43815
Iranian Educational Technology Association

Journal of
Trends and Achievements in
Learning Technology

Homepage: https://jlt.iaet.ir/

A Systematic Review of the Application of Artificial Intelligence in Representing and Facilitating the Understanding of Abstract Phenomena and Concepts in Science Instruction

Salimeh Lakzang [1] | **Ghodratollah Khalifeh** [2*]

1. Department of Foundation of Education, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: zandisalimeh@gmail.com

2. *Corresponding Author,* Department of Foundation of Education, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: gh.khalifeh@saadi.shirazu.ac.ir

Print ISSN:
3060-7167
Online ISSN:
3060-656X

Article Type:
Research Article

Article history:
Received May 24, 2026
Received in revised form July 10, 2026
Accepted September 07, 2026
Published Online September 27, 2026

Keywords:
Artificial intelligence, Science instruction, Abstract phenomena and concepts, Representation

ABSTRACT

This qualitative study investigated the mechanisms, effects, and implications of applying Artificial Intelligence (AI) to represent and facilitate the understanding of abstract phenomena and concepts in elementary science education. The study employed a systematic review and thematic synthesis approach guided by the PRISMA statement. Relevant studies published between 1390–1404 Solar Hijri (2010–2025 AD) were identified through purposive sampling from domestic databases (Magiran, IranDoc, Civilica, and Noormags) and international databases (Web of Science, Scopus, ScienceDirect, and Google Scholar). After removing duplicates and applying the inclusion and exclusion criteria, 10 studies were selected for thematic analysis. Findings indicated that AI, through multimodal representations, interactive simulations, knowledge modeling, and personalized learning, substantially improves students' understanding of abstract concepts in elementary science. It reduces cognitive load, strengthens causal reasoning, enhances learner motivation and engagement, and promotes deep conceptual and inquiry-based learning rather than rote memorization. AI therefore has strong potential to transform elementary science education; however, its effective implementation requires sound instructional design, adequate technological infrastructure, and appropriate teacher professional development.

Cite this Article: Lakzang, S., & Khalifeh, GH. (2026). A Systematic Review of the Application of Artificial Intelligence in Representing and Facilitating the Understanding of Abstract Phenomena and Concepts in Science Instruction. *Trends and Achievements in Learning Technology*, 3(11), 185-217. https://doi.org/10.22034/jlt.2026.2089503.1115

© **2026** by The author(s) retain the copyright
Publisher: Iranian Educational Technology Association
DOI: https://doi.org/10.22034/jlt.2026.2089503.1115

Introduction

Teaching experimental sciences plays a fundamental role in developing students' cognitive abilities by helping them observe, explain, and predict natural phenomena (Haug & Odegaard, 2014). However, many scientific concepts—such as force, electricity, cell structure, and astronomical events—are abstract and not directly observable. This abstraction poses a significant challenge for primary school students, who are largely in Piaget's concrete operational stage (ages 7–11) and rely on tangible, sensory experiences for learning (Ghazi & Ullah, 2015). Traditional teaching methods, based on repetition and direct transmission of knowledge, cannot effectively address this challenge (Farrokhnia et al., 2019). In recent years, AI-based technologies—including interactive simulations, virtual reality, and augmented reality—have emerged as promising tools to concretize abstract phenomena and enhance students' understanding (Arici & Yilmaz, 2023; Jiang et al., 2025). AI-powered modeling and simulation allow learners to visualize invisible processes, explore relationships between variables, and receive intelligent feedback (Yufei et al., 2020; Anderson et al., 2025). Despite these benefits, the widespread adoption of AI in primary science education faces challenges such as lack of trained teachers, inadequate equipment, and poor instructional design (Zarnik, 2017; Banda & Nzabahimana, 2022). Although many studies have examined AI's impact on representing abstract concepts, a comprehensive overview of its mechanisms, effects, and consequences remains lacking. Therefore, this study aims to map the existing literature on how artificial intelligence represents complex phenomena and facilitates understanding of abstract concepts in experimental science education.

Research Question(s)

1. What are the mechanisms through which artificial intelligence represents and facilitates understanding of abstract phenomena and concepts in experimental sciences?
2. What impact does artificial intelligence have on the representation of phenomena and abstract concepts in experimental sciences at the primary education level?
3. What are the consequences of applying artificial intelligence to the representation of phenomena and abstract concepts in experimental sciences?

Literature Review

Most existing studies on AI in education have focused on secondary and higher education or on general outcomes like academic achievement and motivation, while few have specifically addressed the role of AI in representing abstract concepts at the primary level (Zawacki-Richter et al., 2019; Holmes et al., 2019). This is although abstract concepts pose major challenges for young learners (Vosniadou, 2013). Traditional teaching methods, such as verbal explanation and memorization, are insufficient for conveying complex, abstract ideas (Potter, 2024). In contrast, interactive simulations and immersive environments have been shown to enhance understanding of abstract concepts (Arici & Yilmaz, 2023; Jiang et al., 2025). AI-based modeling enables visual representation of invisible processes like electric current or cell division, deepening learning (Yufei et al., 2020). Overall, AI can be a transformative tool for representing abstract concepts, provided it is designed according to students' developmental needs.

Methodology

This qualitative study employed a systematic review and theme-synthesis approach. Following the PRISMA guidelines, relevant studies were systematically identified, evaluated, and coded, and their findings were analytically integrated into common themes and mechanisms. The search covered Iranian databases (Magiran, IranDoc, Civilica, Noormags) and international databases (SpringerLink, Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar) from 2010–2025 (Persian sources: 2011–2025). Keywords related to AI, science education, primary school, abstract concepts, and conceptual understanding were combined using AND/OR operators. After screening, 10 studies most aligned with the research objectives were selected for final analysis. Thematic analysis was used to code and organize findings into three main categories: (a) AI mechanisms (e.g., multimodal representation, knowledge modeling, personalization), (b) types of impact on representation (e.g., reducing abstraction, causal explanation, active interaction), and (c) multidimensional consequences (educational, motivational, behavioral, and metacognitive). Findings are presented as an analytical narrative and three systematic tables.

Results

Research Question 1: What are the mechanisms through which AI represents and facilitates understanding of abstract phenomena and concepts in experimental sciences?

The systematic review reveals that AI facilitates understanding of abstract scientific concepts through several cognitive and representation-oriented mechanisms. First, AI generates multimodal representations (text, images, interactive structures) that reduce cognitive load and provide diverse perceptual pathways (Mayer, 2021; Holmes et al., 2019). Second, through knowledge modeling, AI organizes concepts into semantic and network structures, helping learners see relationships between scientific phenomena (VanLehn, 2011; Woolf, 2021). Third, personalization allows AI to adapt representations to each learner's cognitive characteristics and prior knowledge (Zawacki-Richter et al., 2019; Chen et al., 2020). Fourth, data-driven learning analyzes interaction patterns to optimize how abstract concepts are presented (Zawacki-Richter et al., 2019). Finally, dynamic representation displays concepts as evolving processes, which is particularly helpful for understanding gradual changes in scientific phenomena (Mayer, 2021). Together, these complementary mechanisms serve as a cognitive bridge, transforming abstract scientific knowledge into understandable and meaningful structures.

Research Question 2: What impact does AI have on representing abstract phenomena and concepts in experimental sciences at the primary education level?

At the primary level, AI acts as an active cognitive mediator with multidimensional impacts on representing and understanding abstract concepts. Cognitively, AI reduces abstraction by converting invisible scientific concepts (e.g., water cycle, forces) into simple, imaginable representations suited to young learners' concrete operational stage (Holmes et al., 2019; Mayer, 2021). Structurally, AI supports conceptual structuring by displaying relationships between scientific concepts in simplified, networked ways, moving learners from isolated facts to coherent mental models (VanLehn, 2011; Woolf, 2021). AI also provides immediate error correction, addressing misconceptions as they occur (Holmes et al., 2019). Furthermore, AI enables explanation of causal relationships by simplifying cause-and-effect links in scientific phenomena, helping learners understand processes step by step (Holzinger et al., 2019). Finally, AI promotes active cognitive engagement through intelligent dialogues and guided inquiry, transforming learning from passive reception to exploratory meaning-making (Luckin et al., 2016; Kasneci et al., 2023).

Research Question 3: What are the consequences of applying AI to represent abstract phenomena and concepts in experimental sciences?

The application of AI to represent abstract concepts in experimental sciences yields multidimensional consequences across educational, motivational, behavioral, and metacognitive domains. Educationally, AI improves teaching effectiveness through personalized content and adaptive learning paths, leading to better academic performance and preventing superficial learning (Zawacki-Richter et al., 2019; Woolf, 2021). Motivationally and emotionally, AI increases learning motivation and reduces anxiety toward complex scientific concepts by making interactions engaging and providing positive feedback (Chen et al., 2020; Luckin et al., 2016). Behaviorally, AI transforms passive learning into active, exploratory, and interactive processes, increasing learner engagement and participation (Kasneci et al., 2023). Metacognitively, AI strengthens self-regulated learning skills by providing targeted feedback and step-by-step guidance, helping learners identify and correct their own errors (Holmes et al., 2019; Woolf, 2021). Overall, AI facilitates a shift from rote memorization to deep, meaningful, and transferable conceptual understanding.

Conclusion

This systematic review examined AI's mechanisms, impacts, and consequences for representing abstract concepts in primary science education. Findings show that AI acts as an intelligent cognitive mediator, not just a tool. AI employs six key mechanisms—multimodal representation, knowledge modeling, personalization, data-driven learning, dynamic representation, and cognitive reconstruction—that transform abstract concepts into understandable forms (Mayer, 2021; VanLehn, 2011). At the primary level, AI reduces abstraction, structures concepts, corrects errors, explains causal relationships, and promotes active engagement, all aligned with young learners' concrete operational stage (Holmes et al., 2019). The consequences of AI use are multidimensional: educational (personalized learning, better performance), motivational (increased interest, reduced anxiety) , behavioral (active engagement), and metacognitive (enhanced self-regulation) (Azevedo & Aleven, 2013; Deci & Ryan, 2000). Overall, AI holds strong potential to transform science education by shifting learning from memorization to deep conceptual understanding. However, effective use requires proper instructional design, developmental alignment, and teacher training. Future research should test these findings through experimental studies in real classrooms.

Ethical Considerations

Adherence to Research Ethics Principles

This study was conducted in accordance with the principles of research ethics. As a systematic review based exclusively on published literature, it did not involve human participants or the collection of primary data; therefore, ethical approval was not required. The authors adhered to ethical standards throughout the study by avoiding plagiarism, data fabrication, data falsification, and other forms of research misconduct.

Author Contributions

The first author was responsible for the study design, literature search, data extraction, analysis, and drafting of the manuscript. The second author supervised the study, contributed to the research design, critically reviewed and revised the manuscript, and approved the final version. Both authors approved the final manuscript and accept responsibility for its content.

Data Availability Statement

The data supporting the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Declaration of Generative AI and AI-assisted technologies in the writing process

Statement: Generative AI (ChatGPT, OpenAI) was used to improve the language and clarity of the manuscript. All AI-assisted content was carefully reviewed, revised, and verified by the authors, who take full responsibility for the final version of the manuscript.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest

Funding

This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Acknowledgements

The authors would like to express their sincere appreciation to all researchers whose published studies provided the foundation for this systematic review. The authors also gratefully acknowledge the anonymous reviewers for their valuable time, constructive comments, and insightful suggestions, which contributed significantly to improving the quality of this manuscript.

فصلنامه
روندها و دستاوردها در
فناوری یادگیری
Homepage: https://jlt.iaet.ir/
انجمن فناوری آموزشی ایران

مرور نظام‌مند کاربرد هوش مصنوعی در بازنمایی و تسهیل درک پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعیِ علوم تجربی

سلیمه لک‌زنگ [۱] | قدرت‌اله خلیفه [۲*]

۱. گروه آموزشی مبانی تعلیم و تربیت، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: zandisalimeh@gmail.com

۲. *نویسنده مسئول*، گروه آموزشی مبانی تعلیم و تربیت، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: gh.khalifeh@saadi.shirazu.ac.ir

شاپا چاپی:
۳۰۶۰-۷۱۶۷
شاپا الکترونیکی:
۳۰۶۰-۶۵۶x

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخچه مقاله
تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۰۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۱۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۰۵

کلیدواژه‌ها:
هوش مصنوعی،
آموزش علوم تجربی،
پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی،
بازنمایی

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی سازوکارها، تأثیرات و پیامدهای کاربرد هوش مصنوعی در بازنمایی و تسهیل درک پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی در آموزش علوم تجربی دوره ابتدایی انجام شد. طرح پژوهش حاضر کیفی و با رویکرد مرور نظام‌مند و سنتز مضمون‌محور بود. قلمرو پژوهش شامل مطالعات معتبر در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۴ شمسی و ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵ میلادی بود. نمونه پژوهش به روش هدفمند مبتنی بر ملاک انتخاب گردید. راهبرد جستجو مبتنی بر روش پریزما در پایگاه داده‌های داخلی شامل مگ‌ایران، ایران‌داک، سیویلیکا و نورمگز و در چهار پایگاه خارجی Web of Science، ScienceDirect، Scopus، Google Scholar با استفاده از کلیدواژه‌های مرتبط جست‌وجو، غربالگری و ارزیابی شدند. پس از حذف موارد تکراری و بررسی معیارهای ورود و خروج، ۱۰ مقاله برای تحلیل نهایی انتخاب شد. داده‌ها با روش تحلیل مضمون بررسی و مضامین اصلی استخراج شدند. یافته‌ها نشان داد هوش مصنوعی از طریق سازوکارهای بازنمایی چندوجهی، شبیه‌سازی‌های تعاملی، مدل‌سازی دانش و یادگیری شخصی‌سازی‌شده، به درک بهتر پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی در علوم تجربی دوره ابتدایی کمک می‌کند؛ به‌گونه‌ای که بار شناختی را کاهش داده، استدلال علّی را تقویت می‌کند، انگیزش و مشارکت یادگیرندگان را افزایش می‌دهد و یادگیری را از سطح حفظی به درک مفهومی عمیق و اکتشافی ارتقا می‌بخشد. درنتیجه، هوش مصنوعی می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر در تحول آموزش علوم تجربی ابتدایی به کار رود، هرچند موفقیت آن مستلزم طراحی آموزشی مناسب و آمادگی زیرساختی و حرفه‌ای معلمان است.

استناد به این مقاله: لک‌زنگ، سلیمه، و خلیفه، قدرت اله. (۱۴۰۵). مرور نظام‌مند کاربرد هوش مصنوعی در بازنمایی و تسهیل درک پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعیِ علوم تجربی. *نشریه روندها و دستاوردها در فناوری یادگیری*، ۳(۱۱)، ۱۸۵-۲۱۷.
https://doi.org/10.22034/jlt.2026.2089503.1115

© ۲۰۲۶ نویسنده(گان)
ناشر: انجمن فناوری‌های آموزشی ایران

مقدمه

آموزش علوم تجربی یکی از حوزه‌های بنیادین نظام آموزشی است که هدف آن پرورش نسلی خلاق، تحلیل‌گر و توانمند در حل مسائل پیچیده علمی است. این درس با فراهم‌سازی فرصت‌هایی برای مشاهده، توضیح، پیش‌بینی و تبیین پدیده‌های طبیعی، نقش مهمی در ارتقای توانایی‌های شناختی دانش‌آموزان ایفا می‌کند (Haug & Odegaard, 2014). بااین‌حال، بسیاری از پدیده‌ها و مفاهیمی که در علوم تجربی مطرح می‌شوند، همچون نیرو، الکتریسیته، ساختار سلول یا پدیده‌های نجومی، ماهیتی انتزاعی دارند و در محیط واقعی قابل‌مشاهده مستقیم نیستند. همین موضوع سبب می‌شود بخش قابل‌توجهی از دانش‌آموزان مفاهیم را صرفاً در سطح ظاهری یاد بگیرند و هنگام حل مسائل علمی با دشواری مواجه شوند (Potter, 2024). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که درک مفاهیم انتزاعی، ایجاد ارتباط بین رویدادهای علمی و فهم کاربرد آن‌ها در موقعیت‌های واقعی، یکی از مهم‌ترین چالش‌های یادگیری مفاهیم و مباحث علوم تجربی است (مصرآبادی و همکاران، ۱۳۹۹؛ محمدی‌نژاد و نیکبخت، ۱۴۰۰).

روش‌های سنتی آموزش که غالباً بر تکرار، توضیح شفاهی و انتقال مستقیم دانش تکیه دارند، نمی‌توانند این چالش را برطرف کنند؛ زیرا امکان مشاهده و تجربه مستقیم پدیده‌ها را برای دانش‌آموزان فراهم نمی‌سازند (Farrokhnia et al., 2019). در دوره ابتدایی، دانش‌آموزان عمدتاً در مرحله عملیات عینی نظریه رشد شناختی پیاژه قرار دارند؛ مرحله‌ای که معمولاً بازه سنی حدود ۷ تا ۱۱ سال را دربرمی‌گیرد و در آن تفکر منطقی کودک بر اشیاء، رویدادها و موقعیت‌های عینی و قابل‌مشاهده استوار است، درحالی‌که پردازش مفاهیم انتزاعی و پیچیده، بدون تکیه بر تجارب حسی و بصری برای او دشوار است (Ghazi & Ullah, 2015). ازاین‌رو، امروزه استفاده از فناوری‌های نوین مانند فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در آموزش علوم تجربی به‌عنوان یک ضرورت مطرح شده است.

کاربرد فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی نظیر شبیه‌سازهای تعاملی، واقعیت مجازی و واقعیت افزوده می‌تواند با ایجاد تجربیات غوطه‌ور و تعاملی، پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی علوم تجربی را عینی نموده و درک روابط بین پدیده‌ها را در دانش‌آموزان ارتقا بخشد (Arici & Yilmaz, 2023; Jiang et al., 2025). با توجه به پژوهش‌های اخیر، هوش مصنوعی و

شبیه‌سازی‌های تعاملی، می‌توانند یادگیری مفاهیم انتزاعی علوم تجربی را به شیوه‌ای عمیق، شخصی‌سازی‌شده و انگیزه‌بخش تسهیل کنند (Luckin et al., 2016; Holmes et al., 2019). این فناوری‌ها امکان بازنمایی پدیده‌های نامرئی مانند جریان الکتریکی، ساختار سلولی یا چرخه آب را به‌صورت بصری و ملموس فراهم می‌کنند و از طریق محیط‌های تعاملی، فرصت آزمون‌وخطاهای امن و مشاهده پیامدهای تغییر متغیرها را به دانش‌آموزان ارائه می‌دهند (Roll & Wylie, 2016).

در سال‌های اخیر، هوش مصنوعی به‌عنوان یکی از رویکردهای مؤثر در آموزش علوم تجربی توجه زیادی را به خود جلب کرده است. مدل‌سازی و شبیه‌سازی با هوش مصنوعی امکان نمایش پدیده‌های پیچیده، غیرقابل‌مشاهده و انتزاعی را فراهم می‌کند و به دانش‌آموزان کمک می‌کند روابط بین متغیرها را ببینند، پیامدها را تحلیل کنند و مفاهیم را بهتر درک کنند (Yufei et al., 2020). این شبیه‌سازی‌ها با بازنمایی دقیق ساختارها و فرآیندهای علمی مانند منظومه شمسی، چرخه آب، جریان الکتریکی یا تقسیم سلولی، موجب ارتقای سطح یادگیری مفهومی و کاهش خطاهای شناختی دانش‌آموزان می‌شوند (Rutten et al., 2012).

پژوهش‌ها نشان می‌دهند که فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، علاوه بر توانایی در مدل‌سازی، تجربه یادگیری دانش‌آموزان را با ارائه بازخوردهای هوشمند، تنظیم مسیر یادگیری متناسب با نیازهای فردی و افزایش مشارکت فعال تقویت می‌کنند (Anderson et al; 2025; Xue & Wang, 2022). این ظرفیت‌ها در پژوهش‌های داخلی نیز مورد تأیید قرار گرفته است؛ به‌گونه‌ای که هاشمی و میرزایی‌علیعربی (۱۴۰۵) نشان دادند بهره‌گیری از هوش مصنوعی می‌تواند فرایند ارزشیابی یادگیری مفاهیم را بهبود بخشد و بازخوردهای دقیق‌تر و متناسب‌تری در اختیار یادگیرندگان قرار دهد. همچنین این فناوری‌ها با فراهم‌سازی امکان یادگیری شخصی‌سازی‌شده، به‌ویژه برای دانش‌آموزانی که درک مفاهیم انتزاعی برایشان دشوار است، ابزار مؤثری به شمار می‌روند.

بررسی پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که مدل‌سازی مبتنی بر هوش مصنوعی در ارتقای دانش مفهومی دانش‌آموزان تأثیرات مثبتی دارد و می‌تواند جایگزینی مناسب برای روش‌های سنتی آموزش علوم باشد که توانایی کافی در نمایش پدیده‌های پیچیده ندارند (Dwivedi et al., 2021). نتایج این پژوهش‌ها همچنین بیانگر آن است که استفاده از مدل‌سازی هوش مصنوعی

نه‌تنها باعث افزایش عمق یادگیری می‌شود، بلکه موجب افزایش انگیزه و علاقه دانش‌آموزان به درس علوم نیز می‌گردد (Chen et al., 2020). باوجوداین فواید، هنوز در بسیاری از نظام‌های آموزشی، ازجمله در مدارس ابتدایی، استفاده گسترده از هوش مصنوعی با چالش‌هایی مانند کمبود معلمان متخصص، نبود تجهیزات مناسب و ضعف در طراحی محتوای آموزشی مبتنی بر هوش مصنوعی مواجه است (Zarnik, 2017; Banda & Nzabahimana, 2022). افزون بر این، شمس و همکاران (۱۴۰۵) نشان دادند که پذیرش موفق هوش مصنوعی در محیط‌های آموزشی، مستلزم فراهم بودن زیرساخت‌های فناورانه، آمادگی سازمانی و توسعه شایستگی‌های کاربران است؛ عواملی که می‌توانند بر میزان بهره‌گیری مؤثر از این فناوری در مدارس نیز تأثیرگذار باشند.

مباحث مطرح‌شده حاکی از آن است که آموزش پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی و درک روابط میان آن‌ها در درس علوم تجربی دوره ابتدایی، به دلیل ویژگی‌های شناختی دانش‌آموزان و اتکای تفکر آنان بر تجربه‌های عینی و محسوس، با چالش‌های جدی روبه‌رو است و روش‌های سنتی آموزشی پاسخ‌گوی این نیازها نیستند؛ بنابراین، بررسی اثربخشی فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در بازنمایی پدیده‌ها، تسهیل درک مفاهیم انتزاعی و ارتقای مهارت‌های شناختی دانش‌آموزان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Holmes et al., 2019).

با وجود رشد قابل‌توجه پژوهش‌ها در زمینه کاربرد هوش مصنوعی در آموزش علوم تجربی، بررسی ادبیات موجود نشان می‌دهد که این مطالعات عمدتاً بر ارزیابی اثربخشی ابزارها یا فناوری‌های خاص، مانند شبیه‌سازهای هوشمند، واقعیت افزوده، واقعیت مجازی یا سامانه‌های یادگیری تطبیقی، متمرکز بوده‌اند و هر یک تنها بخشی از ظرفیت‌های هوش مصنوعی را در فرایند آموزش علوم بررسی کرده‌اند. افزون بر این، یافته‌های پژوهش‌های پیشین غالباً به‌صورت پراکنده گزارش شده و بر یک موضوع، یک فناوری یا یک پیامد آموزشی خاص تمرکز داشته‌اند؛ ازاین‌رو، هنوز تصویری یکپارچه از سازوکارهای بازنمایی پدیده‌های پیچیده، چگونگی تسهیل درک مفاهیم انتزاعی و پیامدهای شناختی و آموزشی این حوزه ارائه نشده است. همچنین، تاکنون مرور نظام‌مند جامعی که با تلفیق شواهد پژوهشی موجود بتواند یافته‌های مطالعات انجام‌شده را به‌صورت یکپارچه تحلیل، مقایسه و طبقه‌بندی کند، گزارش نشده است. این خلأ موجب شده است که تصویری روشن از وضعیت دانش موجود، روندهای پژوهشی، نقاط قوت و محدودیت‌های مطالعات انجام‌شده و زمینه‌های نیازمند پژوهش‌های آتی در اختیار پژوهشگران

و برنامه‌ریزان آموزشی قرار نگیرد. ازاین‌رو، پژوهش حاضر با هدف مرور نظام‌مند مطالعات منتشرشده در منابع فارسی و انگلیسی و سنتز شواهد موجود، به دنبال ترسیم وضعیت دانش موجود درباره نقش فناوری‌ها و ابزارهای هوش مصنوعی در بازنمایی پدیده‌های پیچیده و تسهیل درک مفاهیم انتزاعی در درس علوم تجربی دوره ابتدایی است. درنهایت، این مرور نظام‌مند در پی پاسخ‌گویی به سه سؤال اصلی زیر است:

۱. سازوکارهای هوش مصنوعی در بازنمایی و تسهیل درک پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی علوم تجربی چگونه است؟
۲. هوش مصنوعی چه تأثیری بر بازنمایی پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی علوم تجربی دوره ابتدایی دارد؟
۳. پیامدهای کاربرد هوش مصنوعی در بازنمایی پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی علوم تجربی چیست؟

پیشینه پژوهش

با وجود گسترش پژوهش‌ها درباره کاربرد هوش مصنوعی در آموزش، بررسی ادبیات این حوزه نشان می‌دهد که بخش عمده مطالعات پیشین بر سطوح آموزش متوسطه و عالی یا بر پیامدهای کلی یادگیری نظیر پیشرفت تحصیلی، انگیزش و تعامل یادگیرندگان متمرکز بوده‌اند (Zawacki-Richter et al., 2019; Holmes et al., 2019; Chen et al., 2020). در مقابل، پژوهش‌های اندکی به‌طور مشخص به نقش و تأثیرات هوش مصنوعی در بازنمایی پدیده‌های پیچیده، تسهیل فهم مفاهیم انتزاعی و عینی‌سازی آن و روابط بین پدیده‌ها در دوره ابتدایی پرداخته‌اند؛ درحالی‌که این مفاهیم، به دلیل ماهیت غیرمحسوس و پیچیده خود، از چالش‌های اساسی یادگیری علوم تجربی در این دوره محسوب می‌شوند (Vosniadou, 2013). افزون بر این، اغلب مطالعات موجود کمتر به انطباق قابلیت‌های هوش مصنوعی با ویژگی‌های شناختی دانش‌آموزان دوره ابتدایی، به‌ویژه نیاز آنان به عینی‌سازی، مشاهده و تجربه مستقیم پدیده‌ها توجه کرده‌اند.

پژوهش‌های Potter (2024) و مصرآبادی و همکاران (۱۳۹۹) نشان دادند که روش‌های سنتی آموزشی، مانند توضیح شفاهی و تکرار حفظیات، توانایی کافی برای انتقال مفاهیم پیچیده و

انتزاعی به دانش‌آموزان ندارند و موجب یادگیری سطحی می‌شوند؛ بنابراین، نیاز به استفاده از روش‌ها و فناوری‌های جدیدتر و اثربخش‌تری وجود دارد.

مطالعات Arici & Yilmaz (2023) و Jiang et al (2025) نشان می‌دهند که ابزارهایی مانند شبیه‌سازی‌های تعاملی و محیط‌های یادگیری غوطه‌ور می‌توانند درک مفاهیم انتزاعی را در دانش‌آموزان ارتقا دهند و یادگیری را از سطح حفظیات به فهم مفهومی عمیق منتقل کنند.

پژوهش Rutten et al. (2012) نشان داد که هوش مصنوعی به‌عنوان یک فناوری نوین آموزشی، ظرفیت‌های قابل‌توجهی در تسهیل یادگیری علوم دارد. Yufei et al. (2020) نیز نشان دادند که مدل‌سازی و شبیه‌سازی مبتنی بر هوش مصنوعی امکان نمایش فرآیندها و پدیده‌های غیرقابل‌مشاهده، مانند جریان الکتریکی، چرخه آب یا تقسیم سلولی را به‌صورت بصری فراهم می‌کند و یادگیری را تعمیق می‌بخشد.

تحلیل مطالعات پیشین نشان می‌دهد که اگرچه بیشتر پژوهش‌ها درباره کاربرد هوش مصنوعی در آموزش علوم بر اثربخشی این فناوری در بهبود یادگیری، افزایش انگیزش و ارتقای تعامل یادگیرندگان اتفاق‌نظر دارند، اما ازنظر دامنه، رویکرد و محورهای موردبررسی تفاوت‌های قابل‌توجهی میان آن‌ها مشاهده می‌شود. بخش عمده این مطالعات بر ارزیابی یک ابزار یا فناوری خاص، مانند شبیه‌سازی‌های تعاملی، واقعیت افزوده یا سامانه‌های هوشمند آموزشی، متمرکز بوده‌اند و کمتر به تحلیل سازوکارهای شناختی مؤثر در بازنمایی پدیده‌های پیچیده و تسهیل فهم مفاهیم انتزاعی پرداخته‌اند. افزون بر این، بیشتر پژوهش‌ها در محیط‌های آموزشی خاص یا در سطوح متوسطه و آموزش عالی انجام شده‌اند و شواهد مربوط به دوره ابتدایی همچنان محدود و پراکنده است. همچنین، اگرچه اغلب مطالعات پیامدهای مثبتی برای کاربرد هوش مصنوعی گزارش کرده‌اند، تفاوت در نوع فناوری، طراحی پژوهش، جامعه آماری و شاخص‌های ارزیابی، مقایسه و تعمیم نتایج را با دشواری مواجه ساخته است. ازاین‌رو، هنوز تصویری منسجم از سازوکارها، پیامدها، فرصت‌ها، محدودیت‌ها و روندهای پژوهشی این حوزه در آموزش علوم تجربی دوره ابتدایی وجود ندارد. این خلأ، ضرورت انجام یک مرور نظام‌مند را برای تلفیق، تحلیل انتقادی و طبقه‌بندی یافته‌های موجود به‌منظور ارائه چارچوبی جامع برای پژوهشگران و برنامه‌ریزان آموزشی آشکار می‌سازد.

روش

طرح پژوهش حاضر از نوع کیفی و با رویکرد مرور نظام‌مند و سنتز مضمون‌محور انجام شد. برای سنتز یافته‌های مطالعات منتخب، از رویکرد سنتز مضمون توماس و هاردن (Thomas & Harden, 2008) استفاده شد که شامل سه مرحله کدگذاری متن یافته‌های مطالعات اولیه، سازمان‌دهی کدها در قالب مضامین توصیفی و توسعه مضامین تحلیلی است. هدف پژوهش، شناسایی و تبیین چگونگی سازوکارها، تأثیرات و پیامدهای هوش مصنوعی در بازنمایی و تسهیل درک پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی در آموزش علوم تجربی دوره ابتدایی بود؛ بنابراین، این رویکرد امکان تلفیق نظام‌مند یافته‌های پژوهش‌های پیشین و استخراج الگوهای مفهومی مرتبط با نقش هوش مصنوعی در بازنمایی و تسهیل درک مفاهیم انتزاعی علوم تجربی را فراهم می‌کند.

با توجه به ماهیت پژوهش، قلمرو مطالعه شامل کلیه مطالعات مرتبط با موضوع موردبررسی بود که به‌صورت هدفمند و بر اساس معیارهای از پیش تعیین‌شده انتخاب شدند. منابع پژوهش شامل پایگاه‌های اطلاعاتی داخلی مگ‌ایران، ایرانداک، سیویلیکا و نورمگز و نیز پایگاه‌های بین‌المللی SpringerLink، Web of Science، ScienceDirect و Google Scholar بودند. مطالعات موردبررسی شامل منابع منتشرشده به دو زبان فارسی و انگلیسی بود. در بخش منابع فارسی، مقالات منتشرشده در مجلات علمی داخلی و پایگاه‌های اطلاعاتی فارسی مورد جست‌وجو و بررسی قرار گرفتند و در بخش منابع انگلیسی، مطالعات منتشرشده در مجلات و پایگاه‌های بین‌المللی معتبر بررسی شدند. انتخاب این دو زبان با هدف دستیابی به تصویری جامع‌تر از وضعیت پژوهش در حوزه کاربرد هوش مصنوعی در آموزش علوم تجربی و کاهش احتمال سوگیری ناشی از محدود کردن جست‌وجو به یک زبان انجام شد. بازه زمانی جستجو برای منابع داخلی از سال ۱۳۹۰ تا آذر ۱۴۰۴ و برای منابع خارجی از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵ تعیین شد.

کلیدواژه‌های مرتبط با هوش مصنوعی، آموزش علوم تجربی، دوره ابتدایی، مفاهیم انتزاعی، پدیده‌های پیچیده، بازنمایی مفهومی و فهم مفهومی با استفاده از عملگرهای منطقی AND و OR ترکیب شدند تا مطالعات مرتبط به‌صورت جامع شناسایی شوند. معیار ورود شامل مطالعاتی بود که به کاربرد هوش مصنوعی در آموزش علوم تجربی دوره ابتدایی و به‌ویژه در بازنمایی یا تسهیل فهم پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی پرداخته بودند و از روش‌شناسی تجربی، شبه‌تجربی، کیفی

یا مرور نظام‌مند با داده‌های توصیفی – تحلیلی برخوردار بودند. معیار خروج نیز شامل مطالعات صرفاً فنی و غیرآموزشی، مقالات مربوط به دوره‌های تحصیلی غیر از ابتدایی و منابعی بود که متن کامل آن‌ها در دسترس نبود.

با وجود جست‌وجوی منابع فارسی در پایگاه‌های اطلاعاتی داخلی شامل مگ‌ایران، ایرانداک، سیویلیکا و نورمگز، هیچ مطالعه‌ای که به‌طور هم‌زمان معیارهای ورود پژوهش حاضر، شامل کاربرد هوش مصنوعی در آموزش علوم تجربی دوره ابتدایی، بازنمایی پدیده‌های پیچیده یا تسهیل درک مفاهیم انتزاعی را دارا باشد، شناسایی نشد. ازاین‌رو، تمامی مطالعات واردشده در مرحله سنتز نهایی از میان منابع انگلیسی‌زبان انتخاب شدند.

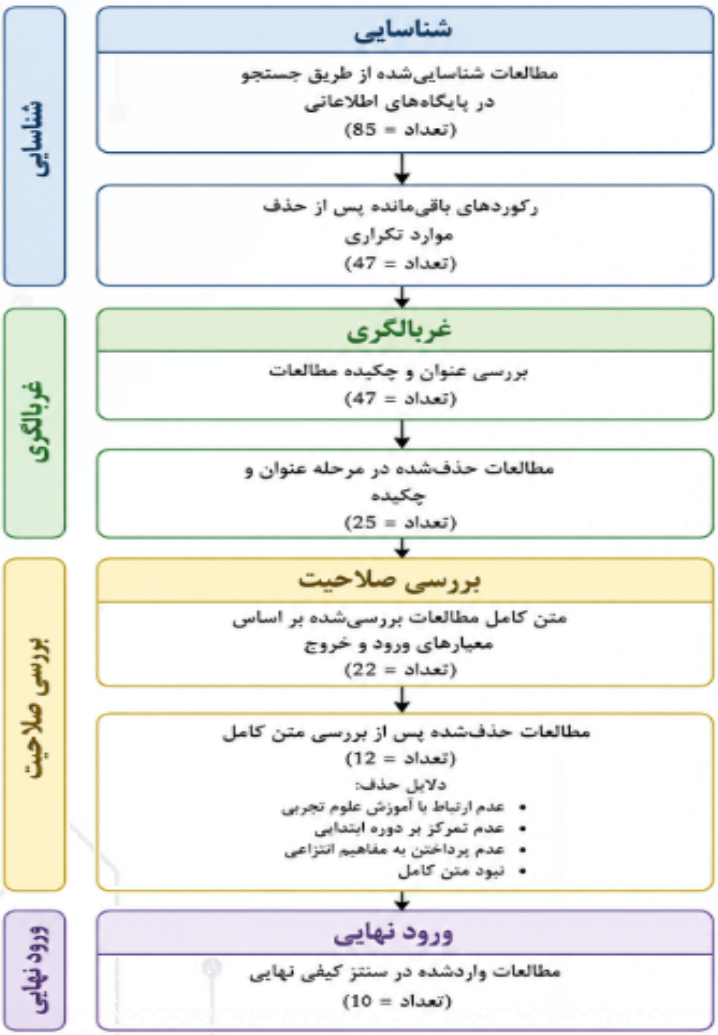
پس از انتخاب اولیه مطالعات بر اساس معیارهای ورود و خروج، کیفیت روش‌شناختی مطالعات با استفاده از چک‌لیست‌های ارزیابی انتقادی مؤسسه جوانا بریگز (Joanna Briggs Institute: JBI) متناسب با نوع طرح پژوهش هر مطالعه بررسی شد. این ابزار امکان ارزیابی نظام‌مند مؤلفه‌هایی مانند وضوح اهداف پژوهش، تناسب روش‌شناسی، کفایت نمونه‌گیری، اعتبار ابزارهای گردآوری داده، روش تحلیل داده‌ها و انطباق نتایج با یافته‌های پژوهش را فراهم می‌کند. ارزیابی کیفیت مطالعات توسط پژوهشگران انجام شد و موارد اختلاف از طریق بحث و توافق بررسی گردید. نتایج ارزیابی کیفیت نشان داد که مطالعات منتخب از سطح قابل‌قبول کیفیت روش‌شناختی برخوردار بودند و هیچ مطالعه‌ای صرفاً به دلیل کیفیت پایین حذف نشد؛ بلکه ارزیابی کیفیت به‌عنوان مبنایی برای تفسیر میزان اتکاپذیری یافته‌های سنتز مورداستفاده قرار گرفت.

فرایند شناسایی، غربالگری، ارزیابی صلاحیت و انتخاب مطالعات بر اساس دستورالعمل پریزما انجام شد و مراحل آن در نمودار جریان شکل (۱) ارائه شده است. در مرحله شناسایی، مجموعاً ۸۵ رکورد از پایگاه‌های اطلاعاتی داخلی و بین‌المللی استخراج گردید. پس از بررسی و حذف موارد تکراری، ۴۷ رکورد برای مرحله غربالگری عنوان و چکیده باقی ماند. در این مرحله، ۲۵ مطالعه به دلیل عدم انطباق با موضوع پژوهش، تمرکز نداشتن بر کاربرد هوش مصنوعی در آموزش علوم تجربی، مربوط نبودن به دوره ابتدایی یا پرداختن صرفاً فنی به فناوری‌های هوش مصنوعی حذف شدند. در مرحله بررسی متن کامل، ۲۲ مطالعه واجد شرایط اولیه ارزیابی شدند که از میان آن‌ها ۱۲ مطالعه به دلیل عدم برخورداری از معیارهای ورود نهایی (ازجمله نبود تمرکز مشخص بر بازنمایی پدیده‌های پیچیده، تسهیل فهم مفاهیم انتزاعی، یا ارائه

شواهد تحلیلی مرتبط با یادگیری علوم تجربی) کنار گذاشته شدند. درنهایت، ۱۰ مطالعه که بیشترین انطباق محتوایی و روش‌شناختی را با اهداف پژوهش داشتند، برای سنتز مضمون انتخاب شدند. با توجه به ماهیت نسبتاً جدید کاربرد هوش مصنوعی در آموزش علوم تجربی دوره ابتدایی و محدود بودن مطالعاتی که به‌طور هم‌زمان همه معیارهای ورود پژوهش حاضر را پوشش می‌دادند، تعداد مطالعات نهایی منعکس‌کننده وضعیت موجود ادبیات پژوهش در این حوزه است.

شکل ۱.

نمودار جریان انتخاب مطالعات بر اساس دستورالعمل پریزما



برای تحلیل داده‌های گردآوری‌شده از روش سنتز مضمون بر اساس رویکرد توماس و هاردن (Thomas & Harden, 2008) استفاده شد. این رویکرد شامل سه مرحله اصلی: کدگذاری خط‌به‌خط یافته‌های مطالعات منتخب، سازمان‌دهی کدهای مشابه در قالب مضامین توصیفی و توسعه مضامین تحلیلی است. بدین منظور، متن کامل مطالعات منتخب چندین بار مطالعه و بخش‌های مرتبط با سؤالات پژوهش به‌صورت خط‌به‌خط کدگذاری شدند. در ادامه، کدهای مشابه در قالب مقوله‌های میانی و سپس مضامین اصلی سامان‌دهی شدند تا الگوی جامعی از نقش هوش مصنوعی در بازنمایی و تسهیل درک مفاهیم انتزاعی علوم تجربی استخراج گردد. مضامین استخراج‌شده در سه سطح شامل «سازوکارهای هوش مصنوعی» (شامل بازنمایی چندوجهی، مدل‌سازی دانش، بازسازی شناختی، شخصی‌سازی، تحلیل داده و بازنمایی پویا)، «نوع تأثیرات بر بازنمایی» (شامل کاهش انتزاع، ساختاردهی مفهومی، اصلاح خطا، تبیین روابط علّی و تعامل فعال) و «پیامدهای چندبعدی» (شامل ابعاد آموزشی، انگیزشی، رفتاری و فراشناختی) طبقه‌بندی شدند. در این فرایند، مضامین استخراج‌شده به‌طور مستمر با یافته‌های اصلی مطالعات منتخب مقایسه و بازبینی شدند تا انسجام مفهومی، تمایز میان مضامین و اعتبار تحلیلی یافته‌ها حفظ شود. درنهایت، نتایج سنتز مضمون در قالب یک روایت تحلیلی منسجم و سه جدول نظام‌مند ارائه گردید.

یافته‌ها

سؤال ۱. سازوکارهای هوش مصنوعی در بازنمایی و تسهیل درک پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی علوم تجربی چگونه است؟

یافته‌های سنتز مضمون مطالعات منتخب نشان داد که هوش مصنوعی از طریق شش سازوکار اصلی شامل بازنمایی چندوجهی، مدل‌سازی دانش، بازسازی شناختی، شخصی‌سازی یادگیری، تحلیل داده‌های یادگیری و بازنمایی پویا، در تسهیل درک مفاهیم انتزاعی علوم تجربی نقش ایفا می‌کند. این مضامین از طریق مقایسه و کدگذاری یافته‌های گزارش‌شده در مطالعات منتخب استخراج شدند.

۱. **بازنمایی چندوجهی مفاهیم علمی:** یافته‌های مطالعات نشان داد که فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی با ترکیب قالب‌های مختلف ارائه اطلاعات، مانند متن، تصویر، نمودار، شبیه‌سازی

و محیط‌های تعاملی، امکان نمایش ابعاد مختلف پدیده‌های علمی را فراهم می‌کنند.Mayer (2021) بر نقش هماهنگی میان بازنمایی‌های کلامی و دیداری در ایجاد ساختارهای شناختی منسجم تأکید کرده است. همچنین Holmes et al. (2019) نشان داده‌اند که محیط‌های یادگیری هوشمند از طریق ارائه بازخورد و بازنمایی‌های تعاملی می‌توانند فهم مفاهیم پیچیده را تسهیل کنند. بر اساس این یافته‌ها، بازنمایی چندوجهی به‌عنوان سازوکاری شناسایی شد که با کاهش فاصله میان مفهوم علمی و تجربه ادراکی یادگیرنده، درک مفاهیم انتزاعی علوم را تسهیل می‌کند.

۲. **مدل‌سازی دانش و سازماندهی روابط مفهومی**: دومین مضمون استخراج‌شده، مدل‌سازی دانش است. بررسی مطالعات منتخب نشان داد که هوش مصنوعی با سازماندهی مفاهیم علمی در قالب ساختارهای معنایی و شبکه‌های ارتباطی، به یادگیرندگان در درک روابط میان عناصر مختلف یک پدیده کمک می‌کند. Woolf(2021) نشان داده است که سیستم‌های هوشمند آموزشی می‌توانند دانش را در قالب ساختارهای مفهومی سازماندهی کرده و ارتباط میان مفاهیم را آشکار سازند. همچنین VanLehn (2011) بر نقش سیستم‌های هوشمند در حمایت از فرایندهای شناختی و شکل‌گیری دانش سازمان‌یافته تأکید کرده است؛ بنابراین، این مضمون بیانگر آن است که هوش مصنوعی می‌تواند یادگیری علوم را از سطح حفظ اطلاعات منفرد به سمت درک روابط مفهومی و ساختارهای علمی هدایت کند.

۳. **بازسازی شناختی و کاهش پیچیدگی مفاهیم**: یافته‌های مطالعات نشان داد که هوش مصنوعی با تغییر سطح و قالب ارائه اطلاعات، ساده‌سازی مفاهیم پیچیده و ارائه توضیحات متناسب با سطح شناختی یادگیرندگان، به کاهش دشواری فهم مفاهیم انتزاعی کمک می‌کند. مطالعات Luckin et al. (2016) و Kasneci et al. (2023) بر ظرفیت فناوری‌های هوشمند در تنظیم و سازگار کردن محتوای آموزشی با نیازهای یادگیرندگان تأکید کرده‌اند. بر این اساس، بازسازی شناختی به‌عنوان سازوکاری شناسایی شد که از طریق آن مفاهیم پیچیده علوم تجربی به سطوح قابل‌پردازش‌تر تبدیل شده و امکان شکل‌گیری فهم مفهومی افزایش می‌یابد.

٤. **شخصی‌سازی یادگیری و تطبیق بازنمایی‌ها**: تحلیل مطالعات نشان داد که یکی از قابلیت‌های مهم هوش مصنوعی، توانایی تنظیم نحوه ارائه محتوا بر اساس ویژگی‌ها، نیازها و عملکردهای

متفاوت یادگیرندگان است. Chen et al. (2020) نشان دادند که فناوری‌های هوشمند می‌توانند مسیر یادگیری را متناسب با وضعیت یادگیرنده تنظیم کنند.

همچنین Zawacki-Richter et al (2019) بر نقش هوش مصنوعی در ارائه بازخوردهای هوشمند و ایجاد تجربه‌های یادگیری فردمحور تأکید کرده‌اند. درنتیجه، شخصی‌سازی یادگیری به‌عنوان سازوکاری شناسایی شد که امکان ارائه مفاهیم انتزاعی با سطح پیچیدگی و شیوه بازنمایی متناسب با توانایی‌های شناختی هر یادگیرنده را فراهم می‌کند.

۵. **تحلیل داده‌های یادگیری**: پنجمین مضمون استخراج‌شده، یادگیری مبتنی بر تحلیل داده‌ها است. مطالعات منتخب نشان دادند که سیستم‌های هوش مصنوعی با تحلیل داده‌های حاصل از تعامل یادگیرندگان، مانند پاسخ‌ها، خطاهای رایج و الگوهای رفتاری، می‌توانند اطلاعاتی درباره فرایند یادگیری به دست آورند و بر اساس آن نحوه ارائه مفاهیم را اصلاح کنند. Zawacki-Richter et al. (2019) نشان داده‌اند که تحلیل داده‌های یادگیری می‌تواند به تصمیم‌گیری آموزشی دقیق‌تر و طراحی مداخلات متناسب با نیازهای یادگیرندگان کمک کند. بر اساس این یافته‌ها، تحلیل داده به‌عنوان سازوکاری شناخته شد که امکان شناسایی مشکلات شناختی و تنظیم فرایند بازنمایی مفاهیم علمی را فراهم می‌آورد.

٦. **بازنمایی پویای پدیده‌های علمی**: آخرین مضمون استخراج‌شده، بازنمایی پویای مفاهیم علمی است. یافته‌های مطالعات نشان داد که هوش مصنوعی امکان نمایش فرایندها و تغییرات علمی را به‌صورت مرحله‌ای، تعاملی و قابل‌تغییر فراهم می‌کند. Mayer(2021) بر اهمیت بازنمایی‌های پویا در فهم فرایندهایی تأکید کرده است که در قالب تصاویر ثابت قابل‌درک نیستند. همچنین Holmes et al. (2019) نشان داده‌اند که محیط‌های تعاملی هوشمند می‌توانند مشارکت فعال یادگیرندگان در ساخت دانش را افزایش دهند؛ بنابراین، بازنمایی پویا به دانش‌آموزان کمک می‌کند تا تحول زمانی پدیده‌ها و روابط میان اجزای مختلف آن‌ها را بهتر درک کنند.

درمجموع، سنتز مطالعات منتخب نشان داد که هوش مصنوعی از طریق شش سازوکار اصلی شامل بازنمایی چندوجهی، مدل‌سازی دانش، بازسازی شناختی، شخصی‌سازی یادگیری، تحلیل داده‌های یادگیری و بازنمایی پویا، نقش واسط شناختی میان مفاهیم انتزاعی علوم تجربی و نظام ادراکی یادگیرندگان ایفا می‌کند. این سازوکارها با فراهم کردن امکان مشاهده، تعامل، اصلاح

مسیر یادگیری و انطباق محتوا با نیازهای شناختی دانش‌آموزان، زمینه شکل‌گیری فهم مفهومی عمیق‌تر از پدیده‌های علمی را فراهم می‌سازند. در ادامه، در جدول (۱) خلاصه‌ی چگونگی سازوکارهای هوش مصنوعی و شرح و نقش آن در بازنمایی و تسهیل درک پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی علوم تجربی ارائه شده است.

جدول ۱.

چگونگی سازوکارهای هوش مصنوعی و شرح و نقش آن در بازنمایی پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی علوم تجربی

مضمون اصلی استخراج‌شده	کدهای اولیه استخراج‌شده از مطالعات	نقش سازوکار در بازنمایی و تسهیل درک مفاهیم انتزاعی	منابع نمونه
بازنمایی چندوجهی	ارائه هم‌زمان متن، تصویر، نمودار، شبیه‌سازی، بازنمایی دیداری – کلامی، تعامل چندرسانه‌ای	کاهش فاصله میان مفهوم انتزاعی و تجربه ادراکی یادگیرنده، کاهش بار شناختی و افزایش فهم مفهومی	Mayer (2021); Holmes et al. (2019)
مدل‌سازی دانش و سازمان‌دهی روابط مفهومی	شبکه‌سازی مفاهیم، نمایش روابط بین عناصر علمی، ساختاردهی دانش، ایجاد ارتباط میان مفاهیم	کمک به درک روابط میان پدیده‌ها، ایجاد ساختار مفهومی منسجم و انتقال از حفظ اطلاعات به فهم رابطه‌ای	VanLehn (2011); Woolf (2021)
بازسازی شناختی پدیده‌ها و مفاهیم علمی	ساده‌سازی مفاهیم پیچیده، سطح‌بندی توضیحات، ارائه مثال و تشبیه، تغییر سطح بازنمایی	تبدیل مفاهیم دشوار و انتزاعی به سطوح قابل‌پردازش‌تر و تسهیل شکل‌گیری فهم مفهومی	Kasneci et al. (2023); Luckin et al. (2016)
شخصی‌سازی یادگیری و تطبیق بازنمایی‌ها	تحلیل عملکرد یادگیرنده، تنظیم سطح دشواری، بازخورد هوشمند، مسیر یادگیری فردی	انطباق نحوه ارائه مفاهیم با تفاوت‌های شناختی یادگیرندگان و کاهش شکاف میان محتوا و توانایی فردی	Zawacki-Richter et al. (2019); Chen et al. (2020)
یادگیری مبتنی بر تحلیل داده‌ها	تحلیل پاسخ‌ها، شناسایی خطاهای شناختی، بررسی الگوهای یادگیری، پیش‌بینی نیازهای آموزشی	شناسایی مشکلات یادگیری، اصلاح مسیر آموزش و بهینه‌سازی نحوه ارائه مفاهیم علمی	Zawacki-Richter et al. (2019)
بازنمایی پویای پدیده‌های علمی	نمایش فرایندها، شبیه‌سازی تغییرات زمانی، تعامل با متغیرها، مشاهده تحول پدیده‌ها	امکان مشاهده پدیده‌های غیرقابل‌مشاهده، درک روابط زمانی و علّی و افزایش یادگیری فرایندی	Mayer (2021); Holmes et al. (2019)

۲. هوش مصنوعی چه تأثیری بر بازنمایی پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی علوم تجربی دوره ابتدایی دارد؟

یافته‌های حاصل از سنتز مضمون مطالعات منتخب نشان داد که کاربرد هوش مصنوعی در آموزش علوم تجربی دوره ابتدایی، تأثیرات متعددی بر نحوه بازنمایی و فهم مفاهیم انتزاعی دارد. تحلیل یافته‌های مطالعات نشان داد که این تأثیرات در پنج مضمون اصلی شامل کاهش انتزاع مفاهیم علمی، ساختاردهی مفهومی، اصلاح و کاهش خطاهای مفهومی، تبیین روابط علّی و تقویت تعامل شناختی فعال قابل‌طبقه‌بندی است. این مضامین نشان می‌دهد که هوش مصنوعی از طریق تغییر شیوه ارائه مفاهیم، ایجاد فرصت تعامل و تنظیم تجربه یادگیری، به دانش‌آموزان دوره ابتدایی در عبور از تجربه‌های سطحی به سمت فهم مفهومی کمک می‌کند.

۱. کاهش انتزاع مفاهیم علمی: یکی از مهم‌ترین تأثیرات استخراج‌شده، کاهش سطح انتزاع مفاهیم علمی است. یافته‌های مطالعات منتخب نشان داد که هوش مصنوعی با استفاده از بازنمایی‌های دیداری، شبیه‌سازی‌ها و توضیحات چندسطحی، مفاهیمی را که مشاهده مستقیم آن‌ها برای دانش‌آموزان دشوار است، به شکل قابل‌تصورتر ارائه می‌کند. Mayer(2021) نشان داده است که ترکیب بازنمایی‌های دیداری و کلامی می‌تواند به شکل‌گیری ساختارهای ذهنی منسجم‌تر کمک کند. همچنین، Holmes et al. (2019) گزارش کرده‌اند که محیط‌های یادگیری مبتنی بر فناوری‌های هوشمند، با فراهم کردن بازنمایی‌های تعاملی، فهم مفاهیم پیچیده را برای یادگیرندگان تسهیل می‌کنند. بر اساس این شواهد، کاهش انتزاع مفاهیم به‌عنوان یکی از مهم‌ترین آثار هوش مصنوعی در آموزش علوم ابتدایی شناسایی شد؛ زیرا این فناوری امکان تبدیل پدیده‌های غیرمحسوس به تجربه‌های شناختی قابل‌فهم را فراهم می‌کند.

۲. ساختاردهی مفهومی و ایجاد ارتباط میان پدیده‌های علمی: دومین مضمون استخراج‌شده، تقویت ساختاردهی مفهومی است. بررسی مطالعات منتخب نشان داد که هوش مصنوعی با نمایش ارتباط میان مفاهیم و سازمان‌دهی دانش در قالب ساختارهای مرتبط، به دانش‌آموزان کمک می‌کند تا روابط میان پدیده‌های علمی را بهتر درک کنند. Woolf(2021) نشان داده است که سیستم‌های هوشمند آموزشی می‌توانند دانش را در قالب ساختارهای مفهومی سازمان‌دهی کنند و روابط میان عناصر دانش را آشکار سازند. همچنین VanLehn (2011) بر نقش سیستم‌های

هوشمند در حمایت از فرایندهای شناختی و ایجاد دانش سازمان‌یافته تأکید کرده است. بر این اساس، یافته‌های سنتز نشان داد که هوش مصنوعی می‌تواند یادگیری علوم را از حالت حفظ مجموعه‌ای از اطلاعات پراکنده به سمت ایجاد شبکه‌های مفهومی منسجم هدایت کند.

۳. اصلاح خطاهای مفهومی و کاهش برداشت‌های نادرست: یافته‌های مطالعات نشان داد که سیستم‌های هوشمند از طریق ارائه بازخورد فوری، شناسایی پاسخ‌های نادرست و ارائه توضیحات اصلاحی، می‌توانند در اصلاح برداشت‌های نادرست دانش‌آموزان نقش داشته باشند. مطالعات Holmes et al. (2019) و Woolf (2021) بر اهمیت بازخورد هوشمند در فرایند یادگیری تأکید کرده‌اند. بر اساس این یافته‌ها، هوش مصنوعی با فراهم کردن فرصت اصلاح مستمر فهم دانش‌آموز، از تثبیت مفاهیم نادرست جلوگیری کرده و به شکل‌گیری مدل‌های ذهنی دقیق‌تر درباره پدیده‌های علمی کمک می‌کند.

٤. تبیین روابط علّی و درک فرایندی پدیده‌ها: چهارمین مضمون استخراج‌شده، تبیین روابط علّی میان عناصر و فرایندهای علمی است. مطالعات منتخب نشان دادند که هوش مصنوعی می‌تواند روابط علت و معلولی میان متغیرهای علمی را از طریق مدل‌سازی، شبیه‌سازی و بازنمایی مرحله‌ای آشکار سازد. Holzinger et al. (2019) بر اهمیت قابلیت‌های تبیین‌پذیری سیستم‌های هوشمند در آشکار کردن منطق درونی فرایندها تأکید کرده‌اند. بر اساس این یافته، هوش مصنوعی به دانش‌آموزان کمک می‌کند تا پدیده‌های علمی را صرفاً به‌عنوان مجموعه‌ای از نتایج مشاهده‌شده درک نکنند، بلکه فرایند شکل‌گیری و روابط میان اجزای آن‌ها را نیز بفهمند.

۵. تقویت تعامل شناختی فعال: آخرین مضمون استخراج‌شده، تعامل شناختی فعال است. تحلیل مطالعات نشان داد که محیط‌های هوشمند از طریق گفت‌وگوی تعاملی، پرسش‌گری هدایت‌شده و بازخورد مستمر، دانش‌آموز را از دریافت‌کننده منفعل اطلاعات به مشارکت‌کننده فعال در فرایند یادگیری تبدیل می‌کنند. Luckin et al. (2016) و Kasneci et al. (2023) نشان داده‌اند که فناوری‌های هوشمند می‌توانند فرصت‌هایی برای تعامل، بازاندیشی و مشارکت فعال یادگیرندگان فراهم کنند. بر این اساس، تعامل شناختی فعال به‌عنوان یکی از مسیرهای تأثیرگذاری هوش مصنوعی بر فهم مفاهیم انتزاعی علوم شناسایی شد.

درمجموع، سنتز مطالعات منتخب نشان داد که هوش مصنوعی از طریق کاهش انتزاع مفاهیم، ساختاردهی دانش، اصلاح خطاهای مفهومی، تبیین روابط علّی و تقویت تعامل شناختی، بر کیفیت بازنمایی و فهم مفاهیم انتزاعی علوم تجربی در دوره ابتدایی تأثیر می‌گذارد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که نقش هوش مصنوعی محدود به ارائه اطلاعات نیست، بلکه این فناوری می‌تواند به‌عنوان یک میانجی شناختی، شرایطی را فراهم کند که دانش‌آموزان مفاهیم علمی را متناسب با سطح رشد شناختی خود تجربه، تحلیل و درک کنند. در ادامه، در جدول (۲) خلاصه‌ی تأثیر هوش مصنوعی در بازنمایی و تسهیل درک پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی علوم تجربی ارائه شده است.

جدول ۲.

خلاصه‌ی تأثیر هوش مصنوعی بر بازنمایی پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی علوم تجربی

مضمون اصلی استخراج‌شده	کدهای اولیه استخراج‌شده از مطالعات	توضیح اثر	پیامد اثر	منابع نمونه
کاهش انتزاع مفاهیم	تصویرسازی، شبیه‌سازی، بازنمایی تعاملی	تبدیل مفاهیم غیرمحسوس (مثل نیرو، چرخه آب) به بازنمایی‌های ساده و قابل‌تصور برای کودک	افزایش فهم مفهومی	Holmes et al. (2019); Mayer (2021)
ساختاردهی مفهومی	ارتباط مفاهیم، شبکه دانش	نمایش روابط بین مفاهیم علوم به‌صورت شبکه‌ای و ساده‌شده	ایجاد یادگیری ساختاری	VanLehn (2011); Woolf (2021)
اصلاح خطای مفهومی	بازخورد فوری، اصلاح پاسخ	ارائه پاسخ اصلاحی فوری هنگام خطای دانش‌آموز	کاهش برداشت‌های نادرست	Holmes et al. (2019); Woolf (2021)
تبیین روابط علّی	مدل‌سازی، نمایش فرایند	ساده‌سازی روابط علت و معلول در پدیده‌های علمی	درک فرآیندی پدیده‌ها	Holzinger et al. (2019)
تعامل شناختی فعال	گفت‌وگو، پرسش‌گری، بازخورد	گفت‌وگو با سیستم هوشمند و مشارکت فعال در یادگیری	مشارکت فعال	Luckin et al. (2016)

۳. پیامدهای کاربرد هوش مصنوعی در بازنمایی پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی علوم تجربی چیست؟

یافته‌های حاصل از سنتز مضمون مطالعات منتخب نشان داد که کاربرد هوش مصنوعی در بازنمایی و تسهیل درک مفاهیم انتزاعی علوم تجربی، پیامدهایی چندبعدی در فرایند یادگیری ایجاد می‌کند. تحلیل مطالعات نشان داد که این پیامدها در چهار مضمون اصلی شامل پیامدهای آموزشی، پیامدهای انگیزشی و عاطفی، پیامدهای رفتاری و پیامدهای فراشناختی قابل‌طبقه‌بندی هستند. این مضامین نشان می‌دهند که اثرگذاری هوش مصنوعی صرفاً به انتقال بهتر محتوا محدود نمی‌شود، بلکه ابعاد مختلف تجربه یادگیری دانش‌آموزان را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

۱. پیامدهای آموزشی و ارتقای کیفیت یادگیری: یکی از مهم‌ترین مضامین استخراج‌شده، پیامدهای آموزشی هوش مصنوعی است. یافته‌های مطالعات منتخب نشان داد که سیستم‌های هوشمند آموزشی از طریق شخصی‌سازی محتوا، ارائه بازخورد فوری و تنظیم مسیر یادگیری متناسب با نیازهای یادگیرنده، می‌توانند به بهبود فرایند یاددهی یادگیری علوم تجربی کمک کنند. Woolf (2021) نشان داده است که سیستم‌های آموزشی هوشمند با تحلیل وضعیت یادگیرنده و ارائه حمایت‌های متناسب، امکان ایجاد تجربه‌های یادگیری سازگارتر را فراهم می‌کنند. همچنین Zawacki-Richter et al. (2019) ر نقش هوش مصنوعی در شخصی‌سازی آموزش و بهبود کیفیت تعامل آموزشی تأکید کرده‌اند. بر اساس این یافته‌ها، پیامد آموزشی اصلی هوش مصنوعی، حرکت از آموزش یکسان برای همه یادگیرندگان به سمت تجربه‌های یادگیری متناسب با نیازهای شناختی افراد است.

۲. پیامدهای انگیزشی و عاطفی: دومین مضمون استخراج‌شده، تقویت انگیزش و بهبود تجربه عاطفی یادگیری است. مطالعات منتخب نشان دادند که تعامل با محیط‌های هوشمند، دریافت بازخورد فوری و امکان تجربه فعال مفاهیم علمی می‌تواند نگرش مثبت‌تری نسبت به یادگیری علوم ایجاد کند. Chen et al. (2020) نشان داده‌اند که فناوری‌های هوشمند با فراهم کردن محیط‌های یادگیری تعاملی می‌توانند مشارکت و علاقه یادگیرندگان را افزایش دهند. همچنین Luckin et al. (2016) بر نقش فناوری‌های هوشمند در ایجاد تجربه‌های یادگیری جذاب و معنادار تأکید کرده‌اند؛ بنابراین، یافته‌های سنتز نشان می‌دهد که هوش مصنوعی از طریق کاهش

دشواری ادراک‌شده مفاهیم پیچیده و افزایش تعامل یادگیرنده، می‌تواند به تقویت انگیزه یادگیری علوم تجربی کمک کند.

۳. پیامدهای رفتاری و افزایش مشارکت فعال: مضمون سوم، افزایش مشارکت فعال یادگیرندگان است. تحلیل مطالعات نشان داد که محیط‌های آموزشی مبتنی بر هوش مصنوعی، یادگیری را از یک فرایند دریافت منفعل اطلاعات به فعالیتی تعاملی و اکتشافی تبدیل می‌کنند. Kasneci et al. (2023) نشان داده‌اند که ابزارهای هوشمند از طریق گفت‌وگو، پرسش‌گری و ارائه بازخورد می‌توانند تعامل یادگیرندگان با محتوای آموزشی را افزایش دهند. بر این اساس، یکی از پیامدهای مهم هوش مصنوعی، افزایش درگیری شناختی و رفتاری دانش‌آموزان در فرایند یادگیری است؛ به‌گونه‌ای که یادگیرنده نقش فعال‌تری در ساخت و اصلاح دانش علمی خود ایفا می‌کند.

٤. پیامدهای فراشناختی و تقویت خودتنظیمی یادگیری: چهارمین مضمون استخراج‌شده، تقویت مهارت‌های فراشناختی و خودتنظیمی یادگیری است. یافته‌های مطالعات منتخب نشان داد که سیستم‌های هوشمند با ارائه بازخوردهای مستمر، شناسایی نقاط ضعف و هدایت مرحله‌ای یادگیری، فرصت‌هایی برای بازاندیشی و اصلاح عملکرد فراهم می‌کنند. Holmes et al. (2019) بر نقش بازخوردهای هوشمند در حمایت از فرایند یادگیری و اصلاح عملکرد یادگیرندگان تأکید کرده‌اند. همچنین Woolf (2021) نشان داده است که سیستم‌های هوشمند می‌توانند از طریق ارائه حمایت‌های شناختی، یادگیرندگان را در مدیریت بهتر فرایند یادگیری خود یاری کنند؛ بنابراین، یکی از پیامدهای مهم هوش مصنوعی، افزایش آگاهی یادگیرنده نسبت به فرایند یادگیری و تقویت توانایی خودارزیابی است.

سنتز مطالعات منتخب نشان داد که کاربرد هوش مصنوعی در بازنمایی مفاهیم انتزاعی علوم تجربی، پیامدهایی فراتر از بهبود انتقال محتوا دارد و ابعاد آموزشی، انگیزشی، رفتاری و فراشناختی یادگیری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این فناوری با فراهم کردن بازنمایی‌های متناسب، تعامل هوشمند و حمایت شناختی مستمر، زمینه حرکت از یادگیری سطحی و حفظ‌محور به سمت یادگیری مفهومی، فعال و خودتنظیم را فراهم می‌سازد. در ادامه، در جدول (۳) خلاصه‌ی

ابعاد و نوع پیامدهای کاربرد هوش مصنوعی در جهت بازنمایی و تسهیل درک پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی علوم تجربی ارائه شده است.

جدول ۳.

خلاصه‌ی ابعاد و نوع پیامدهای کاربرد هوش مصنوعی در بازنمایی پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی علوم تجربی

بعد پیامد	کدهای استخراج‌شده از مطالعات	تفسیر پیامد در آموزش علوم تجربی	منابع نمونه
پیامدهای آموزشی	شخصی‌سازی محتوا، مسیر یادگیری تطبیقی، بازخورد فوری	افزایش تناسب آموزش با نیازهای شناختی یادگیرندگان و بهبود کیفیت یادگیری	Zawacki-Richter et al. (2019); Woolf (2021)
پیامدهای انگیزشی و عاطفی	تعامل جذاب، کاهش دشواری ادراک‌شده، تجربه یادگیری مثبت	افزایش علاقه، مشارکت و نگرش مثبت نسبت به علوم	Chen et al. (2020); Luckin et al. (2016)
پیامدهای رفتاری	تعامل فعال، پرسش‌گری، مشارکت در ساخت دانش	تبدیل یادگیری از حالت منفعل به فرایند فعال و اکتشافی	Kasneci et al. (2023)
پیامدهای فراشناختی	بازخورد هوشمند، اصلاح خطا، خودارزیابی	تقویت خودتنظیمی و افزایش آگاهی نسبت به فرایند یادگیری	Holmes et al. (2019); Woolf (2021)

بحث و نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش، بررسی سازوکارها، تأثیرات و پیامدهای هوش مصنوعی در بازنمایی پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعیِ علوم تجربی دوره ابتدایی بود. یافته‌های این مرور نظام‌مند نشان می‌دهد که هوش مصنوعی در بازنمایی و تسهیل درک پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی علوم تجربی، نقشی فراتر از یک ابزار آموزشی ساده ایفا می‌کند و به‌عنوان یک «میانجی شناختی هوشمند» در فرایند یادگیری عمل می‌نماید.

در پاسخ به سؤال نخست پژوهش مبنی بر چگونگی سازوکارهای هوش مصنوعی در بازنمایی و تسهیل درک پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی علوم تجربی، یافته‌ها نشان داد که هوش مصنوعی از طریق سازوکارهای متنوعی همچون بازنمایی چندوجهی، مدل‌سازی دانش، بازسازی شناختی مفاهیم، شخصی‌سازی یادگیری، یادگیری مبتنی بر تحلیل داده و بازنمایی پویای مفاهیم به‌طور هم‌افزا در تبدیل پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی به ساختارهای قابل‌فهم نقش دارند.

این یافته با نظریه یادگیری چندرسانه‌ای همخوان است که بر اهمیت ارائه اطلاعات از طریق کانال‌های متنوع برای کاهش بار شناختی و افزایش درک تأکید دارد (Mayer, 2021). همچنین، نتایج حاضر با دیدگاه‌های مطرح‌شده در حوزه سیستم‌های آموزش هوشمند همخوانی دارد و نشان می‌دهد که هوش مصنوعی می‌تواند با ارائه سازوکارهای متناسب با ظرفیت شناختی یادگیرندگان، پیچیدگی مفاهیم علمی را کاهش داده و فهم آن‌ها را تسهیل کند (VanLehn, 2011; Woolf, 2021). از منظر تحلیلی، آنچه این یافته را متمایز می‌سازد، تأکید بر «ماهیت سازوکاری» هوش مصنوعی است؛ به این معنا که تأثیر این فناوری نه صرفاً در ابزارهای آن، بلکه در نحوه میانجی‌گری شناختی آن در فرایند یادگیری نهفته است. به‌ویژه، سازوکارهایی مانند تحلیل داده‌های یادگیری و تطبیق بازنمایی‌ها با ویژگی‌های شناختی یادگیرنده، نشان می‌دهد که هوش مصنوعی قادر است شکاف میان پیچیدگی مفاهیم علمی و ظرفیت‌های ادراکی دانش‌آموزان را به‌صورت پویا و هوشمندانه کاهش دهد (Zawacki-Richter et al., 2019; Chen et al., 2020). این امر به‌ویژه در مفاهیم انتزاعی علوم تجربی که درک آن‌ها مستلزم پردازش روابط پیچیده و غیرمحسوس است، اهمیت دوچندان دارد.

در پاسخ به سؤال دوم در مورد تأثیرات هوش مصنوعی بر بازنمایی پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی علوم تجربی دوره ابتدایی، یافته‌ها نشان داد که تأثیر هوش مصنوعی چندوجهی و شامل موارد مهمی مانند کاهش انتزاع مفاهیم، ساختاردهی و اصلاح خطای مفهومی، تبیین روابط علّی و تعامل شناختی فعال است. این تأثیرات متناسب با ویژگی‌های رشدی دانش‌آموزان است. در این دوره که یادگیرندگان عمدتاً در مرحله تفکر عینی قرار دارند، هوش مصنوعی با کاهش سطح انتزاع مفاهیم و تبدیل آن‌ها به بازنمایی‌های ملموس و قابل‌تصور، زمینه را برای درک بهتر مفاهیم فراهم می‌کند (Holmes et al., 2019). همچنین، ابزارهای هوش مصنوعی از طریق نمایش روابط مفهومی و علّی، یادگیری را از حالت جزیره‌ای و حفظ‌محور به سمت یادگیری ساختاری و معنادار سوق می‌دهد (VanLehn, 2011). یکی از نکات کلیدی در این بخش، نقش تبیین‌پذیری در هوش مصنوعی است که امکان درک فرآیندهای پنهان و روابط علت و معلولی را فراهم کرده و یادگیری را از سطح توصیفی به سطح تبیینی ارتقا می‌دهد (Holzinger et al., 2019).

این یافته‌ها را می‌توان در چارچوب نظریه‌های شناختی و سازنده‌گرایی نیز تبیین کرد؛ به‌گونه‌ای که هوش مصنوعی با فراهم‌سازی تعامل و بازنمایی‌های متنوع، یادگیری مفاهیم علوم

را از حالت حفظی به یادگیری فعال و معنادار سوق می‌دهد. این موضوع در آموزش علوم تجربی اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا بسیاری از مفاهیم این حوزه برای دانش‌آموزان دوره ابتدایی ماهیتی انتزاعی دارند و نیازمند تبدیل به تجربه‌های ملموس و قابل‌درک هستند (Bransford et al., 2000). همچنین، یافته‌ها نشان داد که ابزارهای هوش مصنوعی از طریق شناسایی خطاهای شناختی و ارائه توضیحات تدریجی و بازنمایی‌های متناسب، به اصلاح برداشت‌های نادرست علمی کمک می‌کنند (VanLehn, 2011; Woolf, 2021). این فرایند موجب می‌شود مفاهیم جدید به‌صورت سازمان‌یافته با ساختار شناختی پیشین دانش‌آموزان پیوند یافته و یادگیری مفهومی عمیق‌تری شکل گیرد. از سوی دیگر، استفاده از محیط‌های تعاملی، شبیه‌سازی‌های پویا و بازنمایی‌های دیداری، موجب افزایش درگیری شناختی و مشارکت فعال دانش‌آموزان می‌شود (de Jong & van Joolingen, 1998). از آنجا که یادگیری در دوره ابتدایی تا حد زیادی وابسته به تجربه‌های عینی و جذابیت‌های بصری است، بنابراین، هوش مصنوعی می‌تواند زمینه فهم بهتر مفاهیم انتزاعی و شکل‌گیری یادگیری پایدارتر را فراهم سازد.

در پاسخ به سؤال سوم، مبنی بر پیامدهای کاربرد هوش مصنوعی در بازنمایی پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی علوم تجربی، نتایج نشان داد که پیامدهای کاربرد هوش مصنوعی در بازنمایی مفاهیم انتزاعی، در چهار بعد اصلی آموزشی، انگیزشی، رفتاری و فراشناختی قابل‌طبقه‌بندی است. این یافته‌ها را می‌توان در چارچوب نظریه‌های یادگیری تطبیقی، انگیزش و فراشناخت تبیین کرد. در بعد آموزشی، هوش مصنوعی با فراهم‌سازی مسیرهای یادگیری شخصی‌سازی‌شده و ارائه بازخوردهای متناسب با سطح توانایی یادگیرندگان، موجب بهبود عملکرد تحصیلی و افزایش اثربخشی آموزش می‌شود. سیستم‌های آموزشی هوشمند با تحلیل داده‌های یادگیری و تنظیم محتوا بر اساس نیازهای فردی، امکان یادگیری متناسب با سرعت و سبک یادگیری هر دانش‌آموز را فراهم می‌کنند (Woolf, 2021; Luckin et al., 2016). این مسئله به‌ویژه در آموزش علوم تجربی دوره ابتدایی اهمیت دارد؛ زیرا تفاوت‌های فردی در درک مفاهیم انتزاعی می‌تواند بر کیفیت یادگیری تأثیر مستقیم بگذارد.

در بعد انگیزشی، یافته‌ها نشان داد که محیط‌های یادگیری مبتنی بر هوش مصنوعی، به دلیل برخورداری از ویژگی‌هایی مانند تعامل، بازخورد فوری، شبیه‌سازی و بازنمایی‌های چندرسانه‌ای، می‌توانند علاقه و درگیری یادگیرندگان را افزایش دهند. این نتایج با نظریه خودتعیین‌گری

همخوان است که بر نقش احساس شایستگی، تعامل و خودمختاری در افزایش انگیزش درونی تأکید دارد (Deci & Ryan, 2000). همچنین، ارائه مفاهیم علمی در قالب‌های دیداری و تعاملی باعث می‌شود دانش‌آموزان ارتباط بیشتری با محتوای علمی برقرار کرده و یادگیری را جذاب‌تر و معنادارتر تجربه کنند (Mayer, 2021). در بعد رفتاری و فراشناختی نیز یافته‌ها نشان می‌دهد که هوش مصنوعی می‌تواند یادگیری را از یک فرایند منفعل به فرایندی فعال، مشارکتی و مبتنی بر خودتنظیمی تبدیل کند. ابزارهای هوشمند با فراهم کردن امکان پایش پیشرفت، ارائه بازخورد مستمر و هدایت یادگیرنده در فرایند حل مسئله، مهارت‌های فراشناختی مانند برنامه‌ریزی، نظارت بر یادگیری و بازاندیشی را تقویت می‌کنند (Azevedo & Aleven, 2013). درنتیجه، دانش‌آموزان نه‌تنها درک عمیق‌تری از مفاهیم علوم تجربی پیدا می‌کنند، بلکه توانایی مدیریت و ارزیابی فرایند یادگیری خود را نیز به‌تدریج توسعه می‌دهند.

در یک جمع‌بندی کلان، می‌توان گفت که هوش مصنوعی از طریق فعال‌سازی سازوکارهای شناختی و بازنمایی، به تغییر در ساختارهای ذهنی یادگیرندگان منجر شده و پیامدهای یادگیری را در سطوح مختلف ایجاد می‌کند. این موضوع نشان می‌دهد که تأثیر هوش مصنوعی در آموزش علوم تجربی، نه خطی و سطحی، بلکه نظام‌مند، چندلایه و تعاملی است. همچنین، بر اساس یافته‌های این مرور نظام‌مند، می‌توان نتیجه گرفت که هوش مصنوعی ظرفیت بالایی برای تحول در آموزش علوم تجربی، به‌ویژه در زمینه‌ی پدیده‌ها و مفاهیم انتزاعی دارد. این فناوری با فراهم‌سازی بازنمایی‌های چندوجهی، تطبیقی و پویا، امکان تبدیل پدیده‌ها و مفاهیم پیچیده و غیرمحسوس به تجربه‌های قابل‌فهم را فراهم می‌کند و از این طریق، یادگیری را از سطح حفظیات به سطح درک مفهومی عمیق ارتقا می‌دهد. همچنین، با ایجاد تعامل فعال، افزایش انگیزه و تقویت مهارت‌های فراشناختی، به بهبود کیفیت کلی یادگیری کمک می‌کند. بااین‌حال، بهره‌گیری مؤثر از هوش مصنوعی در آموزش مستلزم توجه به طراحی آموزشی مناسب، انطباق با ویژگی‌های رشدی یادگیرندگان و آمادگی معلمان برای استفاده از این فناوری است.

در کنار یافته‌های به‌دست‌آمده، این پژوهش دارای محدودیت‌هایی نیز بوده است؛ ازجمله اتکای صرف به مطالعات پیشین در قالب مرور نظام‌مند که ممکن است با محدودیت دسترسی به برخی پژوهش‌های منتشرنشده یا جدید، و نیز ناهمگونی روش‌شناختی در مطالعات منتخب همراه باشد. همچنین، تنوع زمینه‌های فرهنگی و آموزشی در پژوهش‌های بررسی‌شده می‌تواند

بر قابلیت تعمیم نتایج اثرگذار باشد. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، اثربخشی سازوکارها و پیامدهای شناسایی‌شده به‌صورت تجربی و در قالب مطالعات میدانی و آزمایشی در کلاس‌های واقعی دوره ابتدایی مورد آزمون قرار گیرد. علاوه بر این، انجام مطالعات طولی برای بررسی پایداری اثرات هوش مصنوعی بر یادگیری مفاهیم انتزاعی علوم تجربی و نیز بررسی نقش متغیرهایی مانند سواد دیجیتال معلمان، زیرساخت‌های فناورانه مدارس و تفاوت‌های فردی دانش‌آموزان می‌تواند تصویر دقیق‌تری از کاربست این فناوری در آموزش ارائه دهد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع موردتأیید همه آن‌هاست.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول مسئول طراحی پژوهش، جستجوی منابع، استخراج داده‌ها، تحلیل داده‌ها و نگارش پیش‌نویس اولیه مقاله بوده است. نویسنده دوم بر اجرای پژوهش نظارت داشته، در طراحی پژوهش مشارکت کرده، مقاله را به‌صورت انتقادی بازبینی و اصلاح نموده و نسخه نهایی آن را تأیید کرده است. هر دو نویسنده نسخه نهایی مقاله را مطالعه و تأیید کرده‌اند و مسئولیت کامل محتوای آن را بر عهده می‌پذیرند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های این پژوهش از مقالات و منابع علمی منتشرشده استخراج شده است. اطلاعات و داده‌های مورداستفاده در این مطالعه، در صورت درخواست منطقی، توسط نویسنده مسئول در اختیار پژوهشگران قرار خواهد گرفت.

اعلامیه هوش مصنوعی مولد و فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در فرایند نگارش

در فرایند نگارش این مقاله، نویسندگان از ChatGPT (OpenAI) به‌منظور بهبود نگارش علمی، ویرایش زبانی، ارتقای انسجام متن و بازبینی ساختار مقاله استفاده کرده‌اند. پس از استفاده از این ابزار، تمامی مطالب توسط نویسندگان به‌طور کامل بررسی، اصلاح و تأییدشده و مسئولیت کامل محتوای مقاله بر عهده نویسندگان است.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که در ارتباط با این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافعی وجود ندارد.

حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه حمایت مالی از سازمان‌ها، نهادهای دولتی، خصوصی یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

سپاسگزاری

نویسندگان از تمامی پژوهشگرانی که نتایج مطالعات آنان زمینه انجام این مرور نظام‌مند را فراهم کرده است، صمیمانه قدردانی می‌کنند. همچنین از داوران محترم مجله به دلیل صرف وقت و ارائه دیدگاه‌های علمی و سازنده برای بهبود کیفیت مقاله، سپاسگزاری می‌شود.

منابع

شمس، عارف، امین‌موسوی، سید عبداله، و ملکی‌نیا، محمد. (۱۴۰۵). پیشران‌های بنیادین پذیرش هوش مصنوعی در سازمان‌های آموزش‌محور: یک مدل علّی غیرخطی مبتنی بر ISM–MICMAC. *روندها و دستاوردها در فناوری یادگیری*، *۱*(۳)، ۱۰۷–۱۴۲. https://doi.org/10.22034/jlt.2026.2081055.1072

محمدی‌نژاد، علی‌رضا، و نیکبخت، امید. (۱۴۰۰). تحلیل تأثیر برنامه‌های آموزشی مبتنی بر فناوری‌های واقعیت مجازی در بهبود یادگیری مفاهیم پیچیده. *پژوهش و نوآوری در تربیت و توسعه*، *۱*(۱)، ۱–۱۲. https://doi.org/10.61838/jsied.1.1.1

مصرآبادی، جواد، فرید، ابوالفضل، و باغبانی، زهرا. (۱۳۹۹). اثربخشی سازمان‌دهنده‌های تصویری بر دانش، درک و کاربرد مفاهیم علوم تجربی. *آموزش و ارزشیابی*، *۱۳*(۵۲)، ۱۳–۳۶. https://doi.org/10.30495/jinev.2021.680634

هاشمی، نوروز، و میرزایی‌علیعربی، روح‌الله. (۱۴۰۵). ارزشیابی یادگیری مفهوم حد با استفاده از هوش مصنوعی. *روندها و دستاوردها در فناوری یادگیری*، *۱*(۳)، ۳۳–۶۹. https://doi.org/10.22034/jlt.2026.2078437.1064

References

Anderson, J. E., Nguyen, C. A., & Moreira, G. (2025). Generative AI-driven personalization of the Community of Inquiry model: Enhancing individualized learning experiences in digital classrooms. *International Journal of Information and Learning Technology*, *42*(3), 296–310. https://doi.org/10.1108/IJILT-10-2024-0240

Arici, F., & Yilmaz, M. (2023). An examination of the effectiveness of problem-based learning method supported by augmented reality in science education. *Journal of Computer Assisted Learning*, *39*(2), 446–476. https://doi.org/10.1111/jcal.12752

Azevedo, R., & Aleven, V. (2013). *Metacognition and learning technologies: An overview of current interdisciplinary research*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5546-3

Banda, H., & Nzabahimana, J. (2022). The impact of Physics Education Technology (PhET) interactive simulation based learning on motivation and academic achievement among Malawian physics students. *Journal of Science Education and Technology*, *32*, 127–141. https://doi.org/10.1007/s10956-022-10010-3

Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (2000). *How people learn: Brain, mind, experience, and school*. National Academy Press. https://doi.org/10.17226/9853

Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2020). Artificial intelligence in education: A review. *IEEE Access*, *8*, 75264–75278. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988510

Chen, X., Xie, H., Zou, D., & Hwang, G. J. (2020). Application and theory gaps during the rise of artificial intelligence in education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, *1*, 100002. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2020.100002

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The "what" and "why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry*, *11*(4), 227–268. https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104_01

de Jong, T., & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research, 68*(2), 179–201. https://doi.org/10.3102/00346543068002179

Dwivedi, Y. K., Hughes, L., Ismagilova, E., Aarts, G., Coombs, C., Crick, T., Duan, Y., Dwivedi, R., Edwards, J., Eirug, A., Galanos, V., Ilavarasan, P. V., Janssen, M., Jones, P., Kar, A. K., Kizgin, H., Kronemann, B., Lal, B., Lucini, B., Medaglia, R., … Williams, M. D. (2021). Artificial Intelligence (AI): Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy. *International Journal of Information Management, 57*, Article 101994. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.08.002

Farrokhnia, M., Pijeira-Díaz, H. J., Noroozi, O., & Hatami, J. (2019). Computer-supported collaborative concept mapping: The effects of different instructional designs on conceptual understanding and knowledge co-construction. *Computers & Education, 142*, Article 103640. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103640

Ghazi, S. R., & Ullah, K. (2015). Concrete operational stage of Piaget's cognitive development theory: An implication in learning general science. *Gomal University Journal of Research, 31*(1), 78–89. http://purl.org/coar/version/c_970fb48d4fbd8a85

Hashemi, N., & Mirzaei Aliarabi, R. (2026). Assessment of learning the concept of limits using artificial intelligence. *Journal of Trends and Achievement in Learning Technology, 3*(1), 33–69. https://doi.org/10.22034/jlt.2026.2078437.1064 [In Persian]

Haug, B. S., & Odegaard, M. (2014). From words to concepts: Focusing on word knowledge when teaching for conceptual understanding within an inquiry-based science setting. *Journal of Science Education and Technology, 23*(4), 524–537. https://doi.org/10.1007/s11165-014-9402-5

Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning*. Center for Curriculum Redesign.

Holzinger, A., Langs, G., Denk, H., Zatloukal, K., & Müller, H. (2019). Causability and explainability of artificial intelligence in medicine. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, 9*(4), e1312. https://doi.org/10.1002/widm.1312

Jiang, H., Zhu, D., Chugh, R., et al. (2025). Virtual reality and augmented reality-supported K-12 STEM learning: Trends, advantages and challenges. *Education and Information Technologies, 30*, 12827–12863. https://doi.org/10.1007/s10639-024-13210-z

Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., et al. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences, 103*, 102274. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274

Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). *Intelligence unleashed: An argument for AI in education*. Pearson.

Mayer, R. E. (2021). *Multimedia learning* (3rd ed.). Cambridge University Press.

Mesrabadi, J., Farid, A., & Baghbani, Z. (2020). The effectiveness of graphic organizers on knowledge, comprehension, and application of science concepts. *Journal of Instruction and Evaluation, 13*(52), 13–36. https://doi.org/10.30495/jinev.2021.680634 [In Persian]

Mohammadi-Nejad, A. R., & Nikbakht, O. (2021). Analysis of the effects of educational programs based on virtual reality technologies on improving the learning of complex concepts. *Journal of Research and Innovation in Education and Development, 1*(1), 1–12. https://doi.org/10.61838/jsied.1.1.1 [In Persian]

Potter, T. S. (2024). Applying causal reasoning to investigate multicausality in microbial systems. *Ecosphere*, *15*(5), e4782. https://doi.org/10.1002/ecs2.4782

Roll, I., & Wylie, R. (2016). Evolution and revolution in artificial intelligence in education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, *26*(2), 582–599. https://doi.org/10.1007/s40593-016-0110-3

Rutten, N., van Joolingen, W. R., & van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, *58*(1), 136–153. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017

Shams, A., Amin Mousavi, S. A., & Maleki Nia, M. (2026). Fundamental drivers of artificial intelligence adoption in education-oriented organizations: A nonlinear causal model based on ISM–MICMAC. *Journal of Trends and Achievement in Learning Technology*, *3*(1), 107–142. https://doi.org/10.22034/jlt.2026.2081055.1072 [In Persian]

Thomas, J., & Harden, A. (2008). Methods for the thematic synthesis of qualitative research in systematic reviews. *BMC Medical Research Methodology*, *8*, Article 45. https://doi.org/10.1186/1471-2288-8-45

VanLehn, K. (2011). The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems. *Educational Psychologist*, *46*(4), 197–221. https://doi.org/10.1080/00461520.2011.611369

Vosniadou, S. (2013). *International handbook of research on conceptual change* (2nd ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203154472

Woolf, B. P. (2021). *Building intelligent interactive tutors: Student-centered strategies for revolutionizing e-learning*. Morgan Kaufmann.

Xue, Y., & Wang, Y. (2022). Artificial intelligence for education and teaching. *Wireless Communications and Mobile Computing*, *2022*, Article 4750018. https://doi.org/10.1155/2022/4750018

Yufei, L., Saleh, S., Jiahui, H., & Abdullah, S. M. S. (2020). Review of the application of artificial intelligence in education. *International Journal of Innovation, Creativity and Change*, *12*(8), 548–562. https://doi.org/10.53333/ijicc2013/12850

Zarnik, E., Schwendimann, B. A., & Linn, M. C. (2017). Drawing to learn: How diagramming supports memory and understanding in STEM learning. *Learning and Instruction*, *49*, 30–40. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.01.002

Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, *16*(1), 39. https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0