

Developing a Model for AI-Driven Data Science Literacy in Students: A Meta-Synthesis Approach

Farzaneh Deimehkar Haghighi ^{1✉} , Alireza Heidari ² , Parisa Yazdandoust ³ , and Bahare Khayati ⁴ 

1. *Corresponding Author*, Department of Education and Psychology, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: farzanedeimehkarhaghighi@gmail.com
2. Department of Education and Psychology, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: alirezaheydari007@gmail.com
3. Department of Education and Psychology, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: p.yazdandoust@gmail.com
4. Department of Education and Psychology, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: bahareh.khayati402@gmail.com

ABSTRACT

The primary objective of this study was to develop a comprehensive model for fostering AI-driven data science literacy among students. Utilizing a meta-synthesis approach and a theory-building qualitative method, the research integrated precursors, processes, and outcomes into a unified framework. A systematic search was conducted using keywords such as "data science literacy," "artificial intelligence," and "machine intelligence" across prominent international databases (Wiley, ScienceDirect, Taylor & Francis, ProQuest, Scopus, and Emerald) as well as Persian databases (Magiran, Noormags, and SID). Following a rigorous screening process, 77 articles were selected for final analysis. Data were analyzed through grounded theory using open and axial coding. The findings revealed that the precursors of AI-driven data science literacy comprised three main themes: theoretical and strategic curriculum frameworks, teacher competencies, and student competencies (encompassing 59 open codes). The process of literacy development was structured into seven main themes supported by eight specific categories of digital tools and platforms. Additionally, the outcomes were classified into three core dimensions: academic-cognitive, metacognitive-affective, and social-ethical (spanning 15 open codes). The results indicated that this model empowered students for informed and responsible participation in a data-driven society. Ultimately, the study emphasized that achieving robust data science literacy necessitated data-centric curricula and sustained professional development for teachers to transition from traditional roles to AI-augmented learning facilitators.

Keywords: Data Science Literacy, Artificial Intelligence, Students

Cite this Article: Deimehkar Haghighi, F., Heidari, A., Yazdandoust, P., & Khayati, B. (2026). Developing a Model for AI-Driven Data Science Literacy in Students: A Meta-Synthesis Approach. *Knowledge Retrieval and Semantic Systems*, 13(48), 75-103. <https://doi.org/10.22054/jks.2026.89092.1747>



© 2026 by The author(s) retain the copyright

Publisher: Allameh Tabataba'i University Press

DOI: <https://doi.org/10.22054/jks.2026.89092.1747>

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The rapid convergence of data expansion and artificial intelligence (AI) is transforming scientific discovery and daily decision-making. However, focusing solely on technical specialization risks dividing society into a minority of tech creators and a passive majority of consumers. To ensure active, critical, and responsible participation, it is essential to distinguish between data science (a specialized technical field) and data literacy (a fundamental competency for all citizens).

With the rise of generative AI, data literacy serves as a prerequisite for evaluating AI tools, while AI itself acts as a medium to deepen data literacy (e.g., through interactive tools like GenAI Teachable Machine). Although schools are the primary institutional setting for fostering data literacy from an early age, a significant gap exists between strategic intent and classroom execution. This gap is driven by structural barriers, pedagogical challenges, practical issues, and emerging ethical concerns. Addressing these theoretical and practical challenges requires moving beyond fragmented approaches toward an integrated framework that balances learning with AI as a tool and learning about AI as content.

Research Questions

1. What are the antecedents of developing AI-driven data science literacy in students?
2. What are the processes involved in developing AI-driven data science literacy in students?
3. What are the outcomes associated with primary school students' data science literacy?
4. What is the relationship among the antecedents, processes, and outcomes of developing AI-driven data science literacy in students?

Literature Review

The body of literature regarding data literacy education spans four major streams, each highlighting key dimensions while leaving structural gaps in the overall framework. Research on student-centered approaches and pedagogy emphasizes early intervention using active learning frameworks, such as project-based learning and authentic datasets (Friedrich et al., 2024; Huang et al., 2023; Schreiter et al., 2024; Witte et al., 2024); however, these studies primarily address the "what" and "how" of instruction while neglecting the specific competencies required of educators. Regarding teacher competencies and professional development, studies grounded in frameworks like TPACK focus on teacher self-efficacy, pedagogical skills, and demographic influences (Cui & Zhang, 2022; Demirci et al., 2025; Gregorio et al., 2024; Hazzan & Mike, 2023; Msweli et al., 2023), yet a key limitation is the view of teachers as isolated actors that often ignores organizational culture, administrative support, and infrastructure. In terms of technological integration and AI tools, research explores GenAI tools and interactive dashboards for personalized learning (Maksimenkova et al., 2020; Nasharuddin et al., 2024), but a techno-centric bias often frames technology as a standalone solution without explicitly connecting tool utilization to meaningful pedagogical practices (Memarian & Doleck, 2024).

While existing literature provides valuable insights into individual components, it offers a fragmented perspective without a unified conceptual model to explain the dynamic interactions

between these components, a gap this study addresses by synthesizing these elements into an integrated framework (Memarian & Doleck, 2024). Finally, existing evaluations of outcomes focus mainly on short-term cognitive and technical skills within higher education or STEM fields (Avila-Garzon & Bacca-Acosta, 2025; Qiao et al., 2024; Velaj et al., 2023), leaving broader, long-term outcomes such as data-informed citizenship, ethical agency, and systemic school impacts largely unexplored and highlighting the critical need for an integrated conceptual model.

Methodology

This qualitative study employed Finfgeld-Connett's (2018) seven-step meta-synthesis approach to develop an integrated model for student AI-driven data science literacy. Research objectives were first established to define the framework's antecedents, processes, and outcomes. A systematic literature search across major international and national databases (e.g., Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Magiran, SID) yielded 167 initial records. Domain experts in curriculum studies and synthesis methodology validated the screening protocols. Applying strict criteria (peer-reviewed English studies published between 2015 and 2025 focusing on AI in data literacy instruction), 79 relevant articles were selected after screening titles, abstracts, and full texts. Data were extracted through iterative analysis, categorizing primary concepts into open, axial, and selective codes. Rigor was established using descriptive, interpretive, theoretical, and pragmatic validity criteria. Finally, qualitative content analysis synthesized the findings into a coherent conceptual framework.

Results

The meta-synthesis yielded a structured model mapping the antecedents, processes, and outcomes of AI-driven data science literacy in students. First, antecedents (59 open, 18 axial, and 3 selective codes) encompass curricular frameworks prioritizing early education (K–5), teacher tripartite competencies (data, technological, and pedagogical knowledge), and student prerequisites (foundational computational literacy, prompting skills, and critical curiosity). Second, instructional processes rely on specialized AI tools that scaffold learning and democratize data science: intelligent tutors (DaTu, ChatGPT) for self-regulated guidance, explainable AI (SHAP, LIME) for algorithmic transparency, automated machine learning (AutoML, TPOT) to lower technical syntax barriers, and infrastructure tools (MLflow, Docker) for lifecycle management. Third, outcomes (15 open codes) span academic gains (data cleaning, visualization, computational thinking), metacognitive/affective growth (knowledge transfer, data self-efficacy), and social/civic dimensions (data-informed citizenship, privacy awareness, and ethical decision-making).

Discussion

This study synthesized multi-level empirical evidence to establish an integrated model for developing AI-driven data science literacy in school ecosystems. Navigating away from purely technical skill acquisition, the proposed architecture establishes that data literacy in the AI era requires a fundamental paradigm shift from passive tool usage to critical digital wisdom (Schüller, 2022; UNESCO, 2024).

At the macro-structural level, the findings align with Chiu (2025) and Gaertig-Daugs and Schmid (2025) by asserting that data literacy must be strategically prioritized starting from early primary education (K–5). Rather than overloading existing curricula, the model integrates data concepts cross-curricularly into STEM subjects using plug-and-play gamification and

unplugged computational activities. Furthermore, the framework extends traditional TPACK models into five core dimensions (content, pedagogy, technology, data, and attitude), positioning teachers as clinical data leaders capable of navigating algorithmic modeling, interpreting learning analytics, and personalizing instruction (Mandinach & Jimerson, 2021; Msweli et al., 2023). At the student level, prerequisites transition from standard digital literacy to critical data agency, leveraging algorithmic questioning to mitigate uncritical technological consumption (Schönbrodt & Podworny, 2025).

Process-wise, generative AI and automated machine learning platforms (e.g., AutoML, ChatGPT, DaTu) act as cognitive scaffolds. By automating repetitive scripting and data cleaning tasks, these tools democratize data science, allowing students to shift focus toward higher-order problem formulation, pattern recognition, and evidence-based decision-making (Doleck et al., 2024; Wang et al., 2019). Simultaneously, integrating explainable AI tools (SHAP, LIME) ensures that algorithmic ethics, transparency, and bias awareness remain central to student inquiry (Wu, 2025).

Process-wise, generative AI and automated machine learning platforms (e.g., AutoML, ChatGPT, DaTu) act as cognitive scaffolds. By automating repetitive scripting and data cleaning tasks, these tools democratize data science, allowing students to shift focus toward high-order problem formulation, pattern recognition, and evidence-based decision-making (Doleck et al., 2024; Wang et al., 2019). Simultaneously, integrating explainable AI tools (SHAP, LIME) ensures that algorithmic ethics, transparency, and bias awareness remain central to student inquiry (Wu, 2025).

Conclusion

Ultimately, the interplay between antecedents and AI-driven processes yields holistic outcomes spanning academic competence, metacognitive self-efficacy, and data-informed citizenship. Practically, policy implementations should adopt age-tailored tools such as Google Teachable Machine in primary grades, local offline LLMs in lower secondary, and automated platforms like Julius AI in upper secondary, supported by revised teacher preparation curricula in pedagogical universities.

Ethical Considerations

Adherence to Research Ethics Principles

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Author Contributions

The authors' contributions to this study are as follows: Farzaneh Deimehkar Haghighi (First/Corresponding Author) conceptualized the overall study, provided supervision and critical revisions, and guided the research framework. Alireza Heidari (Second Author) contributed to the study design, methodology development, and data collection process. Parisa Yazdandoust (Third Author) participated in data analysis, interpretation of the findings, and drafting the initial manuscript. Bahareh Khayati (Fourth Author) assisted in literature review, manuscript editing, and formatting for submission. All authors have read and approved the final manuscript.

Data Availability Statement

Data sharing is not applicable to this article as no new empirical datasets were created. All data analyzed in this study were extracted from publicly available, published literature cited in the article.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

Funding

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

طراحی مدل توسعه سواد علم داده مبتنی بر هوش مصنوعی در دانش‌آموزان - رویکرد فراترکیب نظریه‌ساز

فرزانه دیمه‌کار حقیقی^{۱✉}، علیرضا حیدری^۲، پریسا یزدان‌دوست^۳، و بهاره خیاطی^۴

۱. نویسنده مسئول، گروه آموزشی مدیریت و برنامه‌ریزی آموزشی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه:

farzanedeimehkarhaghighi@gmail.com

۲. گروه آموزشی مدیریت و برنامه‌ریزی آموزشی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: alirezaheydari007@gmail.com

۳. گروه آموزشی مدیریت و برنامه‌ریزی آموزشی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: p.yazdandoust@gmail.com

۴. گروه آموزشی مدیریت و برنامه‌ریزی آموزشی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: bahareh.khayati402@gmail.com

چکیده

هدف کلی از این پژوهش، ارائه مدل توسعه سواد علم داده با استفاده از هوش مصنوعی در دانش‌آموزان مبتنی بر پیشایندها، فرایندها و پیامدها با رویکرد سنتزپژوهی و روش فراترکیب نظریه‌ساز بود. براین اساس، واژه‌های کلیدی مانند «علم داده»، «سواد علم داده»، «سواد داده»، «هوش مصنوعی»، «هوش ماشینی»، «پشتیبانی هوشمند» و «واقعیت مجازی» در مطالعات مرتبط با موضوع در پایگاه‌های داده لاتین مانند Science Direct، Wiley، Taylor & Francis، Pro-Quest، Scopus، Emerald و فارسی مگیران، نورمگز و SID، شناسایی و پس از ارزیابی و غربالگری مقالات و پایان‌نامه‌ها، نهایتاً تعداد ۷۷ مقاله برای استفاده در پژوهش انتخاب و مورد تحلیل قرار گرفتند. شیوه تحلیل داده‌ها بر مبنای نظریه داده‌بنیاد و شامل کدگذاری باز، محوری و انتخابی بود. یافته‌های پژوهش نشان داد که پیشایندهای توسعه سواد علم داده مبتنی بر هوش مصنوعی در دانش‌آموزان در سه کد محوری چارچوب‌های نظری و راهبردی برنامه درسی، شایستگی‌های معلم، و شایستگی‌های دانش‌آموزان و ۵۹ کد باز دسته‌بندی می‌شوند. فرایند توسعه سواد علم داده مبتنی بر هوش مصنوعی در دانش‌آموزان نیز در هشت کد محوری از طریق ۱۳ کد باز (ابزارها و پلتفرم‌های دیجیتال) پشتیبانی می‌گردند، همچنین پیامدهای توسعه سواد علم داده مبتنی بر هوش مصنوعی در دانش‌آموزان در سه کد محوری پیامدهای تحصیلی، فرامعرفی و عاطفی، و اجتماعی (شهروندی و اخلاق) دسته‌بندی می‌گردند که در پانزده کد باز گسترش یافته‌اند. نتایج بیانگر آن است که توسعه سواد علم داده مبتنی بر هوش مصنوعی دانش‌آموزان را برای مشارکت آگاهانه و مسئولانه در جامعه داده‌محور توانمند به‌طوری که ضرورت طراحی برنامه‌های درسی داده‌محور و حمایت از توسعه حرفه‌ای معلمان برای تحقق سواد علم داده مورد تأکید قرار می‌گیرد.

کلیدواژه‌ها: سواد علم داده، هوش مصنوعی، دانش‌آموزان

استناد به این مقاله: دیمه‌کار حقیقی، فرزانه، حیدری، علیرضا، یزدان‌دوست، پریسا و خیاطی، بهاره. (۱۴۰۵). طراحی مدل توسعه سواد علم داده مبتنی بر هوش مصنوعی در دانش‌آموزان - رویکرد فراترکیب نظریه‌ساز. بازیابی دانش و نظام‌های معنایی، ۱۳ (۴۸)، ۷۵-۱۰۳. <https://doi.org/10.22054/jks.2026.89092.1747>

مقدمه

هم‌گرایی انفجارگونه داده‌ها با قدرت فزاینده هوش مصنوعی، وعده یک تحول بنیادین در تمام جنبه‌های زندگی بشر، از اکتشافات علمی تا تصمیمات روزمره را می‌دهد. با این حال، تحقق این وعده و توزیع عادلانه منافع آن، به هیچ‌وجه امری خودکار نیست. بزرگ‌ترین خطر در این گذار تاریخی، فروکاستن این انقلاب به یک پدیده صرفاً فنی و تمرکز انحصاری بر تربیت متخصصان است. چنین رویکردی، جامعه را به دو گروه تقسیم می‌کند: اقلیتی که فناوری را می‌سازند و اکثریتی که به شکلی منفعل و آسیب‌پذیر، مصرف‌کننده آن هستند.

برای جلوگیری از این شکاف عمیق و برای توانمندسازی جامعه جهت مشارکت فعال، انتقادی و مسئولانه در این اکوسیستم جدید، برداشتن یک گام مفهومی به عقب ضروری است و لذا باید میان نقش «متخصص» و صلاحیت «شهروند» تمایز قائل شد. این امر دقیقاً همان تمایز حیاتی میان علم داده^۱ و سواد داده^۲ است. اولی، یک حوزه تخصصی برای استخراج دانش از داده‌های پیچیده با ابزارهای محاسباتی است (Ahlborn et al., 2021؛ Verständig, 2020)؛ درحالی‌که دومی، یک شایستگی بنیادین و همگانی برای خواندن، پرسشگری و تحلیل انتقادی داده در زندگی روزمره است (Kong et al., 2021؛ Li et al., 2023).

این تمایز، زمانی که هوش مصنوعی وارد معادله می‌شود، اهمیتی حیاتی می‌یابد. از آنجایی که الگوریتم‌های هوش مصنوعی بر پایه داده‌هایی که متخصصان علم داده فراهم می‌کنند، آموزش دیده و عمل می‌کنند، «سواد داده» به پیش‌نیاز ضروری برای ارزیابی انتقادی و استفاده مسئولانه از این فناوری‌ها تبدیل می‌شود. این رابطه، با ظهور ابزارهای هوش مصنوعی مولد^۳، وارد یک چرخه هم‌افزایی پویا شده است. چرا که این فناوری‌ها، ضمن اینکه خود محصول علم مبتنی بر داده^۴ هستند (Tansley & Tolle, 2009)، به ابزارهایی قدرتمند برای پرورش همان سواد داده بدل شده‌اند. به عنوان مثال، ابزارهای تعاملی مانند ماشین یادگیرنده هوش مصنوعی مولد^۵، با فراهم آوردن یادگیری شخصی‌سازی شده، به دانش‌آموزان کمک می‌کنند تا مفاهیم انتزاعی مانند سوگیری الگوریتمی و شفافیت را به صورت عملی تجربه کرده و «عاملیت داده» خود را تقویت کنند (Hazzan, 2025؛ Tedre & Vartiainen, 2025)؛ بنابراین، یک رابطه دوسویه شکل گرفته است: سواد داده پیش‌نیاز درک هوش مصنوعی است و هوش مصنوعی خود به بستری برای تعمیق این سواد تبدیل شده است.

از سوی دیگر، نظام آموزش مدرسه‌ای به عنوان اصلی‌ترین بستر نهادی، نقشی تعیین‌کننده در پیشگیری از تعمیق شکاف اجتماعی یادشده و نیز در تحقق ظرفیت‌های دموکراتیک ناشی از انقلاب داده ایفا می‌کند. در این نظام، دانش‌آموزان نه به عنوان گیرندگان منفعل اطلاعات، بلکه به عنوان بازیگران اصلی و شهروندان آینده در مرکز توجه قرار دارند. از این رو، توسعه سواد داده در آن‌ها نه یک تمرین آکادمیک، بلکه یک مأموریت ضروری برای توانمندسازی‌شان جهت مشارکت فعال، آگاهانه و نقادانه در جامعه دیجیتال است (Ridgway et al., 2022؛ Schüller, 2022). در نتیجه، این آموزش باید از سنین پایین آغاز شود و به صورت کاربردی و بین‌رشته‌ای در برنامه درسی ابتدایی و متوسطه ادغام گردد تا نسل

1. Data Science
2. Data Literacy
3. GenAI
4. Data-driven Science
5. GenAI Teachable Machine

آینده را به توانایی جمع‌آوری، مدیریت، تحلیل و کاربرد داده‌ها در محیط‌های پیچیده واقعی، از جمله تعاملاتشان با فناوری‌های هوش مصنوعی، مجهز سازد (Matthews, 2016; Leavy et al., 2018).

با این حال، یک شکاف عمیق میان این ضرورت استراتژیک و واقعیت اجرایی در مدارس به چشم می‌خورد. این چالش‌ها فراتر از کلی‌گویی‌هایی چون «شکاف تئوری و عمل» بوده و ریشه در موانع ساختاری، پداگوژیک، عملی و اخلاقی مشخصی دارند. به عنوان نمونه در سطح ساختاری، برنامه درسی موجود که «بیش از حد شلوغ» توصیف شده، در برابر محتوای جدید مقاومت می‌کند (OECD, 2020). در نتیجه، مباحث حیاتی سواد داده به دلیل ضریب پایین در آزمون‌های استاندارد، مانند GCSE انگلستان، توسط معلمان و دانش‌آموزان به حاشیه رانده می‌شود (Royal Society, 2023). این فشار مستقیماً به معلمان منتقل می‌شود که نه تنها با منحنی یادگیری تند ابزارهای جدید مانند زبان R دست‌وپنجه نرم می‌کنند (Gould et al., 2016)، بلکه فاقد دانش تلفیقی (TPACK) برای ترکیب محتوای فنی با روش‌های تدریس مؤثر هستند (Stump et al., 2025). این کمبود دانش پداگوژیک به خطاهای جدی منجر می‌شود؛ چنان‌که در یک مطالعه، یک سوم معلمان در تفسیر نمودارهای تخصصی دچار اشتباه شدند (Filderman et al., 2021).

در سطح عمل در کلاس درس، این موانع به صورت جداگانه عمل نمی‌کنند، بلکه به هم مرتبط هستند و در مجموع، نوعی زنجیره از ناکامی را برای دانش‌آموزان ایجاد می‌کنند. نخستین چالش این است، دانش‌آموزانی که وارد این فرایند شده، به تدریج متوجه می‌شوند که برخلاف انتظارشان، بخش زیادی از کار با داده‌ها صرف فعالیت‌های زمان‌بر و خسته‌کننده، مانند مرتب‌سازی و اصلاح داده‌های ناقص، می‌شود و نه فعالیت‌های جذاب و اکتشافی؛ موضوعی که می‌تواند باعث کاهش انگیزه و دلسردی آن‌ها شود (Gould et al., 2016). علاوه بر این، حتی در فعالیت‌های گروهی نیز برخی مشکلات فنی، مانند از بین رفتن ناگهانی فایل‌ها در فضاها، یا رواج کپی‌برداری از کار دیگران در کلاس‌های کامپیوتر، موجب می‌شود یادگیری واقعی و مشارکت فعال کاهش یابد و کار گروهی به فعالیتی سطحی و صرفاً مکانیکی تبدیل شود (Gould et al., 2016; IDSSP, 2019).

شاید نگران‌کننده‌تر از همه، چالش‌های اخلاقی نوظهور باشد. سیستم‌های هوش مصنوعی که برای پیش‌بینی ترک تحصیل طراحی شده‌اند، به دلیل سوگیری در داده‌های آموزشی، به طور سیستماتیک دانش‌آموزان رنگین‌پوست را «پرخطر» شناسایی کرده (Yin et al., 2024) و ابزارهای تصحیح خودکار، دانش‌آموزان با لهجه‌های غیربومی را جریمه می‌کنند (Yin et al., 2024). این مسائل، اعتماد دانش‌آموزان به عدالت فناوری را از بین می‌برد.

بنابراین، آشکار است که شکاف عمیقی میان پتانسیل تحول‌آفرین سواد داده و واقعیت اجرایی در نظام آموزشی وجود دارد. این شکاف خود را در دو سطح موازی و به هم پیوسته نشان می‌دهد: از یک سو، در سطح عملی، موانع ساختاری، پداگوژیک و اخلاقی، یک بحران جدی را در کلاس‌های درس رقم زده‌اند. از سوی دیگر، در سطح نظری، پرسش‌های بنیادینی همچنان بی‌پاسخ مانده‌اند؛ از جمله اینکه چگونه می‌توان میان «آموزش با هوش مصنوعی» (به عنوان ابزار) و «آموزش درباره هوش مصنوعی» (به عنوان محتوا) تعادلی مؤثر برقرار کرد (Geroldinger, 2025).

این هم‌زمانی چالش‌های عملی و ابهامات نظری، ضرورت تدوین یک چارچوب جامع را آشکار می‌سازد. در چنین شرایطی، توسعه یک الگوی یکپارچه، پاسخی علمی و عملی به این خلأها بوده و می‌تواند به ارتقای کیفیت یادگیری داده‌محور، تصمیم‌گیری اخلاقی و تربیت شهروندان آگاه در عصر دیجیتال کمک شایانی نماید. بر این اساس، هدف این

پژوهش طراحی مدل توسعه سواد علم داده دانش آموزان، از طریق هوش مصنوعی است. در این مدل هدف آن است که پیشایندهای لازم برای آموزش سواد علم داده، فرایندهای آموزشی و ابزارهای ویژه هوش مصنوعی و پیامدهای این توسعه برای دانش آموز و معلم و مدرسه و ... مورد واکاوی قرار گیرد.

پیشینه پژوهش

ادبیات پژوهش در حوزه آموزش سواد داده، جریانات اصلی و درعین حال، خلأهای قابل توجهی را آشکار می سازد. یک جریان غالب، بر اهمیت و روش های آموزش سواد داده به دانش آموزان متمرکز است. پژوهشگران نشان داده اند که برای شکل گیری توانایی تحلیل داده و تصمیم گیری آگاهانه (Schreiter et al., 2024)، این آموزش باید از سنین پایین و با رویکردهای فعال مانند یادگیری پروژه محور (Huang et al., 2023) و استفاده از داده های واقعی صورت گیرد (Witte et al., 2024؛ Friedrich et al., 2024). باین حال، تحلیل انتقادی این جریان نشان می دهد که اغلب این مطالعات بر «چه» و «چگونه»ی آموزش تمرکز کرده و به این پرسش بنیادین که «چه کسی» باید این آموزش را ارائه دهد و با چه صلاحیت هایی، کمتر پرداخته اند.

جریان پژوهشی دوم، دقیقاً برای پاسخ به همین نقد شکل گرفته و بر نقش محوری معلم تمرکز می کند. این مطالعات بر لزوم توسعه حرفه ای معلمان، اغلب با استفاده از چارچوب TPACK، برای افزایش خودکارآمدی و مهارت هایشان در کلاس های فناوری محور تأکید دارند (Msweli et al., 2023؛ Demirci et al., 2025؛ Hazzan & Mike, 2023؛ Cui & Zhang, 2022)، همچنین برخی از پژوهش ها عوامل مختلفی مانند تجربه، سن و مدرک تحصیلی معلمان را نیز بر توانمندی آنها در ادغام فناوری و سواد داده ای تأثیرگذار دانسته اند (Schreiter et al., 2024؛ Gregorio et al., 2024). اما این جریان نیز محدودیت های خود را دارد. این پژوهش ها تمایل دارند معلم را به عنوان یک عامل منفرد در نظر بگیرند و اغلب، تأثیر عوامل زمینه ای مانند فرهنگ سازمانی مدرسه، حمایت مدیریت، و زیرساخت های موجود را که موفقیت معلم به شدت به آنها وابسته است، نادیده می گیرند.

جریان سوم، به نقش فزاینده فناوری و به ویژه هوش مصنوعی به عنوان ابزاری برای تحول در آموزش می پردازد. این پژوهش ها پتانسیل ابزارهای GenAI و داشبوردهای تعاملی را برای شخصی سازی یادگیری و درگیر کردن دانش آموزان ضروری قلمداد می نمایند (Nasharuddin et al., 2024؛ Maksimenkova et al., 2020). باین حال، یک نگاه انتقادی نشان می دهد که در این حوزه، اغلب یک رویکرد فناوری-محور حاکم است. فناوری به عنوان یک راه حل جادویی معرفی می شود، بدون آنکه ارتباط آن با اهداف پداگوژیک به وضوح مشخص شود. همان طور که برخی محققان اشاره کرده اند، شکاف بزرگی میان «یادگیری استفاده از یک ابزار» و «توانایی انتقال آن به یک عمل آموزشی معنی دار» وجود دارد (Memarian & Doleck, 2024).

درنهایت، جریان چهارم به ارزیابی نتایج و پیامدهای این آموزش ها می پردازد. این مطالعات عموماً بر سنجش مهارت های شناختی و فنی دانش آموزان در سطح دانشگاهی یا رشته های STEM متمرکز بوده اند (Avila-Garzon & Bacca-Acosta, 2025؛ Velaj et al., 2023؛ Qiao et al., 2024). ضعف اصلی این جریان، نگاه محدود و

کوتاه‌مدت آن است. پیامدهای بلندمدت‌تری مانند شکل‌گیری «شهروندی داده‌محور»، تقویت «عاملیت اخلاقی» دانش‌آموزان، و تأثیر این آموزش‌ها بر کل اکوسیستم مدرسه، عمدتاً مغفول مانده است.

مرور تحلیلی این جریان‌های پژوهشی، یک نتیجه‌گیری کلیدی را آشکار می‌سازد: ادبیات موجود، با وجود دستاوردهای قابل‌توجه در هر حوزه، تصویری غنی اما شدیداً قطعه‌قطعه از اکوسیستم آموزش سواد داده ارائه می‌دهد. هر جریان، به‌درستی یک جزء از پازل (دانش‌آموز، معلم، ابزار، یا نتیجه) را روشن کرده، اما یک نظریه جامع که تعاملات پویا و روابط متقابل بین این اجزا را تبیین کند، همچنان غایب است. به‌طور مشخص، شکاف اصلی در فقدان یک مدل مفهومی یکپارچه نهفته است؛ لذا این خلأ یکپارچگی نقطه عزیمت اصلی برای پژوهش حاضر محسوب می‌شود.

روش

در این پژوهش برای جمع‌آوری اطلاعات، داده‌ها و توسعه سواد علم داده مبتنی بر هوش مصنوعی در دانش‌آموزان از مدل هفت‌مرحله‌ای فینفگلد-کانت^۱ (۲۰۱۸) استفاده شد. در این مدل، ابتدا هدف و پرسش‌های پژوهش تدوین می‌شود که شامل طراحی مدلی برای تبیین پیشایندها، فرایندها، و پیامدهای توسعه سواد علم داده مبتنی بر هوش مصنوعی در دانش‌آموزان است. در گام دوم و سوم مرور ادبیات به شکل نظام‌مند بر اساس جدول ۱ و جستجو در پایگاه‌های مختلف فارسی و لاتین و کلیدواژه‌های مرتبط و هدایت‌کننده صورت گرفت. سپس تمامی پژوهش‌ها بر اساس ارتباط عنوان مقاله با واژه‌های کلیدی در یک فایل صفحه گسترده جمع‌آوری شدند.

جدول ۱. کوثری‌های جستجو و راهبردهای گزارش‌دهی

Research Domain	Key Concepts and Search Terms	Databases Searched
Data Science Literacy	"Data Science" OR "Data Science Literacy", "data literacy" علم داده، سواد علم داده، سواد داده	
AND		
AI	"artificial intelligence" OR "machine intelligence" OR "intelligent support" OR "intelligent virtual reality" OR "chat bot*" OR "machine learning" OR "automated tutor" OR "personal tutor*" OR "intelligent agent*" OR "expert system" OR "neural network" OR "natural language processing" OR "intelligent tutor*" OR "adaptive learning system*" OR "adaptive educational system*" OR "adaptive testing" OR "decision trees" OR "clustering" OR "logistic regression" OR "adaptive system*" هوش مصنوعی "یا" هوش ماشینی "یا" پشتیبانی هوشمند "یا" واقعیت مجازی	EBSCO, Scopus, ProQuest, Springer Link, IEEE Xplore, ACM Digital Library, Science Direct, ERIC/ مگیران، نورمگز و SID
AND		
Education sector	"Education" OR "General Education" OR "Pedagogy" OR "Elementary Education" OR "Secondary Education" آموزش و پرورش "یا" آموزش عمومی "یا" "پداگوژی" "یا" "دوره ابتدایی" "یا" "دوره متوسطه"	
AND		

Research Domain	Key Concepts and Search Terms	Databases Searched
Review	“Systematic review” OR “scoping review” OR “narrative review” OR “meta- analysis” OR “evidence synthesis” OR “meta-review” OR “evidence map” OR “rapid review” OR “umbrella review” OR “qualitative synthesis” مروری دامنه‌ای” یا “مروری روایی” یا “فرا-تحلیل” یا “ترکیب شواهد” یا “فرا-مرور” یا “نقشه شواهد” یا “مروری سریع” یا “مروری چتر” یا “ترکیب کیفی”	

براین اساس، ابتدا تعدادی از عناوین مقاله برای انتخاب مطالعات مرتبط در این زمینه در نظر گرفته شد. سپس، مقالاتی که به‌طور خاص حداقل به یکی از مؤلفه‌های علم داده و سواد علم داده و هوش مصنوعی پرداخته بودند، انتخاب شدند و درنهایت، چکیده مقالات منتخب موردبررسی قرار گرفت. درمجموع مطالعات کیفی، ترکیبی و خاکستری ۱۶۷ مقاله و پایان‌نامه شناسایی شدند. شایان‌ذکر است که یک متخصص حوزه برنامه درسی و یک متخصص حوزه سنتزپژوهی اعتبار روش‌های طبقه‌بندی مقالات را ارزیابی کردند. معیار ورود یک منبع به فهرست مطالعات تحت بررسی اولاً محدوده زمانی منبع بین ۲۰۱۵ الی ۲۰۲۵ و ثانیاً اعتبار پایگاه اطلاعاتی بود که منبع از آن استخراج شده بود. با رویکرد غربالگری، ابتدا چکیده‌ها، سپس متن اصلی مقالات بررسی شدند و پس از حذف مقالات نامرتبط نهایتاً ۷۷ مقاله انگلیسی برای تحلیل و استخراج مؤلفه‌های مرتبط انتخاب شدند. در گام چهارم معیارهایی برای قرار دادن مطالعات در فرایند تحلیل و یا خارج کردن این مطالعات از این فرایند مشخص شد.

جدول ۲. معیارهای ورود و خروج

معیارهای خروج	معیارهای ورود
تدریس هوش مصنوعی به‌عنوان یک موضوع/درس	تمرکز بر کاربرد هوش مصنوعی در آموزش سواد علم داده
ویرایش‌ها، مقالات مفهومی/نظری، مقدمه‌ها، فصول کتاب و مرور	مطالعات تجربی/مبتنی بر شواهد
مقالات کنفرانس، ارائه‌ها/چکیده‌ها	مقالات داوری‌شده در مجلات
منتشرشده به زبان‌های دیگر	منتشرشده به زبان انگلیسی
منتشرشده قبل از ۲۰۱۵	منتشرشده در طول سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵

در مرحله استخراج اطلاعات پژوهشگر با مطالعه چندین باره مقالات منتخب و نهایی شده به دنبال دستیابی به مضامین و مفاهیم درون محتوایی ضمنی هر پژوهش بود. مقاله‌ها بر اساس مرجع مربوط به هر مقاله شامل نام و نام خانوادگی محقق یا محققان، سال انتشار و یافته‌های آن دسته‌بندی شدند. مطالب هدفمند از مباحث کیفی استخراج شدند. در گام پنجم پژوهشگر به جستجوی موضوعاتی پرداخت که در میان مطالعات موجود در فراترکیب شناسایی شده‌اند و به‌محض شناسایی و مشخص شدن موضوع، پژوهشگر دسته‌بندی جدید خود را ارائه داد که موضوع را به بهترین شکل توصیف می‌نمودند. در گام ششم محقق به دنبال بررسی این است که «آیا یافته‌های مرتبط با توسعه سواد علم داده مبتنی بر هوش مصنوعی دارای اعتبار مناسب هستند؟» و با بازگشتن به گام‌های پیش به دنبال اطمینان پیدا کردن از یافته‌های خود برمی‌آید. پس از تحلیل داده‌های کیفی و استخراج مؤلفه‌های «مدل توسعه سواد علم داده مبتنی بر هوش مصنوعی»، در قالب کدهای باز، کدهای محوری و گزینشی مدل متناسب با آن طراحی شدند. همچنین برای اعتباریابی داده‌ها از چهار نوع روش اعتباریابی توصیفی: شناسایی تمامی گزارش‌های مرتبط و تشخیص مشخصه‌های هر گزارش؛ تفسیری: ارائه تمام و کمال ادراک و

نقطه‌نظرات محققان از گزارش‌ها؛ نظری: اعتبار روش‌هایی که فراترکیب به‌منظور یکپارچه‌سازی و تفسیر یافته‌های پژوهشی توسعه داده و به کار می‌برد و پراگماتیک: به معنای سودمندی، قابلیت انتقال دانش، کاربردی‌بودن و مناسب‌بودن روش‌شناسی فراترکیب استفاده شد. در این پژوهش برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از تکنیک تحلیل محتوای کیفی استفاده شد.

یافته‌ها

در این پژوهش، با تحلیل داده‌ها به روش کدگذاری، پیشایندهای، فرایند و پیامدهای توسعه سواد علم داده با استفاده از هوش مصنوعی در دانش‌آموزان بیان می‌گردد. لازم به ذکر است باتوجه به محدودیت صفحات، در جدول تنها دو منبع جدید آورده شده‌اند، اما جدول کامل با منابع جهت استفاده پژوهشگران در دسترس خواهد بود.

سؤال ۱. پیشایندهای توسعه سواد علم داده مبتنی بر هوش مصنوعی در دانش‌آموزان چیست؟ در بخش پیشایندها، ۵۹ کد باز در قالب ۱۴ کد محوری سطح ۱ و ۴ کد محوری سطح ۲ و سه کد محوری سطح ۳ طبقه‌بندی شدند.

جدول ۳. پیشایندهای توسعه سواد علم داده مبتنی بر هوش مصنوعی در دانش‌آموزان

کد محوری ۳	کد محوری ۲	کد محوری ۱	کد باز	نمونه شواهد
			تقویت ارزش‌های بنیادین و رویکردهای فراگیر در آموزش داده‌محور	Gal (2025), Verständig et al. (2025)
	-	بنیان‌های فلسفی و پارادایمی	توسعه نگرش کل‌نگر و فلسفه داده‌محور	Schönbrodt & Podworny (2025), UNESCO (2024), Schüller (2022), GAISE II (2021)
			اولویت‌دهی استراتژیک به سواد علم داده و هوش مصنوعی از K-5	Gärtig-Daug & Schmid (2025), Schönbrodt & Podworny (2025), Chiu (2025)
			توسعه چارچوب‌ها و استانداردهای آموزش سواد علم داده	Geroldinger (2025), Miller & Wilkerson (2025), Banaz & Demirel (2024)
چارچوب نظری و راهبردی برنامه درسی		چارچوب‌های دانشی و شایستگی‌های یادگیری	توسعه مفاهیم پایه، اصول و کاربردهای هوش مصنوعی در محیط‌های آموزشی	Zhou et al. (2025), Chiu (2025), Witte et al. (2024), Chiu (2025), Chiu et al. (2024), Zhou et al. (2025), Chiu (2025), Friedrich et al. (2024), Chiu (2025), OECD (2025), Huber et al. (2025), Nasharuddin et al. (2024)
	-		توسعه تفکر داده‌محور و مهارت‌های تحلیلی-انتقادی	
			توسعه بین‌رشته‌ای پیش‌زمینه‌های STEM با سواد علم داده و هوش مصنوعی	
			توسعه سیاست‌های اخلاقی و مسئولیت اجتماعی در کاربرد AI	
	-	الزامات فناورانه، سازمانی و یادگیری	آموزش و توسعه حرفه‌ای معلمان برای سواد داده و AI	Kölling (2025), Gärtig-Daug & Schmid (2025), Geroldinger (2025), Huang et al. (2025), Nasharuddin et al. (2024)

کد محوری ۳	کد محوری ۲	کد محوری ۱	کد باز	نمونه شواهد
شایستگی‌های سه گانه معلم	دانش داده	دانش محتوایی	توسعه اکوسیستم فناوری دیجیتال مانند ابزارها، پلتفرم‌ها، و زیرساخت‌های آنلاین	van Kessel et al. (2025), Ministry of National Education (2025), Friedrich (2024)
			توسعه زیرساخت‌های سخت‌افزاری و حمایت‌های مدیریتی برای کلاس‌های داده‌محور	Kessel et al. (2025), Ministry of National Education (2025), Banaz & Demirel (2024)
			ایجاد محیط‌ها و محفل‌های یادگیری مشارکتی	Gibson et al. (2023), Parveen et al. (2024)
			درک مفهومی از «داده، اطلاعات، دانش» و نقش داده در تصمیم‌گیری	Gebre (2022), Pangrazio & Selwyn (2019)
			آشنایی با چرخه کامل داده و روش‌های آماری پایه	Sander (2020), Bowler et al. (2020), Carmi et al. (2020)
			درک مفهومی از مدل‌سازی آماری، الگوریتم‌های یادگیری ماشین، و فرایندهای دست‌کاری داده	Msweli (2023), Wu et al. (2023)
			آشنایی نظری با اصول انتخاب نمودار، طراحی داشبورد و روایت داده‌ها	Bekiaridis & Atwell (2024), Gebre (2022)
			درک مفهومی از استدلال احتمالی، تفسیر نتایج و نقد داده‌ها	Wu et al. (2023),
			آگاهی از حریم خصوصی، شفافیت، سوگیری و اخلاق استفاده از داده	Schneegans & Nair-Bedouelle (2021), OECD (2019)
			آشنایی با انواع داده‌های آموزشی و شناخت منبع و ویژگی‌های آن‌ها	Cui & Zhang (2022), Velaj et al. (2023)
			درک مراحل جمع‌آوری، سازمان‌دهی، ذخیره‌سازی، و مدیریت داده‌های مدرسه‌ای و یادگیری	Gebre (2022), Bowler et al. (2020)
			فهم چگونگی پردازش داده‌ها، انتخاب شاخص‌ها و تفسیر نتایج آموزشی	Kessel et al. (2025), De Veaux et al. (2022)
			شناخت مفاهیم دقت، جامعیت، اعتبار و سوگیری داده‌ها در زمینه آموزشی	Schneegans & Nair-Bedouelle (2021), OECD (2019),
			توانایی شناسایی داده‌های مرتبط با مسائل واقعی آموزشی و استفاده از داده‌ها در تصمیم‌گیری آموزشی مبتنی بر شواهد	Andre et al. (2022), Dierker et al. (2017)

کد محوری ۳	کد محوری ۲	کد محوری ۱	کد باز	نمونه شواهد
دانش فناوریانه			شناخت نقش داده در علوم دیگر و پیوند آن با سواد داده‌ای	Cui & Zhang (2022), Velaj et al. (2022),
			درک آگاهانه و انتقادی از نقش هوش مصنوعی در آموزش	Kessel et al. (2025), Zhou et al. (2025)
			شناخت اصول خلاقیت و مسئولیت در تولید محتوای AI محور	Zhou et al. (2025), Gregorio et al. (2024)
			فهم سازوکار و نظارت تحلیلی بر عملکرد AI در آموزش	OECD (2025), Chiu et al. (2024)
			درک مبانی طراحی آگاهانه و اخلاقی سامانه‌های AI	OECD (2025), Zhou et al. (2025)
دانش تربیتی			آشنایی با رویکردهای یادگیری فعال مانند پروژه‌محور، کارآموزی شناختی و یادگیری تحقیقی	Kessel et al. (2025), Msweli et al. (2023)
			آگاهی از طراحی آموزشی تعاملی، رقابتی و مبتنی بر بازی	Bornn et al. (2022), Cakiroglu & Güler (2021)
			آگاهی از دانش مربیگری و تسهیلگری یادگیری	Memarian & Doleck (2024), Cetinkaya-Rundel & Ellison (2021)
			شناخت اصول، رویکردها و مزایای ارتباطات بین‌رشته‌ای و اشتراک دانش	Friedrich et al. (2024), Giamellaro et al. (2020)
			طراحی درس‌های داده‌محور با AI برای حل مسئله	Doukakis et al. (2021), Koh & Chai (2016)
مهارت‌های علم داده	مهارت‌های فناوریانه معلمی		اتصال آموزش به موقعیت‌های واقعی	Bornn et al. (2022), Donoghue et al. (2021)
			توسعه تجربه‌های یادگیری شخصی‌سازی‌شده	Msweli et al. (2023), Bekiaridis & Atwell (2024)
			ارائه و نمایش شفاف داده‌های آموزشی	Gebre (2022), Gould (2017)
			تولید محتوا و فعالیت‌های شخصی‌سازی‌شده با AI	OECD (2025), Zhou et al. (2025),
			مدیریت و نظارت بر فرایندهای AI در کلاس	Doukakis et al. (2021), Koh & Chai (2016)
			ادغام AI برای تصمیم‌گیری آموزشی مبتنی بر داده	Kessel et al. (2025), Schüller (2022)
			ارزیابی تحلیلی و انتقادی خروجی‌های AI در داده‌های آموزشی	Bonnell et al. (2022), Christozov et al. (2019)
			ایجاد Rubrics، ارزیابی فعالیت‌ها، ارائه بازخورد مستمر	Sickler et al. (2021), Cui et al. (2023)

کد محوری ۳	کد محوری ۲	کد محوری ۱	کد باز	نمونه شواهد
			درک پویایی‌های گروهی و رفتار فردی دانش‌آموزان	van Leeuwen et al. (2021), Aleven et al. (2017)
		مهارت‌های نرم	مهارت‌های پژوهشی و حل مسئله در دنیای واقعی	Bonnell et al. (2022), Christozov et al. (2019)
			مهارت‌های همکاری و مدیریت تیمی در محیط‌های آموزشی دیجیتال	Gregorio et al. (2024), Bekiaridis & Atwell (2024)
		تعهد به توسعه حرفه‌ای	تعهد به توسعه حرفه‌ای مستمر CPD	Msweli et al. (2023), Mikroyannidis et al. (2018)
		حرفه‌ای و سازگاری	چابکی برای تنظیم مواد آموزشی متناسب با گروه‌های متنوع دانش‌آموزان	Msweli et al. (2023), Mikroyannidis et al. (2018)
			حساسیت به امنیت داده‌ها و حفاظت از اطلاعات	Schneegans & Nair-Bedouelle (2021), Mandinach & Jimerson (2021)
		موضع اخلاقی	تصمیم‌گیری اخلاقی در جمع‌آوری و استفاده از داده‌ها	Mandinach & Jimerson (2021), OECD (2019),
	نگرش به علم داده		حساسیت به حریم خصوصی دانش‌آموزان و حقوق مالکیت داده‌ها	Mandinach & Jimerson (2021), OECD (2019)
			نگرش مثبت/منفی نسبت به آموزش آماری و SL/DL	Umugiraneza et al. (2022), Rowe et al. (2020)
		باورهای مثبت	اعتماد به نفس معلم در آموزش SL/DL مدیریت اضطراب و خودکارآمدی	Umugiraneza et al. (2022), Rowe et al. (2020)
			نگرش‌های مثبت و اعتماد به نفس در پذیرش فناوری برای تدریس	Cui & Zhang (2022), Agustini et al. (2020)
			آشنایی و تسلط بر مفاهیم پایه داده، آمار، منطق و حوزه‌های STEM	Friedrich (2024), Burrill & Pfannkuch (2024)
	-	دانش پایه فناورانه	شناخت ابزارهای دیجیتال، سواد رایانه‌ای و آشنایی با محیط‌های داده	Memarian & Doleck (2024), Carmi et al. (2020)
		مهارت‌ها	توانایی تعامل، گفت‌وگو و پرسشگری با سامانه‌های هوش مصنوعی	Schönbrodt & Podworny (2025), Wolff et al. (2016)
		شایستگی‌های اجتماعی-نگرشی	توانایی همکاری، تفکر نقاد و حل مسئله در محیط‌های داده‌محور	Getenet (2024), Schmidt et al. (2021)
			احساس خودکارآمدی در استفاده از فناوری	Getenet (2024), Friedrich et al. (2024)
			کنجکاوی علمی	Getenet (2024), Friedrich et al. (2024)

سؤال ۲. فرایندهای توسعه سواد علم داده مبتنی بر هوش مصنوعی در دانش‌آموزان چیست؟
در پاسخ به سؤال دوم پژوهش، بررسی و تحلیل فرایند آموزش سواد علم داده منجر به شناسایی مجموعه‌ای از ابزارهای هوش مصنوعی شده است. در این بخش، صرفاً نرم‌افزارها معرفی شده‌اند که در مطالعات مورد بررسی، توسط پژوهشگران برای آموزش سواد علم داده به کار گرفته شده و کاربرد آن‌ها در این فرایند مورد استناد قرار گرفته است. جدول ۴، فهرست این ابزارها را به همراه پژوهش‌های پشتیبان نشان می‌دهد:

جدول ۴. فرایند توسعه سواد علم داده مبتنی بر هوش مصنوعی در دانش‌آموزان

نام ابزارهای هوش مصنوعی	کارکرد ابزار در فرایند آموزش	مطالعات پشتیبان
به‌کارگیری DaTu	حل وظایف برنامه‌نویسی و تقویت مهارت‌های خودتنظیمی از طریق راهنمایی‌های هوشمند.	Doleck et al. (2024)
به‌کارگیری ChatGPT	مربی مطالعه جهت رفع خطا (Debugging)، تولید کد و ارائه بازخورد فوری برای تمرکز بر اهداف سطح بالا.	Peters & Hagman (2025), Doleck et al. (2024)
به‌کارگیری SHAP / LIME	شفاف‌سازی مدل‌های پیچیده (جعبه سیاه) و آموزش اخلاق و پاسخگویی در تصمیمات داده‌محور.	Wu (2025); Bamigbade et al. (2024)
به‌کارگیری Auto-sklearn و TPOT	خودکارسازی مراحل انتخاب مدل و بهینه‌سازی فرآیندها جهت بهبود کارایی و پر کردن شکاف مهارتی در تحلیل داده‌ها.	Wang et al. (2019)
به‌کارگیری AutoML (TPOT/TensorFlow)	خودکارسازی مراحل انتخاب مدل و بهینه‌سازی، با هدف دموکراتیک کردن هوش مصنوعی و کاهش موانع فنی ورود.	Wang et al. (2019); Wu (2025)
به‌کارگیری MLflow / Docker	مدیریت زیرساخت، ردیابی آزمایش‌ها و ایجاد محیط‌های مقیاس‌پذیر برای نظارت بر چرخه مدل‌سازی.	Wu (2025)

سؤال ۳. پیامدهای مرتبط سواد علم داده دانش‌آموزان ابتدایی چیست؟ در بخش پیامدها، ۱۵ کد باز در قالب ۳ کد محوری سطح ۱ طبقه‌بندی شدند.

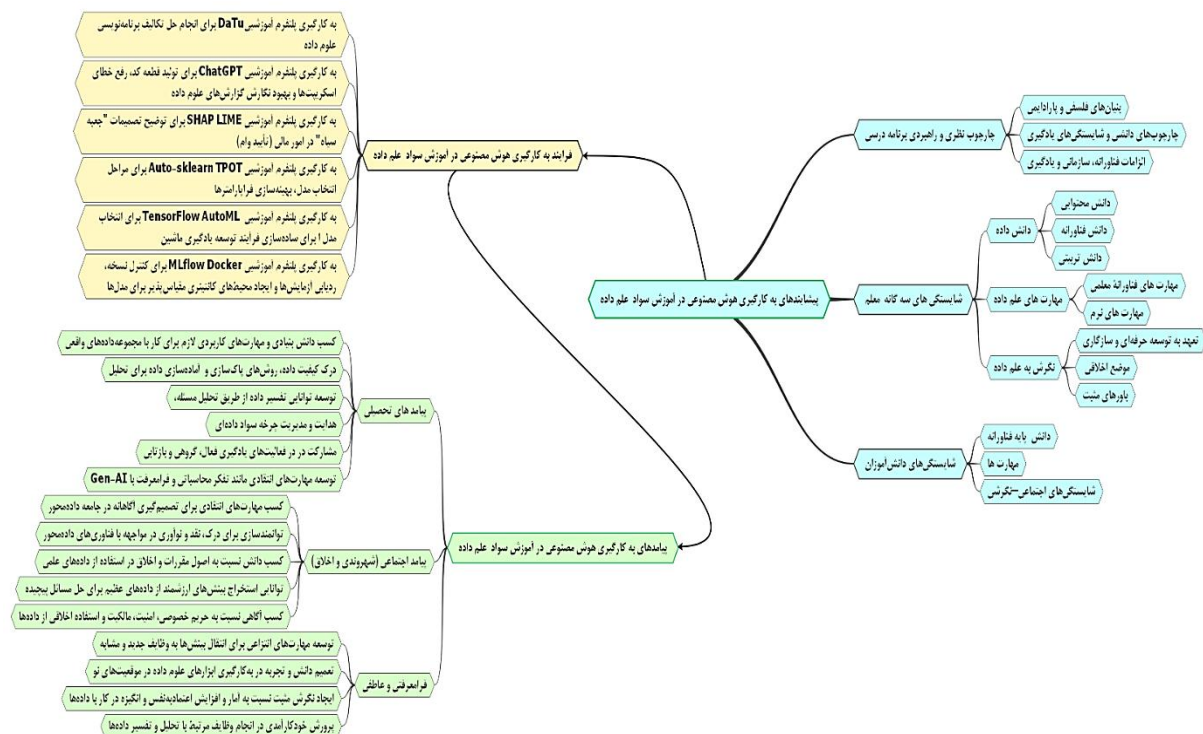
جدول ۵. پیامدهای توسعه سواد علم داده مبتنی بر هوش مصنوعی در دانش‌آموزان

کد محوری ۱	کد باز	نمونه شواهد
پیامدهای تحصیلی	کسب دانش‌بنیادی و مهارت‌های کاربردی لازم برای کار با مجموعه داده‌های واقعی	Verständig et al. (2025), Witte et al. (2024)
	درک کیفیت داده، روش‌های پاک‌سازی و اهمیت آماده‌سازی داده برای تحلیل	Verständig et al. (2025), Xie et al. (2025)
	توسعه توانایی تفسیر داده از طریق تحلیل مسئله، شناسایی الگوها و ارائه شواهد مبتنی بر داده	Verständig et al. (2025), Friedrich et al. (2024)
	هدایت و مدیریت چرخه سواد داده‌ای	Wolff et al. (2016); Echtenbruck et al. (2025)

کد محوری ۱	کد باز	نمونه شواهد
فرامعرفتی و عاطفی	مشارکت در فعالیت‌های یادگیری فعال، گروهی و بازتابی	Hicks & Irizarry (2018); Donoghue et al. (2021)
	توسعه مهارت‌های انتقادی مانند تفکر محاسباتی و فرامعرفت با Gen-AI	Maksimenkova et al. (2020); Hazzan et al. (2020)
	توسعه مهارت‌های انتزاعی برای انتقال بینش‌ها به وظایف جدید و مشابه	Maksimenkova et al. (2020); Donoghue et al. (2021)
	تعمیم دانش و تجربه در به‌کارگیری ابزارهای علوم داده در موقعیت‌های نو	Maksimenkova et al. (2020); Donoghue et al. (2021)
	ایجاد نگرش مثبت نسبت به آمار و افزایش اعتماد به نفس و انگیزه در کار با داده‌ها	Maksimenkova et al. (2020); Donoghue et al. (2021)
	پرورش خودکارآمدی در انجام وظایف مرتبط با تحلیل و تفسیر داده‌ها	Maksimenkova et al. (2020); Donoghue et al. (2021)
پیامد اجتماعی (شهروندی و اخلاق)	کسب مهارت‌های انتقادی برای تصمیم‌گیری آگاهانه در جامعه داده‌محور	Engel (2017), Sandoval-Ríos et al. (2025)
	توانمندسازی برای درک، نقد و نوآوری در مواجهه با فناوری‌های داده‌محور	Friedrich et al. (2024); Wolff et al. (2016);
	کسب دانش نسبت به اصول مقررات و اخلاق در استفاده از داده‌های علمی	U.S. Department of Education, Institute of Education Sciences(2025), Mandinach & Jimerson (2021)
	توانایی استخراج بینش‌های ارزشمند از داده‌های عظیم برای حل مسائل پیچیده و تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد	Friedrich et al. (2024); Wolff et al. (2016)
	کسب آگاهی نسبت به حریم خصوصی، امنیت، مالکیت و استفاده اخلاقی از داده‌ها	Friedrich et al. (2024); Engel (2017)

سؤال ۴. چه رابطه‌ای بین پیشایندها، فرایندها و پیامدهای توسعه سواد علم داده مبتنی بر هوش مصنوعی در دانش‌آموزان وجود دارد؟

شکل ۱. مدل توسعه سواد علم داده در دانش‌آموزان با استفاده از هوش مصنوعی



بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف توسعه مدلی جامع برای پرورش سواد علم داده در میان دانش‌آموزان با بهره‌گیری از هوش مصنوعی انجام شده است. مدل پیشنهادی شامل سه بعد به هم پیوسته پیشایندها، فرایندها و پیامدها است.

تحلیل یافته‌های پژوهش در سطح پیشایندهای کلان نشان می‌دهد که استقرار سواد علم داده، فراتر از افزودن صرف سرفصل‌های درسی، مستلزم بازطراحی بنیادین زیست‌بوم یادگیری بر پایه سه محور اصولی است. نخست، در تبیین بنیان‌های فلسفی، یافته‌های این مطالعه در همسویی با رویکردهای یونسکو^۱ (۲۰۲۴) و شولر^۲ (۲۰۲۲) مؤید آن است که پارادایم آموزش داده باید از مهارت‌گرایی فنی محض به سمت داده‌گرایی فراگیر تغییر جهت دهد. در واقعیت آموزشی، این امر با استفاده از داده‌های بومی و ملموس (نظیر تحلیل مصرف انرژی در مدرسه یا آمارهای محلی) برای حل مسائل اجتماعی محقق می‌شود که داده را از مفهومی انتزاعی به ابزاری برای مطالبه‌گری آگاهانه تبدیل کرده و قدرت تحلیل منتقدانه‌ای نسبت به سوگیری‌های الگوریتمی در دانش‌آموزان ایجاد می‌کند. دوم، در حوزه چارچوب‌های محتوایی، برخلاف پژوهش‌های پیشین که آموزش داده را به دوره متوسطه موقوف می‌کردند، مدل حاضر بر اساس دیدگاه‌های چو^۳ (۲۰۲۵)

1. UNESCO
2. Schüller
3. Chiu

و گارتینگ داگز^۱ (۲۰۲۵)، بر ضرورت اولویت‌دهی استراتژیک از دوره ابتدایی تأکید دارد. نوآوری این پژوهش نسبت به مطالعات باناز و دمیرل^۲ (۲۰۲۴) در این است که با هدف جلوگیری از تورم برنامه درسی، سواد داده را نه به عنوان واحدی مجزا، بلکه به عنوان یک رشته متقاطع در دل دروس علوم، فناوری، مهندسی و ریاضیات^۳ و از طریق راهبردهای اجرایی مانند یادگیری بدون رایانه و بازی‌وارسازی تعریف می‌کند. سوم، در بخش الزامات فناوریانه، یافته‌ها همسو با ونکسل و همکاران^۴ (۲۰۲۵) نشان می‌دهد که زیرساخت‌ها باید از مدیریت اداری فاصله گرفته و در خدمت تولید محتوا توسط دانش‌آموز در قالب آزمایشگاه‌های داده‌محور قرار گیرند. با توجه به چالش شکاف دیجیتالی، مدل پیشنهادی بر بهره‌گیری از ابزارهای متن‌باز و ابزارهای کم‌کد جهت تسهیل دسترسی عادلانه اصرار می‌ورزد. در نهایت، تمایز بنیادین این مدل با چارچوب‌های کلاسیک نظیر GAISE II در وارد کردن مؤلفه اخلاق و مسئولیت اجتماعی هوش مصنوعی (OECD, 2025) و برقراری پیوند سیستماتیک میان ارزش‌های فلسفی و زیرساخت‌های سخت‌افزاری است؛ رویکردی که تکنولوژی را نه صرفاً یک ابزار، بلکه بستری برای تحقق عدالت آموزشی و توانمندسازی دانش‌آموزان در عصر هوش مصنوعی قلمداد می‌کند.

تحقق اهداف راهبردی در سطح کلان، مستلزم بازتعریف نقش معلمان از انتقال‌دهندگان صرف محتوا به رهبران آموزشی داده‌بنیاد است. در این نقش جدید، معلم نه تنها متخصص ماده درسی، بلکه تسهیلگر هوشمندی است که با تحلیل داده‌های آموزشی، مسیر یادگیری را برای هر دانش‌آموز شخصی‌سازی می‌کند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که چارچوب سنتی دانش محتوایی، پداگوژیکی و فناوری^۵ برای پاسخگویی به پیچیدگی‌های عصر هوش مصنوعی نیازمند بازنگری است؛ لذا مدل پیشنهادی با توسعه این چارچوب به پنج بعد یکپارچه (محتوایی، پداگوژیکی، فناوریانه، داده‌ای و نگرشی)، پیوندی طبیعی میان اسناد بالادستی و عمل حرفه‌ای معلم برقرار می‌سازد. در این راستا، برخلاف نگاه سنتی که سواد داده را در آمار توصیفی خلاصه می‌کرد، یافته‌های حاضر همسو با ام‌اس‌ولی^۶ (۲۰۲۳) و کسل و همکاران^۷ (۲۰۲۵) مؤید آن است که معلم باید به سواد مدل‌سازی الگوریتمیک مجهز شود. در واقعیت کلاس درس، این شایستگی به معنای توانایی معلم در تفسیر داشبوردهای یادگیری و اتخاذ تصمیم‌گیری‌های آموزشی بالینی جهت شناسایی نقاط کور یادگیری و شخصی‌سازی محتوا است؛ امری که ماندینا و جیمرسون^۸ (۲۰۲۱) آن را زیربنای عدالت آموزشی قلمداد می‌کنند. علاوه بر این، نوآوری مدل در ترکیب دانش پداگوژیکی با هوش مصنوعی مولد، بر اساس دیدگاه‌های ژو و همکاران^۹ (۲۰۲۵)، مسیر عبور از تکالیف سنتی به سمت پروژه‌های روایتگری داده را هموار می‌سازد. باین‌حال، پیاده‌سازی این رویکرد با چالش انفعال تکنولوژیک روبروست که مدل حاضر برای تعدیل آن، بر نقش معلم به عنوان ناظر تحلیلی جهت نقد اعتبار و سوگیری خروجی‌های هوش مصنوعی تأکید می‌ورزد. در نهایت، یافته متمایز این بخش که در مطالعات پیشین کمتر به صورت منسجم بدان پرداخته شده، نقش خودکارآمدی و مدیریت اضطراب داده‌ای است. بر مبنای استدلال آموگیرانزا

1. Gaertig-Daug
2. Banaz & Demirel
3. STEM
4. van Kessel et al.
5. TPACK
6. Msweli
7. Mandinach & Jimerson
8. Zhou et al.

و همکاران^۱ (۲۰۲۲)، تا زمانی که حساسیت اخلاقی نسبت به امنیت داده‌ها و باورهای مثبت نسبت به فناوری شکل نگیرد، زیرساخت‌های کلان بلااستفاده خواهند ماند؛ از این رو، تعهد به توسعه حرفه‌ای مستمر نه یک انتخاب، بلکه پیشایندهای گریزناپذیر برای تبدیل معلم از یک اپراتور به رهبر آموزشی مسئولیت‌پذیر است. این پیوند سیستماتیک میان شایستگی‌های نرم و دانش فنی، پاسخی عملیاتی به چالش پیچیدگی ادغام هوش مصنوعی در محیط‌های آموزشی واقعی فراهم می‌آورد. در نهایت، تکمیل زنجیره پیشایندهای مدل مستلزم توجه به آمادگی‌های پایه‌ای و ظرفیت‌های کنشگری در سطح خرد (دانش آموز) است. شایستگی‌های دانش‌آموزی در این لایه، نه به عنوان خروجی نهایی، بلکه به عنوان دروندادهای انسانی ضروری تلقی می‌شوند که در هم‌افزایی با برنامه‌های درسی کلان و راهبری معلمان، بستر ورود به فرایند یادگیری داده‌محور را فراهم می‌سازند. یافته‌های پژوهش حاضر مبین آن است که پیشایندهای دانش‌آموزی از مرزهای سواد دیجیتال سنتی فراتر رفته و به‌سوی مفهومی تحت عنوان عاملیت داده‌محور حرکت می‌کند؛ به‌طوری که در بعد دانش پایه و در همسویی با شواهد فرددریج^۲ (۲۰۲۴) و بوریل^۳ (۲۰۲۴)، تسلط بر مفاهیم علوم، فناوری، مهندسی و ریاضیات و منطق آماری نه صرفاً یک ضرورت آکادمیک، بلکه زیربنای درک ساختارهای داده‌بنیاد در زیست‌جهان دانش‌آموز قلمداد می‌شود. در واقعیت آموزشی، این شایستگی زمانی عینی می‌گردد که دانش‌آموز فرایند تبدیل پدیده‌های فیزیکی به داده را درک کرده و توانمندی تعامل فعال با ابزارهای دیجیتال را کسب نماید. باین حال، چالش اساسی در این سطح، مصرف‌گرایی غیرانتقادی از فناوری است؛ لذا مدل حاضر با تکیه بر دیدگاه شون بروت و پادورنی^۴ (۲۰۲۵)، بر مهارت پرسشگری الگوریتمیک به عنوان راهکاری عملیاتی جهت به چالش کشیدن خروجی‌های هوش مصنوعی تأکید می‌ورزد. علاوه بر این، یافته‌های مرتبط با شایستگی‌های اجتماعی-نگرشی همسو با پژوهش‌های جنت^۵ (۲۰۲۴) نشان می‌دهد که کنجکاوی علمی و خودکارآمدی فناورانه، پیشایندهایی حیاتی و موتور محرک یادگیری در محیط‌های پرابهام علم داده محسوب می‌شوند. نوآوری مدل در این بخش، پیوند زدن مهارت‌های نرم با حل مسائل واقعی است؛ به گونه‌ای که دانش‌آموز از طریق تفکر نقاد، داده را نه یک حقیقت مطلق، بلکه بازنمایی احتمالی از واقعیت ادراک می‌کند. این تغییر نگرش، پاسخی ساختارمند به ضرورت پرورش شهروندانی است که قادرند در محیط‌های داده‌محور به صورت اخلاقی و مستقل تصمیم‌گیری کنند و این دقیقاً نقطه‌ای است که مدل حاضر با افزودن لایه عاملیت انتقادی، تمایز خود را نسبت به مدل‌های مهارتی کلاسیک تثبیت می‌نماید.

تحلیل سنتزپژوهی حاضر در بخش فرایندها، گویای آن است که ابزارهای هوش مصنوعی نه به عنوان تکنولوژی‌های جانبی، بلکه به عنوان تسهیلگر یادگیری در چرخه علم داده عمل می‌کنند. واکاوی محتوای مطالعات نشان می‌دهد که این ابزارها از طریق راهبردهای کلیدی، فرایند یادگیری را بازتعریف می‌کنند؛ به‌طوری که بر اساس یافته‌های مستخرج از پلتفرم DaTu، هوش مصنوعی با ارائه راهنمایی‌های درخواستی، نقش یک داربست‌بندی آموزشی را ایفا می‌کند. اهمیت این ابزار در آن است که با هدایت گام‌به‌گام یادگیرنده در حل وظایف پیچیده برنامه‌نویسی، از بار شناختی مخرب کاسته و

1. Umugiraneza et al.

2. Friedrich

3. Burrill

4. Schönbrodt & Podworny

5. Getenet

به جای آن، مهارت‌های خودتنظیمی دانش آموز را تقویت می‌نماید (Doleck et al., 2024)؛ این رویکرد نشان می‌دهد که فرایند آموزش علم داده در مدل حاضر، بر توانمندسازی مستقل دانش آموز متمرکز است.

در سطحی دیگر، یکی از برجسته‌ترین کاربردهای شناسایی شده در مطالعات (Hagman & Peters, 2025؛ Wang et al., 2019؛ Doleck et al., 2024)، استفاده از مدل‌های زبانی بزرگ مانند ChatGPT و سیستم‌های یادگیری ماشین خودکار^۱ نظیر Auto-sklearn و TPOT برای ساده‌سازی فرایندهای تکراری و پرحمت است. خودکارسازی مراحل چون انتخاب مدل، رفع خطاهای اسکریپتی و بهبود نگارش گزارش‌ها، این امکان را فراهم می‌آورد که دانش آموز به جای درگیری در لایه‌های فنی فرسایشی، بر اهداف سطح بالا نظیر طرح مسئله، تفسیر شواهد و تصمیم‌گیری استراتژیک تمرکز کند (Hagman & Peters, 2025؛ Wang et al., 2019). این یافته، مدعی اصلی پژوهش مبنی بر همگانی‌سازی هوش مصنوعی را تأیید می‌کند؛ چرا که با خودکارسازی وظایف پرحمت، موانع ورود پژوهشگران غیرمتخصص را از میان برداشته و شکاف میان تقاضای بالا و عرضه کم متخصصان داده را پر می‌کند (Wang et al., 2019).

علاوه بر این، نوآوری فرایندی در این مدل، در بهره‌گیری از ابزارهای تفسیری نظیر SHAP و LIME نهفته است که بر اساس شواهد ارائه‌شده توسط پژوهشگران (Wu, 2025؛ Bamigbade et al., 2024)، با هدف خروج از پارادایم جعبه سیاه و تبیین منطق تصمیمات هوش مصنوعی در حوزه‌های حساسی چون بهداشت و امور مالی به کار می‌روند. این ابزارها با تضمین شفافیت و پاسخگویی، به سازمان‌ها در رعایت استانداردهای نظارتی و جلب اعتماد ذی‌نفعان کمک کرده و به دانش آموز می‌آموزند که اخلاق الگوریتمیک، جزئی جدایی‌ناپذیر از سواد علم داده است (Wu, 2025؛ Bamigbade et al., 2024). درنهایت، استفاده از ابزارهایی نظیر Docker و MLflow نشان‌دهنده لزوم ایجاد محیط‌های کانینتری مقیاس‌پذیر برای ردیابی آزمایش‌ها و فراهم‌سازی زیرساخت لازم برای ادغام مداوم است که فرایند آموزش را به استانداردهای صنعتی نزدیک می‌کند (Wu, 2025). درمجموع، هدف از ارائه این ابزارها در فرایند یادگیری، تبیین این واقعیت است که هوش مصنوعی با ایفای نقش هم‌زمان مربی، دستیار فنی و ناظر اخلاقی، محیط آموزشی را به یک اکوسیستم پویا تبدیل می‌کند که در آن نه تنها کارایی بهبود می‌یابد، بلکه موانع ورود به دنیای داده نیز به شکل معنی‌داری کاهش می‌یابد.

درنهایت، یافته‌های پژوهش مبین آن است که هم‌افزایی میان پیشایندهای راهبردی و فرایندهای ابزارمحور، به ظهور پیامدهایی فراتر از پیشرفت تحصیلی صرف در سه حوزه درهم‌تنیده منجر می‌گردد. نخست، در بعد تحصیلی و شناختی، برخلاف الگوهای سنتی که پیامد یادگیری را در نتایج آزمون خلاصه می‌کردند، مدل حاضر همسو با دیدگاه ورستاندینگ و همکاران^۲ (۲۰۲۵)، دستاورد بنیادین را مدیریت چرخه کامل سواد داده‌ای قلمداد می‌کند؛ این امر در واقعیت آموزشی به معنای گذار دانش آموز از یک مصرف‌کننده منفعل به یک تحلیل‌گر الگو است که با بهره‌گیری از هوش مصنوعی مولد، مفاهیم انتزاعی را به شواهد عینی تبدیل کرده و بر اساس یافته‌های هازان و همکاران^۳ (۲۰۲۰)، با تکیه بر تفکر محاسباتی، بار شناختی خود را به سمت فعالیت‌های بازتابی و حل مسائل واقعی معطوف می‌سازد. دوم، در حوزه فرامعرفتی و عاطفی،

1. AutoML
2. Verständig et al.
3. Hazzan et al.

نوآوری مدل در توسعه هویت داده‌محور نهفته است؛ به‌طوری که طبق مطالعات دونوگو و همکاران^۱ (۲۰۲۱)، جایگزینی اضطراب آماری با خودکارآمدی فناورانه، دانش‌آموزان را نه تنها در انتقال یادگیری به موقعیت‌های نو توانمند می‌سازد، بلکه آمادگی روانی آنان را برای ورود به مشاغل عصر هوش مصنوعی ارتقا می‌دهد. درنهایت، در سطح پیامدهای اجتماعی و اخلاقی، این مدل با عبور از رویکردهای ابزارگرا و تکیه بر چارچوب‌های اخلاقی اُ-ای-سی-دی^۲ (۲۰۲۵) و انگل^۳ (۲۰۱۷)، به توانمندسازی دانش‌آموزان برای تصمیم‌گیری آگاهانه منجر می‌شود؛ شایستگی‌محوری که در واقعیت اجتماعی، کنشگران را قادر می‌سازد در مواجهه با چالش‌هایی نظیر اخبار جعلی و داده‌های عظیم، به استخراج بینش‌های ارزشمند پرداخته و به‌عنوان شهروندانی منتقد و نوآور در حل مسائل پیچیده مشارکت نمایند. بدین‌سان، پیامد نهایی این الگوی توسعه، گذار از سواد فنی به خرد دیجیتال است که در آن هوش مصنوعی به‌عنوان بستری برای تحقق رفاه جمعی و عدالت اجتماعی بازتعریف می‌شود.

در جمع‌بندی می‌توان گفت پژوهش حاضر از طریق ترکیب نظام‌مند تجارب جهانی، مدلی ساختارمند را ارائه می‌دهد که توسعه سواد علم مبتنی بر هوش مصنوعی را نه به‌عنوان یک افزونه مهارتی، بلکه به‌عنوان یک تغییر پارادایم در زیست‌بوم آموزشی تبیین می‌کند. یافته‌های این فراترکیب مؤید آن است که گذار به آموزش آینده‌نگر، مستلزم پیوندی استراتژیک میان زیرساخت‌های فلسفی-راهبردی (پیشایندها)، عاملیت ابزارمحور (فرایندها) و خرد دیجیتال (پیامدها) است. در لایه تبیینی، این مدل نشان می‌دهد که برخلاف الگوهای سنتی آموزش ریاضی و آمار، سواد علم داده در عصر هوش مصنوعی با یک چرخه بازخوردی میان شایستگی معلم و کنشگری دانش‌آموز تعریف می‌شود. در این چرخه، هوش مصنوعی با ایفای نقش تسهیلگر بار شناختی، امکان تمرکز بر تفکر انتقادی و حل مسائل واقعی را فراهم می‌آورد. از منظر سیاست‌گذاری، این مدل چارچوبی پویا برای عبور از آموزش‌های مقطعی به سمت برنامه‌های درسی ارائه می‌دهد که در آن داده، نه یک موضوع درسی، بلکه زبانی مشترک برای درک جهان است. همچنین در سطح اجرایی و ارزشیابی، نوآوری این پژوهش در معرفی معیارهای چندبعدی نهفته است که بر اساس آن، موفقیت آموزشی نه با تسلط بر ابزار، بلکه با میزان خودکارآمدی در حل مسئله و تعهد اخلاقی به عدالت داده‌ای سنجیده می‌شود. درنهایت، مدل مستخرج با یکپارچه‌سازی ابعاد فنی و انسانی، بستری را فراهم می‌آورد که در آن سیستم آموزشی از یک ساختار ایستا به یک اکوسیستم هوشمند و انطباقی ارتقا می‌یابد؛ اکوسیستمی که هدف نهایی آن پرورش شهروندانی است که قادرند در پیچیدگی‌های جامعه داده‌محور، مسیری آگاهانه، مسئولانه و نوآورانه را برگزینند.

بر اساس یافته‌های این پژوهش پیشنهاد می‌گردد که برای توسعه سواد علم داده مبتنی بر هوش مصنوعی، در دوره ابتدایی (پایه‌های اول تا ششم) برنامه‌های بازی‌محور با ابزارهای رایگان مانند Google Teachable Machine در درس‌های علوم و ریاضی پیاده‌سازی شده تا دانش‌آموزان با جمع‌آوری و دسته‌بندی داده‌های ساده مانند الگوهای آب‌وهوایی آشنا شده و کنجکاوی علمی آن‌ها برانگیخته شود. در دوره متوسطه، برای پایه‌های هفتم تا نهم، ابزارهای آفلاین مانند نسخه‌های محلی ChatGPT در تحلیل داده‌های واقعی در درس‌های علوم و ریاضی می‌تواند استفاده شود، و در پایه‌های دهم تا دوازدهم، پروژه‌های گروهی با Julius AI و H2O.ai برای تحلیل داده‌های اقتصادی یا علمی پیشنهاد

می‌شود. در دانشگاه فرهنگیان، ماژول‌های اختیاری سواد داده و هوش مصنوعی به رشته‌های آموزش ابتدایی، علوم، و ریاضی افزوده شده و با ابزارهایی مانند Claude و Julius AI، یادگیری پروژه‌محور و تعاملی تقویت گردد. برای ارزشیابی، استانداردهای داده‌محور با استفاده از PandasAI برای تحلیل بازخوردهای کلاسی و نظارت بر توسعه حرفه‌ای معلمان در دوره‌های کارورزی پیاده‌سازی شود تا عملکرد آنان به صورت سیستماتیک ارزیابی گردد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

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

مشارکت نویسندگان

سهم نویسندگان در انجام این پژوهش به شرح زیر است:

فرزانه دیمه کار حقیقی (نویسنده اول / نویسنده مسئول): ایده‌پردازی و مفهوم‌سازی کلی پژوهش، راهنمایی و نظارت بر اجرا، و بازبینی انتقادی و هدایت چارچوب پژوهش؛

علیرضا حیدری (نویسنده دوم): مشارکت در طراحی پژوهش، توسعه روش‌شناسی و فرایند گردآوری داده‌ها؛

پریسا یزدان‌دوست (نویسنده سوم): مشارکت در تحلیل داده‌ها، تفسیر یافته‌ها و نگارش پیش‌نویس اولیه مقاله؛

بهاره خیاطی (نویسنده چهارم): همکاری در مرور ادبیات پژوهش، ویراستاری متن و قالب‌بندی مقاله جهت ارسال.

تمامی نویسندگان نسخه نهایی مقاله را مطالعه کرده و به تأیید رسانده‌اند.

دسترسی به داده‌ها

اشتراک‌گذاری داده‌ها برای این مقاله موضوعیت ندارد، زیرا هیچ مجموعه داده تجربی جدیدی ایجاد نشده است. تمامی داده‌های تحلیل شده در این پژوهش از ادبیات منتشر شده و در دسترس عموم که در مقاله به آن‌ها ارجاع داده شده، استخراج شده‌اند.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تعارض منافع را اعلام نمی‌کنند. حامیان مالی هیچ نقشی در طراحی مطالعه، گردآوری، تحلیل یا تفسیر داده‌ها، نگارش مقاله یا تصمیم برای انتشار نتایج نداشته‌اند.

حامی مالی

این پژوهش هیچ گونه کمک هزینه مالی مشخصی از سازمان‌های تأمین مالی در بخش‌های دولتی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

ORCID

Farzane Deimehkar Haghighi  <http://orcid.org/0009-0006-1749-0351>

Alireza Heidari  <http://orcid.org/0009-0004-1595-1105>

Parisa Yazdandoust  <http://orcid.org/0009-0004-7917-2135>

Bahare Khayati  <http://orcid.org/0009-0003-6478-3374>

References

- Agustini, K., Darmawiguna, I., Artayasa, I., & Mertayasa, I. J. I. J. (2020). Evaluation of the teachers' acceptance to e-report card applications with the Hot-Fit Model approach. *International Journal of Instruction*, 13(3), 475–490. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1259675>
- Ahlborn, J., Verständig, D., & Stricker, J. (2021). Embracing unfinishedness: Kreative Zugänge zu Data Literacy [Creative approaches to data literacy]. *Medienimpulse*, 59(3), 1–42. <https://doi.org/10.21243/mi-03-21-18>
- Aleven, V., McLaughlin, E. A., Glenn, R. A., & Koedinger, K. R. (2017). Instruction based on adaptive learning technologies. In R. E. Mayer & P. A. Alexander (Eds.), *Handbook of research on learning and instruction* (2nd ed., pp. 522–560). Routledge.
- Andre, M., Frischemeier, D., & Schneider, C. (2022). Enhancing data literacy at an early stage: Primary school pupils' precursor ideas of covariation. In *Statistics education in the era of data science: Proceedings of the International Association for Statistical Education Satellite Conference*. IASE. <https://doi.org/10.52041/iase.kjrrp>
- Avila-Garzon, C., & Bacca-Acosta, J. (2025). Curriculum, pedagogy, and teaching/learning strategies in data science education. *Education Sciences*, 15(2), Article 186. <https://www.mdpi.com/2227-7102/15/2/186>
- Bamigbade, O., Adeshina, Y. T., & Kemisola, K. (2024). Ethical and explainable AI in data science for transparent decision-making across critical business operations. *International Journal of Engineering Technology Research & Management*, 8(11), 734–753.
- Banaz, E., & Demirel, O. (2024). Türkçe öğretmen adaylarının yapay zekâ okuryazarlıklarının farklı değişkenlere göre incelenmesi [Examining Turkish pre-service teachers' artificial intelligence literacy according to different variables]. *Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Dergisi*, (60), 1516–1529.
- Bekiaridis, G., & Attwell, G. (2024). Integrating artificial intelligence in vocational and adult education: A supplement to the DigCompEdu framework. *Ubiquity Proceedings*, 4(1). <https://doi.org/10.5334/uproc.142>
- Bekiaridis, G., & Graham, A. (2024). *Supplement to the DigCompEDU framework: Outlining the skills and competences of educators related to AI in education*. University of Bremen, Institute Technology and Education. <https://doi.org/10.26092/elib/2708>
- Biehler, R., & Schulte, C. (2018). Perspectives for an interdisciplinary data science curriculum at German secondary schools. In R. Biehler, L. Budde, D. Frischemeier, B. Heinemann, S. Podworny, C. Schulte, & T. Wassong (Eds.), *Paderborn Symposium on Data Science Education at School Level 2017: The collected extended abstracts* (pp. 2–14). Universitätsbibliothek Paderborn. <https://doi.org/10.17619/UNIPB/1-374>
- Bonnell, J., Ogihara, M., & Yesha, Y. (2022). Challenges and issues in data science education. *Computer*, 55(2), 63–66. <https://doi.org/10.1109/MC.2021.3128734>
- Bornn, L., Mortensen, J., & Ahrensmeier, D. (2022). A data-first approach to learning real-world statistical modeling. *Canadian Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, 13(1). <https://doi.org/10.5206/cjsotlrcacea.2022.1.10204>
- Bowler, L., Aronofsky, M., Milliken, G., & Acker, A. (2020). Teen engagements with data in an after-school data literacy programme at the public library. *Proceedings of ISIC: The Information Behaviour Conference*. <https://doi.org/10.47989/irisic2015>
- Burrill, G., & Pfannkuch, M. (2024). Emerging trends in statistics education. *ZDM Mathematics Education*, 56, 19–29. <https://doi.org/10.1007/s11858-023-01501-7>
- Çakıroğlu, Ü., & Güler, M. (2021). Enhancing statistical literacy skills through real life activities enriched with gamification elements: An experimental study. *E-Learning and Digital Media*, 18(5), 441–459. <https://doi.org/10.1177/2042753020987016>
- Carmi, E., Yates, S. J., Lockley, E., & Pawluczuk, A. (2020). Data citizenship: Rethinking data literacy in the age of disinformation, misinformation, and malinformation. *Internet Policy Review*, 9(2), 1–22. <https://doi.org/10.14763/2020.2.1481>

- Casal-Otero, L., Catala, A., Fernández-Morante, C., Taboada, M., Cebreiro, B., & Barro, S. (2023). AI literacy in K-12: A systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, 10(1), Article 29. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00418-7>
- Cetinkaya-Rundel, M., & Ellison, V. (2021). A fresh look at introductory data science. *Journal of Statistics and Data Science Education*, 29(S1), S16–S26. <https://doi.org/10.1080/10691898.2020.1804497>
- Chiu, T. K. F. (2025). *Empowering K-12 education with AI: Preparing for the future of education and work*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003498377>
- Chiu, T. K. F., Ahmand, Z., Ismail, M., & Sanusi, I. T. (2024). What are artificial intelligence literacy and competency? A comprehensive framework to support them. *Computers & Education Open*, 6, Article 100171. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2024.100171>
- Christozov, D., Rasheva-Yordanova, K., & Toleva-Stoimenova, S. (2019). Designing data science curriculum in a way to address expected students entry competences. In *INTED2019 Proceedings* (pp. 2635–2640). IATED. <https://doi.org/10.21125/inted.2019.0708>
- Cui, Y., & Zhang, H. (2022). Integrating teacher data literacy with TPACK: A self-report study based on a novel framework for teachers' professional development. *Frontiers in Psychology*, 13, Article 966575. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.966575>
- Cui, Y., Chen, F., Lutsyk, A., Leighton, J. P., & Cutumisu, M. (2023). Data literacy assessments: A systematic literature review. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 30(1), 76–96.
- De Veaux, R., Hoerl, R., Snee, R., & Velleman, P. (2022). Toward holistic data science education. *Statistics Education Research Journal*, 21(2), Article 2. <https://doi.org/10.52041/serj.v21i2.40>
- Demirci, S., Doğucu, M., Zieffler, A., & Rosenberg, J. M. (2025). *Understanding pedagogical content knowledge of data science instructors: An inaugural framework*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2508.14009>
- Dierker, L., Ward, N., Alexander, J., & Donate, E. (2017). Engaging underrepresented high school students in data driven storytelling: An examination of learning experiences and outcomes for a cohort of rising seniors enrolled in the Gaining Early Awareness and Readiness for Undergraduate Program (GEAR UP). *Journal of Education and Training Studies*, 5(4), 54–63. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1133867>
- Doleck, T., Agand, P., & Pirrotta, D. (2024). Integrating generative AI in data science programming: Group differences in hint requests. *Computers in Human Behavior: Artificial Humans*, 2, Article 100089. <https://doi.org/10.1016/j.chbah.2024.100089>
- Donate-Bebby, B., García-Peñalvo, F. J., Amo-Filva, D., & Aguayo-Mauri, S. (2025). Filling the gap in K-12 data literacy competence assessment: Design and initial validation of a questionnaire. *Computers in Human Behavior Reports*, 17, Article 100583.
- Donoghue, T., Voytek, B., & Ellis, S. E. (2021). Teaching creative and practical data science at scale. *Journal of Statistics and Data Science Education*, 29(S1), S27–S39. <https://doi.org/10.1080/10691898.2020.1860725>
- Dorsey, C., Sagrans, J., Yaneva, K., O'Brien, D., Collins, I., Gannon-Slater, N., ... & Schwein, P. (2025). Integrating data literacy into K–12 education. *Harvard Data Science Review*, 7(2). <https://hdsr.mit.edu/pub/o1nj6f46/download/pdf>
- Doukakis, S., Psaltidou, A., Stavradi, A., Adamopoulos, N., Tsiotakis, P., & Stergou, S. (2021). *Measuring the technological pedagogical content knowledge (TPACK) of in-service teachers of computer science who teach algorithms and programming in upper secondary education*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.09252>
- Echtenbruck, M. M., Fühles-Ubach, S., Naujoks, B., & Kaliva, E. (2025). *A data literacy competence model for higher education and research*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.15690>
- Engel, J. (2017). Statistical literacy for active citizenship: A call for data science education. *Statistics Education Research Journal*, 16(1), 44–49. <https://doi.org/10.52041/serj.v16i1.213>
- Filderman, M. J., Toste, J. R., Didion, L., & Peng, P. (2021). Data literacy training for K-12 teachers: A meta-analysis of the effects on teacher outcomes. *Remedial and Special Education*, 43(5), 328–343. <https://doi.org/10.1177/07419325211045285>
- Finfgeld-Connett, D. (2018). *A guide to qualitative meta-synthesis*. Routledge.

- Friedrich, A., Schreiter, S., Vogel, M., Becker-Genschow, S., Brünken, R., Kuhn, J., ... & Malone, S. (2024). What shapes statistical and data literacy research in K-12 STEM education? A systematic review of metrics and instructional strategies. *International Journal of STEM Education*, 11(1), Article 58. <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00517-z>
- GAISE II College Report ASA Revision Committee. (2021). *Guidelines for assessment and instruction in statistics education (GAISE II)*. American Statistical Association. https://www.amstat.org/asa/files/pdfs/GAISE/GAISEIIPreK-12_Full.pdf
- Gal, I. (2002). Adults' statistical literacy: Meanings, components, responsibilities. *International Statistical Review*, 70(1), 1–25. <https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2002.tb00336.x>
- Gal, I. (2025). Infusing "statistical, data science and AI literacy" for the general learner population: Conceptual, instructional, and systemic challenges. In S. Podworny & S. Schönbrodt (Eds.), *Towards fostering AI and data science literacy in schools across disciplines: Proceedings of the 1st Symposium on Integrating AI and Data Science into School Education Across Disciplines (AIDEA1 2025)*. Salzburg, Austria. <https://openreview.net/forum?id=SdzWuf7nXa>
- Gärtig-Daug, A., & Schmid, U. (2025). Fostering data and AI competencies in primary schools. In S. Podworny & S. Schönbrodt (Eds.), *Towards fostering AI and data science literacy in schools across disciplines: Proceedings of the 1st Symposium on Integrating AI and Data Science into School Education Across Disciplines (AIDEA1 2025)*. Salzburg, Austria. <https://openreview.net/forum?id=B2kM0I97eB>
- Gebre, E. (2022). Conceptions and perspectives of data literacy in secondary education. *British Journal of Educational Technology*, 53(5), 1080–1095. <https://doi.org/10.1111/bjet.13246>
- Geroldinger, M. (2025). "Navigating the digital frontier": Teaching data science and AI skills in the Austrian school subject digital literacy. In S. Podworny & S. Schönbrodt (Eds.), *Towards fostering AI and data science literacy in schools across disciplines: Proceedings of the 1st Symposium on Integrating AI and Data Science into School Education Across Disciplines (AIDEA1 2025)*. Salzburg, Austria. <https://openreview.net/forum?id=rK0iTXA1QO>
- Getenet, S., Cante, R., Redmond, P., & Albion, P. (2024). Students' digital technology attitude, literacy and self-efficacy and their effect on online learning engagement. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21(1), Article 3. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00437-y>
- Giamellaro, M., O'Connell, K., & Knapp, M. (2020). Teachers as participant-narrators in authentic data stories. *International Journal of Science Education*, 42(3), 406–425. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1714093>
- Gibson, H., Short, M. E., & O'Donnell, C. (2023). Data, discourse, and development: Building a sustainable world through education and science communication. *Frontiers in Communication*, 8, Article 981988. <https://doi.org/10.3389/fcomm.2023.981988>
- Gould, R. (2017). Data literacy is statistical literacy. *Statistics Education Research Journal*, 16(1), 22–25. <https://doi.org/10.52041/serj.v16i1.209>
- Gould, R., Machado, S., Ong, C., Johnson, T., & Molyneux, J. (2016). Teaching data science to secondary students—The Mobilize introduction to data science curriculum. *Proceedings of the IASE Roundtable Conference*.
- Gregorio, T. A. D., Alieto, E. O., Natividad, E. R. R., & Tanpoco, M. R. (2024, May). Are pre-service teachers "totally PACKaged"? A quantitative study of pre-service teachers' knowledge and skills to ethically integrate Artificial Intelligence (AI)-based tools into education. In *International Conference on Digital Technologies and Applications* (pp. 45–55). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-68660-3_5
- Hageman, J. A., & Peeters, C. F. W. (2025). *AI in data science education: Experiences from the classroom*. Wageningen University, Mathematical and Statistical Methods Group.
- Hazzan, O. (2025). Refactoring computer science and data science education in the age of generative AI. In S. Podworny & S. Schönbrodt (Eds.), *Towards fostering AI and data science literacy in schools across disciplines: Proceedings of the 1st Symposium on Integrating AI and Data Science into School Education Across Disciplines (AIDEA1 2025)*. Salzburg, Austria. <https://openreview.net/forum?id=IAIlxmazhZ>

- Hazzan, O., & Mike, K. (2023). Data science teacher preparation: Implementation of the TPACK framework. *ACM Inroads*, 14(3), 39–44. <https://doi.org/10.1145/3614100>
- Hazzan, O., Ragonis, N., & Lapidot, T. (2020). Data science and computer science education. In *Guide to teaching computer science: An activity-based approach* (pp. 95–117). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39360-1_6
- Hicks, S. C., & Irizarry, R. A. (2018). A guide to teaching data science. *The American Statistician*, 72(4), 382–391. <https://doi.org/10.1080/00031305.2017.1356747>
- Huang, R., Helgevold, N., Lang, J., & Jiang, H. (2023). Teacher professional learning through lesson study in virtual/hybrid environments: Opportunities, challenges, and future directions. In *Teacher professional learning through lesson study in virtual/hybrid environments*. Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781003286172-1>
- Huang, R., Kimmins, D., Winters, J., & Suh, J. M. (2025). Promoting students' data literacy using technologies through lesson study. *International Journal for Lesson & Learning Studies*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1108/IJLLS-10-2024-0222>
- Huber, S., Schüller, K., & Drauz, S. (2025). Data and AI readiness: Competencies for school students to become informed citizens. In *Symposium on Integrating AI and Data Science into School Education Across Disciplines*.
- IDSSP Curriculum Team. (2019). *Curriculum frameworks for introductory data science*. International Data Science in Schools Project.
- Kessel, M. V., Molenaar, I., Knoop-van Campen, C. A., Jonge, M. D., & Saab, N. (2025). Primary school teacher perspectives on effective dashboard use in the classroom: Skills, knowledge, and contextual conditions. *Journal of Learning Analytics*, 12(2), 279–292. <https://doi.org/10.18608/jla.2025.8493>
- Koh, J. H. L., & Chai, C. S. (2016). Seven design frames that teachers use when considering technological pedagogical content knowledge (TPACK). *Computers & Education*, 102, 244–257. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.09.003>
- Kölling, B. (2025). AI in schools: Insights and approaches from the AI Competency Center of the Hamburg State Institute for Teacher Training and School Development. In S. Podworny & S. Schönbrodt (Eds.), *Towards fostering AI and data science literacy in schools across disciplines: Proceedings of the 1st Symposium on Integrating AI and Data Science into School Education Across Disciplines (AIDEA1 2025)*. Salzburg, Austria.
- Kong, S.-C., Man-Yin Cheung, W., & Zhang, G. (2021). Evaluation of an artificial intelligence literacy course for university students with diverse study backgrounds. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, Article 100026. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100026>
- Leavy, A., Meletiou-Mavrotheris, M., & Paparistodemou, E. (Eds.). (2018). *Statistics in early childhood and primary education: Supporting early statistical and probabilistic thinking*. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-13-1044-7>
- Li, Y., Wang, Y., Lee, Y., Chen, H., Petri, A. N., & Cha, T. (2023). Teaching data science through storytelling: Improving undergraduate data literacy. *Thinking Skills and Creativity*, 48, Article 101311. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101311>
- Maksimenkova, O., Neznanov, A., & Radchenko, I. (2020). Collaborative learning in data science education: A data expedition as a formative assessment tool. In *Challenges of the Digital Transformation in Education, ICL2018* (Vol. 916, pp. 14–25). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11932-4_2
- Mandinach, E. B., & Jimerson, J. B. (2021). Data ethics in education: A theoretical, practical, and policy issue. *Studia Paedagogica*, 26(4), 9–26. <https://doi.org/10.5817/SP2021-4-1>
- Matthews, P. (2016). Data literacy conceptions, community capabilities. *The Journal of Community Informatics*, 12(3), 47–56. <https://doi.org/10.15353/joci.v12i3.3277>
- Memarian, B., & Doleck, T. (2024). Data science pedagogical tools and practices: A systematic literature review. *Education and Information Technologies*, 29(7), 8179–8201. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12102-y>
- Mikroyannidis, A., Domingue, J., Bachler, M., & Quick, K. (2018, October). Smart blockchain badges for data science education. In *2018 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)* (pp. 1–5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/FIE.2018.8659012>

- Miller, K. M., & Wilkerson, M. H. (2025). Exploring a US framework of learning progressions for K-12 data science education. In S. Podworny & S. Schönbrodt (Eds.), *Towards fostering AI and data science literacy in schools across disciplines: Proceedings of the 1st Symposium on Integrating AI and Data Science into School Education Across Disciplines (AIDEA1 2025)*. Salzburg, Austria.
- Ministry of Turkish National Education. (2025). *Geçmişten Günümüze YEĞİTEK* [YEĞİTEK from past to present]. <https://yegitek.meb.gov.tr/ggy/index.html>
- Msweli, N. (2023). Instructors' perception of the competencies required to teach data science in higher education institutions. In *Proceedings of the NEMISA Digital Skills Conference: Scaling data skills for multidisciplinary impact education* (Vol. 5, pp. 89–103). <https://doi.org/10.29007/49zw>
- Msweli, N. T., Mawela, T., & Twinomurinzi, H. (2023). Transdisciplinary teaching practices for data science education: A comprehensive framework for integrating disciplines. *Social Sciences & Humanities Open*, 8(1), Article 100628. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100628>
- Nasharuddin, N. A., Sharef, N. M., & Omar, M. K. (2024, November). AI and data science literacy framework for educators. In *International Conference on Computers in Education*.
- Nijenhuis-Voogt, J., Bayram-Jacobs, D., Meijer, P. C., & Barendsen, E. (2021). Omnipresent yet elusive: Teachers' views on contexts for teaching algorithms in secondary education. *Computer Science Education*, 31(1), 30–59. <https://doi.org/10.1080/08993408.2020.1783149>
- OECD. (2019). *Skills outlook 2019: Thriving in a digital world*. OECD Publishing.
- OECD. (2020). *Curriculum overload: A way forward*. OECD Publishing.
- OECD. (2025). *Empowering learners for the age of AI: An AI literacy framework for primary and secondary education*. <https://ailiteracyframework.org/>
- Pangrazio, L., & Selwyn, N. (2019). 'Personal data literacies': A critical literacies approach to enhancing understandings of personal digital data. *New Media & Society*, 21(2), 419–437. <https://doi.org/10.1177/1461444818799523>
- Parveen, A., Bashir, F., Ganie, A. N., Zimik, P., & Jan, S. (2024). Collaborative learning in the digital space: AI-powered platforms.
- Qiao, C., Chen, Y., Guo, Q., & Yu, Y. (2024). Understanding science data literacy: A conceptual framework and assessment tool for college students majoring in STEM. *International Journal of STEM Education*, 11(1), Article 25. <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00484-5>
- Ridgway, J., Campos, P., & Biehler, R. (2022). Data science, statistics, and civic statistics: Education for a fast changing world. In J. Ridgway (Ed.), *Statistics for empowerment and social engagement* (pp. 563–580). Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-20748-8_22
- Rowe, S., Riggio, M., De Amicis, R., & Rowe, S. R. (2020). Teacher perceptions of training and pedagogical value of cross-reality and sensor data from smart buildings. *Education Sciences*, 10(9), Article 234. <https://doi.org/10.3390/educsci10090234>
- Royal Society. (2023). *Mathematical and data literacy*. The Open University.
- Sander, I. (2020). What is critical big data literacy and how can it be implemented? *Internet Policy Review*, 9(2), 1–22. <https://doi.org/10.14763/2020.2.1479>
- Sandoval-Ríos, F., Gajardo-Poblete, C., & López-Núñez, J. A. (2025, March). Role of data literacy training for decision-making in teaching practice: A systematic review. In *Frontiers in Education* (Vol. 10, Article 1485821). Frontiers Media. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1485821>
- Schmidt, F. M., Zottmann, J. M., Sailer, M., Fischer, M. R., & Berndt, M. (2021). Statistical literacy and scientific reasoning & argumentation in physicians. *GMS Journal for Medical Education*, 38(4), Article Doc77. <https://doi.org/10.3205/zma001473>
- Schneegans, S., & Nair-Bedouelle, S. (2021). Scientific literacy: An imperative for a complex world. In S. Schneegans, T. Straza, & J. Lewis (Eds.), *UNESCO science report: The race against time for smarter development* (p. 17). UNESCO Publishing.
- Schönbrodt, S., & Podworny, S. (2025). Shaping the future of education: AI and data science literacy as a civic imperative in education. In S. Podworny & S. Schönbrodt (Eds.), *Towards fostering AI and data science literacy in schools across disciplines: Proceedings of the 1st Symposium on Integrating AI and Data Science into School Education Across Disciplines (AIDEA1 2025)*. Salzburg, Austria. <https://openreview.net/forum?id=KVi7Xclx7N>

- Schreiter, S., Friedrich, A., Fuhr, H., Malone, S., Brünken, R., Kuhn, J., & Vogel, M. (2024). Teaching for statistical and data literacy in K-12 STEM education: A systematic review on teacher variables, teacher education, and impacts on classroom practice. *ZDM—Mathematics Education*, 56(1), 31–45. <https://doi.org/10.1007/s11858-023-01531-1>
- Schüller, K. (2022). Data and AI literacy for everyone. *Statistical Journal of the IAOS*, 38, 1–14. <https://doi.org/10.3233/SJI-2209>
- Sickler, J., Bardar, E., & Kochevar, R. (2021). Measuring data skills in undergraduate student work: Development of a scoring rubric. *Journal of College Science Teaching*, 50(4), 25–32. <https://doi.org/10.1080/0047231X.2021.12290515>
- Song, Q., & Song, Z. (2025). Improvement of data cleaning and quality assessment methods under big data environment. *Frontiers in Computing and Intelligent Systems*, 12(1), 114–118. <https://doi.org/10.54097/gk2jwg31>
- Stump, G. S., Kang, S., Masla, J., Bosch, C. A., & Breazeal, C. (2025). Ethical thinking: Integration and measurement in an AI curriculum for middle-high school students. *Informatics in Education*.
- Tansley, S., & Tolle, K. M. (2009). The fourth paradigm: Data-intensive scientific discovery. *Proceedings of the IEEE*, 99(8), 1334–1337. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2011.2155130>
- Tedre, M., & Vartiainen, H. (2025). Generation AI: Pedagogical frameworks and tools for AI education. In S. Podworny & S. Schönbrodt (Eds.), *Towards fostering AI and data science literacy in schools across disciplines: Proceedings of the 1st Symposium on Integrating AI and Data Science into School Education Across Disciplines (AIDEA1 2025)*. Salzburg, Austria. <https://openreview.net/pdf?id=4V11AAAQfk>
- U.S. Department of Education, Institute of Education Sciences. (2025). *The Forum Guide to Data Ethics*. <https://ies.ed.gov/use-work/resource-library/report/forum-guide/forum-guide-data-ethics>
- Umugiraneza, O., Bansilal, S., & North, D. (2022). An analysis of teachers' confidence in teaching mathematics and statistics. *Statistics Education Research Journal*, 21(3), 1–17.
- UNESCO. (2024). *AI competency framework for students*. <https://doi.org/10.54675/JKJB9835>
- Van Leeuwen, A., Knoop-van Campen, C. A. N., Molenaar, I., & Rummel, N. (2021). How teacher characteristics relate to how teachers use dashboards: Results from two case studies in K–12. *Journal of Learning Analytics*, 8(2), 6–21. <https://doi.org/10.18608/jla.2021.7325>
- Velaj, Y., Dolezal, D., Ambros, R., Plant, C., & Motschnig, R. (2023, October). Teaching data science to non-computer science students: A learner-centered approach. In *2023 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)* (pp. 1–9). IEEE. <https://doi.org/10.1109/FIE58773.2023.10343463>
- Verständig, D. (2020). Die Ordnung der Daten – Zum Verhältnis von Big Data und Bildung [The order of data—On the relationship between big data and education]. In S. Iske, J. Fromme, D. Verständig, & K. Wilde (Eds.), *Big Data, Datafizierung und digitale Artefakte* (Medienbildung und Gesellschaft, Vol. 42). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-28398-8_7
- Verständig, D., Kuhnla, A., & Ahlborn, J. (2025, July 2). *On game-based learning and creative thinking for data and AI literacy education* [Conference presentation]. AIDEA Symposium 2025: Integrating AI and Data Science into School Education Across Disciplines. <https://openreview.net/pdf?id=1BIjiaIisi>
- Wang, D., Weisz, J. D., Muller, M., Ram, P., Geyer, W., Dugan, C., Tausczik, Y., Samulowitz, H., & Gray, A. (2019). Human-AI collaboration in data science: Exploring data scientists' perceptions of automated AI. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 3(CSCW), Article 211. <https://doi.org/10.1145/3359313>
- Witte, V., Schwering, A., & Frischmeier, D. (2024). Strengthening data literacy in K-12 education: A scoping review. *Education Sciences*, 15(1), Article 25. <https://doi.org/10.3390/educsci15010025>
- Wolff, A., Gooch, D., Montaner, J. J. C., Rashid, U., & Kortuem, G. (2016). Creating an understanding of data literacy for a data-driven society. *The Journal of Community Informatics*, 12(3), 9–26. <https://doi.org/10.15353/joci.v12i3.3275>
- Wu, D. D. (2025). A data science framework for AI-driven innovation within organizations. *Issues in Information Systems*, 26(1), 110–125. https://doi.org/10.48009/1_iis_109
- Wu, X., Xu, T., & Zhang, Y. (2023). Research on the data analysis knowledge assessment of pre-service teachers from China