

# The Fifth Industrial Revolution: From Steam Engine to Digital Synergy

Seyedeh Masoumeh Ahmadi<sup>1</sup>, Ali Khalkhali<sup>\*,1</sup>, Esmail Kazempour<sup>1</sup>

## Article Info

### Article type:

Popularization of Science

### Article history:

Receive Date

22 May 2025

Revise Date

25 June 2025

Accept Date

08 July 2025

Available online:

21 December 2025

### Keywords:

Fifth Industrial Revolution, Human-centricity, Sustainability, Resilience, Artificial Intelligence, Internet of Things, Personalized Production, Circular Economy.

Since the 18th century, industrial revolutions have brought profound changes to the economic, social, and technological structures of societies. The First Industrial Revolution introduced mechanized production and urbanization through the steam engine. The Second Industrial Revolution boosted productivity through electricity and mass production but intensified pollution and inequality. The Third Industrial Revolution laid the foundation for a knowledge-based economy by driving digitalization and automation. The Fourth Industrial Revolution introduced smart factories through cyber-physical systems, the Internet of Things, and artificial intelligence, yet raised concerns regarding automation and digital inequality. The Fifth Industrial Revolution (Industry 5.0), introduced by the European Commission in 2021, represents an evolution of the Fourth, emphasizing human-centricity, sustainability, and resilience. Aiming to balance technological progress with human values, this revolution focuses on human-machine collaboration, responsible production, and responsiveness to dynamic market demands. This article reviews these transformations, analyzes the key characteristics of the Fifth Industrial Revolution, and evaluates its impacts on the economy, labor force, and environment. Findings indicate that Industry 5.0, by prioritizing human-machine collaboration and sustainability, has the potential to improve quality of life and reduce environmental impact; however, it requires significant investment in infrastructure, workforce training, and ethical governance.

Cite this article: Ahmadi S. M., Khalkhali A., Kazempour E. (2025). 'The Fifth Industrial Revolution: From Steam Engine to Digital Synergy', *Science Cultivation*, 15 (2), 152-158.



© 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: 09111926773, E-mail: 1502113554@iau.ac.ir

<sup>1</sup> Department of Educational Management, To.C., Islamic Azad University, Tonekabon, Iran

## انقلاب صنعتی پنجم: از ماشین بخار تا هم‌افزایی دیجیتال

سیده معصومه احمدی<sup>۱</sup>، علی خلخالی<sup>۱\*</sup>، اسماعیل کاظم‌پور<sup>۱</sup>

### چکیده

انقلاب‌های صنعتی از قرن هجدهم میلادی، تحولات عمیقی در ساختارهای اقتصادی، اجتماعی و فناوری جوامع ایجاد کرده‌اند. انقلاب اول با ماشین بخار، تولید مکانیکی و شهرنشینی را رقم زد. انقلاب دوم با برق و تولید انبوه، بهره‌وری را افزایش داد، اما آلودگی و نابرابری را تشدید کرد. انقلاب سوم، اقتصاد دانش‌بنیان را با دیجیتال‌سازی و اتوماسیون پایه‌گذاری نمود. انقلاب چهارم، با فناوری‌های سایبری-فیزیکی، اینترنت اشیا و هوش مصنوعی، کارخانه‌های هوشمند را معرفی کرد، اما نگرانی‌هایی درباره اتوماسیون و نابرابری دیجیتال برانگیخت. انقلاب صنعتی پنجم (Industry 5.0) که در سال ۲۰۲۱ توسط کمیسیون اروپا مطرح شد، به‌عنوان تکاملی از انقلاب چهارم، بر انسان‌محوری، پایداری و انعطاف‌پذیری تأکید دارد. این انقلاب با هدف ایجاد تعادل بین پیشرفت فناوری و ارزش‌های انسانی، به دنبال همکاری انسان و ماشین، تولید مسئولانه و پاسخگویی به نیازهای متغیر بازار است. این مقاله با مروری بر این تحولات، ویژگی‌های انقلاب پنجم را تحلیل کرده و تأثیرات آن بر اقتصاد، نیروی کار و محیط‌زیست را ارزیابی می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که انقلاب پنجم با تأکید بر همکاری انسان و ماشین و پایداری، می‌تواند کیفیت زندگی را بهبود بخشد و اثرات زیست‌محیطی را کاهش دهد، اما نیازمند سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها، آموزش و مدیریت مسائل اخلاقی است.

### اطلاعات مقاله

#### نوع مقاله:

مقاله ترویجی

#### تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت

۰۱ خرداد ۱۴۰۴

تاریخ بازنگری

۰۴ تیر ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش

۱۷ تیر ۱۴۰۴

تاریخ انتشار

۳۰ آذر ۱۴۰۴

#### کلیدواژه‌ها:

انقلاب صنعتی پنجم، انسان‌محوری،

پایداری، انعطاف‌پذیری، هوش

مصنوعی، اینترنت اشیا، تولید

شخصی‌سازی‌شده، اقتصاد چرخشی

**استناد:** احمدی سیده معصومه، خلخالی علی، کاظم‌پور اسماعیل. (۱۴۰۴). انقلاب صنعتی پنجم: از ماشین بخار تا هم‌افزایی دیجیتال؛ نشاء علم، ۱۵ (۲)، ۱۵۲-۱۵۸.



**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: ۰۹۱۱۱۹۲۶۷۷۳، آدرس الکترونیکی: 1502113554@iau.ac.ir

<sup>۱</sup> گروه مدیریت آموزشی، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران

## مقدمه

تکاملی از انقلاب چهارم محسوب می‌شود، بلکه رویکرد بنیادین تری نسبت به نقش انسان، مسئولیت‌های اخلاقی و ضرورت پایداری در توسعه فناوری دارد [۵]. در این دوره جدید، هدف اصلی، دستیابی به هم‌افزایی بین انسان و ماشین، تحقق اهداف انسان‌محور و رسیدن به یک الگوی تولید سازگار با محیط‌زیست است. در این چارچوب، فناوری‌های شناختی و اخلاق‌محور به کار گرفته می‌شوند تا ضمن پشتیبانی از نوآوری، هویت انسانی و تعادل زیست‌محیطی نیز حفظ شوند [۶].

این مقاله با هدف ارائه مروری جامع بر تاریخچه انقلاب‌های صنعتی، ویژگی‌های منحصربه‌فرد انقلاب صنعتی پنجم، و مقایسه آن با دوره‌های قبلی، به تحلیل تأثیرگذاری این انقلاب بر ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی می‌پردازد. همچنین با بهره‌گیری از منابع علمی معتبر، چالش‌ها و فرصت‌های پیش‌روی توسعه انقلاب صنعتی پنجم را شناسایی کرده و راهکارهایی عملی برای تحقق پتانسیل‌های آن ارائه می‌دهد.

## روش تحقیق

این مقاله با استفاده از روش مرور سیستماتیک به بررسی منابع علمی منتشر شده درباره انقلاب‌های صنعتی اول تا پنجم پرداخته و سعی کرده است تا با جمع‌آوری، تحلیل و مقایسه نظام‌مند مقالات و گزارش‌های معتبر منتشر شده بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵، به پاسخی جامع برای این سؤال دست یابد که انقلاب صنعتی پنجم چه تفاوت‌ها و ویژگی‌های منحصربه‌فردی نسبت به انقلاب‌های قبلی دارد. در این راستا، از پایگاه‌های معتبری مانند ScienceDirect، Google Scholar، Scopus و نظیر Horizon 2020 استفاده شده و تنها منابعی انتخاب شدند که به طور مستقیم به موضوع انقلاب‌های صنعتی و به‌ویژه انقلاب پنجم (صنعت ۵.۰) پرداخته باشند. سپس، مفاهیم کلیدی، فناوری‌های اصلی، ویژگی‌های اجتماعی-اقتصادی و روندهای تحولی این انقلاب‌ها استخراج و تحلیل شدند.

## مروری بر انقلاب‌های صنعتی

انقلاب‌های صنعتی، نقاط عطفی در تاریخ توسعه فناوری و اقتصادی هستند که هر یک با نوآوری‌های خاص خود، تغییرات

انقلاب‌های صنعتی به‌عنوان تحولات بنیادین و پرشتاب در تاریخ بشر، شکل‌گیری مجدد نظام‌های اقتصادی، اجتماعی و فناورانه جوامع را رقم زده‌اند. این دگرگونی‌ها با ظهور نوآوری‌های کلیدی در هر دوره همراه بوده‌اند که علاوه بر افزایش بهره‌وری و بهبود فرآیندهای تولید، ساختارهای قدرت، نحوه تعاملات انسانی و رابطه با محیط طبیعی را نیز تحت‌تأثیر قرار داده‌اند [۱]. از آغاز انقلاب صنعتی اول با اختراع ماشین بخار در قرن هجدهم تا ظهور فناوری‌های دیجیتال و هوش مصنوعی در قرن بیست‌ویکم، هر دوره با مشخصه‌های منحصربه‌فردی شناخته شده است که آغازگر مراحل تکاملی جدیدی از توسعه بوده‌اند.

انقلاب صنعتی اول (حدود سال‌های ۱۷۶۰ تا ۱۸۴۰) با استفاده از انرژی بخار، پایه‌های تولید مکانیکی را بنا نهاد و نقش انسان به‌عنوان نیروی اصلی تولید را به‌تدریج کاهش داد. این دوره باعث انتقال جمعیت از روستاها به شهرها و ظهور کارخانه‌های صنعتی شد [۲]. انقلاب دوم (حدود سال ۱۸۷۰ تا ۱۹۴۰) با گسترش برق و خطوط مونتاژ انبوه، تولید را در مقیاس گسترده‌تری ممکن کرد و فرآیندهای صنعتی را به‌شدت استاندارد کرد. در این دوره، صنایع بزرگ‌مقیاس به مرکزیت تولید تبدیل شدند و بهره‌وری افزایش چشمگیری یافت [۳].

سومین مرحله تحول (حدود دهه ۱۹۸۰) با ظهور رایانه و خودکارسازی، نوعی اتوماسیون دیجیتال ایجاد کرد که در آن نقش انسان از حالت عملیات مستقیم به حالت نظارت و مدیریت فناوری تغییر کرد. در این دوره، فناوری اطلاعات به‌عنوان عامل اصلی تغییر عملکرد صنایع مطرح شد. انقلاب چهارم نیز با ادغام فناوری‌های سایبری-فیزیکی، اینترنت اشیا و داده‌های بزرگ، فضایی از تولید هوشمند و متصل را رقم زد که در آن انسان به‌عنوان یک تحلیل‌گر و تصمیم‌گیرنده در زنجیره تولید ظاهر شد [۴].

اما با وجود تمام این پیشرفت‌ها، نگرانی‌هایی درباره فقدان تمرکز بر انسان، ابعاد اخلاقی فناوری و تأثیرات منفی بر محیط‌زیست افزایش یافت. به همین دلیل، انقلاب صنعتی پنجم<sup>۱</sup> در سال ۲۰۲۱ توسط کمیسیون اروپا به طور رسمی معرفی شد؛ انقلابی که نه تنها

<sup>1</sup> Industry 5.0

امر بهره‌وری را به طور چشمگیری افزایش داد. این دوره شاهد رشد سریع شهرنشینی، توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل مانند راه‌آهن برقی و بهبود استانداردهای زندگی در کشورهای صنعتی بود [۱۰]. با این حال، تمرکز بر تولید انبوه، تنوع محصولات را محدود کرد و اثرات زیست‌محیطی منفی مانند آلودگی هوا، تخریب منابع طبیعی و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای را به دنبال داشت. این انقلاب همچنین با گسترش استعمار و بهره‌برداری از منابع کشورهای درحال توسعه همراه بود که نابرابری‌های جهانی را تشدید کرد. از سوی دیگر، ظهور اتحادیه‌های کارگری و قوانین کار، بهبودهایی در شرایط کاری ایجاد کرد، اما همچنان چالش‌های اجتماعی مانند نابرابری درآمدی پابرجا بود [۱۱].

### انقلاب صنعتی سوم: اتوماسیون و دیجیتال سازی

انقلاب صنعتی سوم که از دهه ۱۹۶۰ آغاز شد، با ظهور کامپیوترها و فناوری اطلاعات مشخص شد. این دوره با خودکارسازی فرآیندهای تولیدی از طریق استفاده از سیستم‌های الکترونیکی و نرم‌افزارها، بهره‌وری را به طور چشمگیری افزایش داد [۱۲]. فناوری‌های دیجیتال مانند کامپیوترهای شخصی، سیستم‌های کنترلی قابل برنامه‌ریزی<sup>۱</sup> و نرم‌افزارهای مدیریت تولید، امکان تولید دقیق‌تر و کارآمدتر را فراهم کردند. برای مثال، ربات‌های صنعتی در خطوط تولید خودروسازی، دقت و سرعت تولید را بهبود بخشیدند. این انقلاب پایه‌گذار اقتصاد دانش‌بنیان شد و نقش نیروی کار ماهر را برجسته کرد. با این حال، اتوماسیون منجر به کاهش برخی مشاغل سنتی، به ویژه در بخش‌های تولیدی شد و شکاف مهارت‌ها بین کارگران ماهر و غیرماهر را افزایش داد. این دوره همچنین با افزایش وابستگی به فناوری‌های دیجیتال، مسائل جدیدی مانند امنیت سایبری و حریم خصوصی داده‌ها را مطرح کرد. انقلاب سوم، با دیجیتالی شدن فرایندها، زمینه را برای انقلاب صنعتی چهارم فراهم کرد که با فناوری‌های پیشرفته‌تر و اتصال‌پذیری بالاتر مشخص شد [۱۳].

### انقلاب صنعتی چهارم: همگرایی فناوری‌ها

انقلاب صنعتی چهارم که در اوایل قرن بیست‌ویکم توسط کلاوس شواب<sup>۲</sup> (۲۰۱۷) معرفی شد، با همگرایی فناوری‌های دیجیتال،

عمیقی در جوامع ایجاد کرده‌اند. درک این تحولات برای فهم جایگاه انقلاب صنعتی پنجم و تمایز آن از دوره‌های پیشین ضروری است.

### انقلاب صنعتی اول: مکانیزاسیون و ماشین بخار

انقلاب صنعتی اول که در اواخر قرن هجدهم در بریتانیا آغاز شد، نقطه شروعی برای صنعتی‌شدن مدرن بود. اختراع ماشین بخار توسط جیمز وات در سال ۱۷۶۵، امکان مکانیزاسیون فرآیندهای تولیدی را فراهم کرد و صنایع نساجی، معدنی و حمل‌ونقل را متحول ساخت [۷]. این دوره با انتقال از تولید دستی به تولید ماشینی مشخص شد که منجر به افزایش چشمگیر بهره‌وری و رشد اقتصادی شد. ماشین‌های بخار، نیروی مکانیکی را جایگزین نیروی انسانی و حیوانی کردند که این امر تولید انبوه پارچه، استخراج زغال‌سنگ و توسعه راه‌آهن را تسریع کرد. با این حال، این انقلاب با چالش‌هایی مانند شرایط سخت کاری، افزایش آلودگی و نابرابری‌های اجتماعی همراه بود. کارخانه‌های جدید، نیروی کار را از مزارع به شهرها کشاند و شهرنشینی را تسریع کرد، اما فقدان قوانین کارگری منجر به استثمار کارگران، از جمله کودکان شد. این دوره همچنین پایه‌گذار توسعه زیرساخت‌های صنعتی مانند راه‌آهن و کانال‌های آبی بود که اقتصاد جهانی را به هم متصل کرد و تجارت بین‌المللی را گسترش داد. تأثیرات اجتماعی این انقلاب شامل افزایش جمعیت شهری و ظهور طبقه کارگر صنعتی بود، اما فقر و شرایط غیربهداشتی در شهرها نیز به مشکلات عمده‌ای تبدیل شد [۸].

### انقلاب صنعتی دوم: برق و تولید انبوه

انقلاب صنعتی دوم که در اواخر قرن نوزدهم آغاز شد، با معرفی برق و خطوط تولید انبوه مشخص شد. اختراع موتورهای الکتریکی و استفاده گسترده از برق، امکان تولید در مقیاس بزرگ‌تر را فراهم کرد [۹]. هنری فورد با معرفی خط تولید مونتاژ در صنعت خودروسازی در اوایل قرن بیستم، مفهوم تولید انبوه را نهادینه کرد که هزینه‌های تولید را کاهش داد و محصولات را برای مصرف‌کنندگان مقرون‌به‌صرفه‌تر کرد. برق، امکان روشنایی کارخانه‌ها و استفاده از ماشین‌آلات پیچیده‌تر را فراهم کرد که این

<sup>1</sup> PLC

<sup>2</sup> Klaus Schwab

فناوری و تلفیق نوآوری با ارزش‌های انسانی اشاره کرد [۱]. همچنین، شرودرز، ویلکینسون<sup>۵</sup>، انقلاب پنجم را پاسخی به چالش‌های جهانی؛ مانند تغییرات اقلیمی، نابرابری‌های اجتماعی و عدم تعادل زیست‌محیطی به‌شمار می‌آوردند [۱۵]. در این میان، سعید نهاوندی<sup>۶</sup> بر انسان‌محوری و اهمیت همکاری انسان و ماشین [۱۶]، لوک داویس زو<sup>۷</sup> بر مقایسه‌ی انقلاب‌های صنعتی چهارم و پنجم [۱۴]، مارک برک<sup>۸</sup> بر اصول پایداری، انسان‌محوری و انعطاف‌پذیری [۱۷]، و میرکو رادا<sup>۹</sup> بر گذر از دنیای مجازی به فیزیکی تأکید داشته‌اند [۱۸].

انقلاب صنعتی پنجم، به‌عنوان تکاملی از انقلاب صنعتی چهارم، بر سه اصل اساسی استوار است: انسان‌محوری<sup>۱۰</sup>، پایداری<sup>۱۱</sup> و انعطاف‌پذیری<sup>۱۲</sup>. این انقلاب به دنبال ایجاد تعادل بین پیشرفت فناوری و ارزش‌های انسانی است و با هدف پاسخگویی به چالش‌های جهانی؛ مانند تغییرات اقلیمی، نابرابری‌های اجتماعی و نیازهای متغیر بازار طراحی شده است. برخلاف انقلاب‌های پیشین که عمدتاً بر افزایش بهره‌وری و کارایی متمرکز بودند، انقلاب پنجم به دنبال ایجاد سیستمی است که فناوری در خدمت انسان و محیط‌زیست قرار گیرد. این رویکرد نوین، صنعت ۵.۰ را به پارادایمی متمایز تبدیل کرده که نه تنها بر فناوری، بلکه بر تأثیرات اجتماعی و زیست‌محیطی آن نیز تمرکز دارد [۶].

### انسان‌محوری: همکاری انسان و ماشین

یکی از ویژگی‌های بارز انقلاب صنعتی پنجم، تأکید بر انسان‌محوری است. برخلاف انقلاب چهارم که بر اتوماسیون کامل و جایگزینی نیروی کار انسانی متمرکز بود، انقلاب پنجم فناوری را به‌عنوان ابزاری برای تقویت توانایی‌های انسانی در نظر می‌گیرد [۱۰]. برای مثال، ربات‌های همکار<sup>۱۳</sup> طراحی شده‌اند تا در کنار کارگران انسانی فعالیت کنند، وظایف تکراری، سنگین یا خطرناک را انجام دهند و به کارگران اجازه دهند بر فعالیت‌های خلاقانه، تصمیم‌گیری و حل مسئله تمرکز کنند. این ربات‌ها در صنایعی

فیزیکی و زیستی تعریف می‌شود. فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا<sup>۱</sup>، هوش مصنوعی<sup>۲</sup>، کلان‌داده<sup>۳</sup>، بلاک‌چین و چاپ سه‌بعدی، امکان ایجاد کارخانه‌های هوشمند را فراهم کردند که با اتصال‌پذیری بالا و اتوماسیون پیشرفته مشخص می‌شوند [۱]. این انقلاب با بهبود کارایی تولید، کاهش هزینه‌ها و افزایش انعطاف‌پذیری همراه بود. برای مثال، اینترنت اشیا امکان اتصال دستگاه‌ها و جمع‌آوری داده‌های بلادرنگ را فراهم کرد که به بهینه‌سازی زنجیره تأمین و پیش‌بینی نیازهای بازار کمک کرد. با این حال، انقلاب چهارم نگرانی‌هایی مانند ازدست‌رفتن مشاغل به دلیل اتوماسیون پیشرفته، نابرابری‌های دیجیتال بین کشورهای توسعه‌یافته و درحال توسعه، و مسائل اخلاقی مرتبط با استفاده از هوش مصنوعی را مطرح کرد [۵]. برای مثال، الگوریتم‌های هوش مصنوعی ممکن است سوگیری‌هایی داشته باشند که به تصمیم‌گیری‌های ناعادلانه منجر شود. این انقلاب، اگرچه پیشرفت‌های چشمگیری به همراه داشت، اما به طور کامل به نیازهای انسانی و پایداری محیط‌زیست توجه نکرد که این کاستی‌ها زمینه‌ساز ظهور انقلاب صنعتی پنجم شد [۱۴].

### انقلاب صنعتی پنجم: تعریف و ویژگی‌های کلیدی

انقلاب صنعتی پنجم به طور خاص توسط یک نظریه‌پرداز واحد معرفی نشده است. در عوض، کمیسیون اروپا به‌عنوان یک نهاد سیاست‌گذار و برنامه‌ریز، نقش محوری در شکل‌گیری و ترویج مفهوم صنعت ۵.۰ داشته است. این کمیسیون در سال ۲۰۲۱ به طور رسمی این مفهوم را مطرح کرد و اصول و اهداف آن را در اسناد و گزارش‌های خود تبیین نمود. بنابراین، اسناد و گزارش‌های این کمیسیون، منابع اصلی برای درک مبانی و اهداف این انقلاب هستند. با این حال، اندیشمندان و محققان متعددی نیز در توسعه و تبیین ابعاد آن نقش داشته‌اند. به‌عنوان مثال، کلاوس شواب، بنیان‌گذار و رئیس اجرایی مجمع جهانی اقتصاد، در کتاب «انقلاب صنعتی چهارم»<sup>۴</sup> (۲۰۱۷) به لزوم قرار دادن انسان در مرکز توسعه

<sup>1</sup> IoT

<sup>2</sup> AI

<sup>3</sup> Big Data

<sup>4</sup> The Fourth Industrial Revolution

<sup>5</sup> Schröders, Wilkinson.

<sup>6</sup> Saeid Nahavandi

<sup>7</sup> L. Davis Xu

<sup>8</sup> Marc Breque

<sup>9</sup> Mirko Rada

<sup>10</sup> Human-Centricity

<sup>11</sup> Sustainability

<sup>12</sup> Resilience

<sup>13</sup> Cobots

## انعطاف‌پذیری: تولید شخصی‌سازی شده و پاسخگویی به بازار

انقلاب صنعتی پنجم با تأکید بر انعطاف‌پذیری، سیستم‌های تولیدی را طراحی می‌کند که قادر به پاسخگویی سریع به نیازهای متغیر بازار هستند. تولید شخصی‌سازی شده و انبوه<sup>۲</sup> یکی از ویژگی‌های کلیدی این دوره است که امکان تولید محصولات متناسب با نیازهای فردی مشتریان را فراهم می‌کند [۱۹]. فناوری‌هایی مانند هوش مصنوعی و اینترنت اشیا، امکان تحلیل داده‌های مشتریان و تنظیم فرآیندهای تولیدی را به صورت بلادرنگ فراهم می‌کنند. برای مثال، در صنعت خودروسازی، مشتریان می‌توانند ویژگی‌های خاصی مانند رنگ، طراحی داخلی یا قابلیت‌های دیجیتال خودرو را انتخاب کنند، و کارخانه‌ها با استفاده از فناوری‌های پیشرفته، این محصولات را در مقیاس انبوه تولید می‌کنند. در صنعت مد، برندها می‌توانند لباس‌هایی با طرح‌ها و اندازه‌های خاص برای هر مشتری تولید کنند. این انعطاف‌پذیری نه تنها رضایت مشتریان را افزایش می‌دهد، بلکه به شرکت‌ها کمک می‌کند تا در بازارهای رقابتی مزیت رقابتی کسب کنند. علاوه بر این، انعطاف‌پذیری در زنجیره تأمین، امکان پاسخگویی به اختلالات ناگهانی مانند بلایای طبیعی، بحران‌های اقتصادی یا تغییرات تقاضا را فراهم می‌کند [۱۵].

## مقایسه انقلاب صنعتی پنجم با انقلاب‌های پیشین

برای درک بهتر انقلاب صنعتی پنجم، لازم است آن را با انقلاب‌های قبلی از منظر فناوری، نقش نیروی کار، پایداری و انعطاف‌پذیری مقایسه کنیم. انقلاب‌های قبلی بیشتر بر افزایش بهره‌وری و کارایی تمرکز داشتند، در حالی که انقلاب پنجم رویکردی تعادل‌گرا و انسان‌محور با تأکید بر پایداری، همکاری انسان و ماشین و شخصی‌سازی را دنبال می‌کند. جدول ۱ به مقایسه انقلاب‌های صنعتی می‌پردازد [۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵].

## انقلاب صنعتی پنجم: فرصت‌ها و چالش‌ها

انقلاب صنعتی پنجم با بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته، تحولی عمیق در اقتصاد، جامعه و محیط‌زیست ایجاد می‌کند. این انقلاب با افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها از طریق تولید شخصی‌سازی شده و تحلیل داده‌های بلادرنگ، زمینه رشد اقتصادی

مانند خودروسازی و الکترونیک، با کارگران همکاری می‌کنند تا دقت و سرعت تولید را افزایش دهند. سیستم‌های سایبری-فیزیکی<sup>۱</sup> نیز با ادغام فناوری‌های دیجیتال و فیزیکی، امکان تعامل بلادرنگ بین انسان و ماشین را فراهم می‌کنند. برای مثال، در یک کارخانه هوشمند، کارگران می‌توانند از طریق رابط‌های دیجیتال با ربات‌ها ارتباط برقرار کنند و فرآیندهای تولید را بهینه‌سازی کنند. این همکاری انسان و ماشین، پتانسیل کاهش نابرابری‌های ناشی از اتوماسیون را دارد و به کارگران فرصت می‌دهد تا مهارت‌های جدیدی مانند برنامه‌ریزی ربات‌ها یا تحلیل داده‌ها بیاموزند. این رویکرد همچنین به بهبود سلامت روانی و جسمی کارگران کمک می‌کند، زیرا وظایف خطرناک به ماشین‌ها واگذار می‌شود [۱۶].

## پایداری: تولید مسئولانه و اقتصاد چرخشی

پایداری یکی از ستون‌های اصلی انقلاب صنعتی پنجم است. با توجه به چالش‌های زیست‌محیطی مانند تغییرات اقلیمی، کاهش منابع طبیعی و آلودگی، این انقلاب بر تولید مسئولانه و اقتصاد چرخشی تأکید دارد. فناوری‌هایی مانند چاپ سه‌بعدی، مواد بازیافت‌پذیر و انرژی‌های تجدیدپذیر به کاهش ضایعات و مصرف انرژی کمک می‌کنند [۱۱]. برای مثال، چاپ سه‌بعدی امکان تولید محصولات با حداقل ضایعات را فراهم می‌کند، زیرا مواد تنها در جایی که مورد نیاز است استفاده می‌شوند. در صنعت ساخت‌وساز، چاپ سه‌بعدی می‌تواند خانه‌هایی با مواد بازیافتی تولید کند که هم هزینه‌ها را کاهش می‌دهد و هم اثرات زیست‌محیطی را کم می‌کند. مواد بازیافت‌پذیر نیز به کاهش وابستگی به منابع طبیعی کمک می‌کنند و امکان بازیافت محصولات در پایان چرخه عمرشان را فراهم می‌کنند. انقلاب پنجم همچنین با ترویج مدل‌های اقتصاد چرخشی، به دنبال بازیافت و استفاده مجدد از مواد در فرآیندهای تولیدی است. برای مثال، در صنعت مد، برندها می‌توانند از مواد بازیافتی برای تولید لباس استفاده کنند و چرخه‌های بازیافت را در زنجیره تأمین خود ادغام کنند. این رویکرد نه تنها به حفظ محیط‌زیست کمک می‌کند، بلکه هزینه‌های تولید را کاهش داده و پایداری اقتصادی را تقویت می‌کند [۱۷].

<sup>1</sup> CPS

<sup>2</sup> Mass Customization

جدول ۱: مقایسه انقلاب‌های صنعتی

انعطاف‌پذیری و شخصی‌سازی	پایداری زیست‌محیطی	نقش نیروی کار	تمرکز فناوری	انقلاب صنعتی
تولید انبوه، استانداردسازی، تنوع کم	مصرف بالای منابع، آلودگی زیاد (مانند زغال‌سنگ)	کارگران در نقش اجرایی و تکراری، شرایط سخت	ماشین‌های بخار، مکانیزاسیون	انقلاب صنعتی ۱
استانداردسازی بیشتر	افزایش استفاده از نفت، انتشار گازهای گلخانه‌ای	ادامه الگوی انقلاب اول	برق، تولید انبوه	انقلاب صنعتی ۲
افزایش تنوع محصولات با دیجیتالی شدن	بهینه‌سازی محدود مصرف انرژی	کاهش نقش کارگران غیرماهر، افزایش نیاز به مهارت دیجیتال	کامپیوتر، اتوماسیون	انقلاب صنعتی ۳
شخصی‌سازی محدود و هزینه‌بر	مدیریت بهتر منابع با داده‌ها، اما بدون تمرکز بر پایداری	جایگزینی بخشی نیروی کار با ربات و الگوریتم	فناوری‌های دیجیتال، اینترنت اشیا	انقلاب صنعتی ۴
تولید شخصی‌سازی شده در مقیاس انبوه با فناوری‌های دیجیتال	تأکید بر اقتصاد چرخشی، انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش ضایعات	همکاری انسان و ماشین، تقویت مهارت‌های خلاقانه و تصمیم‌گیری	هوش مصنوعی، بلاکچین، چاپ سه‌بعدی (با تأکید بر تعادل تکنولوژیکی و انسانی)	انقلاب صنعتی ۵

انقلاب، همکاری بین دولت‌ها، صنایع و نهادهای آموزشی ضروری است. دولت‌ها می‌توانند با ارائه مشوق‌های مالی و برنامه‌های آموزشی، پذیرش فناوری‌های جدید را تسهیل کنند، درحالی‌که صنایع باید در توسعه فناوری‌های پایدار و اخلاقی سرمایه‌گذاری کنند. همچنین، تدوین قوانین و مقررات مناسب برای مدیریت مسائل اخلاقی مرتبط با فناوری از اهمیت بالایی برخوردار است [۱۷].

### نتیجه‌گیری

انقلاب صنعتی پنجم به‌عنوان تکاملی از انقلاب‌های پیشین، با تمرکز بر انسان‌محوری، پایداری و انعطاف‌پذیری، پتانسیل بازتعریف آینده تولید و جامعه را دارد. در مقایسه با انقلاب‌های قبلی، این پارادایم جدید با تأکید بر همکاری انسان و ماشین، تولید مسئولانه و پاسخگویی به نیازهای متغیر بازار، رویکردی متعادل‌تر به پیشرفت فناوری ارائه می‌دهد. با این حال، برای تحقق کامل پتانسیل آن، باید چالش‌های مرتبط با زیرساخت‌ها، آموزش نیروی کار و مسائل اخلاقی مورد توجه قرار گیرند. همکاری بین بخش‌های مختلف جامعه، از جمله دولت‌ها، صنایع و نهادهای آموزشی، برای موفقیت این انقلاب ضروری است. انقلاب صنعتی پنجم نه تنها فرصتی برای پیشرفت فناوری، بلکه فرصتی برای ایجاد جهانی پایدارتر، عادلانه‌تر و انسانی‌تر است. با سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های دیجیتال، آموزش نیروی کار و تدوین سیاست‌های

پایدار را فراهم می‌کند؛ با این حال، نیاز به سرمایه‌گذاری‌های کلان و آموزش نیروی کار می‌تواند شکاف اقتصادی بین کشورها را تشدید کند [۱۵].

در حوزه اجتماعی، این انقلاب با تأکید بر انسان‌محوری، وظایف تکراری را کاهش داده و خلاقیت و رضایت شغلی را ارتقا می‌دهد. با این وجود، گسترش شکاف دیجیتال ممکن است نابرابری‌های اجتماعی را افزایش دهد؛ بنابراین برنامه‌های آموزشی برای تطبیق نیروی کار با نیازهای جدید بازار ضروری است [۲۰].

در حوزه زیست‌محیطی، انقلاب صنعتی پنجم با ترویج اقتصاد چرخشی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، انتشار کربن و ضایعات را کاهش می‌دهد. با این حال، این امر نیازمند سرمایه‌گذاری‌های کلان و سیاست‌گذاری‌های مؤثر است [۱۸]. این انقلاب فرصت‌های بزرگی مانند تولید پایدار، بهبود کیفیت زندگی و افزایش انعطاف‌پذیری در زنجیره تأمین ایجاد می‌کند. همچنین، همکاری انسان و ماشین می‌تواند به ایجاد محیط‌های کاری انسانی‌تر و خلاق‌تر منجر شود. با این حال، چالش‌هایی مانند هزینه‌های بالای فناوری، مسائل اخلاقی مرتبط با هوش مصنوعی و حریم خصوصی داده‌ها نیز وجود دارد. استفاده گسترده از هوش مصنوعی ممکن است نگرانی‌هایی در مورد سوگیری الگوریتم‌ها، نظارت بر کارگران و نقض حریم خصوصی ایجاد کند. علاوه بر این، شکاف دیجیتال بین کشورهای توسعه‌یافته و درحال توسعه می‌تواند نابرابری‌های جهانی را تشدید کند. برای موفقیت در این

[10]. Braverman, H. (1974). *Labor and Monopoly Capital: The Degradation of Work in the Twentieth Century*. Monthly Review Press

[11]. Mokyr, J. (1999). *The Second Industrial Revolution, 1870–1914*. In *The Lever of Riches: Technological Creativity and Economic Progress*. Oxford University Press.

[12]. Rifkin, J. (2011). *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power is Transforming Energy, the Economy, and the World*. Palgrave Macmillan

[13]. Castells, M. (1996). *The Rise of the Network Society*. Blackwell Publishers

[14]. Xu, L. D.; Xu, E. L.; Li, L. (2021). *Industry 4.0 and Industry 5.0: Advances and Perspectives*. IEEE Transactions on Industrial Informatics. 17(8), 5667–5676.

[15]. Schröders P, Wilkinson J. (2023). *The fifth industrial revolution: digitalisation and sustainability in the post-COVID-19 era*. Sustain Prod Consum. 53:465-72.

[16]. Nahavandi, S. (2019). *Industry 5.0—A Human-Centric Solution*. Sustainability. 11(16), 4371.

[17]. Breque, M.; De Nul, L.; Petridis, A. (2021). *\*Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry\**. Brussels: European Commission.

[18]. Rada, M. (2020). *Industry 5.0: From Virtual to Physical*. International Journal of Production Research. 58(15), 4567–4572.

[19]. آراسته، حمیدرضا؛ خبار، کبری (۱۴۰۲). نقش هوش مصنوعی و تحول در آموزش عالی. نشأ علم. ۱۴(۱): ۸–۲.

[20]. European Commission. *Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2021. Available from: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/468a892a-5095-11eb-b59f-01aa75ed71a1>

پایدار، می‌توان اطمینان حاصل کرد که این انقلاب به تحقق اهداف خود دست یابد و به بهبود کیفیت زندگی در سطح جهانی کمک کند.

این مقاله توسط ماشین نگارش نشده است و جایی دیگر هم به چاپ نرسیده است.

### فهرست منابع

[1]. Schwab, K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution*. Crown Business.

[2]. Ashton, T. S. (1948). *The Industrial Revolution, 1760-1830*. Oxford University Press

[۳]. احمدی، سید معصومه؛ پورحسین گیلاکجانی، عباس. (۱۴۰۲). تأثیرات انقلاب‌های صنعتی بر نظام مدیریت آموزشی در مدارس. پژوهش‌های برنامه‌ریزی درسی و آموزشی. ۱۳(۱): ۱۷۹–۱۸۸.

[4]. Toffler, A. (1980). *The Third Wave*. William Morrow

[۵]. کیانی بختیاری، ابوالفضل؛ موسوی موحدی، علی‌اکبر. (۱۴۰۰). انقلاب صنعتی چهارم و تغییرات بنیادین پیش رو. نشأ علم. ۱۱(۲): ۱۶۳–۱۵۵.

[6]. European Commission (2021). *Industry 5.0: A Transformative Vision for European Industry*. Publications Office of the European Union.

[7]. European Commission. (2021). *Industry 5.0: A transformative vision for European industry*. Publications Office of the European Union.

[8]. Wrigley, E. A. (2010). *Energy and the English Industrial Revolution*. Cambridge University Press.

[9]. Landes, D. S. (1969). *The Unbound Prometheus: Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present*. Cambridge University Press.