic viewpoints, Energies (Basel), Vol. 18, No. 9. PP. 2345.

[30]. Rame, R., Purwanto, P., Sudarno, S. (2024). Industry 5.0 and sustainability: An overview of emerging trends and challenges for a green future, Elsevier B.V.

[۳۱]. سامان پیره‌بابی، علی‌اکبر یعقوبی، مجید زندی (۱۴۰۳)، "مروری بر انقلاب‌های صنعتی: انقلاب صنعتی پنجم، عصر انرژی"، مجله مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز، دوره ۵۴، شماره ۲، ص ۷۹–۸۸.

[32]. Park, Y. W., Shintaku, J. (2022). Sustainable human–machine collaborations in digital transformation technologies adoption: A comparative case study of Japan and Germany, Sustainability, Vol. 14, No. 17. PP. 10583.

[33]. Pereira, R., dos Santos, N. (2023). Neoindustrialization—reflections on a new paradigmatic approach for the industry: a scoping review on industry 5.0, Logistics, Vol. 7, No. 3. PP. 43.

[34]. MarketsandMarkets (2024). United States (USA) Industry 5.0 Market worth $65.1 billion by 2029.

[35]. Atay, S., Müftüoğlu, C. T., Gülmez, N., Şahin, M. (2025). Society 5.0 and human-centered

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی https:/www.sciencecultivation.ir 2783-0934

technology: Redefining talent management in the digital age, Sustainable Futures, Vol. 9. PP. 100733.

[36]. Pereira, R., dos Santos, N. (2023). Neoindustrialization—reflections on a new paradigmatic approach for the industry: a scoping review on industry 5.0, Logistics, Vol. 7, No. 3. PP. 43.

[37]. Brodny, J., Tutak, M. (2026). Towards Industry 5.0: An integrated readiness assessment of EU-27 Member States, Journal of Cleaner Production, Vol. 540. PP. 147486.

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی https:/www.sciencecultivation.ir 2783-0934