

Identifying the Components of AI Algorithm-Based Interactive Industrial Design

Marzieh. Mohseni Kabir¹, Hossein. Adab^{1*}, Mohammad Ali. Keramati¹

¹ Department of Industrial Management, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

* Corresponding author email address: Hos.adab@iau.ac.ir

Article Info

Article type:

Original Research

How to cite this article:

Mohseni Kabir, M., Adab, H., & Keramati, M. A. (2026). Identifying the Components of AI Algorithm-Based Interactive Industrial Design. *Journal of Technology in Entrepreneurship and Strategic Management*, 5(4), 1-25.



© 2026 the authors. Published by KMAN Publication Inc. (KMANPUB), Ontario, Canada. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

ABSTRACT

This study aimed to identify and explain the components of AI algorithm-based interactive industrial design and to develop a conceptual framework for organizing its contextual conditions, inputs, processes, and outputs. This applied qualitative study was conducted using a meta-synthesis approach. The research corpus included national and international studies related to interactive industrial design, artificial intelligence, generative design, human-machine interaction, human-robot interaction, industrial knowledge management, and intelligent technologies published between 2020 and 2026. Data were collected through a systematic search of reputable scientific databases. After removing duplicate, irrelevant, and methodologically weak sources, 55 studies were selected for final analysis. The seven-step model proposed by Sandelowski and Barroso was used to conduct the meta-synthesis. The quality of the selected studies was assessed using the Critical Appraisal Skills Programme checklist, and coding reliability was examined through inter-coder agreement. The meta-synthesis findings indicated that the components of AI algorithm-based interactive industrial design can be classified into 4 main categories, 19 concepts, and 96 codes. The main categories were context, inputs, process, and outputs. At the contextual level, digital transformation, technological and data-driven infrastructure, human-machine interaction, ethical requirements, trust, and knowledge management were identified. The input category included user data, interactive needs, design and environmental data, AI algorithms and technologies, and human expertise. The process category comprised design problem identification, data collection and preparation, intelligent analysis, generation of design alternatives, human-AI interaction in the design loop, simulation, evaluation, optimization, and continuous learning. The output category included improved design quality and accuracy, innovation and creativity, enhanced user experience, increased productivity, strengthened design decision-making, knowledge management, and ethical, organizational, and social implications. AI-based interactive industrial design is a multidimensional, data-driven, human-centered, and learning-oriented approach that integrates algorithmic analytical capabilities with human creativity and expertise to enhance the quality, innovation, interactivity, and effectiveness of industrial design processes.

Keywords: interactive industrial design, artificial intelligence, AI algorithms, meta-synthesis, generative design, intelligent design.

Extended Abstract

Introduction

Interactive industrial design has increasingly moved beyond the conventional boundaries of form development, product aesthetics, ergonomics, and manufacturability toward a data-driven, intelligent, and human-centered design paradigm. The acceleration of digital transformation, the expansion of smart manufacturing, and the growing complexity of user needs have created new expectations for industrial designers, requiring them to integrate technological intelligence with human creativity and contextual judgment. In contemporary industrial environments, design decisions are no longer based only on individual expertise or static market information; rather, they are increasingly shaped by large-scale data, intelligent algorithms, real-time feedback, simulation systems, and interactive human–machine processes. The digital economy has intensified this transformation by changing the ways industrial organizations understand customers, manage innovation, and respond to competitive pressures (Sheng et al., 2024). In this context, artificial intelligence has become a strategic capability that can strengthen industrial decision-making, support market responsiveness, and improve organizational performance in technology-intensive sectors (Alizadeh et al., 2026). The emergence of Industry 5.0 has further emphasized that advanced automation should not simply replace human actors, but should enhance human-centered collaboration, adaptability, creativity, and sustainable value creation (Kaleli, 2025).

Artificial intelligence can contribute to interactive industrial design through several complementary mechanisms. Generative design algorithms can produce multiple design alternatives based on defined constraints, performance criteria, and user requirements, thereby expanding the creative solution space available to designers (Liu et al., 2025). Thermal simulation and intelligent modeling can also support interactive design by linking environmental data, performance requirements, and product configuration in areas such as furniture and indoor spatial design (Liu, 2025). In addition, multidimensional feature learning and intelligent diagnostic systems can process complex industrial data and identify hidden performance patterns that may inform product redesign and system optimization (Wang et al., 2025). The use of industrial Internet of Things infrastructures and information-centric access control mechanisms highlights the importance of secure, reliable, and data-driven industrial ecosystems for AI-enabled design processes (Li et al., 2025). Similarly, environmental sensing and stereoscopic vision demonstrate how data from physical and spatial contexts can be incorporated into industrial renewal and design decisions (Huang & Li, 2025). These developments indicate that interactive industrial design based on AI algorithms is not limited to the automation of design tasks; rather, it involves the integration of user data, environmental data, product data, design knowledge, and algorithmic intelligence.

Human–machine and human–robot collaboration are also central to the conceptualization of interactive industrial design. Intelligent manufacturing models have altered supply chain collaboration and organizational coordination, showing that design decisions are increasingly embedded in broader networks of production, logistics, and market interaction (Hou et al., 2025). Human-in-the-loop approaches in collaborative manufacturing demonstrate that cobots, virtual reality, and intelligent assistance can enhance precision, flexibility, and designer–operator interaction in industrial processes (Forlini et al., 2024). Likewise, path optimization algorithms for energy-efficient collaborative robots show how algorithmic decision-making can support more efficient, sustainable, and adaptive industrial operations (Fang & Zhang, 2023). Beyond physical collaboration, interactive knowledge management has become a major requirement in AI-based industrial design. Retrieval-augmented generation and large language models

can organize, retrieve, and present distributed industrial knowledge in interactive forms, supporting designers in accessing prior experience, technical documentation, and organizational memory (Chen et al., 2025). Nevertheless, the integration of AI into design and manufacturing raises ethical challenges related to transparency, accountability, trust, bias, professional responsibility, and the changing role of human experts (Stathatos et al., 2024). Moreover, the broader use of AI in interactive environments shows that intelligent systems are most effective when they enhance user engagement, personalization, and meaningful interaction rather than functioning as isolated technical tools (Schonberger, 2024). Accordingly, the present study aimed to identify the components of AI algorithm-based interactive industrial design and to develop a conceptual framework for explaining its contextual conditions, inputs, processes, and outputs.

Methods and Materials

This study was applied in terms of purpose and qualitative in terms of methodological orientation. A meta-synthesis design was used to systematically review, interpret, and integrate previous studies related to interactive industrial design based on artificial intelligence algorithms. The meta-synthesis approach was selected because the research topic is multidisciplinary and conceptually dispersed across fields such as industrial design, artificial intelligence, generative design, human-machine interaction, human-robot collaboration, intelligent manufacturing, industrial knowledge management, and ethical issues in smart systems. The research corpus included relevant national and international scientific sources published between 2020 and 2026. A systematic search was conducted in major scientific databases using Persian and English keywords related to interactive industrial design, AI-based design, generative design, intelligent manufacturing, human-in-the-loop design, human-machine interaction, human-robot interaction, industrial knowledge management, and AI algorithms in design.

The meta-synthesis process was carried out through seven main stages: formulating the research question, conducting a systematic review of texts, searching and selecting appropriate studies, extracting information from selected sources, analyzing and synthesizing qualitative findings, controlling quality, and presenting the final findings. In the initial search, 226 sources were identified. After screening titles, abstracts, keywords, and full texts, duplicate, irrelevant, and methodologically weak sources were excluded. The quality of the selected studies was assessed using a critical appraisal checklist, and only studies with sufficient conceptual relevance and methodological quality were retained. Finally, 55 studies were included in the final analysis. The extracted data were coded through open, axial, and integrative coding. To enhance reliability, part of the coding process was reviewed by a second coder, and inter-coder agreement was calculated. The obtained kappa coefficient was 0.635 with a significance level of 0.001, indicating acceptable agreement between coders.

Findings

The findings of the meta-synthesis showed that the components of AI algorithm-based interactive industrial design can be organized into 4 main categories, 19 concepts, and 96 codes. The four main categories were context, inputs, process, and outputs. The context category referred to the broader conditions and enabling foundations required for the formation and implementation of AI-based interactive industrial design. This category included digital transformation and Industry 4.0/5.0, technological and data-driven infrastructure, human-machine interaction and human-centered design,

ethical requirements, trust and technology acceptance, and knowledge management and organizational learning in industrial environments.

The input category included the resources, data, technologies, and human capabilities required to initiate and sustain interactive industrial design. Four main concepts were identified in this category: user data and interactive needs, design, product and environmental data, AI algorithms and technologies, and expert knowledge and human resources. User data included needs, preferences, user experience, behavioral feedback, and cognitive or perceptual information. Design and environmental data included CAD models, product specifications, geometry, functional data, thermal and environmental information, and technical constraints. AI technologies included machine learning, deep learning, generative design, generative networks, machine vision, language models, and AI-based knowledge retrieval. Human expertise included industrial design knowledge, engineering experience, interdisciplinary competence, collaboration between designers and data specialists, and expert judgment.

The process category described the operational mechanism of AI algorithm-based interactive industrial design. It included problem identification and design needs assessment, data collection, preparation and integration, intelligent analysis and pattern extraction, ideation and generation of design alternatives, human–AI interaction in the design loop, simulation, evaluation and optimization, and continuous learning and improvement of the design system. The findings showed that this process is not linear or purely machine-driven. Rather, it is an iterative, interactive, and feedback-based cycle in which designers, users, data, algorithms, and industrial conditions continuously influence one another. The output category included improved design quality and accuracy, innovation and creativity in design, enhanced user experience and interactivity, increased productivity and reduced development time, improved design decision-making and knowledge management, and ethical, organizational, and social implications. Overall, the findings indicated that AI-based interactive industrial design operates as an intelligent, data-driven, human-centered, participatory, and learning-oriented design system.

Discussion and Conclusion

The results of this study indicate that AI algorithm-based interactive industrial design should be understood as a multidimensional design system rather than a single technological tool. The identification of four categories, 19 concepts, and 96 codes shows that this approach depends on the simultaneous interaction of technological infrastructure, data resources, algorithmic capabilities, human expertise, organizational knowledge, ethical considerations, and interactive design processes. The contextual findings suggest that digital transformation and smart manufacturing create the necessary environment for AI-enabled design, while ethical trust, human-centered interaction, and knowledge management determine whether such technologies can be meaningfully adopted in practice. Therefore, successful implementation requires more than acquiring AI tools; it requires organizational readiness, data maturity, interdisciplinary collaboration, and responsible governance.

The findings also show that the input structure of interactive industrial design is inherently hybrid. User data, product data, environmental data, algorithmic tools, and professional design knowledge must be integrated to support meaningful design decisions. This is important because AI systems may generate technically optimized alternatives, but their value depends on human interpretation, contextual relevance, user acceptance, and feasibility in real industrial settings. The process findings further demonstrate that AI-based interactive design is iterative and feedback-oriented. Designers do not disappear from the design

process; instead, their role changes from sole creators of design alternatives to interpreters, evaluators, coordinators, and strategic decision-makers who work alongside intelligent systems.

The output findings suggest that AI-based interactive industrial design can improve design quality, accuracy, creativity, productivity, user experience, and organizational knowledge management. At the same time, the study highlights that such outputs are not exclusively technical or economic. Ethical and organizational implications are also central outcomes of AI integration. Issues such as algorithmic bias, transparency, accountability, intellectual property, user trust, and the changing professional identity of designers must be addressed if AI-based design is to develop responsibly. In conclusion, AI algorithm-based interactive industrial design represents a novel and integrative approach to industrial product and service development. By combining algorithmic analysis with human creativity and expertise, this approach can support more intelligent, adaptive, innovative, and user-centered design processes. The conceptual framework extracted in this study can serve as a foundation for future model validation, practical implementation, and the development of assessment tools in different industrial contexts.

شناسایی مؤلفه‌های طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی

مرضیه محسنی کبیر^۱، حسین ادب^{۱*}، محمد علی کرامتی^۱

۱. گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: Hos.adab@iau.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله

پژوهشی اصیل

نحوه استناد به این مقاله:

محسنی کبیر، مرضیه، ادب، حسین، و کرامتی، محمد علی. (۱۴۰۵). شناسایی مؤلفه‌های طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی. *تکنولوژی در کارآفرینی و مدیریت استراتژیک*، ۵(۴)، ۲۵-۱.



© ۱۴۰۵ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است. انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY-NC 4.0) صورت گرفته است.

هدف پژوهش حاضر شناسایی و تبیین مؤلفه‌های طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی و ارائه چارچوبی مفهومی برای سازمان‌دهی ابعاد، درون‌دادها، فرایندها و برون‌دادهای آن بود. این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر رویکرد، کیفی بود و با استفاده از روش فراترکیب انجام شد. جامعه پژوهش شامل مطالعات داخلی و خارجی مرتبط با طراحی صنعتی تعاملی، هوش مصنوعی، طراحی مولد، تعامل انسان-ماشین، تعامل انسان-ربات، مدیریت دانش صنعتی و فناوری‌های هوشمند در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۶ بود. داده‌ها از طریق جست‌وجوی نظام‌مند در پایگاه‌های علمی معتبر گردآوری شدند. پس از حذف منابع تکراری، غیرمرتبط و فاقد کیفیت روش‌شناختی، ۵۵ مطالعه برای تحلیل نهایی انتخاب شد. برای اجرای فراترکیب از الگوی هفت‌مرحله‌ای سندلوسکی و باروسو استفاده شد. کیفیت مطالعات با ابزار CASP ارزیابی گردید و پایایی کدگذاری از طریق توافق بین دو کدگذار بررسی شد. نتایج فراترکیب نشان داد که مؤلفه‌های طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی در قالب ۴ مقوله اصلی، ۱۹ مفهوم و ۹۶ کد قابل طبقه‌بندی هستند. مقوله‌های اصلی شامل بستر، درون‌داد، فرایند و برون‌داد بودند. در سطح بستر، تحول دیجیتال، زیرساخت فناوریانه و داده‌محور، تعامل انسان-ماشین، الزامات اخلاقی و مدیریت دانش شناسایی شد. درون‌دادها شامل داده‌های کاربر، داده‌های طراحی و محیط، الگوریتم‌های هوش مصنوعی و دانش تخصصی انسانی بودند. فرایند شامل مسئله‌یابی، آماده‌سازی داده، تحلیل هوشمند، تولید گزینه‌های طراحی، تعامل انسان-هوش مصنوعی، شبیه‌سازی، ارزیابی و یادگیری مستمر بود. برون‌دادها نیز شامل بهبود کیفیت طراحی، نوآوری، ارتقای تجربه کاربر، افزایش بهره‌وری، تقویت تصمیم‌گیری و پیامدهای اخلاقی و سازمانی بودند. طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی رویکردی چندبعدی، داده‌محور، انسان‌محور و یادگیرنده است که با تلفیق قابلیت تحلیلی الگوریتم‌ها و خلاقیت انسانی می‌تواند کیفیت، نوآوری، تعامل‌پذیری و اثربخشی فرایند طراحی صنعتی را ارتقا دهد.

کلیدواژه‌گان: طراحی صنعتی تعاملی، هوش مصنوعی، الگوریتم‌های هوش مصنوعی، فراترکیب، طراحی مولد، طراحی هوشمند.

مقدمه

در سال‌های اخیر، طراحی صنعتی تحت تأثیر گسترش فناوری‌های دیجیتال، هوش مصنوعی، سامانه‌های هوشمند تولید و رویکردهای نوین تعامل انسان و ماشین، از یک فعالیت عمدتاً تجربه‌محور و مبتنی بر شهود طراح به فرایندی داده‌محور، تحلیلی، تعاملی و یادگیرنده تبدیل شده است. در الگوهای سنتی طراحی صنعتی، طراح با اتکا به دانش زیبایی‌شناختی، شناخت مواد، اصول ارگونومی، ملاحظات تولید و نیازهای بازار، راه‌حلهایی برای بهبود فرم، عملکرد و قابلیت استفاده محصول ارائه می‌کرد؛ اما پیچیدگی روزافزون محیط‌های صنعتی، تغییر سریع ترجیحات کاربران، افزایش رقابت جهانی، کوتاه‌تر شدن چرخه عمر محصولات و نیاز به شخصی‌سازی، موجب شده است که روش‌های کلاسیک طراحی به‌تنهایی پاسخگوی الزامات جدید نباشند. در چنین شرایطی، الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند با تحلیل داده‌های گسترده، استخراج الگوهای پنهان، پیش‌بینی رفتار کاربران و تولید گزینه‌های متنوع طراحی، ظرفیت تصمیم‌گیری و خلاقیت طراحان صنعتی را گسترش دهند. از این منظر، طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی نه صرفاً به‌کارگیری یک ابزار نرم‌افزاری در فرایند طراحی، بلکه شکل‌گیری یک پارادایم نوین در طراحی محصول و خدمات صنعتی است که در آن انسان، داده، فناوری و محیط صنعتی در یک چرخه پیوسته بازخورد و یادگیری قرار می‌گیرند.

تحول دیجیتال در صنایع مختلف، زمینه اصلی ظهور طراحی صنعتی هوشمند و تعاملی را فراهم کرده است. اقتصاد دیجیتال و توسعه فناوری‌های مبتنی بر داده موجب شده‌اند که بنگاه‌های صنعتی، به‌ویژه در صنایع محصول‌محور و رقابتی، ناگزیر از بازنگری در شیوه‌های طراحی، تولید، بازاریابی و تعامل با کاربران باشند. در این فضا، ارزش محصول تنها به کیفیت فنی یا قابلیت تولید محدود نیست، بلکه توانایی محصول در پاسخگویی به نیازهای متغیر، ایجاد تجربه کاربری مطلوب و سازگاری با اکوسیستم‌های دیجیتال نیز اهمیت یافته است. پژوهش‌های مرتبط با اقتصاد دیجیتال نشان می‌دهند که دیجیتالی‌شدن صنایع می‌تواند مسیر توسعه، نوآوری و ارتقای رقابت‌پذیری را تغییر دهد و سازمان‌ها را به سمت استفاده از داده، هوشمندسازی فرایندها و بازطراحی الگوهای عملیاتی سوق دهد (Sheng et al., 2024). در چنین بستری، طراحی صنعتی تعاملی باید بتواند میان داده‌های کاربر، الزامات بازار، محدودیت‌های فنی، امکانات تولید و قابلیت‌های الگوریتمی پیوند برقرار کند و از سطح طراحی ایستا و خطی به سطح طراحی پویا، انطباقی و مشارکتی حرکت نماید.

یکی از زمینه‌های مهم این تحول، حرکت صنایع به سوی صنعت ۴.۰ و صنعت ۵.۰ است. صنعت ۴.۰ با اتکا بر اینترنت اشیا، تحلیل داده‌های بزرگ، اتوماسیون پیشرفته، سامانه‌های سایبرفیزیکی و تولید هوشمند، امکان گردآوری و پردازش داده‌های گسترده را در محیط‌های صنعتی فراهم کرد. در ادامه، صنعت ۵.۰ با تأکید بر همکاری انسان و ماشین، انسان‌محوری، پایداری و تاب‌آوری، نقش انسان را در کنار فناوری‌های هوشمند برجسته‌تر ساخت. در این رویکرد، هدف صرفاً افزایش خودکارسازی نیست، بلکه ایجاد هم‌افزایی میان خلاقیت، قضاوت و تجربه انسانی با قدرت پردازشی و تحلیلی سامانه‌های هوشمند است. توسعه سامانه‌های پیشرفته اتوماسیون برای صنعت ۵.۰ نشان می‌دهد که آینده صنایع به سمت مدل‌هایی حرکت می‌کند که در آنها فناوری‌های هوشمند باید در خدمت افزایش انعطاف‌پذیری، مشارکت انسانی و کیفیت تصمیم‌گیری قرار گیرند (Kaleli, 2025). از این رو، طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی را می‌توان یکی از نمودهای مهم صنعت ۵.۰ دانست؛ زیرا در آن، طراح صنعتی حذف نمی‌شود، بلکه در تعامل با الگوریتم‌ها، داده‌ها و کاربران، نقش پیچیده‌تری در خلق، ارزیابی و اصلاح راه‌حل‌های طراحی ایفا می‌کند.

هوش مصنوعی در طراحی صنعتی، کارکردی چندلایه دارد. از یک سو، الگوریتم‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق می‌توانند داده‌های پیچیده مربوط به عملکرد محصول، رفتار کاربر، شرایط محیطی، فرایندهای تولید و بازخوردهای بازار را تحلیل کنند و از سوی دیگر،

الگوریتم‌های طراحی مولد می‌توانند گزینه‌های جدید، متنوع و گاه غیرقابل پیش‌بینی برای فرم، ساختار و عملکرد محصول پیشنهاد دهند. در طراحی صنعتی سنتی، تولید گزینه‌های طراحی عمدتاً تابع تجربه، خلاقیت و زمان طراح بود؛ اما در طراحی مولد مبتنی بر هوش مصنوعی، سامانه می‌تواند با دریافت قیود، اهداف و داده‌های طراحی، مجموعه‌ای از آلترناتیوهای ممکن را تولید و آنها را بر اساس معیارهای عملکردی، زیبایی‌شناختی یا تولیدی ارزیابی کند. برای نمونه، استفاده از شبکه‌های مولد در طراحی هوشمند فرم بدنه خودرو نشان داده است که الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند در توسعه گزینه‌های طراحی خلاقانه و پیچیده نقش مؤثر داشته باشند (Liu et al., 2025). همچنین، کاربرد شبیه‌سازی حرارتی در طراحی تعاملی فضای داخلی ساختمان و مبلمان نشان می‌دهد که هوش مصنوعی می‌تواند میان داده‌های محیطی، آسایش حرارتی، فرم محصول و نیازهای کاربر پیوند برقرار کند و طراحی را از سطح زیبایی‌شناسی صرف به سطح عملکردی و داده‌محور ارتقا دهد (Liu, 2025).

با وجود اهمیت طراحی مولد، طراحی صنعتی تعاملی تنها به تولید خودکار گزینه‌های طراحی محدود نمی‌شود. در این رویکرد، تعامل میان انسان و سامانه هوشمند، هسته اصلی فرایند طراحی است. تعامل به معنای دریافت یک‌باره دستور از کاربر یا طراح و ارائه خروجی ثابت نیست، بلکه به معنای چرخه‌ای مستمر از تعریف مسئله، گردآوری داده، تحلیل الگوریتمی، تولید گزینه، ارزیابی انسانی، بازخورد، اصلاح و یادگیری است. در چنین چرخه‌ای، کاربر، طراح، متخصص داده، مهندس تولید و سامانه هوشمند می‌توانند در شکل‌دهی به راه‌حل نهایی نقش داشته باشند. تجربه استفاده از هوش مصنوعی در محیط‌های آموزشی و تعاملی نیز نشان می‌دهد که فناوری‌های هوشمند زمانی اثربخش‌تر می‌شوند که بتوانند تعامل فعال، مشارکت کاربر و تجربه شخصی‌سازی‌شده را تقویت کنند (Schonberger, 2024). بنابراین، در طراحی صنعتی نیز ارزش هوش مصنوعی زمانی آشکار می‌شود که این فناوری به‌جای تولید خروجی‌های منفصل، امکان گفت‌وگو، بازخورد، اصلاح و هم‌آفرینی را در فرایند طراحی فراهم کند.

یکی از ابعاد اساسی طراحی صنعتی تعاملی، وابستگی آن به زیرساخت‌های داده‌ای و فناوریانه است. بدون وجود داده‌های معتبر، یکپارچه، قابل پردازش و ایمن، الگوریتم‌های هوش مصنوعی نمی‌توانند تحلیل‌های قابل اتکا ارائه دهند. اینترنت اشیا، حسگرهای هوشمند، سامانه‌های طراحی به کمک رایانه، دوقلوهای دیجیتال، سامانه‌های مدیریت داده و زیرساخت‌های ارتباطی ایمن، همگی نقش مهمی در تغذیه فرایند طراحی هوشمند دارند. در محیط‌های صنعتی جدید، داده‌ها تنها از کاربران نهایی به دست نمی‌آیند، بلکه از محصول، خط تولید، شرایط محیطی، زنجیره تأمین، سامانه‌های نگهداری و حتی فرایندهای پس از مصرف نیز استخراج می‌شوند. پژوهش‌های مربوط به اینترنت اشیا، صنعتی و کنترل دسترسی اطلاعات محور نشان می‌دهند که توسعه زیرساخت‌های داده‌ای در محیط‌های صنعتی مستلزم توجه هم‌زمان به اتصال‌پذیری، امنیت، کنترل دسترسی و اعتمادپذیری است (Li et al., 2025). بنابراین، طراحی صنعتی مبتنی بر هوش مصنوعی نیازمند بستری است که در آن داده‌ها نه تنها گردآوری شوند، بلکه از نظر کیفیت، امنیت، قابلیت تفسیر و ارتباط با اهداف طراحی نیز مدیریت شوند.

در کنار داده‌های کاربر و محصول، داده‌های محیطی نیز جایگاه مهمی در طراحی صنعتی تعاملی دارند. بسیاری از محصولات و فضاهای صنعتی در محیط‌هایی استفاده می‌شوند که شرایط حرارتی، نوری، فضایی، حرکتی و ادراکی آنها بر تجربه کاربر و عملکرد محصول اثر می‌گذارد. استفاده از سنجش حرارتی محیطی و بینایی سب‌بعدی در طراحی و بازآفرینی فضاهای صنعتی نشان می‌دهد که داده‌های محیطی می‌توانند در تصمیم‌های طراحی نقش تعیین‌کننده داشته باشند و امکان طراحی دقیق‌تر، پایدارتر و سازگارتر با شرایط واقعی را فراهم سازند (Huang & Li, 2025). از این منظر، طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی باید به‌جای تمرکز محدود بر فرم محصول، به شبکه‌ای

از عوامل شامل کاربر، محیط، عملکرد، انرژی، پایداری و تجربه توجه کند. چنین نگرشی موجب می‌شود طراحی صنعتی از حالت شیء‌محور به حالت سیستم‌محور و تجربه‌محور تغییر یابد.

تولید هوشمند و همکاری در زنجیره تأمین نیز از عوامل مؤثر بر طراحی صنعتی تعاملی هستند. طراحی محصول در صنایع جدید به‌صورت منفرد و جدا از تولید، تأمین، توزیع و خدمات پس از فروش انجام نمی‌شود، بلکه درون شبکه‌ای از بازیگران، داده‌ها و تصمیم‌ها شکل می‌گیرد. مدل‌های انتخاب الگوهای همکاری زنجیره تأمین در بستر تولید هوشمند نشان می‌دهند که نوع مدل تولید و سطح هوشمندی سازمان می‌تواند بر شیوه همکاری میان واحدها، تأمین‌کنندگان و ذی‌نفعان اثر بگذارد (Hou et al., 2025). در نتیجه، طراحی صنعتی تعاملی باید با سازوکارهای همکاری سازمانی و بین‌سازمانی نیز هماهنگ باشد؛ زیرا بسیاری از تصمیم‌های طراحی، مانند انتخاب مواد، امکان‌پذیری تولید، هزینه، پایداری، زمان عرضه و قابلیت سفارشی‌سازی، به تعامل میان واحد طراحی و سایر بخش‌های صنعتی وابسته‌اند. از این رو، الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند با پردازش داده‌های زنجیره تأمین و تولید، به طراحان در انتخاب گزینه‌هایی کمک کنند که نه تنها از نظر کاربر مطلوب، بلکه از نظر تولید و بازار نیز امکان‌پذیر باشند.

تعامل انسان و ربات، به‌ویژه در محیط‌های تولیدی و کارگاهی، یکی دیگر از حوزه‌هایی است که به درک بهتر طراحی صنعتی تعاملی کمک می‌کند. پیشرفت ربات‌های همکار موجب شده است که مرز میان طراحی، ساخت و تعامل عملیاتی تغییر کند. در محیط‌هایی که انسان و ربات به‌صورت مشترک کار می‌کنند، طراحی محصول و طراحی فرایند باید به گونه‌ای انجام شود که همکاری، ایمنی، کارایی و تجربه انسانی حفظ شود. پژوهش درباره همکاری انسان و ربات در تولید دستی و استفاده از واقعیت مجازی و انسان در حلقه نشان می‌دهد که ترکیب توانمندی‌های انسانی با ربات‌های همکار می‌تواند کیفیت عملیات، دقت اجرا و انعطاف‌پذیری تولید را افزایش دهد (Forlini et al., 2024). همچنین، الگوریتم‌های بهینه‌سازی مسیر برای ربات‌های همکار انرژی کارا نشان می‌دهند که تصمیم‌های الگوریتمی می‌توانند بر کاهش مصرف انرژی، بهینه‌سازی حرکت و افزایش کارایی فرایندهای صنعتی اثر بگذارند (Fang & Zhang, 2023). این یافته‌ها برای طراحی صنعتی تعاملی اهمیت دارند؛ زیرا نشان می‌دهند که طراحی آینده باید نه تنها محصول نهایی، بلکه نحوه تعامل انسان، ماشین، ربات و محیط تولید را نیز در نظر گیرد.

یکی از ظرفیت‌های مهم هوش مصنوعی در طراحی صنعتی، پشتیبانی از تشخیص، پایش و بهبود عملکرد سیستم‌هاست. استفاده از روش‌های یادگیری چندمنظوره و ویژگی‌های چندبعدی در تشخیص هوشمند عیب نشان می‌دهد که الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند با ترکیب داده‌های مختلف، الگوهای پنهان خرابی یا ضعف عملکرد را شناسایی کنند و به بهبود قابلیت اطمینان سامانه‌های صنعتی کمک نمایند (Wang et al., 2025). این قابلیت در طراحی صنعتی اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا داده‌های حاصل از عملکرد محصول در مرحله استفاده می‌تواند مجدداً به فرایند طراحی بازگردد و به اصلاح نسل‌های بعدی محصول منجر شود. به بیان دیگر، طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند یک چرخه یادگیری پسینی ایجاد کند که در آن داده‌های واقعی عملکرد، مصرف، خطا، تجربه کاربر و شرایط محیطی به شکل مستمر تحلیل شده و برای بهینه‌سازی طراحی‌های آینده به کار گرفته می‌شوند.

مدیریت دانش نیز یکی از مؤلفه‌های بنیادین در شکل‌گیری طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی است. طراحی صنعتی تنها با داده‌های خام پیش نمی‌رود، بلکه به دانش ضمنی طراحان، تجربه پروژه‌های پیشین، استانداردهای صنعتی، مستندات فنی، بازخوردهای کاربران و قواعد سازمانی وابسته است. یکی از چالش‌های مهم در سازمان‌های صنعتی، پراکندگی دانش طراحی و دشواری بازیابی آن در زمان تصمیم‌گیری است. کاربرد تولید افزوده با بازیابی اطلاعات در مدیریت دانش صنعتی تعاملی از طریق مدل‌های زبانی بزرگ نشان می‌دهد که هوش مصنوعی می‌تواند دانش پراکنده صنعتی را سازمان‌دهی، بازیابی و در قالب پاسخ‌های تعاملی در اختیار طراحان و تصمیم‌گیرندگان قرار

دهد (Chen et al., 2025). این قابلیت می‌تواند فاصله میان دانش انسانی و پردازش الگوریتمی را کاهش دهد و موجب شود که طراحی صنعتی تعاملی بر پایه ترکیب داده، تجربه، مستندات و قضاوت حرفه‌ای شکل گیرد.

با وجود ظرفیت‌های گسترده هوش مصنوعی، طراحی صنعتی تعاملی با چالش‌های مهم اخلاقی، سازمانی و انسانی مواجه است. هرچه تصمیم‌های طراحی بیشتر به الگوریتم‌ها وابسته شوند، مسائلی مانند شفافیت، سوگیری، مسئولیت‌پذیری، مالکیت فکری، امنیت داده، اعتماد کاربران و جایگاه طراح اهمیت بیشتری می‌یابد. در عصر سامانه‌های تولید هوشمند، چالش‌های اخلاقی مهندسی و هوش مصنوعی نشان می‌دهد که استفاده از فناوری‌های هوشمند بدون چارچوب اخلاقی روشن می‌تواند به پیامدهای ناخواسته در تصمیم‌گیری، ایمنی، عدالت و مسئولیت منجر شود (Stathatos et al., 2024). بنابراین، در طراحی صنعتی تعاملی نباید هوش مصنوعی به‌عنوان مرجع مطلق تصمیم‌گیری تلقی شود؛ بلکه لازم است خروجی‌های الگوریتمی در چارچوب قضاوت انسانی، ارزش‌های حرفه‌ای، استانداردهای طراحی و اصول اخلاقی ارزیابی شوند. اعتماد به هوش مصنوعی نیز تنها از طریق دقت فنی حاصل نمی‌شود، بلکه نیازمند شفافیت فرایند، قابلیت توضیح، مشارکت کاربر و مسئولیت‌پذیری سازمانی است.

از سوی دیگر، قابلیت‌های هوش مصنوعی می‌توانند بر عملکرد رقابتی و بازارمحور سازمان‌های صنعتی نیز اثر بگذارند. در محیط‌های B2B، استفاده از قابلیت‌های هوش مصنوعی می‌تواند ارتباط میان بازاریابی، شناخت مشتری، تحلیل داده و عملکرد صادراتی را تقویت کند و به سازمان‌ها در فهم بهتر نیازهای مشتریان صنعتی و پاسخگویی دقیق‌تر به بازار کمک نماید (Alizadeh et al., 2026). این موضوع برای طراحی صنعتی تعاملی اهمیت دارد، زیرا طراحی محصول از نیازهای بازار جدا نیست و هرچه سازمان بتواند داده‌های مشتریان، ترجیحات مصرف‌کنندگان، روندهای بازار و الزامات رقابتی را دقیق‌تر تحلیل کند، فرایند طراحی نیز می‌تواند هدفمندتر، سریع‌تر و اثربخش‌تر انجام شود. در نتیجه، هوش مصنوعی در طراحی صنعتی صرفاً یک فناوری فنی نیست، بلکه ابزاری راهبردی برای پیوند دادن طراحی، بازار، تولید و نوآوری محسوب می‌شود.

با مرور ادبیات موجود می‌توان گفت که پژوهش‌های پیشین هر یک بخشی از پدیده طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی را بررسی کرده‌اند؛ برخی بر طراحی مولد و شبیه‌سازی هوشمند تمرکز داشته‌اند، برخی بر زیرساخت‌های اینترنت اشیای صنعتی و داده‌های محیطی، برخی بر همکاری انسان و ربات، برخی بر مدیریت دانش صنعتی و برخی بر چالش‌های اخلاقی و سازمانی. با این حال، پراکندگی این مطالعات موجب شده است که هنوز چارچوبی جامع برای تبیین مؤلفه‌های طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی در قالب ابعاد زمینه‌ای، ورودی‌ها، فرایندها و پیامدها به‌صورت منسجم ارائه نشده باشد. این خلأ به‌ویژه از آن جهت اهمیت دارد که سازمان‌ها و تیم‌های طراحی برای پیاده‌سازی مؤثر هوش مصنوعی در طراحی صنعتی، نیازمند شناخت نظام‌مند مؤلفه‌هایی هستند که از سطح زیرساخت و داده تا سطح تعامل انسانی، فرایند طراحی، خروجی‌های نوآورانه و پیامدهای اخلاقی امتداد می‌یابند.

بر این اساس، هدف پژوهش حاضر شناسایی مؤلفه‌های طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی و ارائه چارچوبی مفهومی برای تبیین بسترها، دروندادها، فرایندها و بروندادهای این رویکرد در طراحی صنعتی است.

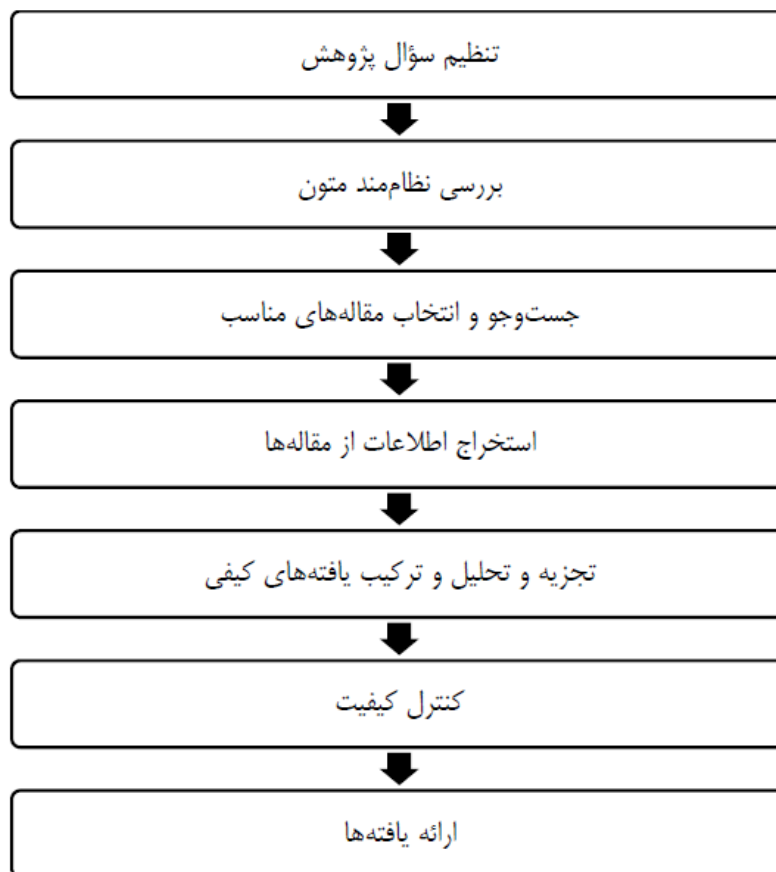
روش پژوهش

روش پژوهش حاضر کیفی است و با استفاده از روش فراترکیب به مرور نظام مند مدل‌ها و چارچوب‌های پیشین مرتبط با طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی پرداخته است. از آنجا که مفهوم طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی در کشورهای در حال توسعه، مفهومی کمابیش جدید است و از طرفی، اغلب مقاله‌ها در این زمینه، از نوع مطالعات کیفی بوده و

فاقد داده های کمی هستند، در پژوهش حاضر از روش فراترکیب، به عنوان روشی مناسب برای ترکیب و تلفیق جامعی از مفاهیم مؤلفه های طراحی صنعتی و الگوریتم های هوش مصنوعی، بر اساس ترجمه و تفسیر مطالعات کیفی محدود استفاده شده است. به این ترتیب، پژوهش های گذشته (پژوهشی و مروری) در حوزه طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم های هوش مصنوعی استفاده از روش فراترکیب، مطابق با الگوی هفت مرحله ای سندلوسکی و باروسو (۲۰۰۷) بررسی شد. مراحل این بررسی در شکل ۱ خلاصه شده است.

شکل ۱

گام های فراترکیب منبع: سندلوسکی و باروسو (۲۰۰۷)



یافته ها

در این بخش، یافته های حاصل از فراترکیب پژوهش های مرتبط با طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم های هوش مصنوعی ارائه می شود. هدف از این مرحله، شناسایی و سازمان دهی مؤلفه های اصلی این حوزه و ارائه چارچوبی مفهومی برای تبیین ابعاد، درون داده ها، فرایندها و برون داده های آن است. برای این منظور، از روش فراترکیب هفت مرحله ای سندلوسکی و باروسو (۲۰۰۷) استفاده شد. در این رویکرد، پژوهشگر با مرور نظام مند متون، استخراج مفاهیم کلیدی، کدگذاری و ترکیب یافته های کیفی مطالعات پیشین، به بازسازی دانش موجود در یک حوزه و ارائه یک مدل یا چارچوب مفهومی دست می یابد.

در پژوهش حاضر، با توجه به ماهیت چندرشته‌ای موضوع، مجموعه‌ای از منابع داخلی و خارجی در حوزه‌های طراحی صنعتی، تعامل انسان و ماشین، طراحی مولد، رباتیک مشارکتی، طراحی کاربرمحور، سیستم‌های هوشمند، مدیریت دانش صنعتی، صنعت ۴.۰ و ۵.۰ و پیامدهای اخلاقی و سازمانی هوش مصنوعی بررسی شد. حاصل این فرایند، استخراج و دسته‌بندی کدها و مفاهیم کلیدی و در نهایت طراحی چارچوب نهایی پژوهش در قالب مقوله‌های بستر، درون‌داد، فرایند و برون‌داد بود.

مرحله نخست: تنظیم پرسش‌های پژوهش

در نخستین مرحله، پرسش‌های پژوهش بر اساس منطق الگوی SIP و با در نظر گرفتن ابعاد زمینه‌ای، ورودی، فرایندی و پیامدی موضوع تدوین شد. منظور از SIP در این پژوهش، چارچوبی تحلیلی برای دسته‌بندی یافته‌های مطالعات در چهار سطح بستر (Context)، درون‌داد (Input)، فرایند (Process) و برون‌داد (Output) است. بر این اساس، پرسش‌های پژوهش به شرح زیر تدوین شد:

۱. بسترها و زمینه‌های طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی کدام‌اند؟
۲. درون‌دادها و ورودی‌های طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی کدام‌اند؟
۳. فرایند طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی شامل چه مؤلفه‌هایی است؟
۴. برون‌دادها و پیامدهای طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی کدام‌اند؟

بر این اساس، پرسش اصلی پژوهش عبارت است از:

مؤلفه‌های طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی کدام‌اند و چگونه می‌توان آن‌ها را در قالب یک چارچوب

مفهومی تبیین کرد؟

مرحله دوم: بررسی نظام‌مند متون

در این مرحله، برای گردآوری داده‌ها از روش کتابخانه‌ای و جست‌وجوی نظام‌مند متون استفاده شد. جامعه پژوهش شامل مقالات علمی، کتاب‌ها، پایان‌نامه‌ها و فصل‌های کتاب مرتبط با موضوع طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۶ بود. به‌منظور دستیابی به منابع معتبر، جست‌وجو در پایگاه‌های اطلاعاتی داخلی و خارجی انجام شد. مهم‌ترین پایگاه‌های مورد استفاده عبارت بودند از:

- Google Scholar
- ScienceDirect
- Scopus
- IEEE Xplore
- Emerald Insight
- Springer
- Taylor & Francis
- Wiley
- ProQuest
- Magiran

• نورمگز

• علم‌نت

• سیوبلیکا

در این مرحله، از کلیدواژه‌های فارسی و انگلیسی متناسب با موضوع استفاده شد. از جمله مهم‌ترین کلیدواژه‌ها می‌توان به موارد زیر

اشاره کرد:

- طراحی صنعتی تعاملی
- هوش مصنوعی در طراحی صنعتی
- طراحی مولد
- تعامل انسان و ماشین
- تعامل انسان و ربات
- طراحی مبتنی بر هوش مصنوعی
- الگوریتم‌های هوش مصنوعی در طراحی
- **human-machine interaction**
- **human-robot interaction**
- **interactive industrial design**
- **generative design**
- **AI-based design**
- **intelligent manufacturing**
- **industrial knowledge management**
- **human-in-the-loop design**

نتیجه جست‌وجوی اولیه منجر به شناسایی ۲۲۶ منبع شد.

مرحله سوم: ارزیابی دقیق تحقیقات و انتخاب متون مناسب

در گام سوم، تناسب منابع شناسایی‌شده با موضوع پژوهش مورد ارزیابی قرار گرفت. ابتدا عنوان، چکیده و کلیدواژه‌های مطالعات بررسی شد و منابع نامرتبط حذف شدند. سپس متن کامل منابع منتخب چندین بار مطالعه و از نظر ارتباط مفهومی با موضوع، کیفیت روش‌شناختی و قابلیت استخراج داده‌های کیفی ارزیابی شد.

در این پژوهش، برای ارزیابی کیفیت مطالعات از ابزار (CASP (Critical Appraisal Skills Programme استفاده شد. این

ابزار شامل ۱۰ سؤال برای ارزیابی دقت، اعتبار، انسجام و اهمیت مطالعات کیفی است. معیارهای اصلی در این مرحله شامل موارد زیر بود:

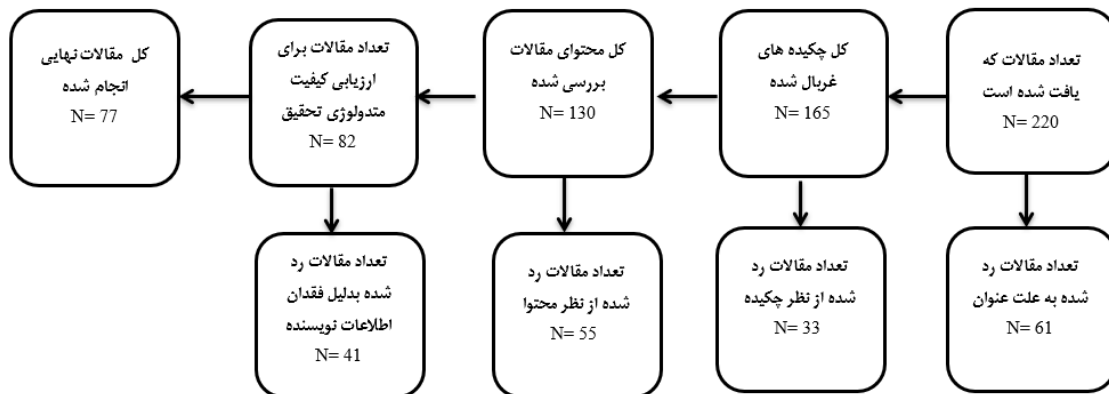
- ارتباط مستقیم یا غیرمستقیم مطالعه با طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی
- ارائه داده‌های مفهومی یا تحلیلی قابل استخراج
- شفافیت در روش و یافته‌ها
- برخورداری از کیفیت علمی مناسب

پس از حذف منابع تکراری، غیرمرتبط و فاقد کیفیت لازم، در نهایت ۵۵ منبع اصلی برای تحلیل نهایی انتخاب شد. این منابع شامل

مقالات پژوهشی، برخی کتاب‌ها و تعداد محدودی پایان‌نامه داخلی و خارجی بودند.

شکل ۲

فرایند بازیابی و انتخاب مقاله



مرحله چهارم: استخراج اطلاعات متون

در این مرحله، متن کامل منابع منتخب چندین بار مطالعه شد و داده‌های موردنیاز برای فراترکیب استخراج گردید. برای هر منبع،

اطلاعاتی نظیر:

- نام نویسنده، نویسندگان
- سال انتشار
- حوزه تمرکز پژوهش
- مؤلفه‌های مرتبط با طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی
- مفاهیم کلیدی و گزاره‌های قابل کدگذاری

استخراج شد. سپس داده‌های استخراج‌شده در قالب واحدهای معنایی کوچک‌تر تفکیک و برای ورود به فرایند کدگذاری آماده شد.

مرحله پنجم: تجزیه و تحلیل و ترکیب یافته‌های کیفی

در این مرحله، داده‌های استخراج‌شده از متون منتخب با استفاده از رویکرد کدگذاری باز، محوری و تلفیقی تحلیل شد. ابتدا تمام عبارات، گزاره‌ها و مفاهیم مرتبط با موضوع پژوهش شناسایی شد. سپس این مفاهیم بر اساس شباهت‌های معنایی در قالب کدهای اولیه دسته‌بندی شدند. در گام بعد، کدهای مشابه در قالب مفاهیم سطح بالاتر و در نهایت در چهار مقوله اصلی بستر، درون‌داد، فرایند و برون‌داد سازمان‌دهی شدند.

بر اساس یافته‌های حاصل از تحلیل، در مجموع ۹۶ کد در قالب ۱۹ مفهوم و ۴ مقوله اصلی استخراج شد. این مقوله‌ها شامل:

۱. بستر
۲. درون‌داد
۳. فرایند
۴. برون‌داد

بودند که در جدول‌های ۱ تا ۴ ارائه شده‌اند.

مرحله ششم: کنترل کیفیت

به منظور بررسی روایی و پایایی فراترکیب، از دو روش استفاده شد:

۱. ارزیابی کیفی مطالعات با استفاده از ابزار CASP

تمام منابع منتخب بر اساس ۱۰ معیار این ابزار ارزیابی و غربال شدند.

۲. توافق بین دو کدگذار

برای بررسی پایایی کدگذاری، بخشی از منابع منتخب در اختیار یک کدگذار دیگر قرار گرفت و نتایج حاصل از کدگذاری دو پژوهشگر با استفاده از ضریب کاپا در نرم افزار SPSS محاسبه شد. مقدار ضریب کاپا ۰.۶۳۵ و سطح معناداری ۰.۰۰۱ به دست آمد که نشان دهنده توافق قابل قبول بین دو کدگذار و تأیید پایایی کدگذاری است.

مرحله هفتم: ارائه یافته ها

در این مرحله، بر اساس تحلیل نهایی داده ها، چارچوب مفهومی پژوهش ارائه شد. یافته ها نشان داد که طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم های هوش مصنوعی را می توان در قالب چهار مقوله اصلی تحلیل کرد:

- بستر: شرایط، زمینه ها و زیرساخت های لازم برای شکل گیری طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی
 - درون داد: داده ها، منابع، فناوری ها و قابلیت های لازم برای آغاز و تغذیه فرایند طراحی
 - فرایند: فعالیت ها، تعاملات، مراحل و سازوکارهای اجرایی طراحی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی
 - برون داد: نتایج، دستاوردها و پیامدهای حاصل از این نوع طراحی
- در ادامه، یافته های مربوط به هر یک از این مقوله ها به تفکیک در جدول های ۱ تا ۴ ارائه می شود.

جدول ۱

مقوله بستر (زمینه)

مقوله	مفهوم	کدهای مربوط	منابع
بستر	تحول دیجیتال و صنعت ۵.۰/۴.۰	دیجیتالی سازی فرایندها، یکپارچگی فیزیکی-دیجیتال، کارخانه هوشمند، تحول فناوری، هوشمندسازی محیط طراحی و تولید	Kaleli ؛ Kraus et al. (۲۰۲۱)؛ Ghobakhloo (۲۰۲۰)؛ Frank et al. (۲۰۱۹)؛ Ellström et al. (۲۰۲۲)؛ (۲۰۲۵)
زیرساخت داده محور	فناورانه و ماشین، CAD/CAM، مخازن داده طراحی، داده های محیطی و عملکردی	اینترنت اشیا صنعتی، حسگرها، داده های بلادرنگ، بینایی	Li et al. (۲۰۲۵)؛ Bharadwaj & Starly (۲۰۲۲)؛ Wang et al. (۲۰۲۵)؛ Huang & Li (۲۰۲۵)
تعامل طراحی انسان محور	رابطه های انسان-ماشین، همکاری انسان-ربات، نقش کاربر در حلقه طراحی، انسان در حلقه تصمیم، ارگونومی و تجربه کاربر	رابطه های انسان-ماشین، همکاری انسان-ربات، نقش کاربر در حلقه طراحی، انسان در حلقه تصمیم، ارگونومی و تجربه کاربر	محسنی زاده و همکاران (۱۴۰۳)؛ همتی نژاد و مقدسی (۱۴۰۰)؛ Forlini ؛ Tanaka & Ito (۲۰۲۱)؛ Xu & Wang (۲۰۲۱)؛ et al. (۲۰۲۴)
الزامات اخلاقی، پذیرش فناوری	شفافیت الگوریتمی، اعتماد به هوش مصنوعی، کاهش اضطراب فناوری، سوگیری الگوریتمی، مسئولیت پذیری، ملاحظات اخلاقی طراحی	شفافیت الگوریتمی، اعتماد به هوش مصنوعی، کاهش اضطراب فناوری، سوگیری الگوریتمی، مسئولیت پذیری، ملاحظات اخلاقی طراحی	عبادی و همکاران (۱۴۰۲)؛ Stathatos et al. (۲۰۲۴)؛ Jung & Garrel (۲۰۲۱)؛ Glikson & Woolley (۲۰۲۰)؛ Samek et al. (۲۰۲۱)
مدیریت دانش و یادگیری سازمانی در محیط صنعتی	خلق و اشتراک دانش، بازیابی دانش طراحی، حافظه سازمانی، یادگیری فناوری، پشتیبانی دانشی از طراحی	خلق و اشتراک دانش، بازیابی دانش طراحی، حافظه سازمانی، یادگیری فناوری، پشتیبانی دانشی از طراحی	Pacheco ؛ Leoni et al. (۲۰۲۲)؛ Chen et al. (۲۰۲۵)؛ et al. (۲۰۲۲)

یافته‌های جدول ۱ نشان می‌دهد که بستر طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی صرفاً به وجود یک فناوری هوشمند محدود نیست، بلکه حاصل هم‌افزایی میان تحول دیجیتال، زیرساخت‌های داده‌محور، تعامل انسان-ماشین، اعتماد و ملاحظات اخلاقی، و ظرفیت مدیریت دانش در محیط صنعتی است.

در میان مفاهیم استخراج‌شده، تحول دیجیتال و صنعت ۵۰/۴۰ به‌عنوان مهم‌ترین بستر کلان شناسایی شد. این مفهوم نشان می‌دهد که استقرار طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی در خلأ رخ نمی‌دهد، بلکه نیازمند محیطی است که در آن فرایندهای طراحی، تولید، داده و تصمیم‌گیری به‌صورت هوشمند و شبکه‌ای به هم متصل شده باشند. از سوی دیگر، زیرساخت فناورانه و داده‌محور به‌عنوان شرط عملیاتی این نوع طراحی ظاهر شد؛ به‌گونه‌ای که بدون دسترسی به داده‌های معتبر، حسگرها، سامانه‌های طراحی دیجیتال و بسترهای تحلیل داده، امکان استفاده مؤثر از الگوریتم‌های هوش مصنوعی فراهم نخواهد شد. همچنین، یافته‌ها نشان می‌دهد که تعامل انسان-ماشین و طراحی انسان‌محور نه تنها یک ویژگی فرایندی، بلکه بخشی از بستر مفهومی این حوزه است. بدین معنا که طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی در محیطی شکل می‌گیرد که در آن انسان، کاربر نهایی، طراح، اپراتور یا متخصص فنی همچنان نقش فعالی در تصمیم‌سازی، بازخورددهی، تفسیر و اصلاح خروجی‌های سیستم هوشمند دارد. افزون بر این، اعتماد، شفافیت و اخلاق هوش مصنوعی نیز از جمله زمینه‌های حیاتی‌اند؛ زیرا پذیرش خروجی‌های الگوریتمی و استفاده واقعی از آن‌ها در طراحی صنعتی بدون اعتماد کاربران و متخصصان به سیستم‌های هوشمند با چالش مواجه می‌شود.

جدول ۲

درون‌دادها

مقوله	مفهوم	کدهای مربوط	منابع
درون‌دادها	داده‌های کاربر و نیازهای تعاملی	نیازهای کاربر، ترجیحات، تجربه کاربر، بازخورد تعاملی، داده‌های رفتاری، داده‌های شناختی و ادراکی	Wang & Nickerson (۲۰۱۷)؛ محسنی‌زاده و همکاران (۱۴۰۳)؛ همتی‌نژاد و مقدسی (۱۴۰۰)
داده‌های محصول و محیط	طراحی، مدل‌های CAD، مشخصات محصول، فرم و هندسه، داده‌های عملکردی، داده‌های حرارتی/محیطی، محدودیت‌های فنی طراحی		Liu et al. (۲۰۲۵)؛ Bharadwaj & Starly (۲۰۲۲)؛ Liu (۲۰۲۵)؛ Huang & Li (۲۰۲۵)
الگوریتم‌ها و فناوری‌های مصنوعی	یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، طراحی مولد، شبکه‌های مولد، هوش بینایی ماشین، مدل‌های زبانی، بازیابی دانش مبتنی بر AI		Sarker ؛ Chen et al. (۲۰۲۵)؛ Liu et al. (۲۰۲۵)؛ Samek et al. ؛ LeCun et al. (۲۰۱۵)؛ (۲۰۲۱)
دانش تخصصی و منابع انسانی	دانش طراحی صنعتی، تجربه طراح، دانش مهندسی، تخصص میان‌رشته‌ای، همکاری طراح و متخصص داده، قضاوت خبره		Xu & Wang (۲۰۲۱)؛ Leoni et al. (۲۰۲۲)؛ Forlini et al. (۲۰۲۴)

مطابق جدول ۲، درون‌دادهای طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی را می‌توان در چهار خوشه اصلی دسته‌بندی کرد: داده‌های کاربر، داده‌های طراحی و محیط، الگوریتم‌ها و فناوری‌های هوش مصنوعی، و دانش تخصصی انسانی.

نخستین دسته، یعنی داده‌های کاربر و نیازهای تعاملی، بیانگر آن است که این نوع طراحی ماهیتی صرفاً فناورانه ندارد، بلکه بر پایه درک نیاز، رفتار و تجربه کاربر استوار است. در واقع، تعامل‌پذیری زمانی معنا پیدا می‌کند که ترجیحات و بازخوردهای کاربران در قلب فرایند طراحی قرار گیرد. دومین دسته، داده‌های طراحی، محصول و محیط است که ورودی فنی و مهندسی فرایند طراحی را فراهم می‌کند. این

داده‌ها شامل مدل‌های CAD، ویژگی‌های هندسی و عملکردی محصول، اطلاعات محیطی، داده‌های حرارتی و سایر قيود طراحی است که خوراک اصلی الگوریتم‌های هوش مصنوعی محسوب می‌شود.

در سطح سوم، الگوریتم‌ها و فناوری‌های هوش مصنوعی قرار می‌گیرند که نقش موتور تحلیلی و مولد طراحی را ایفا می‌کنند. یافته‌ها نشان می‌دهد که از طیفی از فناوری‌ها شامل یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، طراحی مولد، بینایی ماشین و مدل‌های مبتنی بر بازیابی دانش می‌توان برای پشتیبانی از طراحی صنعتی تعاملی استفاده کرد. در نهایت، دانش تخصصی و منابع انسانی به‌عنوان مکمل ضروری داده و الگوریتم مطرح می‌شود؛ زیرا طراحی صنعتی، حوزه‌ای صرفاً محاسباتی نیست و همچنان به قضاوت طراح، فهم زمینه استفاده، دانش مواد، زیبایی‌شناسی، ارگونومی و ملاحظات تولید وابسته است.

جدول ۳

فرایند

مقوله	مفهوم	کدهای مربوط	منابع
فرایند طراحی	مسئله‌یابی و نیازسنجی	تعریف مسئله طراحی، تحلیل سناریوی استفاده، شناسایی نیاز کاربر، تعیین قيود و معیارهای طراحی	Xu & Wang؛ Wang & Nickerson (۲۰۱۷)؛ همتی‌نژاد و مقدسی (۱۴۰۰) (۲۰۲۱)؛
گردآوری، آماده‌سازی و یکپارچه‌سازی داده‌ها	جمع‌آوری داده، پاک‌سازی داده، برچسب‌گذاری، ادغام داده‌های کاربر/محصول/محیط، ساخت پایگاه دانش طراحی		Sarker؛ Chen et al. (۲۰۲۵)؛ Sarker (۲۰۲۱)؛ Bharadwaj & Starly (۲۰۲۲)
تحلیل هوشمند و استخراج الگو	تحلیل داده، یادگیری الگوهای رفتاری و طراحی، تشخیص ویژگی‌های کلیدی، پیش‌بینی و پشتیبانی تصمیم		Samek et al. (۲۰۲۱)؛ Wang et al. (۲۰۲۵)؛ Leoni et al. (۲۰۲۲)
ایده‌پردازی، تولید و توسعه گزینه‌های طراحی	طراحی مولد، تولید خودکار گزینه‌ها، پیشنهاد فرم و ساختار، توسعه سناریوهای طراحی، خلق آلترناتیوهای نوآورانه		Liu؛ Huang & Li (۲۰۲۵)؛ Liu et al. (۲۰۲۵) (۲۰۲۵)
تعامل انسان-هوش مصنوعی در حلقه طراحی	بازخورد مستمر، اصلاح تعاملی، همکاری طراح و سیستم، human-in-the-loop، هم‌آفرینی انسان و ماشین		Chen et al. (۲۰۲۵)؛ Forlini et al. (۲۰۲۴)؛ محسنی‌زاده و همکاران (۱۴۰۳)
شبیه‌سازی، ارزیابی و بهینه‌سازی طراحی	شبیه‌سازی عملکرد، تحلیل حرارتی/کارکردی، ارزیابی گزینه‌ها، بهینه‌سازی چندهدفه، اعتبارسنجی طراحی		Huang & Li (۱۴۰۲)؛ آقازاده و عالم‌تبریز (۲۰۲۵)؛ Liu (۲۰۲۵) (۲۰۲۵)
یادگیری و بهبود مستمر سیستم طراحی	به‌روزرسانی مدل‌ها، یادگیری از بازخورد، اصلاح پایگاه دانش، انباشت تجربه، بهبود مستمر دقت طراحی		Chen et al. (۲۰۲۵)؛ Leoni et al. (۲۰۲۲)؛ Kaleli (۲۰۲۵)

همان‌گونه که جدول ۳ نشان می‌دهد، فرایند طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی از یک زنجیره چندمرحله‌ای تشکیل می‌شود که از مسئله‌یابی و نیازسنجی آغاز شده و تا یادگیری و بهبود مستمر سیستم طراحی ادامه می‌یابد.

نخستین مرحله، مسئله‌یابی و نیازسنجی طراحی است؛ یعنی تعیین دقیق مسئله، شناسایی کاربران، تحلیل سناریوهای استفاده و استخراج قيود طراحی. پس از آن، داده‌های موردنیاز از منابع مختلف جمع‌آوری، پاک‌سازی و یکپارچه می‌شود تا بستر لازم برای تحلیل هوشمند فراهم گردد. در ادامه، الگوریتم‌های هوش مصنوعی با تحلیل داده‌ها، الگوها، روابط و ترجیحات پنهان را استخراج می‌کنند و از این طریق، زمینه برای ایده‌پردازی و تولید گزینه‌های طراحی فراهم می‌شود.

یکی از مهم‌ترین یافته‌های این پژوهش، برجسته شدن مفهوم تعامل انسان-هوش مصنوعی در حلقه طراحی است. برخلاف تصور رایج که هوش مصنوعی را جایگزین طراح می‌داند، نتایج فراترکیب نشان می‌دهد که در طراحی صنعتی تعاملی، هوش مصنوعی بیش از آنکه

جایگزین انسان باشد، همکار شناختی و تحلیلی اوست. بدین ترتیب، طراح با دریافت پیشنهادهای الگوریتمی، اعمال قضاوت حرفه‌ای، اصلاح خروجی‌ها و بازخورددهی مستمر، در کنار سیستم هوشمند به توسعه و پالایش راه‌حل‌های طراحی می‌پردازد. در مرحله بعد، گزینه‌های طراحی از طریق شبیه‌سازی، ارزیابی و بهینه‌سازی بررسی می‌شوند. این مرحله برای سنجش عملکرد، امکان‌پذیری، کارایی، پایداری، تجربه کاربری و تناسب گزینه‌ها با نیازهای واقعی ضروری است. در نهایت، فرایند طراحی با یادگیری و بهبود مستمر تکمیل می‌شود؛ بدین معنا که بازخوردهای کاربران، نتایج اجرا و داده‌های جدید به سیستم بازگردانده می‌شود تا مدل‌ها و قواعد طراحی به‌صورت مستمر ارتقا یابند.

جدول ۴

(برون‌دادها (پیامدها)

مقوله	مفهوم	کدهای مربوط	منابع
برون‌دادها	بهبود کیفیت و دقت طراحی	افزایش دقت، کاهش خطا، انطباق بهتر با نیاز، بهبود عملکرد، ارتقای تناسب فرم و کارکرد	Huang & Li؛ Wang et al. (۲۰۲۵)؛ Liu et al. (۲۰۲۵) (۲۰۲۵)
نوآوری و خلاقیت در طراحی	خلق ایده‌های نو، توسعه گزینه‌های بدیع، طراحی مولد، تنوع راه‌حل، نوآوری محصول		Wang & Nickerson (۲۰۱۷)؛ Liu et al. (۲۰۲۵)؛ Nambisan et al. (۲۰۱۷)
ارتقای تجربه کاربر و تعامل‌پذیری	شخصی‌سازی، سهولت استفاده، تعامل بهتر انسان-سیستم، رضایت کاربر، تجربه کاربری هوشمند		محسنی‌زاده و همکاران (۱۴۰۳)؛ همتی‌نژاد و مقدسی (۱۴۰۰)؛ Schönberger (۲۰۲۴)
افزایش بهره‌وری و کاهش زمان توسعه	تسریع طراحی، کاهش زمان آزمون و خطا، افزایش سرعت تصمیم‌گیری، کاهش هزینه طراحی، بهبود بهره‌وری		Leoni et al.؛ Kaleli (۲۰۲۵)؛ Forlini et al. (۲۰۲۴) (۲۰۲۲)
ارتقای تصمیم‌گیری و مدیریت دانش طراحی	پشتیبانی تصمیم، مستندسازی دانش، بازیابی دانش صنعتی، انتقال تجربه، حافظه طراحی		Leoni et al. (۲۰۲۲)؛ Chen et al. (۲۰۲۵)؛ Bharadwaj & Starly (۲۰۲۲)
پیامدهای اخلاقی، سازمانی و اجتماعی	اعتماد یا بی‌اعتمادی به AI، پذیرش فناوری، ریسک‌های اخلاقی، تغییر نقش طراح، نیاز به مهارت‌های جدید		Stathatos et al. (۲۰۲۴)؛ (۱۴۰۲)؛ همکاران (۲۰۲۴)؛ Glikson & Woolley (۲۰۲۰)؛ Jung & Garrel (۲۰۲۱)

مطابق یافته‌های جدول ۴، طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی پیامدهایی چندبعدی در سطوح فنی، خلاقانه، تجربه‌محور، سازمانی و اخلاقی به همراه دارد. در سطح فنی، مهم‌ترین پیامد این رویکرد بهبود کیفیت و دقت طراحی است. این بهبود می‌تواند در قالب کاهش خطا، انطباق بیشتر محصول با نیازهای کاربر، بهینه‌تر شدن عملکرد محصول و ارتقای کیفیت تصمیم‌های طراحی بروز یابد.

در سطح نوآورانه، یافته‌ها نشان می‌دهد که هوش مصنوعی می‌تواند ظرفیت خلق ایده‌ها و راه‌حل‌های نو را در طراحی صنعتی افزایش دهد. استفاده از طراحی مولد، تحلیل داده‌های پیچیده و تولید خودکار گزینه‌های متنوع، امکان عبور از الگوهای تکراری طراحی و حرکت به سمت نوآوری محصول را فراهم می‌سازد. از سوی دیگر، ارتقای تجربه کاربر و تعامل‌پذیری یکی از مهم‌ترین پیامدهای این رویکرد است؛ زیرا طراحی مبتنی بر داده و بازخورد، امکان شخصی‌سازی و تطبیق بهتر محصول یا سیستم با نیازهای واقعی کاربران را افزایش می‌دهد.

در سطح سازمانی، این نوع طراحی می‌تواند به افزایش بهره‌وری، کاهش زمان توسعه، ارتقای تصمیم‌گیری و تقویت مدیریت دانش منجر شود. با این حال، یافته‌ها نشان می‌دهد که برون‌دادهای این حوزه صرفاً مثبت نیستند و باید پیامدهای اخلاقی و اجتماعی آن نیز مورد

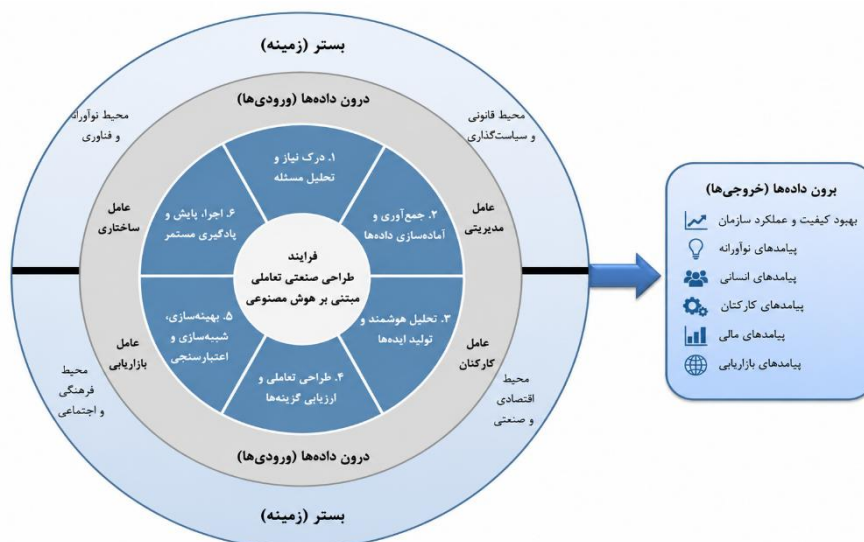
توجه قرار گیرد. از جمله این پیامدها می‌توان به مسئله اعتماد به خروجی‌های هوش مصنوعی، خطر سوگیری الگوریتمی، تغییر نقش طراحان و مهندسان، و نیاز به توسعه مهارت‌های جدید در محیط‌های طراحی و تولید هوشمند اشاره کرد.

بر اساس فرایند فراترکیب انجام‌شده، چارچوب مفهومی پژوهش در قالب ۴ مقوله اصلی، ۱۹ مفهوم و ۹۶ کد استخراج شد. نتایج نشان داد که طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی پدیده‌ای چندبعدی است که از تعامل میان زیرساخت‌های دیجیتال، داده‌ها، فناوری‌های هوش مصنوعی، دانش تخصصی انسانی، تعاملات انسان-ماشین و سازوکارهای یادگیری و بهبود مستمر شکل می‌گیرد.

در این چارچوب، مقوله بستر بر نقش تحول دیجیتال، زیرساخت‌های فناورانه، تعامل انسان-ماشین، اخلاق و مدیریت دانش به‌عنوان زمینه‌های شکل‌گیری طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی تأکید دارد. مقوله درون‌داد نیز نشان می‌دهد که این نوع طراحی بر چهار دسته ورودی شامل داده‌های کاربر، داده‌های طراحی و محیط، الگوریتم‌های هوش مصنوعی و دانش تخصصی انسانی استوار است. از سوی دیگر، مقوله فرایند بیانگر آن است که طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی یک روند خطی و صرفاً ماشینی نیست، بلکه شامل زنجیره‌ای از فعالیت‌های مسئله‌یابی، جمع‌آوری داده، تحلیل هوشمند، ایده‌پردازی، تعامل انسان و سیستم، شبیه‌سازی، ارزیابی و یادگیری مستمر است. در نهایت، مقوله برون‌داد نشان داد که پیامدهای این رویکرد، علاوه بر بهبود کیفیت و نوآوری طراحی، شامل ارتقای تجربه کاربر، افزایش بهره‌وری، تقویت مدیریت دانش و نیز بروز پیامدهای اخلاقی و سازمانی است. به‌طور کلی، یافته‌های این فصل نشان می‌دهد که طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی را می‌توان به‌عنوان یک نظام طراحی هوشمند، داده‌محور، مشارکتی و یادگیرنده در نظر گرفت که در آن انسان و هوش مصنوعی در یک رابطه تعاملی و مکمل، به خلق و توسعه راه‌حل‌های طراحی می‌پردازند. بر این اساس، چارچوب استخراج‌شده می‌تواند مبنایی برای تدوین مدل مفهومی نهایی پژوهش و نیز طراحی بخش کمی یا اعتبارسنجی چارچوب در مراحل بعدی قرار گیرد.

شکل ۳

مدل نهایی پژوهش



بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف شناسایی مؤلفه‌های طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی انجام شد و نتایج فراترکیب نشان داد که این حوزه را می‌توان در قالب چهار مقوله اصلی بستر، درونداد، فرایند و برونداد تبیین کرد. استخراج ۱۹ مفهوم و ۹۶ کد نشان می‌دهد که طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی پدیده‌ای تک‌بعدی، ابزارمحور یا صرفاً فناورانه نیست، بلکه یک نظام طراحی چندسطحی است که در آن زیرساخت‌های دیجیتال، داده‌های کاربر و محیط، الگوریتم‌های هوشمند، دانش تخصصی طراحان، تعامل انسان و ماشین، مدیریت دانش، یادگیری مستمر و پیامدهای اخلاقی و سازمانی به‌صورت هم‌زمان نقش‌آفرینی می‌کنند. این یافته با ادبیات جدید طراحی و تولید هوشمند همسو است؛ زیرا در مطالعات اخیر نیز هوش مصنوعی نه به‌عنوان یک فناوری منفرد، بلکه به‌عنوان بخشی از اکوسیستم تحول دیجیتال، تولید هوشمند و نوآوری صنعتی معرفی شده است (Kaleli, 2025; Sheng et al., 2024). بر این اساس، نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که برای فهم طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی باید از نگاه محدود به ابزارهای نرم‌افزاری فاصله گرفت و آن را به‌عنوان نوعی معماری دانشی، فناورانه و انسانی در نظر گرفت که میان طراح، کاربر، داده، الگوریتم و محیط صنعتی پیوند برقرار می‌کند.

در مقوله بستر، یافته‌ها نشان دادند که تحول دیجیتال، صنعت ۴.۰ و ۵.۰، زیرساخت‌های داده‌محور، تعامل انسان-ماشین، الزامات اخلاقی، اعتماد و مدیریت دانش از مهم‌ترین زمینه‌های شکل‌گیری طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی هستند. این نتیجه بیانگر آن است که استقرار چنین الگویی در خلأ سازمانی یا فناورانه امکان‌پذیر نیست و مستلزم وجود محیطی است که در آن داده‌ها تولید، ذخیره، پردازش، تفسیر و در تصمیم‌گیری طراحی به کار گرفته شوند. این یافته با مطالعه Sheng و همکاران همخوان است که نشان داد اقتصاد دیجیتال می‌تواند مسیر توسعه صنایع محصول‌محور را تغییر دهد و سازمان‌ها را به سمت بازطراحی فرایندها، هوشمندسازی و بهره‌گیری از داده سوق دهد (Sheng et al., 2024). همچنین، نتایج حاضر با دیدگاه Kaleli درباره صنعت ۵.۰ همسو است؛ زیرا در صنعت ۵.۰، فناوری‌های پیشرفته اتوماسیون تنها برای جایگزینی نیروی انسانی به کار نمی‌روند، بلکه هدف آنها افزایش همکاری انسان و ماشین، پایداری، انعطاف‌پذیری و تصمیم‌گیری هوشمند است (Kaleli, 2025). بنابراین، می‌توان گفت مقوله بستر در پژوهش حاضر نشان‌دهنده پیش‌شرط‌های ساختاری و فناورانه‌ای است که بدون آنها طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی به مرحله بلوغ عملیاتی نمی‌رسد.

یکی دیگر از نتایج مهم پژوهش در سطح بستر، برجسته شدن نقش زیرساخت‌های داده‌ای و امنیت اطلاعات در طراحی صنعتی تعاملی بود. یافته‌ها نشان دادند که طراحی مبتنی بر هوش مصنوعی به داده‌های معتبر، ایمن، قابل دسترس و قابل تفسیر وابسته است. این داده‌ها می‌توانند از منابع گوناگون مانند کاربران، محصولات، حسگرها، محیط‌های صنعتی، سامانه‌های CAD/CAM، اینترنت اشیا صنعتی و پایگاه‌های دانش سازمانی به دست آیند. این نتیجه با پژوهش Li و همکاران همراستا است که بر اهمیت کنترل دسترسی، امنیت، اعتماد و مدیریت اطلاعات در اینترنت اشیا صنعتی تأکید کرده‌اند (Li et al., 2025). از این منظر، طراحی صنعتی تعاملی زمانی می‌تواند به تصمیم‌های معتبر و قابل اتکا منجر شود که داده‌های ورودی آن از نظر کیفیت، امنیت و ارتباط با مسئله طراحی کنترل شده باشند. همچنین، یافته‌های مربوط به داده‌های محیطی با مطالعه Huang و Li همخوانی دارد که نشان دادند بهره‌گیری از سنجش حرارتی و بینایی سه‌بعدی می‌تواند در طراحی و بازآفرینی فضاهای صنعتی نقش مؤثری داشته باشد و تصمیم‌های طراحی را به شرایط واقعی محیطی نزدیک‌تر کند (Huang & Li, 2025). بنابراین، داده‌محور بودن طراحی صنعتی تعاملی به معنای اتکای صرف بر داده‌های کاربر نیست، بلکه شامل ادغام داده‌های فنی، محیطی، عملکردی و تجربی نیز می‌شود.

در مقوله درونداد، یافته‌های پژوهش نشان دادند که داده‌های کاربر و نیازهای تعاملی، داده‌های طراحی و محیط، الگوریتم‌ها و فناوری‌های هوش مصنوعی و دانش تخصصی انسانی چهار دسته اصلی ورودی‌های طراحی صنعتی تعاملی را تشکیل می‌دهند. اهمیت داده‌های کاربر نشان می‌دهد که طراحی صنعتی مبتنی بر هوش مصنوعی باید همچنان انسان‌محور باقی بماند و فناوری تنها زمانی ارزش‌آفرین است که بتواند نیازها، ترجیحات، رفتارها و تجربه کاربران را بهتر تحلیل و در طراحی منعکس کند. این یافته با مطالعه Schonberger همسو است که نشان می‌دهد هوش مصنوعی در محیط‌های تعاملی زمانی اثربخش‌تر می‌شود که بتواند مشارکت، تجربه شخصی‌سازی‌شده و تعامل فعال کاربران را تقویت کند (Schonberger, 2024). از سوی دیگر، تأکید پژوهش حاضر بر دانش تخصصی انسانی نشان می‌دهد که حتی در طراحی مبتنی بر الگوریتم، قضاوت طراح، تجربه حرفه‌ای، فهم زمینه مصرف، دانش زیبایی‌شناسی، ارگونومی، مواد، ساخت و امکان‌پذیری تولید همچنان جایگاه محوری دارد. این موضوع نشان می‌دهد که هوش مصنوعی جایگزین کامل طراح نیست، بلکه نقش مکمل، تحلیلی و تقویت‌کننده دارد. در همین راستا، یافته‌های مربوط به الگوریتم‌ها و فناوری‌های هوش مصنوعی نشان داد که یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، طراحی مولد، شبکه‌های مولد، بینایی ماشین، شبیه‌سازی هوشمند و مدل‌های زبانی می‌توانند به‌عنوان موتور تحلیلی و تولیدی طراحی صنعتی تعاملی عمل کنند. این نتیجه با پژوهش Liu و همکاران درباره طراحی مولد هوشمند فرم بدنه خودرو همخوان است؛ زیرا آنها نشان دادند که الگوریتم‌های مولد می‌توانند گزینه‌های خلاقانه و متنوعی برای طراحی فرم ایجاد کنند و فرایند ایده‌پردازی را از محدودیت‌های سنتی فراتر ببرند (Liu et al., 2025). همچنین، مطالعه Liu درباره طراحی تعاملی مبتنی بر شبیه‌سازی حرارتی نشان می‌دهد که الگوریتم‌ها می‌توانند داده‌های محیطی و عملکردی را با تصمیم‌های طراحی تلفیق کنند و طراحی را به سوی راه‌حل‌های دقیق‌تر و سازگارتر با شرایط واقعی سوق دهند (Liu, 2025). بنابراین، نتایج پژوهش حاضر تأیید می‌کند که الگوریتم‌های هوش مصنوعی در طراحی صنعتی صرفاً ابزار تحلیل نیستند، بلکه می‌توانند در تولید گزینه، ارزیابی، پیش‌بینی، اصلاح و یادگیری نیز نقش داشته باشند.

در مقوله فرایند، نتایج نشان دادند که طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی از مراحل مانند مسئله‌یابی و نیازسنجی، گردآوری و آماده‌سازی داده‌ها، تحلیل هوشمند، تولید گزینه‌های طراحی، تعامل انسان-هوش مصنوعی، شبیه‌سازی، ارزیابی، بهینه‌سازی و یادگیری مستمر تشکیل می‌شود. این یافته نشان می‌دهد که فرایند طراحی در رویکرد هوشمند، یک مسیر خطی و بسته نیست، بلکه چرخه‌ای پویا و بازخوردمحور است. در چنین چرخه‌ای، داده‌ها به الگوریتم‌ها وارد می‌شوند، الگوریتم‌ها پیشنهادها طراحی ارائه می‌کنند، طراح و کاربر آنها را ارزیابی و اصلاح می‌کنند و بازخوردهای جدید دوباره به سامانه بازمی‌گردند. این نتیجه با پژوهش Forlini و همکاران درباره همکاری انسان و ربات در تولید دستی همسو است؛ زیرا آنها نشان دادند که مدل‌های انسان در حلقه و ترکیب واقعیت مجازی با ربات‌های همکار می‌تواند کیفیت تعامل، دقت اجرا و انعطاف‌پذیری عملیات تولید را ارتقا دهد (Forlini et al., 2024). همچنین، مطالعه Fang و Zhang درباره الگوریتم‌های بهینه‌سازی مسیر ربات‌های همکار نشان می‌دهد که الگوریتم‌های هوشمند می‌توانند در افزایش کارایی، کاهش مصرف انرژی و بهینه‌سازی فرایندهای عملیاتی نقش مؤثر داشته باشند (Fang & Zhang, 2023). این شواهد نشان می‌دهند که طراحی صنعتی تعاملی باید نه‌فقط محصول، بلکه تعامل میان انسان، الگوریتم، ربات و فرایند تولید را نیز پوشش دهد.

یافته‌های مربوط به تحلیل هوشمند، ارزیابی و یادگیری مستمر نیز از نظر نظری و کاربردی اهمیت زیادی دارد. نتایج پژوهش حاضر نشان دادند که یکی از ویژگی‌های اصلی طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی، توانایی یادگیری از داده‌ها و بهبود مداوم تصمیم‌های طراحی است. این یافته با مطالعه Wang و همکاران درباره تشخیص هوشمند عیب با استفاده از ویژگی‌های چندبعدی و یادگیری چندمنما همسو است؛ زیرا آن مطالعه نشان داد که ترکیب داده‌های چندمنبعی می‌تواند امکان شناسایی دقیق‌تر الگوهای پنهان و بهبود قابلیت اطمینان سامانه‌های صنعتی را فراهم کند (Wang et al., 2025). از این منظر، داده‌های عملکرد محصول پس از تولید و استفاده می‌توانند دوباره وارد

فرایند طراحی شوند و به اصلاح نسل‌های بعدی محصولات کمک کنند. بنابراین، طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی نوعی طراحی یادگیرنده است که در آن مرز میان طراحی، تولید، استفاده، پایش و بازطراحی کاهش می‌یابد.

در مقوله برونداد، نتایج نشان دادند که طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند به بهبود کیفیت و دقت طراحی، افزایش نوآوری و خلاقیت، ارتقای تجربه کاربر، افزایش بهره‌وری، کاهش زمان توسعه، تقویت تصمیم‌گیری و مدیریت دانش طراحی منجر شود. این یافته‌ها با ادبیات موجود در زمینه هوش مصنوعی، طراحی مولد، تولید هوشمند و مدیریت دانش صنعتی همخوانی دارد. برای مثال، ظرفیت طراحی مولد در خلق گزینه‌های متنوع و نوآورانه با یافته‌های Liu و همکاران هماهنگ است (Liu et al., 2025). همچنین، نقش هوش مصنوعی در ارتقای تصمیم‌گیری و بازیابی دانش صنعتی با مطالعه Chen و همکاران همسو است که نشان دادند استفاده از تولید افزوده با بازیابی اطلاعات و مدل‌های زبانی بزرگ می‌تواند مدیریت دانش صنعتی تعاملی را تقویت کند و دانش پراکنده سازمانی را در دسترس تصمیم‌گیرندگان قرار دهد (Chen et al., 2025). از این رو، یکی از مهم‌ترین پیامدهای طراحی صنعتی تعاملی آن است که دانش طراحی از حالت فردی و پراکنده به حالت سازمان‌یافته، قابل بازیابی و قابل استفاده مجدد تبدیل می‌شود.

در سطح سازمانی و راهبردی، یافته‌های پژوهش نشان دادند که طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند به افزایش بهره‌وری، کاهش زمان توسعه محصول و ارتقای هماهنگی میان طراحی، تولید، بازار و زنجیره تأمین کمک کند. این نتیجه با پژوهش Hou و همکاران همراستا است که نشان دادند مدل‌های تولید هوشمند بر انتخاب الگوهای همکاری در زنجیره تأمین اثرگذار هستند و می‌توانند نوع تعامل میان بازیگران صنعتی را تغییر دهند (Hou et al., 2025). همچنین، یافته‌های پژوهش حاضر با مطالعه Alizadeh و همکاران همخوان است که نقش قابلیت‌های هوش مصنوعی را در تقویت اثر بازاریابی B2B بر عملکرد صادراتی در صنعت پتروشیمی نشان دادند (Alizadeh et al., 2026). این همسویی بیانگر آن است که هوش مصنوعی در طراحی صنعتی فقط ابزار فنی برای تولید گزینه‌های طراحی نیست، بلکه می‌تواند پیوند میان طراحی، شناخت مشتری، راهبرد بازار، عملکرد سازمانی و مزیت رقابتی را تقویت کند. به بیان دیگر، طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند به سازمان‌ها کمک کند تا محصولات را طراحی کنند که نه تنها از نظر فنی و زیبایی‌شناختی مطلوب باشند، بلکه با نیازهای بازار، الزامات تولید و راهبردهای رقابتی نیز سازگار باشند.

با این حال، نتایج پژوهش نشان دادند که بروندهای طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی صرفاً مثبت و فنی نیستند، بلکه پیامدهای اخلاقی، اجتماعی، سازمانی و مهارتی نیز دارند. مسائلی مانند اعتماد به خروجی‌های الگوریتمی، شفافیت تصمیم‌ها، سوگیری داده‌ها، مسئولیت‌پذیری در تصمیم‌های طراحی، تغییر نقش طراحان، مالکیت فکری ایده‌های تولیدشده توسط الگوریتم و نیاز به مهارت‌های جدید، از جمله چالش‌هایی هستند که باید مورد توجه قرار گیرند. این یافته با مطالعه Stathatos و همکاران کاملاً همسو است؛ زیرا آنان نشان دادند که سامانه‌های تولید هوشمند با چالش‌های اخلاقی مهمی در حوزه مسئولیت، شفافیت، اعتماد و پیامدهای اجتماعی فناوری مواجه‌اند (Stathatos et al., 2024). بنابراین، طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی باید در چارچوب حکمرانی مسئولانه فناوری توسعه یابد. اگرچه الگوریتم‌ها می‌توانند کیفیت و سرعت طراحی را افزایش دهند، اما تصمیم‌نهایی درباره ارزش، ایمنی، تناسب انسانی، عدالت، پایداری و پیامدهای اجتماعی طراحی همچنان نیازمند قضاوت انسانی و چارچوب اخلاقی روشن است.

در مجموع، یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی را می‌توان به‌عنوان یک نظام طراحی هوشمند، انسان‌محور، داده‌محور، مشارکتی و یادگیرنده تعریف کرد. این نظام از یک سو به زیرساخت‌های فناورانه، داده‌های معتبر، الگوریتم‌های پیشرفته و ابزارهای تحلیلی وابسته است و از سوی دیگر، بدون مشارکت فعال طراح، کاربر، متخصصان فنی و مدیران سازمانی نمی‌تواند به نتایج مطلوب برسد. بنابراین، سهم نظری پژوهش حاضر در آن است که مؤلفه‌های پراکنده موجود در ادبیات را

در قالب چهار مقوله بستر، درونداد، فرایند و برونداد سازمان‌دهی کرده و تصویری جامع از منطق شکل‌گیری و کارکرد طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی ارائه داده است. از نظر کاربردی نیز این چارچوب می‌تواند مبنایی برای توسعه ابزارهای ارزیابی، طراحی مدل‌های اجرایی، تدوین راهبردهای سازمانی و اعتبارسنجی تجربی در صنایع مختلف باشد.

این پژوهش با وجود تلاش برای مرور نظام‌مند و ترکیب جامع مطالعات مرتبط، با چند محدودیت مواجه بود. نخست آنکه داده‌های پژوهش بر اساس مطالعات منتشرشده و منابع قابل دسترس گردآوری شد و ممکن است برخی اسناد صنعتی، گزارش‌های محرمانه سازمانی یا تجربه‌های عملی شرکت‌ها در حوزه طراحی صنعتی مبتنی بر هوش مصنوعی در دسترس نبوده باشند. دوم آنکه ماهیت فراترکیب موجب می‌شود یافته‌ها بر پایه تفسیر و ترکیب مطالعات پیشین شکل گیرد؛ بنابراین، نتایج به صورت مستقیم حاصل مشاهده میدانی یا آزمون تجربی در یک صنعت خاص نیست. سوم آنکه حوزه هوش مصنوعی و طراحی صنعتی با سرعت بسیار زیادی در حال تغییر است و ممکن است برخی فناوری‌ها، ابزارها یا کاربردهای نوظهور پس از دوره بررسی منابع، ابعاد جدیدی به این چارچوب اضافه کنند. همچنین، به دلیل تفاوت صنایع از نظر سطح بلوغ دیجیتال، ساختار سازمانی، نوع محصول، فرهنگ طراحی و دسترسی به داده، تعمیم چارچوب استخراج‌شده به همه زمینه‌های صنعتی باید با احتیاط انجام شود.

پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، چارچوب مفهومی استخراج‌شده در این مطالعه با روش‌های کمی و ترکیبی اعتبارسنجی شود. برای این منظور می‌توان از روش‌هایی مانند دلفی فازی، تحلیل عاملی تأییدی، مدلیابی معادلات ساختاری یا مدل‌سازی تفسیری ساختاری استفاده کرد تا وزن، روابط و اولویت مؤلفه‌ها مشخص شود. همچنین، انجام مطالعات موردی در صنایع مختلف مانند خودروسازی، لوازم خانگی، تجهیزات پزشکی، طراحی مبلمان، طراحی خدمات هوشمند و صنایع خلاق می‌تواند نشان دهد که مؤلفه‌های طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی در هر بافت صنعتی چگونه تغییر می‌کنند. علاوه بر این، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده به بررسی نقش فناوری‌های نوظهور مانند مدل‌های زبانی بزرگ، دوقلوی دیجیتال، واقعیت افزوده، واقعیت مجازی، طراحی مولد، اینترنت اشیا، صنعتی و ربات‌های همکار در فرایند طراحی صنعتی بپردازند. مطالعه ابعاد اخلاقی، حقوقی و اجتماعی این حوزه، به ویژه موضوعاتی مانند مالکیت فکری، سوگیری الگوریتمی، شفافیت، مسئولیت تصمیم‌های طراحی و پذیرش انسانی نیز می‌تواند مسیر پژوهشی مهمی برای توسعه مسئولانه این رویکرد باشد.

با توجه به یافته‌های پژوهش، پیشنهاد می‌شود سازمان‌ها و شرکت‌های صنعتی برای پیاده‌سازی طراحی صنعتی تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی، ابتدا زیرساخت‌های داده‌ای و فناوری‌های خود را تقویت کنند و نظامی منسجم برای گردآوری، ذخیره، پردازش و تحلیل داده‌های کاربر، محصول، محیط و فرایند تولید ایجاد نمایند. همچنین، لازم است تیم‌های طراحی به صورت میان‌رشته‌ای سازمان‌دهی شوند و طراحان صنعتی در کنار متخصصان داده، مهندسان تولید، متخصصان تجربه کاربر، مدیران محصول و کارشناسان اخلاق فناوری فعالیت کنند. سازمان‌ها باید رویکرد انسان در حلقه را در تصمیم‌های طراحی حفظ کنند تا خروجی‌های الگوریتمی بدون ارزیابی انسانی و ملاحظات حرفه‌ای به تصمیم نهایی تبدیل نشوند. افزون بر این، سرمایه‌گذاری در آموزش طراحان برای کار با ابزارهای هوش مصنوعی، طراحی مولد، تحلیل داده، شبیه‌سازی و تفسیر خروجی‌های الگوریتمی ضروری است. در نهایت، توصیه می‌شود شرکت‌ها چارچوب‌های اخلاقی و حکمرانی هوش مصنوعی را برای طراحی صنعتی تدوین کنند تا استفاده از الگوریتم‌ها با شفافیت، مسئولیت‌پذیری، اعتماد، امنیت داده و حفظ نقش خلاقانه انسان همراه باشد.

تقدیر و تشکر

از تمامی کسانی که در انجام این مطالعه همراهی نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

موازن اخلاقی

در پژوهش حاضر تمامی موازن اخلاقی رعایت گردیده است.

شفافیت داده‌ها

داده‌ها و مآخذ پژوهش حاضر در صورت درخواست از نویسنده مسئول و ضمن رعایت اصول کپی رایت ارسال خواهد شد.

حامی مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

References

- Alizadeh, H., Damavandinejad, M., & Behradfar, A. (2026). The role of artificial intelligence capabilities in enhancing the effect of B2B marketing on export performance: A study in the petrochemical industry. *Technology in Entrepreneurship and Strategic Management*, 1-18.
- Chen, L. C., Pardeshi, M. S., Liao, Y. X., & Pai, K. C. (2025). Application of retrieval-augmented generation for interactive industrial knowledge management via a large language model. *Computer Standards & Interfaces*. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2025.103995>
- Fang, T., & Zhang, J. (2023). Path optimization algorithms for energy-efficient collaborative robots. *IEEE Transactions on Robotics*.
- Forlini, M., Papetti, A., Palmieri, G., & Germani, M. (2024). Advancing human-robot collaboration in handcrafted manufacturing: Cobot-assisted polishing design boosted by virtual reality and human-in-the-loop. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 132(9-10), 4489-4504. <https://doi.org/10.1007/s00170-024-13639-z>
- Hou, K., Niu, Z. w., & Zhang, Y. (2025). A model for selecting supply chain collaboration paradigms: The impact of intelligent manufacturing models. *Industrial Management & Data Systems*, 125(5), 1622-1644. <https://doi.org/10.1108/IMDS-05-2024-0430>
- Huang, X., & Li, W. (2025). Landscape renewal design of industrial sites based on environmental thermal sensing and stereoscopic vision: Space thermal energy utilization. *Thermal Science and Engineering Progress*, 60, 103437. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2025.103437>
- Kaleli, A. (2025). Development of advanced automation systems for Industry 5.0. In *Business Challenges and Opportunities in the Era of Industry 5.0* (pp. xx-xx). Emerald Publishing. <https://doi.org/10.1108/978-1-83549-676-320251006>
- Li, D., Crespi, N., Minerva, R., Liang, W., Li, K. C., & Kolodziej, J. (2025). DPS-IIoT: Non-interactive zero-knowledge proof-inspired access control towards information-centric Industrial Internet of Things. *Computer Communications*, 233, 108065. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2025.108065>
- Liu, Y. (2025). Interactive design scheme for building indoor thermal cycle and furniture design based on thermal simulation. *Thermal Science and Engineering Progress*, 59, 103360. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2025.103360>
- Liu, Y., Yang, M., & Jiang, P. (2025). CGAN-driven intelligent generative design of vehicle exterior shape. *Expert Systems with Applications*, 274, 127066. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.127066>
- Schonberger, M. (2024). Integrating artificial intelligence in higher education: Enhancing interactive learning experiences and student engagement through ChatGPT. In *The Evolution of Artificial Intelligence in Higher Education* (pp. xx-xx). Emerald Publishing. <https://doi.org/10.1108/978-1-83549-486-820241002>

- Sheng, G., Wu, H., & Xu, X. (2024). Research on the influence of the digital economy on the development of China's small household appliance industry and enhancement countermeasures. *Chinese Management Studies*. <https://doi.org/10.1108/CMS-08-2023-0324>
- Stathatos, E., Benardos, P., & Vosniakos, G. C. (2024). Ethical challenges in the new era of intelligent manufacturing systems. In *The Ethics Gap in the Engineering of the Future* (pp. xx-xx). Emerald Publishing. <https://doi.org/10.1108/978-1-83797-635-520241004>
- Wang, M., Liu, W., Ning, J., Yu, S., Tang, S., & Li, J. (2025). An integrating multidimensional features method based on multi-view learning for intelligent fault diagnosis of rolling bearings. *Engineering Computations*, 42(4), xx-xx. <https://doi.org/10.1108/EC-04-2024-0555>