43815
Iranian Educational Technology Association

Journal of
Trends and Achievements in
Learning Technology

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

The Effect of Computer-Supported Collaborative Learning with Artificial Intelligence Support on Understanding the Concept of Algebraic Identities

Sajjad Zamanabadi [1] | **Abolfazl Rafiepour** [2*]

1. Department of Mathematics Education, Faculty of Mathematics and Computer, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: sajjadzamanabadi@yahoo.com

2. *Corresponding Author,* Department of Mathematics Education, Faculty of Mathematics and Computer, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: rafiepour@uk.ac.ir

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

Article Type:
Research Article

Article history:
Received April 28, 2026
Received in revised form July 11, 2026
Accepted August 30, 2026
Published Online September 27, 2026

Keywords:
Mathematics education, APOS theoretical framework, Computer-supported collaborative learning, Artificial intelligence

ABSTRACT

Learning algebraic concepts, particularly algebraic identities, is one of the major challenges in mathematics education at the lower secondary level. This study aimed to investigate the effectiveness of computer-supported collaborative learning with the aid of AI-based group chats on ninth-grade students' understanding of algebraic identities, based on the APOS theoretical framework. The research employed a mixed-methods (quantitative–qualitative) design. In the quantitative phase, a quasi-experimental pretest–posttest design with a control group was used. The sample consisted of 60 ninth-grade male students from Kerman in the 2024–2025 academic year, selected through cluster random sampling and assigned to experimental and control groups. The experimental group received instruction over two weeks in four consecutive sessions using computer-supported collaborative learning with AI-assisted group chats, while the control group received traditional instruction. The research instrument was a researcher-made test based on APOS levels. The results demonstrated that after controlling for baseline differences, the experimental group significantly outperformed the control group, with a large and substantial effect size. The qualitative analysis of interactions also revealed cognitive development from the Action level toward the Process, Object, and Schema levels. Overall, integrating artificial intelligence into collaborative learning contributed to deepening students' conceptual understanding of algebraic identities.

Cite this Article: Zamanabadi, S., & Rafiepour, A. (2026). The Effect of Computer-Supported Collaborative Learning with Artificial Intelligence Support on Understanding the Concept of Algebraic Identities. *Trends and Achievements in Learning Technology*, 3(11), 219-252. https://doi.org/10.22034/jlt.2026.2089625.1117

© 2026 by The author(s) retain the copyright
Publisher: Iranian Educational Technology Association
DOI: https://doi.org/10.22034/jlt.2026.2089625.1117

Introduction

Mathematics education research has increasingly emphasized conceptual understanding and the construction of meaning rather than procedural proficiency alone. This challenge is particularly evident in teaching algebraic identities, where learning is often reduced to memorizing formulas and performing expansion algorithms. In response, cognitive theories such as APOS have been developed to describe the mental structures underlying students' understanding of mathematical concepts. APOS theory, grounded in Piaget's genetic constructivism, frames learning as a transition from Action to Process, then to Object construction, and finally to Schema integration. Prior research has shown that students often remain at the action or process levels when instruction is dominated by symbolic manipulation, preventing them from developing object-level understanding or coherent algebraic schemas. With the rise of computer-supported collaborative learning (CSCL) and AI-enhanced environments, new opportunities have emerged for deeper conceptual engagement, guided reflection, and collaborative knowledge construction. Studies such as Noroozi et al. (2025), Van Leeuwen et al. (2024), and the meta-analysis by Talan (2021) highlight the positive impact of digital interactions and intelligent support on participation and learning outcomes. However, few studies have purposefully integrated CSCL, AI-supported group chat, and APOS theory in the context of algebraic identities—a gap this study aims to address.

Research Question(s)

- What is the effect of computer-supported collaborative learning with AI assistance, based on the APOS framework, on Grade 9 students' learning of algebraic identities?
- How does this approach influence students' cognitive development across APOS levels (Action, Process, Object, and Schema)?

Literature Review

APOS theory (Arnon et al., 2014; Asiala et al., 1996) provides a robust framework for analyzing conceptual development in algebra. Research in CSCL emphasizes collaborative knowledge building rather than mere communication (Stahl et al., 2006). Recent studies integrating AI into collaborative learning environments have shown promising outcomes in fostering group interaction, conceptual dialogue, and self-regulation. Noroozi et al. (2025) examined the role of emerging technologies in strengthening peer learning. Their study highlights

the use of tools such as AI-supported peer assessment systems, multimodal learning analytics, gamified online platforms, social comparison–based feedback dashboards, and group awareness tools. The findings indicate that these technologies can enhance the quality and acceptance of peer feedback, increase learner interaction, and support reflective and collaborative learning as well as the development of peer feedback literacy. Similarly, Van Leeuwen et al. (2024) argued that learners' sense of autonomy, competence, and relatedness strongly predicts productive collaboration. In mathematics education, AI has been shown to enhance conceptual understanding by providing instant feedback, analyzing misconceptions, and supporting large-group classroom management. Studies using AI-based chatbots highlight increased student engagement, richer academic discourse, and improved interaction quality (Winkler & Söllner, 2018; Li et al., 2025). Despite these advances, few studies have integrated AI-supported group chat with an explicit APOS-based learning design in algebraic identities.

Methodology

A mixed-methods design was employed to provide a comprehensive understanding of students' conceptual development. Quantitatively, a quasi-experimental pretest–posttest design with a control group was used. Qualitatively, students' interactions in an AI-supported group chat environment were analyzed using directed qualitative content analysis.

The participants were 60 ninth-grade male students selected through cluster random sampling from two classes in Kerman. One class (n = 30) was assigned to the experimental group and participated in AI-assisted collaborative learning, while the other (n = 30) served as the control group and received traditional instruction. Due to challenges in stable access to the AI chat environment, only 10 students in the experimental group completed all sessions and were included in the analysis.

The intervention lasted two weeks and consisted of four consecutive sessions. The experimental group engaged in collaborative problem-solving through an AI-supported group chat (ChatGPT-based), where students posed questions, explained solutions, compared approaches, and received real-time intelligent feedback. Pretest and posttest assessments, aligned with APOS levels, were used to measure conceptual understanding. Reliability was confirmed through Cronbach's alpha (0.80 for the pretest and 0.86 for the posttest). Qualitative data

were obtained from 376 chat logs, coded independently by two experts using APOS categories, with inter-coder agreement confirmed via Cohen's kappa (0.83), indicating substantial reliability.

Results

The findings showed that the AI-supported instructional intervention had a meaningful positive effect on students' learning of algebraic identities. Because the score distributions were not normal, nonparametric analyses were first used, and the results indicated that the two groups were not homogeneous at the pretest stage. Therefore, ANCOVA was conducted to control for baseline differences. The analysis confirmed that, even after controlling for pretest performance, the experimental group significantly outperformed the control group. This suggests that the superiority of the experimental group was not simply due to its initial advantage, but reflected the independent effect of the AI-based intervention. In addition, within-group analyses showed that learning progress was stronger in the experimental group.

The qualitative findings supported these results. Based on the APOS framework, students in the experimental group demonstrated stronger movement toward the Object and Schema levels, while most students in the control group remained at the Action and Process levels. This suggests that the intervention promoted not only higher performance but also deeper conceptual understanding. Analysis of 376 chat logs further showed that students' interactions gradually shifted from procedural questions to more conceptual and reflective inquiries. In this process, AI functioned as a scaffold that supported reasoning and encouraged higher-order thinking. Overall, the combined quantitative and qualitative findings indicate that AI-assisted instruction had a meaningful role in improving both achievement and conceptual development in learning algebraic identities.

Conclusion

The findings demonstrate that AI-supported computer-based collaborative learning, grounded in APOS theory, can significantly enhance students' conceptual understanding of algebraic identities. The combination of collaborative dialogue, intelligent feedback, and structured task design helped students progress beyond surface-level manipulation toward deeper structural comprehension. This learning environment promoted meaningful participation, improved mathematical discourse, and facilitated cognitive transitions to higher

APOS levels, particularly Object and Schema. Despite limitations such as reduced sample size due to technological constraints, the mixed-methods approach strengthened the validity of the conclusions. The study highlights the potential of AI-enhanced collaborative environments to transform traditional algebra instruction by supporting conceptual, interactive, and reflective learning processes. Future studies should examine larger samples, include female students, and extend this approach to other mathematical domains.

Ethical Considerations

Adherence to Research Ethics Principles

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

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

The data cannot be shared publicly due to ethical restrictions.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

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

تأثیر یادگیری مشارکتی مبتنی بر رایانه با پشتیبانی هوش مصنوعی بر درک مفهوم اتحادهای جبری

سجاد زمان‌آبادی [۱] | ابوالفضل رفیع پور [۲*]

۱. بخش آموزش ریاضی، دانشکده ریاضی و کامپیوتر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: sajjadzamanabadi@yahoo.com

۲. *نویسنده مسئول*، بخش آموزش ریاضی، دانشکده ریاضی و کامپیوتر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: rafiepour@uk.ac.ir

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

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخچه مقاله
تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۰۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۰۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۰۵

کلیدواژه‌ها:
آموزش ریاضی،
چارچوب نظری APOS،
یادگیری مشارکتی مبتنی بر رایانه،
هوش مصنوعی

چکیده

یادگیری مفاهیم جبری، به‌ویژه اتحادهای جبری، از چالش‌های اساسی آموزش ریاضی در دوره متوسطه اول است. این پژوهش باهدف بررسی اثربخشی یادگیری مشارکتی مبتنی بر رایانه با پشتیبانی چت‌های گروهی هوش مصنوعی بر درک اتحادهای جبری دانش‌آموزان پایه نهم و بر اساس چارچوب نظری APOS انجام شد. روش پژوهش آمیخته (کمی–کیفی) بود. در بخش کمی، طرح شبه آزمایشی پیش‌آزمون–پس‌آزمون با گروه کنترل اجرا شد. نمونه شامل ۶۰ دانش‌آموز پسر پایه نهم شهر کرمان در سال تحصیلی ۱۴۰۵–۱۴۰۴ بود که به‌صورت نمونه‌گیری خوشه‌ای تصادفی انتخاب و در دو گروه آزمایش و کنترل قرار گرفتند. گروه آزمایش طی دو هفته و در ۴ جلسه آموزشی در محیط یادگیری مشارکتی مبتنی بر رایانه با پشتیبانی چت گروهی هوش مصنوعی آموزش دید، درحالی‌که گروه کنترل آموزش سنتی متداول دریافت کرد. ابزار پژوهش، آزمون محقق ساخته مبتنی بر سطوح APOS بود. نتایج نشان داد میانگین نمرات گروه آزمایش به‌طور معناداری افزایش‌یافته و در مقایسه با گروه کنترل برتری معناداری با اندازه اثر بزرگ دارد. تحلیل کیفی نیز بیانگر تحول شناختی دانش‌آموزان از سطح عمل به سطوح فرایند، شیء و طرحواره بود. درمجموع، ادغام هوش مصنوعی در یادگیری مشارکتی مبتنی بر رایانه موجب تعمیق درک مفهومی اتحادهای جبری شد.

استناد به این مقاله: زمان‌آبادی، سجاد، و رفیع پور، ابوالفضل. (۱۴۰۵). تأثیر یادگیری مشارکتی مبتنی بر رایانه با پشتیبانی هوش مصنوعی بر درک مفهوم اتحادهای جبری. *نشریه روندها و دستاوردها در فناوری یادگیری*، ۳(۱۱)، ۲۱۹-۲۵۲.
https://doi.org/10.22034/jlt.2026.2089625.1117

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

مقدمه

پژوهش‌های آموزش ریاضی در سال‌های اخیر به‌طور فزاینده‌ای بر اهمیت یادگیری مفهومی و ساخت معنا در مقابل تسلط صرف بر مهارت‌های محاسباتی تأکید داشته‌اند. این چالش به‌ویژه در آموزش اتحادهای جبری مشهود است؛ جایی که یادگیری اغلب به حفظ فرمول‌ها و اجرای الگوریتم‌های بسط محدود می‌شود و درک عمیق مفهوم اتحاد به‌عنوان یک رابطه ساختاری شکل نمی‌گیرد. در پاسخ به این مسئله، چارچوب‌های نظری شناختی متعددی برای تحلیل یادگیری مفاهیم جبری پیشنهاد شده‌اند که یکی از تأثیرگذارترین آن‌ها نظریه APOS است. این نظریه که توسط دوبینسکی[1] و همکاران در دهه ۱۹۹۰ ارائه شد و بر مبنای سازنده گرایی ژنتیکی پیاژه[2] توسعه‌یافته، یادگیری مفاهیم ریاضی را حاصل شکل‌گیری و تحول چهار ساختار ذهنی عمل[3]، فرایند[4]، شیء[5] و طرح‌واره[6] می‌داند (Arnon et al., 2014). بر اساس این نظریه، یادگیری مفاهیم ریاضی مستلزم گذار تدریجی از سطح کنشی به فرایندی، سپس شیء سازی و درنهایت سازمان‌دهی مفاهیم در قالب طرح‌واره‌های منسجم است. در آموزش اتحادها، تمرکز صرف بر انجام بسط یا محاسبه نمادین، غالباً دانش‌آموزان را در سطح عمل یا فرآیند متوقف می‌سازد و مانع از دستیابی آن‌ها به سطوح بالاترشی و طرح‌واره می‌شود؛ سطوحی که در آن‌ها اتحادها به‌عنوان اشیای ریاضی معنادار و بخشی از شبکه مفاهیم جبری درک می‌شوند. چنانچه که افخمی و همکاران (۱۴۰۳) در پژوهش خود چارچوبی برای سنجش درک دانش‌آموزان از تعمیم الگوهای شکلی ارائه کرده است که می‌تواند به معلمان در بهبود آموزش این مفهوم کمک کند. نتایج آن نشان داد با شناسایی سطح شناختی دانش‌آموزان، می‌توان راهکارهای آموزشی متناسبی برای ارتقای درک آنان از تعمیم ارائه داد. در این پژوهش بیشترین درصد پاسخ صحیح در سطح «عمل» و کمترین درصد در سطح «شیء» قرار داشت و اغلب دانش آموزان به سطح «طرح‌واره» نرسیده بودند. طیاری و همکاران (۱۴۰۳) در پژوهش خود نشان دادند بر مبنای نظریه APOS اکثر دانش آموزان در سطح عمل و فرایند از مفهوم معادله قرار دارند و تعداد کمی از آن‌ها به

1. Dubinsky
2. Piaget
3. action
4. process
5. object
6. schema

سطوح بالاتر رسیده و توانسته‌اند طرح‌واره معادله جبری را در ذهن خود تشکیل دهند. هم‌چنین عالمیان (۱۳۹۸) در پژوهش خود نشان داد که اکثر دانش آموزان تنها در سطوح «عمل» و «فرایند» قرار دارند و تعداد کمی توانسته بودند به سطوح بالاتر یعنی «شیء» و «طرح‌واره» دست یابند. در پژوهش ریحانی و شریفی (۱۳۹۷) با عنوان «بررسی درک دانش آموزان دختر سال سوم متوسطه از مبحث حد و پیوستگی» مشخص شد که اغلب دانش آموزان به روش‌های روتین و حفظی متکی هستند و به مراحل بالاتر APOS مانند «شیء» و «طرح‌واره» دست نیافته‌اند.

در جدول ۱ خلاصه‌ای از مفاهیم مؤلفه‌های APOS را می‌بینید (Arnon et al., 2014).

جدول ۱.

خلاصه‌ای از مفاهیم APOS

مؤلفه‌های APOS	مفاهیم مؤلفه‌های APOS
عمل	شامل اجرای مکانیکی و الگوریتمی یک دستور یا مفهوم ریاضی است. در این مرحله یادگیرنده غالباً بدون درک عمیق از دلیل و ماهیت آن عمل، محاسبات یا دستورها را انجام می‌دهد.
فرایند	با تکرار و درونی سازی عمل، یادگیرنده قادر می‌شود آن را در ذهن خود به‌صورت یک فرآیند داخلی تصور کند
شیء	فرآیند در ذهن یادگیرنده می‌تواند به یک شیء مستقل تبدیل شود که قابلیت استفاده در موقعیت‌های جدید را دارد.
طرح‌واره	نشان‌دهنده‌ی سازمان‌دهی منسجم اعمال، فرآیندها و اشیا در یک ساختار شناختی کلی است. در این سطح، دانش‌آموز می‌تواند مفاهیم مختلف را به‌صورت شبکه‌ای به هم متصل کند.

با بهره‌گیری از نظریه APOS می‌توان فرایند یادگیری دانش‌آموزان را از درکی سطحی و صرفاً مکانیکی از مفاهیم به‌سوی فهمی عمیق‌تر و مفهومی هدایت کرد. در این چارچوب، دانش‌آموزان می‌توانند از طریق درگیر شدن فعال با مسائل، بحث و تبادل‌نظر با همکلاسی‌ها و بازاندیشی درباره راه‌حل‌ها، به‌تدریج ساختارهای ذهنی خود را درباره مفاهیم ریاضی شکل دهند. در آموزش ریاضی، این تعاملات به‌ویژه درزمینهٔ مفاهیم انتزاعی مانند جبر، نقش کلیدی ایفا می‌کنند.

Stahl و همکاران (2006) تأکید می‌کنند که CSCL نه‌تنها ابزار ارتباطی، بلکه بستری برای ساخت مشترک دانش است. همچنین Noroozi و همکاران (2025) در پژوهش خود به بررسی

نقش فناوری‌های نوین در تقویت یادگیری همتا پرداخته‌اند. این مطالعه به کاربرد ابزارهایی مانند سیستم‌های ارزیابی همتا مبتنی بر هوش مصنوعی، تحلیل یادگیری چندوجهی، پلتفرم‌های بازی‌وارسازی‌شده، داشبوردهای بازخورد مبتنی بر مقایسه اجتماعی و ابزارهای آگاهی گروهی اشاره می‌کند. نتایج نشان می‌دهد این فناوری‌ها می‌توانند کیفیت و پذیرش بازخورد همتا را افزایش داده، تعامل یادگیرندگان را تقویت کرده و زمینه یادگیری تأملی و توسعه سواد بازخورد همتا را فراهم کنند. Talan (2021) در پژوهشی با عنوان «تأثیر یادگیری مشارکتی مبتنی بر رایانه بر پیشرفت تحصیلی: یک مطالعه فرا تحلیل» نشان داد که یادگیری مشارکتی مبتنی بر رایانه تأثیر مثبتی بر پیشرفت تحصیلی دارد. Van Leeuwen و همکاران (2024) تأکید می‌کنند که هنگامی‌که یادگیرندگان احساس خودمختاری، شایستگی و ارتباط با همتایان خود داشته باشند، همکاری آن‌ها متمرکزتر، ثمربخش‌تر و واقعاً مشارکتی‌تر می‌شود. به‌بیان‌دیگر، یادگیری مشارکتی مبتنی بر رایانه زمانی بهترین عملکرد را دارد که دانش‌آموزان در درون گروه احساس حمایت کنند، نه صرفاً زمانی که به ابزارهای دیجیتال دسترسی دارند.

متخصصان و فعالان حوزه هوش مصنوعی، مهم‌ترین کاربردهای هوش مصنوعی را در افزایش دقت ارزیابی‌ها و شخصی‌سازی فرایند یادگیری می‌دانند. آنان بر این باورند که در صورت بهره‌گیری صحیح و اصولی از این فناوری، می‌توان از مزایای آن بهره‌مند شد و چالش‌های احتمالی را به حداقل رساند. همچنین از دیدگاه معلمان، کاربردهای هوش مصنوعی در زمینه شخصی‌سازی آموزش و بهبود مدیریت کلاس، بیشترین اثر را بر فرایند یاددهی–یادگیری دانش‌آموزان داشته و موجب ارتقای آن می‌شود (مرادی و زارعی، ۱٤۰٤). پژوهش‌های تجربی درباره چت‌بات‌های آموزشی نشان داده‌اند که استفاده از این ابزارها در محیط‌های گروهی می‌تواند مشارکت دانش‌آموزان و کیفیت تعاملات علمی را افزایش دهد (Winkler & Söllner, 2018). به‌کارگیری سیستم بازخورد مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند به‌طور معناداری کیفیت گفت‌وگوی کلاسی را ارتقا دهد. تحلیل الگوهای گفتمان در کلاس نشان داد که با ورود بازخورد هوش مصنوعی، نسبت جملات خبری کاهش و در مقابل، نسبت سؤالات و بازخوردها افزایش می‌یابد و ساختار کلی گفتگو به سمت الگوهای تعاملی‌تر و باکیفیت‌تر حرکت می‌کند (Li et al., 2025). نتایج مطالعه یوسفی و همکاران (۱٤۰٤) حاکی از آن است که بهره‌گیری از هوش مصنوعی از طریق آموزش تطبیقی، شناسایی و تحلیل خطاهای مفهومی و ارائه بازخورد هوشمند،

نقش مؤثری در بهبود یادگیری مفاهیم هندسی و کاهش خطاهای رایج در میان دانش‌آموزان ایفا می‌کند. نتایج پژوهش مسلمی و علم (۱۴۰۳) نشان داد که بهره‌گیری از فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی تأثیر مثبتی بر ارتقای توانمندی‌های شناختی و اجتماعی دانش‌آموزان دارد. به‌کارگیری این رویکرد آموزشی، با فراهم‌سازی فرصت‌های یادگیری تعاملی و خلاقانه، زمینه بهبود کیفیت آموزش را فراهم کرده و معلمان را در اثربخش‌تر ساختن فرایند تدریس یاری می‌کند. هم‌چنین پژوهش پورجمشیدی و کرمی (۱۴۰۳) نشان داد که به‌کارگیری هوش مصنوعی می‌تواند راهکاری مؤثر برای آموزش دانش‌آموزان دارای اختلال ریاضی باشد و به کاهش مشکلات یادگیری این گروه در درس ریاضی کمک کند.

اگرچه هوش مصنوعی ظرفیت‌های بسیاری در آموزش ریاضی دارد، اما ادغام آن با چالش‌های فنی و ساختاری همراه است. ازنظر ساختاری، مسائلی مانند محدودیت‌های مالی، فقدان سیاست‌گذاری‌های یکپارچه و تفاوت در پذیرش این فناوری توسط معلمان، از موانع اصلی محسوب می‌شوند (Celik et al., 2022; Guan, 2023). ازنظر فنی، مدل‌های هوش مصنوعی فعلی در «استدلال دقیق ریاضی» محدودیت دارند. ماهیت «جعبه سیاه» این مدل‌ها باعث می‌شود استدلال‌های آن‌ها همیشه شفاف نباشد؛ به‌طوری‌که گاهی پاسخ‌های درستی را بدون منطقِ قابل‌فهم برای دانش‌آموز ارائه می‌دهند (Kumari, 2025). این مسئله می‌تواند منجر به بروز خطاهای محاسباتی یا پاسخ‌های گمراه‌کننده شود. همچنین وابستگی این مدل‌ها به داده‌های بسیار زیاد و هزینه‌های محاسباتی، دسترسی به آن‌ها را در حوزه‌های تخصصی ریاضی محدود کرده است (Kumari, 2025). به‌منظور مدیریت این ریسک‌ها، در پژوهش حاضر هوش مصنوعی به‌عنوان یک «تسهیلگر هوشمند» در کلاس درس به کار گرفته شد. در این بسترِ مشارکتی مبتنی بر رایانه (CSCL)، دانش‌آموزان با یکدیگر و با هوش مصنوعی تعامل داشتند و معلم در تمامی مراحل، در محیط چت حضور فعال داشت. هر زمان دانش‌آموزان در استدلال‌های مدل با چالش یا ابهام مواجه می‌شدند، مستقیماً از معلم راهنمایی می‌خواستند تا صحت مسیر استدلال را بررسی کند. این رویکرد، استفاده از هوش مصنوعی را از یک ابزار ساده به یک محیط یادگیری پویا و قابل تکرار تبدیل نمود؛ و حضور معلم به‌عنوان مرجعِ نهاییِ اعتبارسنجی، از تأثیرگذاریِ احتمالیِ خطاهای مدل بر دانشِ ریاضیِ دانش‌آموزان جلوگیری کرد.

پژوهش حاضر باهدف بررسی تأثیر یادگیری مشارکتی مبتنی بر رایانه با محوریت چت گروهی هوش مصنوعی بر یادگیری اتحادهای جبری، تلاش دارد به این خلأ پژوهشی پاسخ دهد و شواهد تجربی معتبری در این زمینه ارائه کند. از این منظر، استفاده از یادگیری مشارکتی مبتنی بر چت گروهی هوش مصنوعی، با تکیه‌بر چارچوب APOS، می‌تواند بستری مناسب برای ارتقای یادگیری مفهومی اتحادهای جبری فراهم آورد.

بر این اساس، پژوهش حاضر با تمرکز بر آموزش اتحادهای جبری پایه نهم، تلاش دارد خلأ موجود در پیشینه پژوهشی را پر کرده و با بررسی تجربی این تلفیق نوآورانه، شواهدی مبتنی بر داده برای بهبود آموزش جبر مدرسه‌ای ارائه دهد، لذا این پژوهش درصدد پاسخ به سؤال‌های پژوهشی زیر است:

- یادگیری مشارکتی مبتنی بر رایانه با پشتیبانی هوش مصنوعی بر اساس چارچوب نظری APOS، چه تأثیری بر یادگیری مفهوم اتحادهای جبری در دانش‌آموزان پایه نهم دارد؟
- این رویکرد آموزشی چه تأثیری بر تحول شناختی دانش‌آموزان در سطوح مختلف نظریه APOS (عمل، فرایند، شیء و طرح‌واره) دارد؟

روش

پژوهش حاضر ازنظر هدف، کاربردی است؛ زیرا در پی ارائه راهکارهایی عملی برای بهبود یادگیری مفاهیم جبری در محیط واقعی کلاس درس است. در بخش کمی از طرح شبه آزمایشی پیش‌آزمون–پس‌آزمون با گروه کنترل استفاده گردید تا تأثیر مداخله آموزشی بر یادگیری دانش‌آموزان بررسی شود. در بخش کیفی نیز تعاملات دانش‌آموزان در محیط چت گروهی مبتنی بر هوش مصنوعی مورد تحلیل قرار گرفت تا فرایند شکل‌گیری درک مفهومی آنان بهتر تبیین شود.

جامعه آماری پژوهش شامل تمامی دانش‌آموزان پسر پایه نهم مدارس متوسطه اول ناحیه یک شهر کرمان در سال تحصیلی ۱۴۰۵–۱۴۰۴ بود. نمونه پژوهش به روش نمونه‌گیری تصادفی خوشه‌ای انتخاب شد. بدین‌صورت که ابتدا از میان کلاس‌های پایه نهم، دو کلاس به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. هر کلاس شامل ۳۰ دانش‌آموز بود؛ بنابراین درمجموع ۶۰ دانش‌آموز در

پژوهش شرکت کردند. سپس یکی از کلاس‌ها به‌عنوان گروه آزمایش (۳۰ نفر) و کلاس دیگر به‌عنوان گروه کنترل (۳۰ نفر) در نظر گرفته شد.

در مرحله اجرای پژوهش، ابتدا از هر دو گروه آزمایش و کنترل پیش‌آزمونی درزمینهٔ یادگیری اتحادهای جبری گرفته شد. مدت‌زمان پاسخ‌گویی حدوداً ۳۰ دقیقه بود. سؤالات پیش‌آزمون بر اساس سطوح نظریه APOS (عمل، فرایند، شیء و طرح‌واره) طراحی‌شده بودند تا میزان درک اولیه دانش‌آموزان از مفاهیم اتحادهای جبری در سطوح مختلف شناختی سنجیده شود. پس از اجرای پیش‌آزمون، مداخله آموزشی برای گروه آزمایش اجرا گردید. این مداخله شامل آموزش مبتنی بر یادگیری مشارکتی با بهره‌گیری از رایانه و استفاده از چت‌های گروهی مبتنی بر هوش مصنوعی بود. در این روش، دانش‌آموزان در قالب یک گروه چت به طرح پرسش‌ها، ارائه راه‌حل‌ها، بحث درباره مسائل مربوط به اتحادهای جبری و تبادل‌نظر با یکدیگر می‌پرداختند و در جریان این تعاملات از بازخوردها و راهنمایی‌های ارائه‌شده توسط سامانه هوش مصنوعی نیز بهره می‌گرفتند. مداخله آموزشی طی دو هفته و در قالب ٤ جلسه ۹۰ دقیقه‌ای اجرا شد. جلسه نخست به‌صورت حضوری در کلاس درس برگزار شد و شامل اجرای پیش‌آزمون، توجیه دانش آموزان درباره نحوه انجام کار بود. در این مرحله، دانش‌آموزان درزمینهٔ اینکه با استفاده از لینک باید وارد فضای چت گروهی شده و همچنین با شیوه استفاده از هوش مصنوعی و نحوه فعال‌سازی آن از طریق تایپ کلمه «هوش» آشنا شدند. جلسات دوم و سوم به‌صورت آنلاین و در محیط «چت گروهی اختصاصی» مبتنی بر ChatGPT-5.4 برگزار شد. دانش‌آموزان، معلم و هوش مصنوعی به‌طور هم‌زمان در یک محیط چت مشترک حضور داشتند و تعاملات آموزشی در همان فضای واحد شکل می‌گرفت. در این محیط، دانش‌آموزان پیرامون مفاهیم اتحادهای جبری شامل مربع دوجمله‌ای، مزدوج و جمله مشترک به بحث، حل مسئله و تبادل‌نظر می‌پرداختند و هر زمان نیاز به راهنمایی، بازخورد یا ارزیابی استدلال‌های خود داشتند، با تایپ کلمه «هوش» از بازخوردهای فوری مدل بهره می‌گرفتند. در طول جلسات آنلاین، معلم بر جریان تعاملات نظارت داشت و برای افزایش مشارکت فعال دانش‌آموزان، در مواردی که برخی افراد فعالیت کمتری داشتند، از هوش مصنوعی می‌خواست دانش‌آموزان کم‌فعالیت را مورد خطاب قرار دهد و آنان را به مشارکت در بحث و حل مسئله دعوت کند.

پرامپت اولیه این پژوهش نیز به‌صورت هدفمند تدوین شد تا نقش یک تسهیلگر یادگیری را در محیط چت ایفا کند. در طراحی آن تلاش شد با الهام از چارچوب CSCL و سطوح شناختی APOS، دانش‌آموزان از دریافت پاسخ‌های آماده دور شده و به طرح پرسش، تبیین استدلال‌ها و تعامل مفهومی با یکدیگر ترغیب شوند. بدین ترتیب، پرامپت به‌گونه‌ای تنظیم شد که هوش مصنوعی با ارائه بازخورد و پرسش‌های راهبردی، زمینه گذار تدریجی دانش‌آموزان به سطوح بالاتر درک مفهومی اتحادهای جبری را فراهم کند. در شکل ۱ محیط چت گروهی هوش مصنوعی چت جی پی تی را مشاهده می‌کنید.

شکل ۱.

محیط چت گروهی هوش مصنوعی چت جی پی تی



در این پژوهش، از مدل زبانی ChatGPT-5.4 به‌عنوان یک تسهیلگر تعاملی استفاده شد. برخلاف چت‌بات‌های رایج که عمدتاً به‌صورت تک‌کاربره عمل می‌کنند، این محیط، قابلیتِ تعاملات

گروهی را فراهم می‌آورد که در آن هوش مصنوعی، نه به‌عنوان یک پاسخ‌دهنده صرف، بلکه به‌عنوانِ یک «عضوِ تسهیلگر» در فضای گفتگوی هم‌زمان میان دانش‌آموزان مشارکت می‌کند.

محیط چت گروهی مبتنی بر هوش مصنوعی چت جی چی تی به فضایی تعاملی در بسترهای دیجیتال گفته می‌شود که در آن چندین کاربر به‌طور هم‌زمان می‌توانند با یکدیگر و همچنین با یک سامانه هوش مصنوعی گفتگو و تعامل داشته باشند. این نوع محیط‌های یادگیری به‌تازگی با پیشرفت فناوری‌های هوش مصنوعی چت جی پی تی توسعه‌یافته‌اند و امکان شکل‌گیری تعاملات چندجانبه میان یادگیرندگان و سامانه‌های هوشمند را فراهم کرده‌اند. در چنین فضایی، دانش‌آموزان می‌توانند به‌صورت مشارکتی به حل مسائل بپردازند، ایده‌های خود را بیان کنند، از استدلال‌های یکدیگر بهره بگیرند و در صورت نیاز از راهنمایی‌های هوش مصنوعی برای درک بهتر مفاهیم استفاده نمایند. یکی از ویژگی‌های مهم محیط چت گروهی مبتنی بر هوش مصنوعی، فراهم کردن بازخورد فوری و مستمر برای یادگیرندگان است. هوش مصنوعی می‌تواند در حین گفتگو پاسخ‌های دانش‌آموزان را بررسی کرده و در صورت لزوم توضیحات تکمیلی، مثال‌های بیشتر یا راهنمایی‌های گام‌به‌گام ارائه دهد. این امر موجب می‌شود فرایند یادگیری پویا، تعاملی و دانش‌آموز محورتر شود. به‌طورکلی، محیط‌های چت گروهی مبتنی بر هوش مصنوعی بستری نوین برای یادگیری مشارکتی فراهم می‌کنند که در آن تعامل میان دانش‌آموزان، تبادل ایده‌ها، دریافت بازخورد هوشمند و مشارکت فعال در فرایند یادگیری تقویت می‌شود و می‌تواند در بهبود درک مفهومی و تعمیق یادگیری نقش مؤثری ایفا کند. در شکل ۲ نمونه‌ای از تعامل بین دانش آموزان و هوش مصنوعی و تصویر تولیدشده توسط هوش مصنوعی را برای مفهوم اتحاد مربع دوجمله‌ای را می‌توانید ببینید.

شکل ۲.

تصویر تولیدشده برای مفهوم اتحادها توسط هوش مصنوعی



اگرچه در گروه آزمایش ۳۰ نفر از دانش‌آموزان حضور داشتند، اما اجرای مداخله آموزشی در محیط چت گروهی مبتنی بر هوش مصنوعی با محدودیت‌هایی همراه شد. ازجمله این چالش‌ها می‌توان به محدودیت‌های دسترسی به محیط چت جی پی تی و ناپایداری اینترنت اشاره کرد درنهایت، تنها ۱۰ نفر توانستند در تمام جلسات شرکت کرده و فعالیت‌ها و پس‌آزمون را کامل کنند. ازاین‌رو، در تحلیل‌های مرتبط با مداخله و بررسی تعاملات در محیط چت گروهی، داده‌های همین ۱۰ نفر موردبررسی قرار گرفت. در مقابل، گروه کنترل همان محتوای آموزشی مربوط به اتحادهای جبری را به شیوه متداول تدریس در کلاس دریافت کرد. پس از پایان دوره آموزشی، از هر دو گروه پس‌آزمون گرفته شد. سؤالات پس‌آزمون نیز همانند پیش‌آزمون متناسب

با سطوح نظریه APOS طراحی‌شده بودند تا میزان تغییر در درک مفهومی دانش‌آموزان در سطوح مختلف شناختی مورد ارزیابی قرار گیرد.

ابزار اصلی گردآوری داده‌ها در این پژوهش آزمون محقق ساخته پیش‌آزمون و پس‌آزمون درباره مفهوم اتحادهای جبری بود که بر اساس سطوح نظریه APOS طراحی شد. برای بررسی روایی محتوایی این آزمون، گویه‌ها و سؤالات آن در اختیار دو نفر از متخصصان آموزش ریاضی و دو نفر از دبیران باتجربه ریاضی قرار گرفت و پس از دریافت دیدگاه‌های اصلاحی آنان، نسخه نهایی آزمون تدوین شد. برای بررسی پایایی ابزار نیز از ضریب آلفای کرونباخ استفاده گردید که مقدار آن برای پیش‌آزمون برابر (α =۰/۸۰) با و برای پس‌آزمون برابر (α =۰/۸۶) به دست آمد که نشان از پایایی مطلوبی است.

در بخش کیفی پژوهش، داده‌ها از طریق ثبت و جمع‌آوری متن تعاملات دانش‌آموزان در چت گروهی مبتنی بر هوش مصنوعی گردآوری شد. این تعاملات شامل پرسش‌ها، پاسخ‌ها، توضیحات و استدلال‌های دانش‌آموزان در جریان حل مسائل مربوط به اتحادهای جبری بود. تحلیل این داده‌ها با استفاده از روش تحلیل محتوای کیفی جهت‌دار و بر اساس چارچوب نظری APOS انجام شد. در این فرایند، متن تعاملات بررسی و واحدهای معنایی استخراج گردید و سپس بر اساس مؤلفه‌های نظریه APOS شامل عمل، فرایند، شیء و طرح‌واره کدگذاری شدند. کدگذاری داده‌ها توسط دو پژوهشگر در حوزه آموزش ریاضی به‌طور مستقل انجام شد و برای بررسی میزان توافق میان کدگذاران از ضریب کاپای کوهن استفاده گردید که مقدار آن برابر با ۰/۸۳ به دست آمد و به گفته Viera and Garrett (2005) این مقدار از قابلیت اطمینان کدگذاری پشتیبانی می‌کند و نشان‌دهنده توافق مناسب میان کدگذاران است.

برای تحلیل داده‌های کمی از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. در این بخش ابتدا شاخص‌های آمار توصیفی شامل میانگین و انحراف معیار برای توصیف عملکرد دانش‌آموزان در پیش‌آزمون و پس‌آزمون محاسبه شد و سپس برای بررسی تفاوت میانگین نمرات دو گروه و تعیین میزان تأثیر مداخله آموزشی از آزمون‌های آماری استنباطی مناسب استفاده گردید. در ادامه، با توجه به عدم همگنی اولیه دو گروه در پیش‌آزمون، جهت تعدیل و کنترل اثر این تفاوت‌های اولیه بر نمرات پس‌آزمون و تضمین اعتبار درونی یافته‌ها، در مراحل بعدی تحلیل از آزمون تحلیل

کوواریانس تک متغیره (ANCOVA) با واردکردن پیش‌آزمون به‌عنوان متغیر همپراش (Covariate) استفاده شد.

یافته‌ها

به‌منظور بررسی پیش‌فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها و تعیین نوع آزمون‌های آماری مناسب، ابتدا آزمون‌های شاپیرو–ویلک بر روی نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون اجرا شد. نتایج نشان داد که در پیش‌آزمون مقدار معناداری آزمون شاپیرو–ویلک برابر با ۰/۰۴۹ و در پس‌آزمون برابر با ۰/۰۰۱ است. ازآنجاکه مقادیر به‌دست‌آمده کمتر از سطح معناداری ۰/۰۵ بودند، فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها رد شد؛ بنابراین، برای تحلیل داده‌ها از آزمون‌های نا پارامتری استفاده گردید. به‌منظور توصیف اولیه داده‌ها و بررسی وضعیت کلی عملکرد دانش‌آموزان، شاخص‌های آمار توصیفی شامل حداقل نمره، حداکثر نمره، میانگین، انحراف معیار و واریانس برای نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون محاسبه شد و در جدول ۲ گزارش‌شده است. نتایج آمار توصیفی نشان داد که در پیش‌آزمون گروه کنترل، میانگین نمرات دانش‌آموزان برابر با ٦/٤٨ و انحراف معیار برابر با ٥/١٢ بوده است. حداقل نمره کسب‌شده در این مرحله ۰ و حداکثر نمره ۲۰ گزارش شد. مقدار واریانس نمرات پیش‌آزمون این گروه ۲٦/۳۰ به دست آمد که نشان‌دهنده پراکندگی نسبتاً زیاد نمرات دانش‌آموزان در ابتدای پژوهش است. در پس‌آزمون گروه کنترل، میانگین نمرات به ۷/۵۸ افزایش یافت. انحراف معیار نیز برابر با ۵/۲۳ و واریانس برابر با ۲۷/٤١ گزارش شد. حداقل نمره ۱ و حداکثر نمره ۲۰ بود. افزایش اندک میانگین نشان‌دهنده بهبود نسبی عملکرد دانش‌آموزان این گروه است؛ بااین‌حال، بالا بودن انحراف معیار و افزایش جزئی واریانس نشان می‌دهد که پراکندگی نمرات همچنان زیاد بوده و میزان پیشرفت در میان دانش‌آموزان یکنواخت نبوده است.

در پیش‌آزمون گروه آزمایش، میانگین نمرات ١٢٫٤٠ و انحراف معیار ٤٫٠٦ گزارش شد. حداقل نمره ٤ و حداکثر نمره ١٧ بود. مقدار واریانس نیز ١٦٫٤٩ به دست آمد که نشان‌دهنده پراکندگی متوسط نمرات در این گروه است. در پس‌آزمون گروه آزمایش، میانگین نمرات به ١٦٫٤٠ افزایش یافت که نشان‌دهنده رشد قابل‌توجه عملکرد دانش‌آموزان پس از اجرای مداخله آموزشی است. انحراف معیار در این مرحله ٣٫٤٧ و واریانس ١٢٫٠٤ گزارش شد. حداقل نمره

۸ و حداکثر نمره ۲۰ بود. کاهش انحراف معیار و واریانس نسبت به پیش‌آزمون نشان می‌دهد که علاوه برافزایش سطح عملکرد، پراکندگی نمرات نیز کاهش‌یافته و یادگیری در میان دانش‌آموزان این گروه یکنواخت‌تر شده است. مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که میزان افزایش نمرات در گروه آزمایش به‌مراتب بیشتر از گروه کنترل بوده است.

جدول ۲.

آمار توصیفی نمرات پیش- پس‌آزمون در دو گروه

متغیر	تعداد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	واریانس
نمرات پیش‌آزمون گروه کنترل	۳۰	۰	۲۰	٦/٤٨٣٣	٥/١٢٨٤٩	٢٦/٣٠١
نمرات پس‌آزمون گروه کنترل	۳۰	۱	۲۰	۷/٥٨٣٣	٥/٢٣٥٩٦	٢٧/٤١٥
نمرات پیش‌آزمون گروه آزمایش	۱۰	٤	۱۷	۱۲/٤٠	٤/٠٦٠٦٥	١٦/٤٨٩
نمرات پس‌آزمون گروه آزمایش	۱۰	۸	۲۰	١٦/٤٠	٣/٤٧٠٥١	١٢/٠٤٤

جهت مقایسه همگنی دو گروه در پیش‌آزمون، با توجه به عدم برقراری فرض نرمال بودن داده‌ها، از آزمون نا پارامتریک من-ویتنی استفاده شد.

جدول ۳.

نتایج آزمون من-ویتنی برای مقایسه گروه‌ها در پیش‌آزمون

گروه	تعداد	میانگین رتبه	مجموع رتبه‌ها	من-ویتنی U	Z	سطح معناداری
کنترل	۳۰	١٦/٥٨	٤٩٧/٥٠	٥٣/٥٠٠	-٣/٠٢٠	٠/٠٠٣
آزمایش	۱۰	٣٢/٢٥	٣٢٢/٥٠	٥٣/٥٠٠	-٣/٠٢٠	٠/٠٠٣

نتایج جدول ۳ نشان داد که تفاوت بین گروه آزمایش و کنترل در پیش‌آزمون معنادار است؛ که به‌منظور کنترل آن، در ادامه، برای مقایسه عملکرد دو گروه آزمایش و کنترل در پس‌آزمون در تحلیل نهایی از آزمون کوواریانس (ANCOVA) استفاده گردید. نتایج تحلیل کوواریانس (جدول ٤) نشان داد که پس از کنترل و تعدیل اثر نمرات پیش‌آزمون (به‌عنوان متغیر همپراش)، تفاوت عملکرد دو گروه در پس‌آزمون همچنان ازنظر آماری معنادار است. هم‌چنین اندازه اثر محاسبه‌شده بر اساس مجذور اتای تفکیکی $(\eta_p^2 = 0/32)$ ، جهت تسهیل تفسیر مقایسه‌ای و بر اساس فرمول‌های استاندارد کوهن، به شاخص اندازه اثر f کوهن تبدیل گردید که مقدار آن $f =$

0/69 محاسبه شد که مطابق ملاک‌های تفسیری کوهن (Cohen, 1988)، این مقدار نشان‌دهنده یک اثر بزرگ و قابل‌توجه است؛ به این معنا که ۳۲ درصد از واریانس نمرات پس‌آزمون به تفاوت در نوع مداخله آموزشی نسبت داده می‌شود. این یافته تأیید می‌کند که بهبود عملکرد دانش‌آموزان گروه آزمایش صرفاً ناشی از سطح اولیه دانش آن‌ها نبوده، بلکه مداخله آموزشی مبتنی بر تعامل با هوش مصنوعی در فرایند یادگیری اتحادهای جبری، تأثیر آموزشی معنادار و مستقلی بر یادگیری آن‌ها داشته است.

جدول ٤.

نتایج تحلیل کوواریانس برای مقایسه نمرات پس‌آزمون دو گروه

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معناداری	مجذور اتا جزئی
مدل تصحیح‌شده	۱۳٤۱/۷۱۵	۲	٦۷۰/۸۵۸	۱۷۱/۵۰٦	۰/۰۰۰	۰/۹۰۳
مقدار ثابت	۸٦/۸۸۳	۱	۸٦/۸۸۳	۲۲/۲۱۲	۰/۰۰۰	۰/۳۷۵
پیش‌آزمون (همپراش)	۷۵۸/۷۱۳	۱	۷۵۸/۷۱۳	۱۹۳/۹٦٦	۰/۰۰۰	۰/۸٤۰
گروه (متغیر مستقل)	٦۸/۰۰۲	۱	٦۸/۰۰۲	۱۷/۳۸۵	۰/۰۰۰	۰/۳۲۰
خطا	۱٤٤/۷۲۸	۳۷	۳/۹۱۲	—	—	—
کل	۵۳۱۸/۲۵۰	٤۰	—	—	—	—
کل تصحیح‌شده	۱٤۸٦/٤٤٤	۳۹	—	—	—	—

به‌منظور بررسی تغییرات درون‌گروهی و مقایسه عملکرد دانش‌آموزان در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون، آزمون نا پارامتری ویلکاکسون به‌طور مجزا برای گروه‌های آزمایش و کنترل اجرا شد (نتایج در جدول ۵). یافته‌های آماری نشان داد که در گروه آزمایش ($p =$ و $Z = -2.825$ 0.005)، تمام ۱۰ دانش‌آموز شرکت‌کننده در پس‌آزمون عملکردی بهتری نسبت به پیش‌آزمون داشته‌اند (۱۰ رتبه مثبت و صفر رتبه منفی). در گروه کنترل نیز بهبود عملکرد ازنظر آماری معنادار بود ($p = 0.001$ و $Z = -3.259$)، که در آن ۲٤ دانش‌آموز بهبودیافته، ٤ دانش‌آموز افت عملکرد داشته و ۲ نفر تغییری را تجربه نکردند.

جدول ۵.

نتایج آزمون ویلکاکسون برای مقایسه نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون

گروه	مقایسه	مقدار Z	سطح معناداری
آزمایش	پس‌آزمون – پیش‌آزمون	-۲/۸۲۵	۰/۰۰۵
کنترل	پس‌آزمون – پیش‌آزمون	-۳/۲۵۹	۰/۰۰۱

اگرچه نتایج کمی هر دو گروه حاکی از بهبود عملکرد است، اما باید توجه داشت که این داده‌های آماری تنها بازتاب‌دهنده رشد نمرات هستند. همان‌طور که در تحلیل‌های کیفی مبتنی بر سطوح شناختی APOS مشاهده شد، تفاوت اصلی میان دو گروه در «کیفیت و عمق این بهبود» نهفته است. در گروه کنترل، بهبود نمرات عمدتاً معطوف به سطوح پایین شناختی (عمل و فرایند) و متکی بر محاسبات مکانیکی فرمول‌ها بوده است؛ درحالی‌که در گروه آزمایش، مداخلات آموزشی منجر به گذار دانش‌آموزان به سطوح بالاتر شناختی (شیء و طرح‌واره) و درک عمیق‌تر از مفاهیم هندسی و ساختار اتحادها شده است.

باوجودآنکه انحراف معیار نمرات در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون نشان‌دهنده وجود تفاوت‌های فردی میان دانش‌آموزان است، مقادیر بالای اندازه اثر نشان می‌دهد که مداخله آموزشی توانسته است درمجموع تأثیر قابل‌توجهی بر بهبود عملکرد یادگیری دانش‌آموزان داشته باشد. به‌بیان‌دیگر، افزایش مشاهده‌شده در نمرات پس‌آزمون را نمی‌توان صرفاً ناشی از تغییرات تصادفی دانست، بلکه این تغییرات تا حد زیادی ناشی از اثر واقعی مداخله آموزشی بوده است.

در بخش کیفی، برای بررسی عمیق‌تر کیفیت یادگیری دانش‌آموزان، یافته‌ها علاوه بر مقایسه نمرات کلی، پاسخ‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون دانش آموزان بر اساس چارچوب APOS نیز تحلیل شد. تحلیل داده‌های کیفی با استفاده از روش تحلیل محتوای کیفی جهت‌دار انجام شد. در پژوهش حاضر، نظریه APOS به‌عنوان چارچوب مفهومی تحلیل انتخاب شد؛ بنابراین فرایند تحلیل داده‌ها با تمرکز بر شناسایی نشانه‌هایی از سطوح مختلف این نظریه شامل عمل، فرایند، شیء و طرح‌واره انجام گرفت.

این چارچوب، تحول شناختی یادگیرندگان را در چهار سطح عمل، فرایند، شیء و طرح‌واره تبیین می‌کند و امکان بررسی دقیق‌تر نوع و عمق یادگیری را فراهم می‌سازد. لذا برای درک بهتر کیفیت تحول شناختی دانش‌آموزان، گذار آنان در سطوح APOS نیز بررسی شد. نتایج نشان داد

که در گروه کنترل، ۳ نفر از سطح عمل به فرایند، ٦ نفر از عمل به شیء و ۱ نفر از عمل به طرح‌واره گذار کرده‌اند. در مقابل، در گروه آزمایش هیچ دانش‌آموزی از عمل به فرایند گذار نکرده، اما ۵ نفر از عمل به شیء و ۵ نفر از عمل به طرح‌واره رسیده‌اند. این الگو از منظر APOS بسیار معنادار است. در گروه کنترل، بخش عمده گذارها یا در سطح فرایند متوقف‌شده‌اند یا حداکثر به سطح شیء رسیده‌اند و تنها تعداد بسیار اندکی به طرح‌واره دست‌یافته‌اند؛ اما در گروه آزمایش، الگوی گذار نشان می‌دهد که دانش‌آموزان بیشتر به سمت سطوح شناختی بالاتر، به‌ویژه طرح‌واره، حرکت کرده‌اند. این نکته حائز اهمیت است، زیرا رسیدن به طرح‌واره به معنای آن است که دانش‌آموز نه‌تنها عملیات جبری را انجام می‌دهد و فرایندها را درک می‌کند، بلکه می‌تواند میان مفاهیم مختلف ارتباط برقرار کرده و ساختار کلی اتحادهای جبری را در قالب یک شبکه مفهومی منسجم سازمان‌دهی کند.

نبود گذار از عمل به فرایند در گروه آزمایش نیز از این منظر قابل تفسیر است که تحول شناختی در این گروه صرفاً در سطح درونی‌سازی اولیه متوقف نشده، بلکه در موارد متعددی به سطوح بالاتر یعنی شیء و طرح‌واره منتهی شده است. به‌بیان‌دیگر، مداخله آموزشی مورداستفاده در گروه آزمایش توانسته است فرایند یادگیری را به سمت بازسازی عمیق‌تر ساختارهای ذهنی هدایت کند.

درمجموع، تحلیل داده‌ها بر اساس چارچوب APOS نشان می‌دهد که اگرچه هر دو گروه در برخی سطوح بهبود داشته‌اند، اما ماهیت این بهبود در دو گروه متفاوت بوده است. در گروه کنترل، پیشرفت بیشتر در سطوح پایین‌تر و به‌ویژه در سطح عمل مشاهده شد؛ یعنی یادگیری بیشتر جنبه رویه‌ای و اجرایی داشته است. در مقابل، در گروه آزمایش، رشد در سطوح شیء و به‌خصوص الگوی گذار به طرح‌واره برجسته‌تر بود که نشان‌دهنده یادگیری عمیق‌تر، سازمان‌یافته‌تر و مفهومی‌تر است. بااین‌حال، در این نظریه مسیر یادگیری الزاماً خطی در نظر گرفته نمی‌شود و همه یادگیرندگان مراحل عمل، فرایند، شیء و طرح‌واره را لزوماً به همان ترتیب طی نمی‌کنند (Dubinsky and McDonald, 2001).

این یافته‌ها مؤید آن است که استفاده از هوش مصنوعی در قالب تعامل چت‌محور می‌تواند تنها به بهبود نمره کلی محدود نشود، بلکه کیفیت تحول شناختی دانش‌آموزان را نیز ارتقا دهد. به بیان دقیق‌تر، این نوع مداخله آموزشی می‌تواند شرایطی فراهم آورد که دانش‌آموزان از سطح

اجرای صرف عملیات جبری فراتر روند و به بازنمایی‌های ذهنی پیچیده‌تر و یکپارچه‌تر از مفاهیم اتحادهای جبری دست یابند؛ بنابراین، اثربخشی مداخله حاضر را می‌توان نه‌تنها در افزایش عملکرد تحصیلی، بلکه در ارتقای سطوح شناختی یادگیری بر اساس چارچوب APOS نیز مشاهده کرد.

در ادامه نیز، باهدف بررسی تحول فهم ریاضی در طول فعالیت‌های مشارکتی مبتنی بر رایانه، تعاملات دانش‌آموزان در محیط چت گروهی مبتنی بر هوش مصنوعی مورد تحلیل قرار گرفت. این تعاملات شامل پرسش‌ها، پاسخ‌ها، توضیحات، استدلال‌ها و بحث‌های دانش‌آموزان در هنگام حل مسائل مرتبط با اتحادهای جبری بود که در طول جلسات آموزشی ثبت و گردآوری گردید.

در مرحله نخست، متن کامل تعاملات دانش‌آموزان موردبررسی قرار گرفت و واحدهای معنایی مرتبط با یادگیری مفاهیم جبری استخراج شد. سپس این واحدهای معنایی بر اساس مؤلفه‌های نظریه APOS کدگذاری شدند. به‌منظور افزایش دقت و اعتبار تحلیل، کدگذاری داده‌ها توسط دو پژوهشگر در حوزه آموزش ریاضی به‌صورت مستقل انجام شد. پس از انجام کدگذاری، میزان توافق میان دو کدگذار با استفاده از ضریب کاپای کوهن محاسبه گردید که مقدار آن برابر با ۰/۸۳ به دست آمد و نشان‌دهنده سطح توافق مطلوب میان کدگذاران بود.

در این پژوهش، تعاملات ثبت‌شده در محیط گفت‌وگوی مبتنی بر هوش مصنوعی به‌صورت لاگ‌های چت جمع‌آوری و تحلیل شدند. هر لاگ شامل پیام دانش‌آموز، پاسخ هوش مصنوعی و در برخی موارد مداخله معلم بود. تحلیل این لاگ‌ها باهدف شناسایی الگوهای تعامل و نقش هر یک از عوامل در فرایند یادگیری انجام گرفت.

در این فرایند، دانش‌آموز نقش یادگیرنده فعال را ایفا می‌کرد و از طریق طرح سؤال، درخواست توضیح، ارائه پاسخ به مسائل و اصلاح پاسخ‌های خود در تعامل با سیستم شرکت می‌کرد؛ بنابراین بخش عمده‌ای از لاگ‌ها مربوط به پیام‌های دانش‌آموزان بود که نشان‌دهنده تلاش آنان برای درک مفاهیم ریاضی، به‌ویژه اتحادهای جبری، و حل مسائل مربوطه است.

هوش مصنوعی در این محیط نقش یک راهنمای یادگیری و ارائه‌دهنده بازخورد را بر عهده داشت. پاسخ‌های هوش مصنوعی شامل ارائه توضیح مفهومی، نمایش مراحل حل مسئله، ارائه مثال‌های مشابه و اصلاح خطاهای احتمالی در پاسخ‌های دانش‌آموزان بود. به‌این‌ترتیب، هوش

مصنوعی به‌عنوان یک منبع پشتیبان آموزشی عمل می‌کرد که به‌صورت تعاملی به نیازهای یادگیری دانش‌آموزان پاسخ می‌داد.

درمجموع، تعداد کل لاگ‌های ثبت‌شده در این پژوهش برابر با ۳۷۶ مورد بود که این تعداد لاگ مربوط به تمام تعاملات ثبت‌شده‌ای است که مستقیماً با موضوع یادگیری اتحادهای جبری مرتبط بوده‌اند. پیام‌ها و تعاملات متفرقه که ارتباطی با محتوای آموزشی نداشتند از فرایند تحلیل حذف شدند تا تحلیل صرفاً بر مبنای تعاملات آموزشی مرتبط انجام گیرد. از این تعداد، ۲۲۳ لاگ مربوط به پیام‌های دانش‌آموزان، ۱۳۶ لاگ مربوط به پاسخ‌های هوش مصنوعی و ۱۷ لاگ مربوط به مداخلات معلم بود. این توزیع نشان می‌دهد که بیشترین حجم تعامل مربوط به ارتباط مستقیم دانش‌آموز با سیستم هوش مصنوعی بوده است و معلم بیشتر نقش هدایت‌کننده و ناظر بر فرایند یادگیری را بر عهده داشته است. دانش‌آموزان هر زمان که نیاز به راهنمایی، توضیح یا بازخورد داشتند، با خطاب قرار دادن هوش مصنوعی آن را جهت مشارکت در گروه آن را فراخوان می‌کردند. در پاسخ، سامانه هوش مصنوعی به‌صورت متنی و آنی واکنش نشان می‌داد و توضیحات یا راهکارهای لازم را ارائه می‌کرد. این الگوی فراخوانی مستقیم جزء طبیعی فرایند یادگیری مشارکتی بود و نقش فعالی در شکل‌دهی به تعاملات گروهی داشت. به‌این‌ترتیب، هوش مصنوعی همچون یک عضو مجازی گروه عمل می‌کرد که بر پایه تقاضای دانش‌آموزان وارد بحث می‌شد و به سؤالات آنان پاسخ می‌داد. الگوهای این پاسخ‌ها، کیفیت پرسش‌های مطرح‌شده توسط دانش‌آموزان و چگونگی استفاده آنان از بازخوردهای هوش مصنوعی، در تحلیل کیفی داده‌ها بر اساس سطوح نظریه APOS (عمل، فرایند، شیء، طرح‌واره) موردتوجه قرار گرفت. در ادامه جدول ٦ کدگذاری چت‌ها به تفکیک سطوح شناختی APOS آورده شده است.

جدول ٦.

کدگذاری چت‌ها بر اساس سطوح APOS

مؤلفه‌های APOS	شاخص‌های قابل‌مشاهده در چت	شمارش فراوانی کدها در هر سطح
عمل	درخواست فرمول یا روش مستقیم حل؛ جایگذاری اعداد در فرمول؛ پرسیدن «چطور این را حساب کنم؟»؛ اجرای محاسبه فقط باراهنمایی؛ تمرکز بر پاسخ نهایی؛ درخواست تأیید پاسخ («آیا جوابم درست است؟»)	۹۳
فرایند	توضیح مرحله‌به‌مرحله حل؛ پرسش درباره چرایی یک مرحله («چرا این جمله حذف شد؟»)؛ بیان روند حل با کلمات خود؛ درخواست توضیح بیشتر درباره مراحل؛ مقایسه دو روش حل؛ اصلاح پاسخ بر اساس بازخورد	۵۲
شیء	درک اتحاد به‌عنوان یک الگو یا ساختار؛ تشخیص نوع اتحاد در یک عبارت؛ تعمیم اتحاد به مثال‌های دیگر؛ مقایسه اتحادهای مختلف؛ توضیح مفهوم اتحاد بدون استفاده از مثال عددی؛ بحث درباره ویژگی‌های اتحاد	۳۳
طرح‌واره	استفاده هم‌زمان از چند اتحاد؛ حل مسائل ترکیبی یا پیچیده؛ ارتباط اتحادها با سایر مفاهیم جبری؛ ارائه راهبرد حل پیش از محاسبه؛ تعمیم روش حل به مسائل جدید؛ پیشنهاد چند روش برای حل یک مسئله	۲۲

مطابق با جدول ٦ به‌طورکلی، توزیع پیام‌ها نشان می‌دهد که بیشترین تعاملات دانش‌آموزان در دو سطح عمل و فرایند قرار داشته است. این موضوع بیانگر آن است که استفاده از هوش مصنوعی در وهله نخست بیشتر به یادگیری رویه‌ای، اجرای فرمول‌ها و فهم مراحل حل کمک کرده است. بااین‌حال، حضور پیام‌ها در سطوح شیء و طرح‌واره نیز اهمیت زیادی دارد؛ زیرا نشان می‌دهد که این فناوری تنها در سطح پاسخ‌دهی سریع باقی نمانده، بلکه در برخی موارد توانسته است زمینه را برای فهم ساختاری، تعمیم مفاهیم و حل مسائل ترکیبی نیز فراهم کند.

تحلیل محتوای گفتگوهای گروهی نشان می‌دهد که تعامل دانش‌آموزان صرفاً در حد تولید پاسخ‌های محاسباتی باقی نمانده، بلکه به‌تدریج به سمت تبیین رابطه، اعتبارسنجی قاعده و تعمیم مفهومی حرکت کرده است. نمونه‌هایی از تعاملات استخراج‌شده‌اند که بیانگر انتقال دانش‌آموزان از سطح عمل به سطح فرایند هستند. برای مثال، در ابتدای تعامل، دانش‌آموز صرفاً درخواست فرمول مستقیم یا پاسخ نهایی را مطرح می‌کند که نشان‌دهنده قرار داشتن در سطح عمل است. پس از دریافت بازخورد از معلم و سامانه هوش مصنوعی و ادامه تعامل با همسالان، پرسش‌های

دانش‌آموز از «چه پاسخی درست است؟» به «چرا این مرحله انجام می‌شود؟» و «چرا در این اتحاد عبارت $2+$ ظاهر می‌شود؟» تغییر می‌یابد که بیانگر درونی‌سازی عملیات و ورود به سطح فرایند است. همچنین، در مواردی مشاهده شد که دانش‌آموز پس از دریافت بازخورد، برداشت اولیه خود را اصلاح‌کرده و روند حل را بابیان خود بازسازی می‌کند که از نشانه‌های شکل‌گیری فرایند ذهنی در نظریه APOS محسوب می‌شود. برای مثال، دریکی از پیام‌ها، نیما فقط حاصل بسط $a^2 + b^2 + 2ab$را ارائه می‌کند. این نوع پاسخ نشان‌دهنده سطح عمل است؛ زیرا دانش‌آموز صرفاً یک الگوی آموخته‌شده را به‌صورت مکانیکی بازتولید می‌کند. بااین‌حال، در ادامه همان دانش‌آموز می‌پرسد: «هوش درسته؟». این پرسش نشان می‌دهد که او از تولید صرف پاسخ فاصله گرفته و وارد مرحله‌ای شده است که در آن به اعتبار قاعده و درستی رابطه توجه می‌کند؛ بنابراین این بخش را می‌توان نشانه‌ای از گذار به سطح فرایند دانست.

در نمونه‌ای دیگر، دانش‌آموز اتحاد را به‌عنوان «یک‌راه میانبر محاسباتی» توصیف می‌کند. این بیان، فراتر از یک پاسخ الگوریتمی است و نشان می‌دهد دانش‌آموز به کارکرد و ماهیت رابطه توجه کرده است، نه‌فقط به نتیجه عددی یا جبری آن. چنین توصیفی حاکی از درونی‌سازی تدریجی مفهوم و ورود به سطح فرایند است. همچنین، در پیام دیگری، دانش‌آموز دیگر اتحاد را چنین توضیح می‌دهد: «چون به ازای هر متغیر یک رابطه معتبر توی هر عبارت جبری هست». این عبارت نشان‌دهنده درک تعمیم‌یافته از اتحاد جبری است؛ زیرا دانش‌آموز دیگر تنها یک فرمول خاص را به کار نمی‌برد، بلکه آن را به‌صورت یک رابطه‌ی کلی و معتبر در ساختارهای جبری درک می‌کند.

درنتیجه، می‌توان گفت که هوش مصنوعی در فرایند آموزش اتحادهای جبری، علاوه بر تسهیل محاسبات و توضیح مراحل، ظرفیت آن را داشته است که بخشی از دانش‌آموزان را به سمت سطوح بالاتر شناختی سوق دهد. البته برای تقویت بیشتر سطوح شیء و طرح‌واره، لازم است فعالیت‌های آموزشی و پرسش‌های مطرح‌شده به‌گونه‌ای طراحی شوند که دانش‌آموزان را به تحلیل، تعمیم، ترکیب مفاهیم و حل مسائل پیچیده‌تر ترغیب کنند.

درمجموع، مقایسه تحلیل چت‌ها با عملکرد گروه آزمایش در پس‌آزمون نشان می‌دهد که توزیع سطوح شناختی در گفتگوهای دانش‌آموزان با الگوی عملکرد آنان در آزمون همسو است؛ به این معنا که سطوحی که در چت‌ها سهم بیشتری داشته‌اند، در نتایج پس‌آزمون نیز عملکرد

بالاتری را نشان می‌دهند و سطوحی که کمتر در گفتگوها مطرح‌شده‌اند، با عملکرد پایین‌تر همراه بوده‌اند.

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که ترکیب یادگیری مشارکتی (CSCL) با پشتیبانی هوش مصنوعی، مسیری نوین برای حل چالش‌های درک اتحادهای جبری فراهم کرده است. درحالی‌که آموزش‌های سنتی بیشتر بر محاسبات تکراری تمرکز دارند و فرصت درک عمیق را از دانش‌آموزان می‌گیرند، این مطالعه نشان داد که محیط‌های چت‌محور هوشمند می‌توانند به‌عنوان یک تسهیلگر کلیدی در ارتقای سطح شناخت عمل کنند. بهبود معنادار نمرات در پس‌آزمون، تنها یک پیشرفت عددی نیست؛ بلکه نشان‌دهنده عبور دانش‌آموزان از حفظ کردن صوری قواعد به سمت درک واقعی و کاربردی اتحادهاست.

تحلیل پاسخ‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون در پرتو چارچوب APOS نشان می‌دهد که اگرچه هر دو گروه ازنظر عملکرد کلی نوعی بهبود را تجربه کرده‌اند، اما ماهیت این بهبود در آن‌ها یکسان نبوده است. در گروه کنترل، پیشرفت دانش‌آموزان بیشتر در سطح اجرای قواعد و رویه‌های جبری باقی‌مانده و پاسخ‌ها عمدتاً نشان‌دهنده فعالیت در سطوح «عمل» و «فرایند» بوده است؛ به این معنا که دانش‌آموزان توانسته‌اند برخی الگوریتم‌ها و مراحل محاسباتی را بازتولید کنند، اما در بسیاری از موارد هنوز به درک عمیق و ساختاری از مفهوم اتحادهای جبری دست نیافته‌اند. در مقابل، در گروه آزمایش، شواهد حاصل از تحلیل پاسخ‌ها بیانگر آن بود که یادگیرندگان فراتر از اجرای صرف رویه‌ها حرکت کرده و نشانه‌هایی روشن از ورود به سطوح «شیء» و «طرح‌واره» را بروز داده‌اند؛ به‌گونه‌ای که توانسته‌اند اتحادهای جبری را نه‌فقط به‌عنوان دستورالعملی برای بسط یا ساده‌سازی، بلکه به‌مثابه ساختارهایی منسجم و معنادار درک کنند و میان بازنمایی‌های جبری و هندسی آن‌ها ارتباط برقرار سازند. این تفاوت نشان می‌دهد که در این پژوهش، مسئله صرفاً افزایش نمره یا بهبود کمی عملکرد نبوده، بلکه نوع و کیفیت تحول شناختیِ حاصل از مداخله آموزشی نیز اهمیت داشته است.

تحلیل کیفی لاگ‌های چت گروهی نیز این تبیین را تقویت می‌کند. شواهد به‌دست‌آمده نشان داد که دانش‌آموزان در جریان تعاملات، تنها به اعلام پاسخ نهایی بسنده نکرده‌اند، بلکه درگیر

توضیح مراحل حل، توجیه انتخاب راهبردها، مقایسه شیوه‌های مختلف پاسخ‌گویی و بازاندیشی در خطاهای خود شده‌اند. این نوع تعامل، از منظر نظریه APOS، نشان‌دهنده فعال شدن فرایندهایی است که می‌توانند زمینه گذار از کنش‌های الگوریتمی به ساخت‌های شناختی پایدارتر را فراهم آورند. هرچند بخش قابل‌توجهی از تعاملات همچنان در سطوح «عمل» و «فرایند» قرار داشت، اما ظهور نمونه‌هایی از بازسازی مفهومی، نگاه کل‌نگر به ساختار اتحادها و توانایی پیوند دادن نمایش‌های مختلف، حاکی از حرکت تدریجی برخی دانش‌آموزان به‌سوی سطوح «شیء» و «طرح‌واره» بود. از این منظر، محیط چت‌محور صرفاً بستری برای تبادل پیام نبود، بلکه فضایی برای بیرونی‌سازی تفکر، مواجهه با دیدگاه‌های متفاوت و بازسازی تدریجی معنا فراهم کرد؛ امری که با منطق سازنده‌گرایانه نظریه APOS و نیز اصول یادگیری مشارکتی رایانه‌پایه همخوانی دارد.

در تبیین این یافته‌ها، نقش هوش مصنوعی به‌عنوان یک عامل هدایت‌گر و پشتیبان فرایندهای شناختی اهمیت ویژه‌ای دارد. در این پژوهش، ChatGPT نه در مقام ارائه‌کننده مستقیم پاسخ، بلکه به‌عنوان تسهیلگری عمل کرد که با طرح پرسش‌های راهبردی، جلب‌توجه دانش‌آموزان به روابط مفهومی، تشویق آنان به توضیح استدلال خود و ارائه بازخوردهای به هنگام، فرایند یادگیری را در مسیر تعمیق مفهومی هدایت کرد. چنین نقشی با مبانی نظری CSCL نیز سازگار است؛ زیرا در این رویکرد، یادگیری محصول تعامل اجتماعیِ معنا ساز در یک بستر دیجیتال است و فناوری زمانی ارزش آموزشی می‌یابد که بتواند کیفیت مشارکت، گفت‌وگو و هم‌اندیشی را ارتقا دهد؛ بنابراین، یافته‌های این پژوهش را می‌توان در پیوند میان دو مبنا تفسیر کرد: از یک‌سو، نظریه APOS توضیح می‌دهد که یادگیرندگان چگونه از کنش‌های اولیه به ساخت‌های شناختی پیچیده‌تر می‌رسند، و از سوی دیگر، CSCL نشان می‌دهد که این تحول چگونه در بستر تعاملات گروهی و گفتگوهای هدایت‌شده تقویت می‌شود. بر همین اساس، برتری گروه آزمایش را می‌توان ناشی از آن دانست که محیط یادگیری طراحی‌شده، فرصت هم‌زمانِ تعامل اجتماعی، بازخورد فوری و بازنمایی‌های چندگانه را فراهم کرده و بدین ترتیب شرایط مناسب‌تری برای گذار از یادگیری رویه‌ای به یادگیری مفهومی به وجود آورده است.

این یافته‌ها با پیشینه پژوهشی موجود نیز همسو است ازجمله با پژوهش‌های جدیدتر مانند Noroozi و همکاران (2025)، Van Leeuwen و همکاران (2024) و پژوهش فرا تحلیل Talan

(2021) نیز سازگار است که بر نقش تعاملات دیجیتال و حمایت هوشمند در بهبود مشارکت و پیشرفت تحصیلی تأکید دارد. این پژوهش محدودیت‌هایی نیز داشته است. نخست آنکه، کاهش حجم نمونه در گروه آزمایش بود که به دلیل مشکلات محدودیت دسترسی به ابزارهای هوش مصنوعی و ناپایداری در اتصال اینترنت رخ داد. دوم، محدودیت‌های زمانی نظام آموزشی و حجم قابل‌توجه سرفصل‌های کتاب درسی، مانع از آن شد که زمان بیشتری به فرایند مداخله آموزشی اختصاص یابد؛ افزون بر این، وقوع شرایط بحرانی و تنش‌های پیش‌بینی‌ناپذیر منطقه‌ای (آغاز جنگ ۴۰ روزه)، هم‌زمان با اختلالات گسترده و قطعی‌های مکرر شبکه اینترنت، عملاً امکان توسعه جامعه آماری و جذب نمونه‌های بیشتر را از پژوهشگر سلب کرد. درنتیجه، با توجه به حجم نمونه محدود و شرایط خاص اجرای پژوهش، تعمیم‌یافته‌های این مطالعه به جوامع گسترده‌تر باید بااحتیاط صورت گیرد. بااین‌حال، ترکیب دو رویکرد کمی و کیفی به تقویت اعتبار نتایج این پژوهش انجامید.

به‌طورکلی، نتایج این پژوهش نشان داد که یادگیری مشارکتی مبتنی بر رایانه با پشتیبانی هوش مصنوعی می‌تواند بستری مؤثر برای ارتقای درک مفهومی اتحادهای جبری فراهم سازد. این محیط موجب افزایش مشارکت، عمق‌بخشی به گفت‌وگوهای ریاضی، ارتقای فرایندهای تفکر سطح بالا و تقویت کیفیت بازخورد دهی در جریان یادگیری شد. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، اثربخشی چنین مداخلاتی در بازه‌های زمانی طولانی‌تر، با نمونه‌های گسترده‌تر و در دیگر حوزه‌های یادگیری ریاضی نیز بررسی شود تا امکان قضاوت دقیق‌تر درباره پایداری و دامنه اثرات آن فراهم آید. همچنین مطالعه متغیرهایی مانند انگیزه، اضطراب ریاضی، خودکارآمدی و کیفیت مشارکت گروهی می‌تواند تصویر کامل‌تری از پیامدهای آموزشی این نوع محیط‌ها ارائه دهد. از منظر کاربردی نیز به نظر می‌رسد طراحی فعالیت‌های یادگیری مشارکتی مبتنی بر گفت‌وگوی متنیِ هدایت‌شده، همراه با بهره‌گیری از بازنمایی‌های چندگانه و بازخوردهای هوشمند، می‌تواند برای معلمان ریاضی راهبردی مؤثر در جهت عبور از آموزش صرفاً رویه‌ای و تقویت فهم مفهومی دانش‌آموزان باشد.

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

همه نویسندگان نقش یکسانی در طراحی ایده اولیه و نوشتن مقاله داشته‌اند و هیچ‌کس سهم بیشتری از دیگری نداشته است.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها به دلیل محدودیت‌های اخلاقی قابل اشتراک‌گذاری عمومی نیست.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

این تحقیق هیچ کمک مالی خاصی از سازمان‌های تأمین مالی در بخش‌های دولتی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

منابع

افخمی، ربابه، اصغری، نسیم، مدقالچی، علیرضا، و پاشائی، فیروز. (۱۴۰۳). ارتقای سازه‌های ذهنی دانش‌آموزان پایه هفتم در تعمیم الگوهای شکلی: به‌کارگیری نظریه APOS و آگاهی از ساختار. *فناوری آموزش*، *۱۸*(۲)، ۳۸۷–۳۹۸. https://doi.org/10.22061/tej.2023.9986.2924

پورجمشیدی، مریم، و کرمی، زهرا. (۱۴۰۳). مرور نظام‌مند کاربردهای هوش مصنوعی در بهبود اختلال ریاضی. *روندها و دستاوردها در فناوری یادگیری*، *۱*(۴)، ۱۴۹–۱۷۰. https://doi.org/10.22034/jlt.2025.2056158.1032

ریحانی، ابراهیم، و شریفی، زهرا. (۱۳۹۷). بررسی درک دانش‌آموزان دختر سال سوم متوسطه از مفهوم حد و پیوستگی. *فناوری آموزش*، *۱۲*(۳)، ۱۸۵–۲۰۱. https://doi.org/10.22061/jte.2018.2922.1742

طیاری، فائزه، رفیع‌پور، ابوالفضل، عرب‌پور، علیرضا، و فدایی، محمدرضا. (۱۴۰۳). *بررسی درک مفهومی معادلات جبری در میان دانش‌آموزان دختر پایه نهم شهرستان کرمان بر اساس چارچوب نظریه APOS* [پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان]. https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/174fd4a042676c223ac291faf724eca1

عالمیان، وحید، قایدی، مهدی، و حبیبی، ملوک. (۱۳۹۸). بررسی میزان درک و فهم دانش‌آموزان سال چهارم متوسطه از مفهوم انتگرال در چارچوب نظریه APOS. *پژوهش در آموزش علوم تجربی*، *۵*(۱۴)، ۲۲–۳۷. https://basicscience.cfu.ac.ir/article_836.html

مرادی، سبحان، و زارعی، محمدحسین. (۱۴۰۴). شناسایی کاربردهای هوش مصنوعی در آموزش و بررسی میزان اهمیت آن‌ها در ارتقاء کیفیت یادگیری دانش‌آموزان مقطع متوسطه. *فناوری آموزش*، *۱۹*(۳)، ۷۶۱–۷۷۸. https://doi.org/10.22061/tej.2026.11317.3133

مسلمی، سید علی، و علم، رضا. (۱۴۰۳). اثربخشی کلاس درس علوم تجربی مبتنی بر هوش مصنوعی بر تفکر انتقادی، رشد اجتماعی و تفکر خلاق دانش‌آموزان چهارم ابتدایی. *روندها و دستاوردها در فناوری یادگیری*، *۱*(۴)، ۵–۳۴. https://doi.org/10.22034/jlt.2025.2052201.1026

یوسفی، اسماعیل، رسولی، حمید، و یعقوبی، طه. (۱۴۰۴). تأثیر هوش مصنوعی در آموزش هندسه پایه یازدهم برای رفع خطاهای مفهومی بر اساس مدل سیستم‌های آموزشی هوشمند (ITS). *روندها و دستاوردها در فناوری یادگیری*، *۲*(۷)، ۵–۲۲. https://doi.org/10.22034/jlt.2025.2064779.1041

References

Afkhami, R., Asghary, N., Medghalchi, A., & Pashaie, F. (2024). Improving the mental constructs of seventh grade students in figural pattern generalization: Using APOS theory and structural awareness. *Technology of Education Journal (TEJ), 18*(2), 387–398. https://doi.org/10.22061/tej.2023.9986.2924 [In Persian]

Alamian, V., Ghaedi, M., & Habibi, M. (2019). Investigate the level of twelfth grade students' understanding in integral concept by APOS theory. *Journal of Exploration in Teaching Basic Sciences, 5*(14), 22–37. https://basicscience.cfu.ac.ir/article_836.html [In Persian]

Arnon, I., Cottrill, J., Dubinsky, E., Oktac, A., Roa Fuentes, S., Trigueros, M., & Weller, K. (2014). *APOS theory: A framework for research and curriculum development in mathematics education* (pp. 5–26). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7966-6

Celik, I., Dindar, M., Muukkonen, H., & Järvelä, S. (2022). The promises and challenges of artificial intelligence for teachers: A systematic review of research. *TechTrends, 66*(3). https://doi.org/10.1007/s11528-022-00715-y

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates. https://utstat.toronto.edu/~brunner/oldclass/378f16/readings/CohenPower.pdf

Dubinsky, E., & McDonald, M. A. (2001). APOS: A constructivist theory of learning in undergraduate mathematics education research. In D. Holton (Ed.), *The teaching and learning of mathematics at university level: An ICMI study* (pp. 275–282). Springer Netherlands. https://www.math.kent.edu/~edd/ICMIPaper.pdf

Guan, H. (2023). Advantages and challenges of using artificial intelligence in primary and secondary school education. *Journal of Education, Humanities and Social Sciences, 22*, 377–383. https://doi.org/10.54097/ehss.v22i.12469

Kumari, S. (2025). The future of mathematical research with artificial intelligence. *Intelligentsia International Journal of Multidisciplinary Research, 1*(1), 39–48. https://www.iijmrjournal.org/gallery/83-files-data 698d51a19d8a121ce581499d7b701668-111.pdf

Li, X., Han, G., Fang, B., & He, J. (2025). Advancing the in-class dialogic quality: Developing an artificial intelligence-supported framework for classroom dialogue analysis. *Asia Pacific Education Researcher, 34*, 495–509. https://doi.org/10.1007/s40299-024-00872-z

Moradi, S., & Zarei, M. H. (2026). Identifying the applications of artificial intelligence in education and examining their importance in improving the quality of high school students' learning. *Technology of Education Journal (TEJ), 19*(3), 761–778. https://doi.org/10.22061/tej.2026.11317.3133 [In Persian]

Mosallami, S. A., & Alam, R. (2024). The effectiveness of artificial intelligence-based experimental science classroom on critical thinking, social development, and creative thinking of fourth grade elementary school students. *Trends and Achievements in Learning Technology, 1*(4), 5–34. https://doi.org/10.22034/jlt.2025.2052201.1026 [In Persian]

Noroozi, O., Schunn, C., Schneider, B., et al. (2025). Advancing peer learning with learning analytics and artificial intelligence. *International Journal of Educational Technology in Higher Education, 22*, 62. https://doi.org/10.1186/s41239-025-00559-5

Pourjamshidi, M., & Karami, Z. (2024). Systematic review of the applications of artificial intelligence in improving mathematical disorders. *Trends and Achievements in*

Learning Technology, 1(4), 149–170. https://doi.org/10.22034/jlt.2025.2056158.1032 [In Persian]

Reyhani, E., & Sharifi, Z. (2018). Investigation of the conception of third-grade female high school students of the concept of limit and continuity. *Technology of Education Journal (TEJ), 12*(3), 185–201. https://doi.org/10.22061/jte.2018.2922.1742 [In Persian]

Stahl, G., Koschmann, T., & Suthers, D. (2006). Computer-supported collaborative learning: An historical perspective. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 409–426). Cambridge University Press. https://gerrystahl.net/cscl/CSCL_English.pdf

Talan, T. (2021). The effect of computer-supported collaborative learning on academic achievement: A meta-analysis study. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology, 9*(3), 426–448. https://doi.org/10.46328/ijemst.1243

Tayyari, F., Rafiipour, A., Arabpour, A., & Fadaei, M. (2024). *Investigating conceptual understanding of algebraic equations among ninth-grade female students in Kerman based on the APOS theory framework* [Master's thesis, Shahid Bahonar University of Kerman]. https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/174fd4a042676c223ac291faf724eca1 [In Persian]

van Leeuwen, A., Hornstra, L., Janssen, J., & Leow, C. (2024). Peer interactions during computer-supported collaborative learning: A self-determination perspective. *Journal of Computer Assisted Learning*. https://doi.org/10.1111/jcal.70044

Viera, A. J., & Garrett, J. M. (2005). Understanding interobserver agreement: The kappa statistic. *Family Medicine, 37*(5), 360–363. https://fammedarchives.blob.core.windows.net/imagesandpdfs/fmhub/fm2005/May/Anthony360.pdf

Winkler, R., & Söllner, M. (2018). Unleashing the potential of chatbots in education: A state-of-the-art analysis. *Academy of Management Proceedings, 2018*(1). https://doi.org/10.5465/AMBPP.2018.15903abstract

Yousefi, E., Rasouli, H., & Yaghoubi, T. (2025). The impact of artificial intelligence on teaching 11th-grade geometry to address conceptual errors based on the Intelligent Tutoring Systems (ITS) model. *Trends and Achievements in Learning Technology, 2*(7), 5–22. https://doi.org/10.22034/jlt.2025.2064779.1041 [In Persian]

پیوست الف –

جدول تحلیل ساختار سؤالات پیش‌آزمون (Pre-test)

سطح	ویژگی‌های هر سطح	سؤال	سطح پیچیدگی و هدف سنجش
کنش	اجرای مکانیکی و الگوریتمی یک دستور یا مفهوم ریاضی.	با استفاده از ضرب عبارت‌های جبری، حاصل عبارت زیر را به‌دست آورید: $(3x-1)(3x-1)$	سنجش توانایی استفاده از الگوریتم‌های مستقیم و محاسبات جبری ساده.
فرایند	درونی‌سازی عمل و توانایی تصور مفهوم به صورت یک فرآیند داخلی.	بررسی اینکه آیا دو عبارت x^2+6x+9 و $(x+3)(x+3)$ برای همه مقادیر xیکسان هستند یا خیر، و ارائه دلیل با استفاده از تفسیر هندسی.	سنجش توانایی انتقال از محاسبات جبری به نمایش‌های متناظر (مانند هندسه).
شیء	تبدیل فرآیند به یک شیء مستقل که قابلیت استفاده در موقعیت‌های جدید را دارد.	عبارت x^2+5x+6 را در نظر بگیرید؛ الف) بررسی کنید آیا می‌توان این عبارت را به‌صورت حاصل‌ضرب دو عبارت نوشت یا خیر؟ ب) اگر پاسخ مثبت است، آن را بنویسید. ج) درستی پاسخ را با تفسیر هندسی نشان دهید.	سنجش توانایی درک اجزای تشکیل‌دهنده یک عبارت (تجزیه).
طرح‌واره	سازماندهی منسجم اعمال، فرآیندها و اشیا در یک ساختارشناختی کلی.	مستطیلی به طول $x+3$ و عرض $x-3$ در نظر بگیرید. الف) مساحت را بنویسید. ب) یک مربع به ضلع x رسم کنید و مربعی به ضلع ۳ را از آن جدا کنید و مساحت باقی‌مانده را بیابید. ج) با مقایسه، رابطه بین آن‌ها را بنویسید.	سنجش توانایی ترکیب مفاهیم (مساحت، اتحاد و هندسه) در یک ساختار کلی.

پیوست ب-

جدول تحلیل ساختار سؤالات پس‌آزمون (Post-test)

سطح	ویژگی‌های هر سطح	سؤال	سطح پیچیدگی و هدف سنجش
کنش	اجرای مکانیکی و الگوریتمی یک دستور یا مفهوم ریاضی.	با استفاده از اتحاد مناسب، حاصل عبارت زیر را به دست آورید: $(x-5)^2$	سنجش توانایی استفاده از الگوریتم‌های مستقیم و محاسبات جبری ساده.
فرایند	درونی‌سازی عمل و توانایی تصور مفهوم به صورت یک فرآیند داخلی.	نشان دهید دو عبارت x^2+6x+9 و $(x+3)^2$ برابر هستند و با رسم یک شکل هندسی مناسب دلیل آن را توضیح دهید.	سنجش توانایی انتقال از محاسبات جبری به نمایش‌های متناظر (مانند هندسه).
شیء	تبدیل فرآیند به یک شیء مستقل که قابلیت استفاده در موقعیت‌های جدید را دارد.	عبارت $x^2+7x+10$ را تجزیه کنید و با استفاده از یک تفسیر هندسی توضیح دهید چگونه جمله مشترک در تجزیه این عبارت ظاهر می‌شود.	سنجش توانایی درک ساختار تشکیل‌دهنده یک عبارت (مانند جمله مشترک).
طرح‌واره	سازماندهی منسجم اعمال، فرآیندها و اشیا در یک ساختارشناختی کلی.	مستطیلی با طول $x+4$ و عرض $x-4$ در نظر بگیرید. الف) مساحت را بنویسید. ب) نشان دهید این مساحت را می‌توان به‌صورت تفاضل مساحت دو مربع تفسیر کرد. ج) با رسم شکل، دلیل سازگاری این تفسیر را توضیح دهید.	سنجش توانایی ترکیب مفاهیم (مساحت، اتحاد و تفاضل مربع‌ها) در یک ساختار کلی.