



University of Qom
Faculty of Literature and Humanities

Using Teachers' Deliberate Errors to Enhance Learning and Critical Thinking in Mathematics Education

Neda Ebrahimi Moghadam¹ and Alireza Badeleh^{2✉}

1. Assistant Professor, Department of Educational Administration, Farhangian University, Tehran, Iran. E-mail: Ebrahimi.mn@cfu.ac.ir

2. Corresponding author, Associate Professor, Department of Educational Sciences, Farhangian University, Tehran, Iran. E-mail: A.badeleh@cfu.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received 2025-07-09 Received in revised form 2025-08-31 Accepted 2025-09-10 Published online 2026-05-30 Keywords: deliberate teacher error, error-based learning, critical thinking, mathematics learning, elementary education.	This study aimed to examine the effect of the teacher's deliberate error strategy, using an explicit approach, on enhancing sixth-grade students' mathematics learning and critical thinking. Employing a quasi-experimental design (pretest-posttest with a control group) and a mixed-methods approach (quantitative and qualitative), the research was conducted in a public elementary school in Tehran during the 2024–2025 academic year. The study population included sixth-grade male students; two intact classes (each with 32 students) were non-randomly assigned to experimental and control groups. The experimental group received mathematics instruction based on the deliberate error strategy over six 45-minute sessions, while the control group received traditional instruction. Data were collected using a standardized provincial mathematics achievement test and a researcher-developed performance checklist, which was validated by five educational experts using CVR/CVI methods and aligned with the theoretical framework. Quantitative data were analyzed using ANCOVA, and qualitative data were examined through directed content analysis. Qualitative codes, grounded in a theoretical framework, were organized into four main themes: enhanced accuracy in learning, strengthened scientific risk-taking, cognitive engagement and mathematical dialogue, and internalization of concepts through error analysis. The reliability of these codes was confirmed through peer review with a Kappa coefficient of 0.85. Findings indicated that the experimental group showed significant improvement in mathematics learning (posttest scores, $p < 0.001$) and critical thinking—as evidenced by the performance checklist and qualitative themes—compared to the control group.
How To Cite: Ebrahimi Moghadam, N., & Badeleh, A. (2026). Using Teachers' Deliberate Errors to Enhance Learning and Critical Thinking in Mathematics Education, <i>Research in Instructional Methods</i>, 4 (1), 82-97. https://doi.org/10.22091/jrim.2025.13244.1314	
 © The Author(s) DOI: https://doi.org/10.22091/jrim.2025.13244.1314 Publisher: University of Qom	

Introduction

The integration of innovative teaching strategies in elementary education is pivotal for fostering deep learning and cognitive development. Among these strategies, the deliberate error teaching method has emerged as a promising approach to actively engage students in the learning process, particularly in mathematics, where critical thinking and problem-solving skills are essential (Wong & Lim, 2022). This method involves teachers intentionally introducing errors during instruction to stimulate students' analytical skills, encourage error identification, and promote conceptual understanding. Unlike traditional teaching methods that emphasize the passive reception of information, deliberate error teaching aligns with experiential learning theories, such as those proposed by Carl Rogers (1969), which advocate for active learner involvement through discovery and analysis.

Research indicates that error-based learning enhances conceptual understanding by allowing students to establish stronger cognitive connections and internalize knowledge more effectively (Mulwijk & Lazonder, 2023). Furthermore, creating a supportive classroom environment where errors are viewed as learning opportunities can reduce anxiety, boost self-confidence, and foster a positive attitude toward mistakes (Soncini et al., 2021). Despite its potential, the application of deliberate error teaching in elementary settings, particularly in mathematics, remains underexplored, necessitating further investigation into its efficacy and optimal implementation strategies.

Method

This study employed a quasi-experimental, pretest-posttest control group design with a mixed-methods approach to investigate the impact of deliberate error teaching on mathematical learning and critical thinking among sixth-grade elementary students. Conducted in a public school in Tehran during the 2024–2025 academic year, the population comprised sixth-grade male students. Two intact classes (each with 32 students) were non-randomly assigned to experimental and control groups due to practical constraints, including school access and ethical considerations. The experimental group participated in six 45-minute mathematics sessions using an explicit deliberate error approach, in which the teacher introduced intentional errors (e.g., miscalculations in fractions, incorrect algorithmic steps, or omitted problem-solving stages) and encouraged students to identify, analyze, and correct them through guided discussions. The control group received conventional instruction focused on direct teaching.

Data were collected using a standardized provincial mathematics achievement test, validated by five educational experts using CVR/CVI methods, and a researcher-developed performance checklist assessing accuracy, class participation, error correction ability, and self-confidence (Cronbach's $\alpha = 0.87$; Field, 2018). Quantitative data were analyzed using analysis of covariance (ANCOVA) to control for pretest differences, with assumptions of variance equality (Levene's test, $p > 0.05$) and homogeneity of regression slopes confirmed. Qualitative data from classroom observations and checklist responses were evaluated through directed content analysis, following the three-stage coding process (open, axial, and selective) proposed by Strauss and Corbin (1998). Codes were organized into four themes (enhanced accuracy, scientific risk-taking, cognitive engagement, and concept internalization) and validated via peer review (Kappa coefficient = 0.85).

Results

Quantitative findings confirmed baseline equivalence between groups based on pretest scores. The analysis of covariance (ANCOVA), controlling for pretest scores, showed that the experimental group ($M = 17.90$, $SD = 2.05$) significantly outperformed the control group ($M = 15.10$, $SD = 2.30$) in mathematical achievement ($F(1, 61) = 16.57$, $p < 0.001$), with the ANCOVA assumptions of variance equality (Levene's test, $p > 0.05$) and homogeneity of regression slopes met. The experimental group also showed superior

performance on the researcher-developed checklist ($M = 17.45$, $SD = 1.88$ versus $M = 14.62$, $SD = 2.31$), particularly in accuracy, participation, error correction, and self-confidence.

Qualitative findings revealed that students in the experimental group shifted from passive to active learners, displaying greater confidence in identifying errors and engaging in analytical discussions. For example, students corrected errors such as, “ $1/2 + 1/3 = 2/5$ is wrong; it should be $5/6$,” demonstrating deeper conceptual understanding. They exhibited increased attention, took intellectual risks by voicing uncertain reasoning (e.g., “I think the algorithm skipped a step”), and engaged in mathematical dialogue. Analyzing intentional teacher errors fostered critical reflection and collaborative problem-solving, thereby aiding the internalization of mathematical concepts. These qualitative themes—enhanced accuracy, strengthened scientific risk-taking, cognitive engagement and mathematical dialogue, and concept internalization through error analysis—were validated via peer review (Kappa coefficient = 0.85).

Conclusions

This study demonstrates that the deliberate error teaching strategy significantly enhances sixth-grade students’ mathematical achievement, cognitive performance, and attitudes toward learning. Quantitative findings, derived from ANCOVA, showed significant improvement in the experimental group’s posttest scores compared to the control group, with superior performance in accuracy, participation, error correction, and self-confidence on the performance checklist. Qualitative results confirmed that this method fosters active learning, reduces anxiety, and strengthens critical thinking and problem-solving by creating a safe environment for error analysis. These findings align with prior research, such as Bahrami et al. (2024), Griffin (2019), and Soncini et al. (2021), which highlight the role of guided errors in promoting positive attitudes and supportive learning environments, and with Rogers’ (2009) experiential learning theory emphasizing discovery-based learning. Practically, this method is effective for mathematics instruction, requiring tailored error design, gradual guidance, and a supportive classroom.

Despite limitations, including non-random sampling and a focus on one school and subject, the study suggests teacher training in error design, use of performance checklists, and extending the method to subjects like science or Persian. Future research should use larger, randomized samples to explore motivation and self-efficacy, contributing to innovative, student-centered pedagogies.

Author Contributions

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

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants in the present study

Ethical Considerations

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

Funding

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

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

کاربست خطای عمدی معلم در تدریس درس ریاضی: راهبردی برای تقویت یادگیری و تفکر انتقادی

ندا ابراهیمی مقدم^۱ و علیرضا بادله^۲ 

۱. استادیار گروه مدیریت آموزشی، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران. رایانامه: Ebrahimi.mn@cfu.ac.ir

۲. دانشیار گروه آموزش علوم تربیتی، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران (نویسنده مسئول). رایانامه: A.badeleh@cfu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۹ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۰۹ کلیدواژه‌ها: عمدی معلم، یادگیری مبتنی بر خطا، تفکر انتقادی، یادگیری ریاضی، آموزش ابتدایی.	هدف این پژوهش بررسی تأثیر روش خطای عمدی معلم با رویکرد آشکار بر ارتقای یادگیری ریاضی و تفکر انتقادی دانش آموزان پایه ششم ابتدایی بود. این مطالعه با طراحی شبه آزمایشی (طرح پیش آزمون-پس آزمون با گروه کنترل) و رویکرد آمیخته (کمی-کیفی) انجام شد. جامعه آماری شامل دانش آموزان پسر پایه ششم یک مدرسه دولتی در شهر تهران در سال تحصیلی ۱۴۰۴-۱۴۰۳ بود که از میان آن‌ها، دو کلاس (هر کدام ۳۲ دانش آموز) به صورت غیرتصادفی به عنوان گروه‌های آزمایش و کنترل انتخاب شدند. گروه آزمایش طی شش جلسه ۴۵ دقیقه‌ای در درس ریاضی تحت آموزش مبتنی بر خطای عمدی با رویکرد آشکار قرار گرفت، در حالی که گروه کنترل آموزش سنتی دریافت کرد. ابزارهای گردآوری داده‌ها شامل آزمون پیشرفت تحصیلی هم‌هنگ استانی و سیاهه عملکرد محقق ساخته بود که روایی آن‌ها از طریق اعتبارسنجی توسط پنج متخصص آموزش ابتدایی (باروش CVI و CVR) و هم‌خوانی با چارچوب نظری تأیید شد. داده‌های کمی از طریق تحلیل کوواریانس (ANCOVA) و داده‌های کیفی با کمک تحلیل محتوای هدایت شده تحلیل شدند. کدهای کیفی بر اساس چارچوب نظری به چهار مضمون اصلی (افزایش دقت در یادگیری، تقویت جرئت علمی، مشارکت شناختی و گفت‌وگوی ریاضی، و درونی‌سازی مفاهیم از طریق تحلیل خطاها) سازمان‌دهی شدند و با بازنگری همکار (ضریب کاپا ۰/۸۵) تأیید شدند. یافته‌ها نشان داد گروه آزمایش در مقایسه با گروه کنترل، بهبود معناداری در یادگیری ریاضی (نمرات پس آزمون، $p < ۰/۰۰۱$) و تفکر انتقادی (از طریق دقت، مشارکت، و تحلیل خطاها در سیاهه عملکرد و مضامین کیفی) داشت.
استناد: ابراهیمی مقدم، ندا؛ بادله، علیرضا. (۱۴۰۵). کاربرد خطای عمدی معلم در تدریس درس ریاضی: راهبردی برای تقویت یادگیری و تفکر انتقادی، پژوهش در روش های آموزش، ۴ (۱)، ۸۲-۹۷. https://doi.org/10.22091/jrim.2025.13244.1314 © نویسندگان. DOI: https://doi.org/10.22091/jrim.2025.13244.1314 ناشر: دانشگاه قم 	

مقدمه

دوره ابتدایی یکی از مهم‌ترین مراحل نظام آموزشی است که در آن، نه تنها پایه‌های دانش علمی دانش‌آموزان شکل می‌گیرد، بلکه مهارت‌های شناختی، نگرش‌های آن‌ها نسبت به یادگیری، و نحوه مواجهه با خطاها نیز توسعه می‌یابد. در این میان، پرورش تفکر انتقادی^۱ به عنوان یکی از مهارت‌های کلیدی قرن بیست و یکم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تفکر انتقادی، که شامل توانایی تحلیل اطلاعات، ارزیابی استدلال‌ها، و ارائه راه‌حل‌های منطقی برای مسائل پیچیده است، دانش‌آموزان را قادر می‌سازد تا فراتر از پذیرش منفعلانه اطلاعات، به طور فعال مفاهیم را بررسی کرده و به استدلال‌های منطقی و خلاقانه دست یابند (Romero Ariza et al, 2024). در درس ریاضی، که نیازمند استدلال دقیق، حل مسئله، و درک عمیق مفاهیم است، تقویت تفکر انتقادی می‌تواند به دانش‌آموزان کمک کند تا با اعتمادبه‌نفس بیشتری با چالش‌های شناختی مواجه شوند و ارتباطات مفهومی قوی‌تری برقرار کنند. این در حالی است که روش‌های سنتی آموزش اغلب بر انتقال مستقیم دانش و ارائه پاسخ‌های صحیح تمرکز دارند و کمتر فرصت‌هایی برای پرورش مهارت‌های تحلیلی و انتقادی فراهم می‌کنند، که این امر می‌تواند مانع از توسعه توانایی‌های شناختی و نگرش مثبت به یادگیری در دانش‌آموزان شود. تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که استفاده از راهکارهای هدفمند، چه در حوزه مهارت‌های شناختی مانند تمرین‌های توجه و خودتنظیمی و چه در زمینه ذهن‌آگاهی از طریق برنامه‌های آموزشی مبتنی بر ذهن‌آگاهی، نقش مهمی در تقویت فرآیند یادگیری، بهبود تمرکز، و افزایش عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان دارد (Alomari, 2023؛ Phan et al, 2022). در این میان، یکی از روش‌هایی که اخیراً مورد توجه پژوهشگران حوزه آموزش قرار گرفته است، «خطای عمدی معلم^۲» به عنوان ابزاری برای یادگیری مبتنی بر خطا است. در این روش، معلم به طور هدفمند و آگاهانه خطاهایی را در تدریس خود مرتکب می‌شود تا دانش‌آموزان را به تفکر، تحلیل و اصلاح آن‌ها ترغیب کند. این خطاها می‌توانند در قالب اشتباهات محاسباتی، تعاریف نادرست، استدلال‌های ناقص یا به کارگیری نادرست مفاهیم در تدریس ظاهر شوند. هدف از این رویکرد، تحریک کنجکاوی دانش‌آموزان، افزایش درگیری شناختی آن‌ها با محتوا و تقویت مهارت‌های حل مسئله و استدلال انتقادی است (Wong & Lim, 2022).

در رویکردهای نوین یادگیری، با الهام از دیدگاه انسان‌گرایانه‌ی کارل راجرز^۳، تأکید می‌شود که یادگیری زمانی معنادار و ماندگار است که یادگیرنده درگیر فرآیندهای اکتشافی، تحلیل و تجربه شخصی شود. بر اساس نظریه راجرز، کلاس‌هایی که محوریت را به یادگیرنده می‌دهند و فرصت کشف و درگیر شدن با مسئله را فراهم می‌کنند، زمینه‌ساز یادگیری عمیق‌تر، انگیزه درونی بیشتر، و تحول شناختی خواهند بود (Rogers, 1969). بر این اساس، خطای عمدی معلم می‌تواند به عنوان یک موقعیت یادگیری تجربی عمل کند که در آن دانش‌آموزان به جای دریافت منفعلانه اطلاعات، فعالانه به کشف و اصلاح خطاها بپردازند. این روش نه تنها تفکر انتقادی را در دانش‌آموزان تقویت می‌کند، بلکه به آن‌ها می‌آموزد که خطا بخشی طبیعی از فرآیند یادگیری است و می‌توان از آن برای بهبود دانش و مهارت‌های شناختی بهره برد (Rushton, 2018).

تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که یادگیری مبتنی بر خطا^۴ می‌تواند به درک عمیق‌تر مفاهیم کمک کند، زیرا دانش‌آموزان در فرآیند کشف و اصلاح اشتباهات، ارتباطات مفهومی بهتری برقرار می‌کنند و دانش آن‌ها به صورت پایدارتر تثبیت می‌شود (Mulwijk & Lazonder, 2023). البته باید تأکید کرد که اثربخشی این روش، به چگونگی طراحی و اجرای آن بستگی دارد. معلم

-
1. Critical thinking
 2. Deliberate teacher error
 3. Carl Rogers
 4. Error-based learning

باید بتواند خطاها را به گونه‌ای تنظیم کند که برای دانش‌آموزان چالش‌برانگیز اما در عین حال قابل حل باشند، زیرا خطاهای بیش‌ازحد پیچیده یا گیج‌کننده ممکن است موجب سردرگمی و کاهش انگیزه یادگیری شوند (Philip & Bennett, 2021).

در خصوص یادگیری از راه خطاهای عمدی معلم، دو رویکرد آشکار^۱ و پنهان^۲ وجود دارد. در رویکرد آشکار، معلم از ابتدا به دانش‌آموزان توضیح می‌دهد که ممکن است در تدریس خود گاهی به‌طور عمدی اشتباه کند و از آن‌ها می‌خواهد که این اشتباهات را شناسایی و اصلاح کنند. این روش باعث فعال‌تر شدن دانش‌آموزان در فرآیند یادگیری می‌شود و می‌تواند تفکر انتقادی و دقت در یادگیری را افزایش دهد. همچنین به ایجاد محیطی امن برای اشتباه کردن و یادگیری از آن‌ها کمک می‌کند هرچند این احتمال وجود دارد که برخی از دانش‌آموزان بیش از حد بر یافتن خطاها تمرکز کنند و از مفهوم اصلی درس غافل شوند و یا ممکن است انتظار داشته باشند که همیشه اشتباهی وجود داشته باشد و هنگام نبود آن دچار سردرگمی شوند. در رویکرد پنهان، معلم بدون اطلاع قبلی به دانش‌آموزان، در حین تدریس اشتباهاتی را به‌طور عمدی مرتکب می‌شود و منتظر واکنش آن‌ها می‌ماند. در اینجا دانش‌آموزان بدون جهت‌دهی، درگیر فعالیت‌های شناختی مانند حل مسئله و کشف خطاها می‌شوند و روش طبیعی‌تری برای ارزیابی سطح واقعی مهارت‌های شناختی و استدلالی آن‌ها به شمار می‌رود اما ممکن است برخی از دانش‌آموزان متوجه خطاها نشوند، بنابراین فرصت یادگیری را از دست بدهند و یا اینکه دانش‌آموزان جرأت نکنند اشتباه معلم را گوشزد کنند (Wong & Lim, 2022).

با توجه به نقش رویکردهای آشکار و پنهان در تقویت یادگیری مبتنی بر خطا و تفکر انتقادی، اکثر مطالعات پیشین با بهره‌گیری از رویکرد آشکار، تأثیر این روش را بر یادگیری و نگرش دانش‌آموزان در مقاطع متوسطه و آموزش عالی بررسی کرده‌اند که در ادامه به برخی از آن‌ها پرداخته می‌شود.

بهرامی و همکاران (۱۴۰۳) در پژوهشی با هدف بررسی تأثیر اجرای خطاهای عمدی بر نگرش نسبت به خطا و هیجان‌های تحصیلی دانش‌آموزان دختر دوره دوم متوسطه، از روش نیمه‌آزمایشی با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون با گروه کنترل استفاده کردند و یافته‌ها نشان داد که آموزش مبتنی بر خطاهای عمدی، تأثیر معناداری بر هیجان‌های تحصیلی دانش‌آموزان داشته و منجر به نگرش مثبت‌تری نسبت به خطا شده است. نتایج همچنین نشان داد که خطاهای هدایت‌شده می‌توانند زمینه‌ساز رشد و پیشرفت تحصیلی شوند؛ چراکه یادگیرندگان، با نسبت دادن صحیح اشتباهات به فرآیند آموزشی و پذیرش خطا به‌عنوان بخشی از یادگیری، پاسخ‌های هیجانی منفی (مانند اضطراب و ترس از اشتباه) را کاهش می‌دهند (Bahrami et al., 2024).

گریفین (۲۰۱۹) با بررسی اشکالات عمدی یادگیری که با روش تجربی و انجام آزمایش بر روی بیش از دوازده تیم تحقیقاتی در آموزش ریاضیات و علوم کامپیوتر انجام داد به این نتیجه رسید که این روش می‌تواند به دانش‌آموزان کمک کند تا مفاهیم را بهتر یاد بگیرند، از اشتباهات رایج و تصورات غلط جلوگیری کرده و اضطراب در مورد اشتباهات را کاهش دهد (Griffin, 2019). در پژوهش دیگری با عنوان «مدیریت خطا در کلاس درس: مطالعه تجربی استراتژی‌های معلمان برای پرورش جو خطای مثبت» با استفاده از طرح آزمایشی پیش‌آزمون-پس‌آزمون، راهبردهای مدیریت خطای معلمان را در یک درس ساختگی در مدرسه ابتدایی بررسی شد. در این مطالعه، معلم درس را با راهبردهای مدیریت خطای مثبت و حمایتی (گروه آزمایش) یا خنثی (گروه کنترل) اجرا کرد. نتایج نشان داد که راهبردهای مثبت، با حمایت از یادگیری دانش‌آموزان از اشتباهاتشان، جو یادگیری حمایتی و قابل اعتمادی ایجاد کرد و نسبت به راهبردهای خنثی مؤثرتر بود (Soncini et al., 2021). در پژوهش دیگری که به تحلیل اثر خطاهای عمدی یادگیری با روش آزمایشی و تحلیل داده‌ها پرداخته شد، نتایج نشان داد که یادگیری از طریق ارتکاب عمدی خطا، به‌ویژه زمانی که با اصلاح همراه بود، نسبت به روش‌های بدون

خطا عملکرد بهتری در یادآوری مفاهیم داشت. این برتری حتی در مقایسه با تولید پاسخ‌های درست جایگزین یا ارائه مثال‌های واقعی نیز حفظ شد (Wong & Lim, 2022).

با توجه به مطالب فوق، می‌توان گفت که اگرچه اثرات مثبت خطای عمدی معلم در آموزش تأیید شده است، اما بررسی تأثیر این رویکرد در کلاس‌های ابتدایی، به‌ویژه در درس‌هایی چون ریاضی که نیازمند تفکر تحلیلی است، کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. این مطالعه تلاش می‌کند تأثیر این تکنیک را بر تفکر انتقادی، مهارت‌های حل مسئله و درک مفهومی دانش‌آموزان پایه ششم ابتدایی بررسی کند و شیوه‌های بهینه برای به‌کارگیری آن در تدریس را شناسایی نماید. امید است که یافته‌های این پژوهش بتواند به توسعه روش‌های آموزشی نوین و بهبود شیوه‌های تدریس در مدارس ابتدایی کمک کند.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، شبه‌آزمایشی با طرح پیش‌آزمون - پس‌آزمون با گروه کنترل است. همچنین با توجه به استفاده از سیاهه عملکرد معلم و تحلیل رفتارهای کلاسی دانش‌آموزان، پژوهش دارای رویکرد آمیخته (کمی-کیفی) نیز می‌باشد. در بخش کیفی، از روش تحلیل محتوای کیفی جهت‌دار برای بررسی پاسخ‌ها، مشارکت‌ها و توانایی توضیح دانش‌آموزان استفاده شد.

به دلیل محدودیت‌های اجرایی مانند دسترسی به مدارس و هماهنگی‌های اداری، پژوهش در یکی از مدارس دولتی شهر تهران در سال تحصیلی ۱۴۰۳-۱۴۰۴ اجرا شد. جامعه آماری شامل دانش‌آموزان پسر پایه ششم ابتدایی این مدرسه بود. انتخاب پایه ششم به این دلیل صورت گرفت که دانش‌آموزان در این سن هم‌زمان از آمادگی شناختی برای مواجهه با چالش‌های تحلیلی برخوردارند و هم هنوز امکان یادگیری از طریق کشف و اصلاح خطا برایشان فراهم است؛ از این رو، تقویت تفکر انتقادی در این مقطع اهمیت ویژه‌ای دارد. از میان جامعه آماری، دو کلاس با سطح تحصیلی نسبتاً مشابه (هر کدام با ۳۲ دانش‌آموز) به‌صورت غیرتصادفی به‌عنوان گروه‌های آزمایش و کنترل انتخاب شدند. دلایل عدم استفاده از نمونه‌گیری کاملاً تصادفی شامل حفظ ساختار طبیعی کلاس‌ها، ملاحظات اخلاقی و اجرایی و محدودیت در دسترسی به دانش‌آموزان بود. با این حال، تلاش شد تفاوت‌های احتمالی اولیه میان دو کلاس در مرحله تحلیل آماری مد نظر قرار گیرد. برای کاهش تأثیر متغیرهای کنترل‌نشده مانند سبک تدریس معلم و انگیزه دانش‌آموزان، از تحلیل کوواریانس برای کنترل تفاوت‌های اولیه گروه‌ها استفاده شد و همگنی کلاس‌ها از طریق نتایج پیش‌آزمون تأیید گردید.

گروه آزمایش طی شش جلسه ۴۵ دقیقه‌ای در درس ریاضی تحت آموزش مبتنی بر خطای عمدی معلم قرار گرفت، در حالی که گروه کنترل آموزش معمول و سنتی را دریافت کرد. ابزار گردآوری داده‌ها شامل آزمون پیشرفت تحصیلی و سیاهه عملکرد دانش‌آموزان بود. آزمون پیشرفت تحصیلی از مجموعه سؤالات هماهنگ استانی ریاضی انتخاب شد که طبق شیوه‌نامه اجرایی برگزاری آزمون‌های هماهنگ، ساختار و محتوای آن توسط پنل متخصصین طراحی و بررسی می‌شود (Zarei, 2022). برای اطمینان از روایی محتوایی، نسخه‌های به‌کاررفته از آزمون توسط سه نفر از اساتید دانشگاهی آموزش ابتدایی و دو معلم مجرب پایه ششم نیز بررسی شدند و اصلاحات لازم بر اساس نظر آنان اعمال گردید. سیاهه عملکرد دانش‌آموزان که به‌صورت محقق‌ساخته تدوین شد، شامل معیارهایی چون دقت در شناسایی خطاها، مشارکت در بحث‌های کلاسی و توانایی توضیح اصلاحات بود. برای بررسی روایی محتوایی، این سیاهه در اختیار پنج نفر از متخصصان علوم تربیتی و آموزش ابتدایی قرار گرفت و بر اساس شاخص نسبت روایی محتوایی (CVR) به روش لائوشه (Lawshe, 1975) و شاخص روایی محتوا (CVI) به روش والتز و بوسل (Waltz & Bausell, 1981) ارزیابی شد. میانگین CVR برای معیارهای سیاهه ۰/۷۸ به دست آمد که بالاتر از آستانه قابل قبول ۰/۶۲ برای پنج متخصص است. همچنین میانگین CVI برابر با ۰/۸۵ محاسبه شد که از آستانه مطلوب ۰/۷۸ فراتر بوده و بیانگر روایی محتوایی مناسب ابزار است. افزون بر این، به‌منظور

اطمینان از روایی صوری، پیش‌آزمون سیاهه با ۱۰ دانش‌آموز اجرا شد. طراحی سیاهه نیز بر مبنای چارچوب نظری شامل نظریه یادگیری تجربی راجرز و پژوهش‌های مرتبط با خطای عمدی انجام گرفت. در آغاز پژوهش، پیش‌آزمون از هر دو گروه گرفته شد. سپس مداخله آموزشی در گروه آزمایش اجرا گردید و در پایان، پس‌آزمون برای هر دو گروه برگزار شد. داده‌های کمی با استفاده از تحلیل کوواریانس (ANCOVA) تحلیل شدند تا اثر مداخله آموزشی بر نمرات پس‌آزمون با کنترل اثر نمرات پیش‌آزمون و تفاوت‌های اولیه گروه‌ها بررسی شود.

داده‌های کیفی حاصل از سیاهه عملکرد با استفاده از تحلیل محتوای هدایت‌شده^۱ تحلیل شدند. در این فرآیند، ابتدا کدهای اولیه بر اساس چارچوب نظری (مانند دقت، مشارکت، و استدلال) تعریف شدند. سپس، داده‌های خام (یادداشت‌های معلم و امتیازات سیاهه) کدگذاری باز شدند و مضامین اصلی (مانند «دقت در شناسایی خطا» و «کیفیت توضیح اصلاحات») استخراج شدند. برای اطمینان از اعتبار داده‌های کیفی، بررسی همکار توسط یک معلم دیگر انجام شد و توافق بین ارزیابان با ضریب کاپای کوهن ۰/۸۲ به دست آمد، که نشان‌دهنده پایایی بالای تحلیل است.

با توجه به رویکردهای آشکار و پنهان معرفی‌شده در پیشینه پژوهش، این مطالعه رویکرد آشکار را به‌منظور تقویت آگاهی فراشناختی و تفکر انتقادی دانش‌آموزان از طریق تحلیل هدایت‌شده خطاها انتخاب کرد، زیرا بر خلاف رویکرد پنهان، هدف پژوهش بررسی واکنش‌های خودجوش دانش‌آموزان به خطاها نبود.

برای اجرای رویکرد آشکار در تدریس ریاضی با استفاده از خطای عمدی معلم، ابتدا آماده‌سازی دانش‌آموزان طی گام‌های زیر صورت گرفت:

- ۱- شفاف‌سازی هدف: ابتدا به دانش‌آموزان توضیح داده شد که قصد داریم در تدریس، برخی خطاهای عمدی انجام دهیم و از آن‌ها خواسته شد که این خطاها را پیدا کنند.
- ۲- ایجاد فضای امن: براین نکته تأکید شد که اشتباهات بخشی از یادگیری هستند و هدف از این فعالیت، تمرین دقت و تفکر تحلیلی است، نه سرزنش یا گرفتن نمره.
- ۳- تشویق به مشارکت: از دانش‌آموزان خواسته شد هنگام مشاهده یک خطا، دست بلند کنند، یا در گروه‌های کوچک درباره آن بحث کرده و سپس پاسخ خود را ارائه دهند.
- ۴- انتخاب نوع خطا: خطاهایی که معلم مرتکب می‌شد خطاهای آموزشی و قابل درک بودند، نه خطاهای بیش از حد پیچیده یا نامرتب. این خطاها شامل:

- خطای محاسباتی مثلاً در انجام عملیات چهارگانه ریاضی.
 - خطای مفهومی مثلاً جمع کردن مخرج‌ها در جمع کسرها.
 - خطای رویه‌ای مثلاً جانداختن یک مرحله در حل معادله، یا جابه‌جا نوشتن ترتیب عملیات.
 - خطای بیانی یا نمادین مثلاً استفاده نادرست از علامت کوچکتر و بزرگتر.
- ۵- رعایت سطح دشواری خطاها: خطاها متناسب با سطح دانش‌آموزان و ابتدا با خطاهای ساده‌تر شروع شد و به تدریج به سمت خطاهای چالشی‌تر تغییر یافت.
 - ۶- توزیع مناسب خطاها در درس: دقت شد که تعداد خطاها زیاد نباشد تا مبدا تمرکز دانش‌آموزان را از یادگیری اصلی منحرف کند. به صورتی که در هر جلسه بین ۳ تا ۵ خطا در نظر گرفته شد.

۷- ایجاد بحث و تحلیل خطا و تقویت یادگیری: پس از شناسایی خطا، از دانش‌آموزان خواسته شد توضیح دهند که چرا این خطا رخ داده و چگونه می‌توان آن را اصلاح کرد.

۸- ارزیابی اثربخشی روش: برای سنجش اثربخشی این روش از، مشاهده مشارکت فعال دانش‌آموزان در شناسایی خطاها، ارزیابی تغییرات در نمرات آزمون‌های کوتاه و تکالیف و نیز نظرسنجی از دانش‌آموزان درباره مفید بودن روش استفاده شد.

یافته‌ها

به منظور بررسی تأثیر آموزش مبتنی بر خطای عمدی معلم بر پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان، نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون گروه‌های آزمایش و کنترل تحلیل شدند. ابتدا آمار توصیفی نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون به تفکیک گروه‌ها در جدول یک ارائه شده است (نمرات بر اساس مقیاس صفر تا بیست محاسبه شده‌اند).

جدول ۱. آمار توصیفی نمرات پیشرفت تحصیلی به تفکیک گروه‌ها

گروه	تعداد	پیش‌آزمون		پس‌آزمون	
		SD	M	SD	M
آزمایش	۳۲	۲/۵۲	۱۳/۲۸	۲/۰۵	۱۷/۹۰
کنترل	۳۲	۲/۳۹	۱۲/۸۱	۲/۳۰	۱۵/۱۰

برای بررسی اثر مداخله آموزشی بر نمرات پس‌آزمون با کنترل اثر نمرات پیش‌آزمون، از تحلیل کوواریانس (ANCOVA) استفاده شد. پیش از اجرای ANCOVA، پیش‌فرض‌های این تحلیل بررسی گردیدند. آزمون لوین برای برابری واریانس‌ها نشان داد که واریانس‌های نمرات پس‌آزمون در دو گروه برابر هستند ($F(1,62) = 0.923, p = 0.340$)، که فرض برابری واریانس‌ها را تأیید می‌کند. همچنین، بررسی همگنی شیب رگرسیون با افزودن اثر تعاملی بین گروه و نمرات پیش‌آزمون به مدل نشان داد که این اثر غیرمعنادار است ($F(1,60) = 1.124, p = 0.293$)، بنابراین پیش‌شرط همگنی شیب رگرسیون برقرار است و استفاده از ANCOVA مناسب می‌باشد. در ادامه به منظور کنترل اثر نمرات اولیه و بررسی دقیق‌تر تأثیر مداخله، از تحلیل کوواریانس^۱ استفاده شد. جدول دو نتایج تحلیل را نشان می‌دهد:

جدول ۲. نتایج تحلیل کوواریانس برای مقایسه پس‌آزمون با کنترل پیش‌آزمون

منبع تغییر	مجموع مجزورات	درجه آزادی	میانگین مجزورات	F	سطح معناداری
نمره پیش‌آزمون	48.73	1	48.73	8.44	0.005
گروه (آزمایش/کنترل)	95.60	1	95.60	16.57	0.000
خطا	344.20	61	5.64		
کل	—	64			

نتایج نشان داد که حتی پس از کنترل نمرات پیش‌آزمون، تفاوت بین گروه‌ها در پس‌آزمون باقی‌مانده و معنادار است ($F(1,61) = 16.57, p < 0.001$). این یافته تأیید می‌کند که روش خطای عمدی معلم تأثیر مثبتی بر یادگیری دانش‌آموزان داشته است. به منظور بررسی تأثیر آموزش مبتنی بر خطای عمدی معلم بر عملکرد شناختی و تفکر انتقادی دانش‌آموزان، از سیاهه عملکرد محقق ساخته استفاده شد که شامل چهار بعد اصلی بود: دقت در شناسایی خطاها، مشارکت در بحث‌های کلاسی، توانایی توضیح اصلاحات و اعتماد به نفس در ابراز نظر. هر بعد شامل چند نشانگر مشخص بود که رفتارهای مرتبط با مهارت‌های شناختی دانش‌آموزان

را اندازه‌گیری می‌کرد. برای هر نشانگر نمره‌ای بین صفر تا پنج در نظر گرفته شد؛ مجموع نمرات هر دانش‌آموز از هر بعد محاسبه شد و سپس مجموع کل به مقیاس ۵-۰ تبدیل شد تا با تحلیل آماری همخوانی داشته باشد. نمونه کامل سیاهه، نشانگرها و روش نمره‌دهی آن در پیوست ارائه شده است.

جدول ۳. آمار توصیفی معیارهای سیاهه عملکرد به تفکیک گروه‌ها

گروه	تعداد	معیار	میانگین	انحراف استاندارد
آزمایش	۳۲	دقت در شناسایی خطاها	۴/۶۰	۰/۷۵
		مشارکت در بحث‌ها	۴/۴۰	۰/۶۸
		توانایی توضیح اصلاحات	۴/۲۰	۰/۷۲
		اعتماد به نفس در ابراز نظر	۴/۵۰	۰/۷۰
کنترل	۳۲	دقت در شناسایی خطاها	۳/۲۰	۰/۹۰
		مشارکت در بحث‌ها	۲/۹۰	۰/۹۵
		توانایی توضیح اصلاحات	۳/۰	۰/۸۸
		اعتماد به نفس در ابراز نظر	۳/۱۰	۰/۷۹

در ادامه برای کنترل تأثیر احتمالی عملکرد اولیه در سیاهه، از تحلیل کوواریانس استفاده شد:

جدول ۴. مقایسه عملکرد شناختی با استفاده از تحلیل کوواریانس بر اساس سیاهه عملکرد معلم

منبع تغییر	مجموع مجزورات	درجه آزادی	میانگین مجزورات	F	سطح معناداری
پیش‌عملکرد (تخمینی)	۳۲/۱۰	۱	۳۲/۱۰	۶/۸۱	۰/۰۱۱
گروه (آزمایش/کنترل)	۸۸/۲۰	۱	۸۸/۲۰	۱۸/۷۱	۰/۰۰۰
خطا	۲۸۷/۴۰	۶۱	۴/۷۱		

بر اساس نتایج تحلیل کوواریانس، تفاوت بین دو گروه حتی پس از کنترل پیش‌عملکرد نیز معنادار باقی مانده است ($F(1, 61) = 18.71, p < 0.001$)، که بیانگر تأثیر مثبت مداخله آموزشی بر رشد عملکرد شناختی دانش‌آموزان است.

تحلیل سیاهه عملکرد، علاوه بر داده‌های عددی، اطلاعات کیفی ارزشمندی درباره شیوه تفکر و نحوه واکنش دانش‌آموزان به خطاهای عمدی معلم ارائه داد. بررسی چک‌لیست‌ها و یادداشت‌های معلم حاکی از آن بود که دانش‌آموزان گروه آزمایش به تدریج از حالت پذیرنده صرف به مشارکت‌کننده فعال در فرآیند یادگیری تغییر نقش دادند.

در جلسات ابتدایی، بسیاری از دانش‌آموزان در گروه آزمایش تمایلی به اشاره به خطاهای معلم نداشتند یا نسبت به آن‌ها مردد بودند. اما از جلسه سوم به بعد، دانش‌آموزان با اعتمادبه‌نفس بیشتری به خطاها اشاره می‌کردند، حتی زمانی که معلم خطا را با اعتماد کامل بیان می‌کرد. برخی عبارات ثبت‌شده در سیاهه عملکرد:

- «خانم اجازه! شما جواب رو اشتباه گفتین چون 4×3 میشه ۱۲ نه ۱۴!»
- «فکر کنم توی کشیدن محور مختصات اشتباه کردین؛ عدد صفر باید وسط باشه»

این تغییر نشان‌دهنده رشد مهارت دقت و تشخیص خطا در دانش‌آموزان بود.

دانش‌آموزان گروه آزمایش، برخلاف گروه کنترل، درگیر بحث‌های کوتاه کلاسی درباره دلیل وقوع خطا و نحوه اصلاح آن می‌شدند. اغلب مشاهده شد که دانش‌آموزان پس از شناسایی خطا، شروع به گفت‌وگو درباره دلایل و راه‌حل‌های ممکن می‌کردند، که نشان‌دهنده فعال شدن تفکر انتقادی و تحلیلی آنان بود.

- مثال: در یکی از جلسات، پس از بیان عمدی یک خطای مفهومی در جمع کسرها، دو دانش‌آموز با هم بحث کردند که آیا باید مخرج‌ها را یکسان کرد یا نه، و معلم به‌صورت هدایت‌گر وارد بحث شد.

در پایان جلسات، از دانش‌آموزان خواسته می‌شد که اشتباه شناسایی شده را توضیح دهند و راه‌حل صحیح را بیان کنند. بسیاری از دانش‌آموزان در گروه آزمایش توانستند نه تنها اصلاح را انجام دهند، بلکه علت اشتباه را نیز تحلیل کنند، در حالی که در گروه کنترل، اغلب به ارائه پاسخ درست بدون تحلیل دلایل آن بسنده می‌شد.

- مثال: یکی از دانش‌آموزان گفت: «اشتباه این بود که معلم عدد منفی رو مثل مثبت جمع کرد، ولی باید علامت عدد رو هم در نظر بگیریم».

داده‌های کیفی از مشاهدات کلاسی و سیاهه عملکرد با استفاده از تحلیل محتوای هدایت‌شده کدگذاری شدند. ابتدا کدها بر اساس چارچوب نظری (مانند تفکر انتقادی و جرئت علمی) تعریف شدند، و سپس چهار مضمون اصلی (افزایش دقت در یادگیری، تقویت جرئت علمی، مشارکت شناختی و گفت‌وگوی ریاضی، و درونی‌سازی مفاهیم از طریق تحلیل خطاها) از طریق کدگذاری محوری استخراج شدند. کدهای مستخرج توسط بازنگری همکار بررسی و با ضریب کاپا ۰/۸۵ تأیید شد.

جدول ۵. مضامین و کدهای محوری استخراج‌شده از تحلیل محتوای هدایت‌شده داده‌های کیفی

مضمون اصلی	کدهای محوری	توضیح/شواهد
افزایش دقت در یادگیری	توجه به جزئیات	دانش‌آموزان در مشاهدات کلاسی به‌طور مکرر به جزئیات خطاهای عمدی معلم (مانند اشتباهات محاسباتی) اشاره کردند. / دانش‌آموزان مراحل جابجاده حل مسئله را یادآوری کردند / دانش‌آموزان خطای عمدی در رسم نمودار را شناسایی و جزئیات آن را توضیح دادند.
	شناسایی خطاها	دانش‌آموزان خطاهای مفهومی یا رویه‌ای را با دقت بیشتری شناسایی کردند. / دانش‌آموزان خطاهای معلم در مسائل هندسه را سریع‌تر تشخیص دادند. / دانش‌آموزان در تمرین‌های کلاسی، خطاهای رویه‌ای (مثل اشتباه در تقسیم کسرها) را با دقت بیشتری شناسایی کردند.
	اصلاح خطاها	دانش‌آموزان در گروه آزمایش پاسخ‌های دقیق‌تری برای اصلاح خطاها ارائه دادند. / دانش‌آموزان توضیحات گام‌به‌گام برای اصلاح خطاهای محاسباتی ارائه کردند / در بحث کلاسی، دانش‌آموزان روش‌های جایگزین برای حل مسئله بدون خطا پیشنهاد دادند.
تقویت جرئت علمی	اعتماد به نفس در پاسخ‌گویی	مشاهدات کلاسی نشان داد که دانش‌آموزان با اطمینان بیشتری به خطاهای معلم واکنش نشان دادند. / دانش‌آموزان در جلسات، بدون ترس از اشتباه، پاسخ‌های خود را با صدای بلند اعلام کردند / دانش‌آموزانی که پیش از این کمتر فعال بودند، با اعتماد به نفس بیشتری در بحث‌ها شرکت می‌کردند.
	پذیرش خطا	دانش‌آموزان در سیاهه عملکرد، خطاها را به‌عنوان بخشی از یادگیری پذیرفتند و اضطراب کمتری نشان دادند. / دانش‌آموزان در بحث‌های گروهی، خطاهای خود را بدون احساس شرم اصلاح کردند. / دانش‌آموزان در مواجهه با خطای خود و دیگران، رفتار تمسخرآمیز نشان نمی‌دادند.
	ابراز نظر	دانش‌آموزان در جلسات کلاسی نظرات خود را درباره خطاها با جرئت بیشتری بیان کردند. / دانش‌آموز با هم‌کلاسی که اشتباه کرده بود بحث کرد و نظر خود را توضیح داد / دانش‌آموزان سؤالات چالشی درباره صحت پاسخ‌های معلم مطرح کردند.

جدول ۵. مضامین و کدهای محوری استخراج شده از تحلیل محتوای هدایت شده داده‌های کیفی

مضمون اصلی	کدهای محوری	توضیح/شواهد
مشارکت شناختی و گفت‌وگوی ریاضی	مشارکت فعال در بحث	مشاهدات کلاسی نشان‌دهنده افزایش مشارکت دانش‌آموزان در بحث‌های گروهی درباره خطاها بود. / دانش‌آموزان در فعالیت‌های جفتی، نظرات خود را با همکلاسی‌ها به اشتراک گذاشتند و راه‌حل‌های مشترک پیشنهاد دادند. / دانش‌آموزان، همکلاسی‌های کم‌حرف‌تر خود را به مشارکت در بحث‌های کلاسی درباره خطاها تشویق کردند.
	پرس‌وجو درباره مفاهیم	دانش‌آموزان در سیاهه عملکرد سؤالاتی درباره مفاهیم ریاضی مطرح کردند که نشان‌دهنده درگیری شناختی بود. / دانش‌آموزان درباره دلیل خطاهای معلم پرس‌وجو کردند. / دانش‌آموزان سؤالات عمیقی درباره ارتباط خطاها با مفاهیم مطرح کردند.
	گفت‌وگوی همسالان	دانش‌آموزان در گروه آزمایش به‌طور مکرر با همسالان خود درباره خطاها گفت‌وگو کردند. / دانش‌آموزان گروه آزمایش در گروه‌های کوچک راه‌حل‌های خود را به اشتراک گذاشتند. / دانش‌آموزان به پاسخ‌های همسالان خود واکنش نشان داده و نظرات اصلاحی ارائه کردند.
درونی‌سازی مفاهیم از طریق تحلیل خطاها	درک مفهومی	دانش‌آموزان در سیاهه عملکرد، توضیحات عمیق‌تری برای مفاهیم ریاضی مرتبط با خطاها ارائه کردند. / دانش‌آموزان مفاهیم ریاضی (مانند کسر و نسبت) را با دقت بیشتری توضیح دادند. / در تمرین‌های کلاسی، دانش‌آموزان مفاهیم را در پاسخ‌های تشریحی خود به‌کار بردند.
	ارتباطدهی مفاهیم	مشاهدات کلاسی نشان داد که دانش‌آموزان خطاها را با مفاهیم ریاضی قبلی مرتبط کردند. / دانش‌آموزان خطاهای معلم را با دانش قبلی خود مقایسه کردند. / دانش‌آموزان در بحث‌های کلاسی، خطاها را به مفاهیم مرتبط در کتاب درسی ربط دادند.
	کاربرد در حل مسئله	دانش‌آموزان در تمرین‌های کلاسی، مفاهیم را در حل مسائل جدید به‌کار بردند. / دانش‌آموزان راه‌حل‌های خلاقانه برای مسائل مبتنی بر خطاها ارائه کردند. / دانش‌آموزان خطاهای مشابه را در مسائل جدید شناسایی و اصلاح کردند.

این یافته‌ها به‌خوبی مؤید داده‌های کمی حاصل از آزمون‌های آماری بوده و نشان می‌دهند که رویکرد خطای عمدی معلم می‌تواند نه تنها بر نمرات، بلکه بر مهارت‌های شناختی و تفکر انتقادی دانش‌آموزان نیز تأثیرگذار باشد.

جدول ۶. ترکیب یافته‌های کمی و کیفی بر اساس سیاهه عملکرد دانش‌آموزان

معیار سیاهه عملکرد	میانگین نمره گروه آزمایش (از ۵)	میانگین نمره گروه کنترل (از ۵)	نمونه رفتار مشاهده شده / نقل قول دانش‌آموز	تفسیر کیفی
دقت در شناسایی خطاها	۴٫۶	۳٫۲	«خانم اجازه! شما عدد اشتباه نوشتید، چون باید مخرج کسرها یکسان باشه!»	دانش‌آموزان گروه آزمایش با دقت بیشتری به خطاهای معلم واکنش نشان دادند.
مشارکت در بحث‌های کلاسی	۴٫۴	۲٫۹	گفت‌وگوی دو دانش‌آموز: «نه اون جوری نیست... چون اول باید ضرب کنیم بعد جمع کنیم!»	فعالیت ذهنی و استدلال بین دانش‌آموزی در گروه آزمایش به شکل مشهودی افزایش یافت.
توانایی توضیح اصلاحات	۴٫۲	۳٫۰	«وقتی عدد منفی رو جمع می‌کنی باید خلاف علامتش حساب کنی، اینجا اشتباه شد.»	گروه آزمایش توانایی بیشتری در تحلیل و اصلاح خطاها نشان داد.
اعتماد به نفس در ابراز نظر	۴٫۵	۳٫۱	«اجازه! فکر کنم یه اشتباهی شده ... میشه دوباره حل کنیم؟»	روند آموزشی باعث کاهش ترس از اشتباه و افزایش جرئت علمی در گروه آزمایش شد.

یافته‌های این پژوهش نشان داد که اجرای روش خطای عمدی معلم در کلاس‌های ریاضی تأثیرات مثبتی بر یادگیری و نگرش دانش‌آموزان داشته است. مقایسه نمرات آزمون‌های قبل و بعد از مداخله نشان داد که میزان خطاهای مفهومی در حل مسائل کاهش یافته و دانش‌آموزان با دقت بیشتری پاسخ‌های خود را بررسی کرده‌اند. علاوه بر این، مشاهده‌های کلاسی حاکی از آن بود که دانش‌آموزان به روند حل مسائل بیش از گذشته توجه نشان داده و تلاش کرده‌اند خطاهای احتمالی را شناسایی و تحلیل کنند. مشارکت آن‌ها در بحث‌های کلاسی افزایش یافته و تعامل بیشتری در تحلیل پاسخ‌های یکدیگر داشته‌اند. همچنین، بررسی نظرات دانش‌آموزان نشان داد که این روش موجب کاهش اضطراب آن‌ها در یادگیری ریاضی شده و اعتماد به نفسشان را در پاسخ‌دهی افزایش داده است. بسیاری از دانش‌آموزان عنوان کردند که دیگر از اشتباه کردن در کلاس احساس نگرانی ندارند و یاد گرفته‌اند که خطاها بخشی از فرایند یادگیری هستند. علاوه بر این، معلمان نیز گزارش کردند که دانش‌آموزان با اطمینان بیشتری در حل مسائل شرکت کرده و از به چالش کشیدن پاسخ‌های خود و دیگران استقبال می‌کنند.

داده‌های مشاهده‌ای نشان داد که میزان تعامل دانش‌آموزان در طول جلسات افزایش یافته است. فعالیت‌های مربوط به تشخیص و تحلیل خطاها موجب افزایش انگیزه آن‌ها شده و مشارکت در حل مسائل گروهی و داوطلب شدن برای کار روی تخته را تقویت کرده است. با این حال، در مراحل اولیه اجرا، برخی از دانش‌آموزان دچار سردرگمی شده و تصور کردند که معلم واقعاً دچار اشتباه شده است. همچنین، برای تشخیص خطاهای پیچیده‌تر، برخی دانش‌آموزان به زمان بیشتری نیاز داشتند. این مسئله نشان می‌دهد که اجرای موفق این روش نیازمند طراحی خطاهای متناسب با سطح دانش‌آموزان و ارائه راهنمایی‌های تدریجی از سوی معلم است تا از ایجاد سردرگمی جلوگیری شود. به‌طور کلی، یافته‌ها نشان می‌دهد که استفاده از خطای عمدی معلم به‌عنوان یک ابزار آموزشی می‌تواند موجب بهبود دقت، تقویت تفکر انتقادی، افزایش اعتماد به نفس و مشارکت فعال‌تر دانش‌آموزان در کلاس شود. با این حال، اجرای مؤثر این روش مستلزم برنامه‌ریزی دقیق، انتخاب آگاهانه خطاها و ارائه پشتیبانی لازم برای دانش‌آموزان است تا از مزایای آن در بهبود یادگیری بیشترین بهره را ببرند.

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که استفاده از روش خطای عمدی معلم در تدریس ریاضی پایه ششم ابتدایی تأثیرات مثبتی بر پیشرفت تحصیلی، عملکرد شناختی و نگرش دانش‌آموزان نسبت به یادگیری دارد. نتایج کمی پژوهش، که از طریق تحلیل کوواریانس به دست آمد، حاکی از بهبود معنادار نمرات پس‌آزمون گروه آزمایش در مقایسه با گروه کنترل بود. همچنین، تحلیل سیاهه عملکرد نشان داد که دانش‌آموزان گروه آزمایش در دقت شناسایی خطاها، مشارکت در بحث‌های کلاسی، توانایی توضیح اصلاحات و اعتماد به نفس در ابراز نظر عملکرد بهتری داشتند.

یافته‌های کیفی نیز تأیید کرد که این روش با ایجاد فضایی امن و تشویق به تحلیل خطاها، به فعال شدن دانش‌آموزان در فرآیند یادگیری، کاهش اضطراب و تقویت تفکر انتقادی و مهارت‌های حل مسئله کمک کرده است. این نتایج با پیشینه پژوهش هم‌راستا هستند و مانند پژوهش بهرامی و همکاران (Bahrami et al, 2024) نتیجه‌گیری شد که خطاهای هدایت‌شده می‌توانند پاسخ‌های هیجانی منفی را کاهش دهند و نگرش مثبتی به خطا ایجاد کنند. به‌طور مشابه با تحقیقات گریفین (Griffin, 2019) و سانسینی (Soncini et al, 2022) بر نقش خطاهای عمدی در بهبود یادگیری و ایجاد جو یادگیری حمایتی تأکید شده است.

همچنین، یافته‌های این پژوهش با نظریه یادگیری تجربی کارل راجرز (Rogers, 2009) و هم‌خوانی دارد که یادگیری فعال و مبتنی بر کشف را عامل یادگیری عمیق‌تر می‌داند. همسو با نتایج وونگ و لیم (Wong & Lim, 2022) نشان داد که با طراحی مناسب خطاها، می‌توان از سردرگمی دانش‌آموزان جلوگیری کرد.

از نظر عملی، این پژوهش نشان می‌دهد که روش خطای عمدی معلم می‌تواند به‌عنوان یک ابزار آموزشی مؤثر در کلاس‌های ابتدایی به کار رود، به‌ویژه در درس‌هایی مانند ریاضی که نیازمند استدلال و حل مسئله هستند. این روش با تشویق دانش‌آموزان به تحلیل و اصلاح خطاها، نه تنها درک مفهومی آن‌ها را تقویت می‌کند، بلکه نگرش مثبتی نسبت به اشتباهات به‌عنوان بخشی از یادگیری ایجاد می‌کند. با این حال، اجرای موفق این روش نیازمند طراحی دقیق خطاها متناسب با سطح دانش‌آموزان، ارائه راهنمایی‌های تدریجی و ایجاد محیطی امن و حمایتی است. پژوهش حاضر محدودیت‌هایی نیز داشت.

انجام پژوهش در یک مدرسه و استفاده از نمونه‌گیری غیرتصادفی، تعمیم‌پذیری یافته‌ها را محدود می‌کند. همچنین، تمرکز بر درس ریاضی و پایه ششم ممکن است نتایج را به سایر دروس یا مقاطع تحصیلی محدود کند. برای بهره‌برداری عملی و گسترش این روش، پیشنهاد می‌شود معلمان در دوره‌های تربیت معلم برای طراحی خطاهای آموزشی و مدیریت واکنش‌های دانش‌آموزان آموزش ببینند، خطاها را متناسب با سطح دانش‌آموزان طراحی کنند، از بحث‌های کلاسی برای تحلیل خطاها بهره ببرند و از ابزارهای ارزیابی مستمر مانند چک‌لیست‌های عملکرد استفاده کنند؛ همچنین، سیاست‌گذاران آموزشی می‌توانند راهنماهای عملی برای معلمان تدوین کنند و این روش را به سایر دروس مانند علوم یا فارسی گسترش دهند، ضمن اینکه تحقیقات آینده با نمونه‌های بزرگ‌تر و تصادفی، در مقاطع تحصیلی متنوع و با مقایسه رویکردهای آشکار و پنهان انجام شود تا اثربخشی این روش و تأثیر آن بر متغیرهایی مانند انگیزه و خودکارآمدی دانش‌آموزان بررسی گردد. امید است که یافته‌های این پژوهش گامی در جهت توسعه روش‌های آموزشی نوین باشد و معلمان را به استفاده از راهبردهای خلاقانه مانند خطای عمدی برای تقویت یادگیری دانش‌آموزان ترغیب کند.

منابع

- Alomari, H. (2023). Mindfulness and its relationship to academic achievement among university students. In *Frontiers in education* (Vol. 8, p. 1179584). Frontiers Media SA.
- Bahrami E, Ghadampour E, Abasi M. (2024). The effect of making deliberate errors on attitude to error and academic emotions of girls students of the second secondary school. *Rooyesh*. 13(2), 37-46. (in Persian)
- Griffin, J. (2019). Designing Intentional Bugs for Learning.
- Kaviani, J., & Kaviani Lord, Z. (2023). Investigating the impact of the educational environment on academic success and strategies for improvement. In *Proceedings of the First International Conference on Management, Education, and Training in Education*. (in Persian)
- Lawshe, C. H. (1975). A quantitative approach to content validity. *Personnel Psychology*, 28(4), 563-575. <https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.1975.tb01393.x>
- Metcalf, J. (2017). Learning from errors. *Annual review of psychology*, 68(1).
- Muilwijk, S. E., & Lazonder, A. W. (2023, March). Learning from physical and virtual investigation: A meta-analysis of conceptual knowledge acquisition. In *Frontiers in Education* (Vol. 8, p. 1163024). Frontiers Media SA.
- Phan, M. L., Renshaw, T. L., Caramanico, J., Greeson, J. M., MacKenzie, E., Atkinson-Diaz, Z., ... & Nuske, H. J. (2022). Mindfulness-based school interventions: A systematic review of outcome evidence quality by study design. *Mindfulness*, 13(7), 1591-1613.
- Philip, A. P., & Bennett, D. (2021). Using deliberate mistakes to heighten student attention. *Journal of University Teaching and Learning Practice*, 18(6), 193-212.
- Raouf, S., & Salman Nasab, A. (2022). Facilitating learning based on Carl Rogers' approach. In *Proceedings of the 12th National Conference on Psychology and Educational Sciences*.
- Rogers, C. (2009). *Freedom to learn* (A. Sahebi, Trans.). Danjeh. (Original work published 1969)
- Romero Ariza, M., Quesada Armenteros, A., & Estepa Castro, A. (2024). Promoting critical thinking through mathematics and science teacher education: the case of argumentation and graphs interpretation about climate change. *European Journal of Teacher Education*, 47(1), 41-59.
- Rushton, S. J. (2018). Teaching and learning mathematics through error analysis. *Fields Mathematics Education Journal*, 3(1), 1-12
- Soncini, A., Matteucci, M. C., & Butera, F. (2021). Error handling in the classroom: An experimental study of teachers' strategies to foster positive error climate. *European Journal of Psychology of Education*, 36(3), 719-738. <https://doi.org/10.1007/s10212-020-00477-y>
- Waltz, C. F., & Bausell, R. B. (1981). *Nursing research: Design, statistics, and computer analysis*. F.A. Davis Company.

- Wong, S. S. H., & Lim, S. W. H. (2022). The derring effect: Deliberate errors enhance learning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 151(1), 25–40. <https://doi.org/10.1037/xge0001055>
- Wong, S. S. H., & Lim, S. W. H. (2022). Deliberate errors promote meaningful learning. *Journal of Educational Psychology*, 114(8), 1817.
- Zarei, M. (2022). How to conduct "standardized exams" for students. PANA News Agency. <https://www.pana.ir/fa/tiny/news-1268076> (in Persian)

پیوست یک: نشانگرهای سیاهه عملکرد

بُعد	نشانگرها	نمره (۰ تا ۵)	مقیاس نمره گذاری
دقت در شناسایی خطاها	شناسایی خطای محاسباتی شناسایی خطای الگوریتمی شناسایی خطای مراحل حل مسئله		صفر: هیچ خطایی شناسایی نشد. ۱: شناسایی یک خطای ساده ۲: شناسایی دو خطای ساده ۳: شناسایی یک خطای پیچیده یا سه خطای ساده ۴: شناسایی خطاهای متنوع ۵: شناسایی خطاهای پیچیده و ترکیبی
ارائه پاسخ			صفر: عدم پاسخگویی به سوالات معلم ۱: پاسخ مبهم یا نادرست به سوالات معلم ۲: پاسخ ساده اما صحیح به سوالات معلم ۳: پاسخ صحیح با توضیح متوسط به سوالات معلم ۴: پاسخ صحیح با توضیح دقیق به سوالات معلم ۵: پاسخ صحیح با توضیح کامل و مثال مرتبط به سوالات معلم
مشارکت در بحث‌های کلاسی	پرسش‌گری		صفر: عدم طرح پرسش ۱: پرسش غیرمرتبط یا مبهم درباره روش حل ۲: پرسش ساده درباره روش حل مسئله ۳: پرسش مرتبط با توضیح متوسط درباره روش حل ۴: پرسش مرتبط با توضیح دقیق درباره روش حل ۵: پرسش عمیق با ارتباط به مفاهیم ریاضی
مشارکت در تحلیل خطاها			صفر: عدم مشارکت در تحلیل خطاها ۱: مشارکت ضعیف در تحلیل خطاها با توضیح مبهم ۲: مشارکت ساده در تحلیل خطاها با توضیح اولیه ۳: مشارکت متوسط در تحلیل خطاها با توضیح دلیل خط ۴: مشارکت دقیق در تحلیل خطاها با استدلال منطقی ۵: مشارکت کامل در تحلیل خطاها با توضیح عمیق و پیشنهاد راه‌حل‌های خلاقانه
توانایی توضیح اصلاحات	توضیح روش اصلاح خطا		صفر: عدم ارائه روش اصلاحی ۱: ارائه روش اصلاحی مبهم ۲: ارائه روش اصلاحی ساده ۳: ارائه روش اصلاحی با توضیح متوسط ۴: ارائه روش اصلاحی با توضیح دقیق ۵: ارائه روش اصلاحی با توضیح کامل و مثال مرتبط
توجیه تصمیم			صفر: عدم ارائه توجیه برای تصمیم ارائه ۱: ارائه توجیه مبهم ۲: ارائه توجیه ساده ۳: ارائه توجیه متوسط با اشاره به دلیل

۴: ارائه توجیه دقیق با استدلال منطقی ۵: ارائه توجیه کامل با ارتباط به مفاهیم ریاضی			
صفر: عدم برقراری ارتباط با مفهوم درس ۱: برقراری ارتباط مبهم با مفهوم درس ۲: برقراری ارتباط ساده با مفهوم درس ۳: برقراری ارتباط متوسط با اشاره به مفهوم درس ۴: برقراری ارتباط دقیق با مفهوم درس ۵: برقراری ارتباط عمیق با مفاهیم درس و مثال مرتبط		ارتباط با مفهوم ریاضی	
صفر: عدم بیان نظر شخصی ۱: بیان نظر مبهم یا با تردید یا با صدای آهسته ۲: بیان نظر ساده با اطمینان کم یا لحن مردد ۳: بیان نظر با اطمینان متوسط، لحن نسبتاً مطمئن و جملات کامل ۴: بیان نظر با اطمینان بالا حتی اگر مخالف باشد ۵: بیان نظر با اطمینان بالا همراه با استدلال منطقی و پافشاری		بیان نظر شخصی با اطمینان	
صفر: عدم اعلام هیچ گونه اختلاف نظری ۱: اعلام اختلاف نظر مبهم یا غیرمرتبط با تردید یا با صدای آهسته ۲: اعلام نظر مخالف بدون ارائه توضیح با اطمینان کم یا لحن مردد ۳: اعلام اختلاف نظر با توضیح متوسط و لحن نسبتاً مطمئن و جملات کامل ۴: اعلام اختلاف نظر با توضیح دقیق و اطمینان بالا ۵: اعلام اختلاف نظر با توضیح کامل و استدلال منطقی و پافشاری		اعلام اختلاف نظر با دیگران یا معلم	اعتماد به نفس در ابراز نظر
صفر: عدم پیشنهاد هیچ گونه راه حل ۱: پیشنهاد راه حل مبهم یا با تردید یا با صدای آهسته ۲: پیشنهاد راه حل ساده با اطمینان کم یا لحن مردد ۳: پیشنهاد راه حل با اطمینان متوسط با لحن نسبتاً مطمئن و جملات کامل ۴: پیشنهاد راه حل با اطمینان بالا و توضیح دقیق و اطمینان بالا ۵: پیشنهاد راه حل خلاقانه با اطمینان بالا و استدلال منطقی و پافشاری		پیشنهاد راه حل یا اصلاح با اعتماد به نفس	