Tech. Edu. J. 19(4): 903-922, Autumn 2025

Technology of Education Journal
(TEJ)
Homepage: jte.sru.ac.ir

ORIGINAL RESEARCH PAPER

The impact of teaching method based on the Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) model on academic performance and learning experiences of elementary school students in mathematics

Y. Alimohammadi[1], H. Pourshafei[*,1], M. AlizadehJamal[2]

[1] Department of Educational Sciences and Psychology, University of Birjand, Birjand, Iran
[2] Department of Mathematics Education, Farhangian University, P.O. Box 14665-889, Tehran, Iran

Received: 07 April 2025
Reviewed: 22 March 2025
Revised: 20 June 2025
Accepted: 12 August 2025

KEYWORDS:
TPACK
GeoGebra
Mathematics Education
Academic Performance
Learning Experiences

* Corresponding author
hpourshafei@birjand.ac.ir
(+98915) 1612193

ABSTRACT

Background and Objectives: Research has shown that integrating technology into mathematics education through the Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) model can enhance students' academic performance. GeoGebra, as a dynamic tool, facilitates the understanding of abstract geometric concepts and strengthens learning. However, challenges such as teachers' lack of skills, technical limitations, and unequal access to equipment have restricted the full utilization of this technology. In Iran, limited studies have explored the impact of TPACK and GeoGebra in elementary education, highlighting the research gap and the necessity of the present study. This study aimed to investigate the impact of a teaching method based on the TPACK model, using GeoGebra software, on the academic performance and learning experiences of fifth-grade elementary students in topics related to symmetry, perimeter, area, and volume.

Methods: This research was conducted using a sequential explanatory mixed-methods approach. The population consisted of fifth-grade female students in Bojnurd during the 2023-2024 academic year. Sixty students were matched and assigned to experimental and control groups (30 each). The quantitative tool was a researcher-made test with high reliability (Cronbach's alpha > 0.9), and the qualitative tool was semi-structured interviews. The experimental group received 21 sessions of 40-minute instruction using GeoGebra and the TPACK model, while the control group was taught traditionally. Quantitative data were analyzed by Analysis of Covariance (ANCOVA) using SPSS, and qualitative data were examined through thematic analysis.

Findings: The quantitative findings, derived from a quasi-experimental design with pre-test and post-test, showed that GeoGebra-based instruction had a significant positive impact on students' academic performance across all four topics. The result of ANCOVA confirmed the superiority of the experimental group, with results for symmetry ($F = 30.513$, $Sig < 0.05$, partial $\eta_p^2 = 0.349$), area ($F = 35.777$, $Sig < 0.05$, partial $\eta_p^2 = 0.390$), volume ($F = 23.254$, $Sig < 0.05$, partial $\eta_p^2 = 0.311$), and perimeter ($F = 24.094$, $Sig < 0.05$, partial $\eta_p^2 = 0.301$). The qualitative findings, based on thematic analysis of semi-structured interviews with 10 students from the experimental group, revealed themes including the visual and interactive appeal of GeoGebra, facilitation of geometric concept understanding, increased motivation, enhanced group collaboration, reduced math anxiety, and technical challenges. These results demonstrate the potential of TPACK and GeoGebra in improving elementary mathematics education, while also highlighting the need to address technical barriers.

Conclusion: This study, aimed at examining the impact of a TPACK-based teaching method using GeoGebra on the academic performance and learning experiences of fifth-grade elementary students in mathematics, demonstrated that this approach can serve as an effective strategy for enhancing the learning of mathematical concepts and strengthening students' cognitive and social skills. The overall findings indicate the high potential of this method in improving the quality of mathematics education and creating a dynamic learning environment. These results have significant implications for designing technology-based curricula and improving teaching methods in elementary education, contributing to the development of educational policies for integrating technology into classrooms. Limitations

of the study include its focus on female students in a specific geographic area and the short duration of the educational intervention. Challenges included a lack of technological equipment in some schools, students' insufficient initial skills in using the software, and technical issues such as internet outages, which occasionally hindered the intervention. Future studies are recommended to explore the impact of this method across other grade levels and subjects. The findings can be utilized in developing technology-driven educational programs, designing teacher training workshops, and improving access to digital tools in the education system. This approach could be particularly effective in reducing educational inequalities and enhancing learning quality in underserved areas.

COPYRIGHTS
© 2025 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

NUMBER OF REFERENCES	NUMBER OF FIGURES	NUMBER OF TABLES
58	4	11

مقاله پژوهشی

تأثیر روش تدریس بر اساس مدل محتوایی-پداگوژیکی و فناورانه (TPACK) بر عملکرد درسی و تجربیات یادگیری دانش‌آموزان در درس ریاضی دوره آموزش ابتدایی

یاسمن علی‌محمدی[۱]، هادی پورشافعی[*،۱]، محمد علیزاده‌جمال[۲]

[۱] گروه علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
[۲] گروه آموزش ریاضی، دانشگاه فرهنگیان، صندوق پستی ۸۸۹-۱۴۶۶۵، تهران، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: مطالعات نشان داده‌اند که ادغام فناوری در آموزش ریاضی با بهره‌گیری از مدل محتوایی-پداگوژیکی و فناورانه (TPACK) می‌تواند عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان را بهبود بخشد. نرم‌افزار جئوجبرا به‌عنوان ابزاری پویا، درک مفاهیم انتزاعی هندسه را تسهیل می‌کند و یادگیری را قوت می‌بخشد. بااین‌حال، چالش‌هایی مانند کمبود مهارت معلمان، محدودیت‌های فنی و نابرابری دسترسی به تجهیزات، بهره‌برداری کامل از این فناوری را محدود کرده است. در ایران، پژوهش‌های محدودی به بررسی تأثیر TPACK و جئوجبرا در دورهٔ ابتدایی پرداخته‌اند که این شکاف پژوهشی، ضرورت انجام مطالعهٔ حاضر را نشان می‌دهد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر روش تدریس مبتنی بر مدل TPACK، با استفاده از نرم‌افزار جئوجبرا بر عملکرد تحصیلی و تجربیات یادگیری دانش‌آموزان پایهٔ پنجم ابتدایی در مباحث تقارن، محیط، مساحت و حجم انجام شد.

روش‌ها: این پژوهش با رویکرد ترکیبی تبیینی انجام شد. جامعهٔ آماری شامل دانش‌آموزان دختر پایهٔ پنجم بجنورد در سال ۱۴۰۳-۱۴۰۲ بود. ۶۰ دانش‌آموز با روش همتاسازی در دو گروه آزمایش و کنترل (هرکدام ۳۰ نفر) قرار گرفتند. ابزار کمّی، آزمون محقق‌ساخته با پایایی بالا (آلفای کرونباخ > ۰/۹) و ابزار کیفی، مصاحبهٔ نیمه‌ساختاریافته بود. گروه آزمایش طی ۲۱ جلسهٔ ۴۰دقیقه‌ای با جئوجبرا و مدل TPACK و گروه کنترل با روش سنتی آموزش دیدند. داده‌های کمّی با تحلیل کوواریانس با استفاده از نرم‌افزار SPSS و داده‌های کیفی با تحلیل مضمون بررسی شدند.

یافته‌ها: یافته‌های کمّی، حاصل از طرح شبه‌تجربی با پیش‌آزمون و پس‌آزمون، نشان داد که آموزش مبتنی بر جئوجبرا تأثیر مثبت و معناداری بر عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان در هر چهار مبحث داشت. نتایج تحلیل کوواریانس با (F= 30/513 و Sig<0/05 و اندازه اثر0/349) برای تقارن،(F= 35/777 و Sig<0/05 و اندازه اثر0/390) برای مساحت، (F= 23/254 و Sig<0/05 و اندازه اثر0/311) برای حجم و (F= 24/094 و Sig<0/05

تاریخ دریافت: ۱۸ فروردین ۱۴۰۴
تاریخ داوری: ۰۲ خرداد ۱۴۰۴
تاریخ اصلاح: ۳۰ خرداد ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش: ۲۱ مرداد ۱۴۰۴

واژگان کلیدی:
مدل TPACK
جئوجبرا
آموزش ریاضی
عملکرد تحصیلی
تجربیات یادگیری

* نویسنده مسئول
hpourshafei@birjand.ac.ir
۰۹۱۵-۱۶۱۲۱۹۳

و اندازه اثر0/301) برای محیط، برتری گروه آزمایش را تأیید کرد. یافته‌های کیفی، از تحلیل مضمون مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با ده دانش‌آموز گروه آزمایش، مضامینی شامل جذابیت بصری و تعاملی جئوجبرا، تسهیل درک مفاهیم هندسی، افزایش انگیزه، تقویت همکاری گروهی، کاهش اضطراب ریاضی و چالش‌های فنی را آشکار کرد. این نتایج، پتانسیل TPACK و جئوجبرا را در بهبود آموزش ریاضی ابتدایی نشان می‌دهد؛ هرچند ضرورت رفع موانع فنی را نیز برجسته می‌کند.

نتیجه‌گیری: این پژوهش با هدف بررسی تأثیر روش تدریس مبتنی بر مدل TPACK با استفاده از نرم‌افزار جئوجبرا بر عملکرد تحصیلی و تجربیات یادگیری دانش‌آموزان پایهٔ پنجم ابتدایی در درس ریاضی نشان داد که این رویکرد می‌تواند به‌عنوان استراتژی مؤثر در بهبود یادگیری مفاهیم ریاضی و تقویت مهارت‌های شناختی و اجتماعی دانش‌آموزان عمل کند. نتایج کلی حاکی از پتانسیل زیاد این روش در ارتقای کیفیت آموزش ریاضی و ایجاد محیطی پویا برای یادگیری است. این یافته‌ها کاربردهای مهمی در طراحی برنامه‌های درسی مبتنی بر فناوری و بهبود روش‌های تدریس در دورهٔ ابتدایی دارند و می‌توانند به تدوین سیاست‌های آموزشی برای ادغام فناوری در کلاس‌های درس کمک کنند. از محدودیت‌های پژوهش می‌توان به تمرکز بر دانش‌آموزان دختر در منطقهٔ جغرافیایی خاص و مدت‌زمان محدود مداخلهٔ آموزشی اشاره کرد. موانع شامل کمبود تجهیزات فناوری در برخی مدارس، ناکافی‌بودن مهارت‌های اولیهٔ دانش‌آموزان در کار با نرم‌افزار و مشکلات فنی مانند قطعی اینترنت بود که اجرای مداخله را در مواردی با چالش مواجه کرد. پیشنهاد می‌شود مطالعات آتی تأثیر این روش را در سایر پایه‌های تحصیلی و موضوعات درسی بررسی کنند. نتایج این پژوهش می‌تواند در توسعهٔ برنامه‌های آموزشی فناوری‌محور، طراحی کارگاه‌های آموزشی برای معلمان و بهبود دسترسی به ابزارهای دیجیتال در نظام آموزشی استفاده کند. این رویکرد به‌ویژه می‌تواند در کاهش نابرابری‌های آموزشی و ارتقای کیفیت یادگیری در مناطق کم‌برخوردار مؤثر باشد.

مقدّمه

در نظام آموزشی امروز، یکی از چالش‌های جدی در تحقق یادگیری مؤثر ریاضی، ناتوانی در به‌کارگیری رویکردهای نوین و فناورانه برای درک عمیق مفاهیم هندسی است. اگرچه معلمان از اهمیت به‌کارگیری فناوری در ارتقای انگیزش و درک دانش‌آموزان آگاه‌اند؛ اما در عمل، استفادهٔ نظام‌مند از ابزارهای دیجیتال در آموزش ریاضی ابتدایی بسیار محدود است[۱]. به‌ویژه در تدریس مفاهیمی همچون تقارن، محیط، مساحت و حجم، وابستگی به روش‌های سنتی و نبود مهارت در تلفیق فناوری با محتوای درسی، موجب تداوم ضعف در عملکرد تحصیلی و درک مفهومی دانش‌آموزان می‌شود[۲]. استفاده از نرم‌افزارهایی مانند جئوجبرا می‌تواند زمینه‌ی تجسم‌فضایی و تعامل فعال‌تر یادگیرندگان را فراهم آورد، درک عمیق از چگونگی به‌کارگیری مؤثر چارچوب TPACK در آموزش ریاضی ابتدایی هنوز به‌درستی شکل نگرفته است[۳].

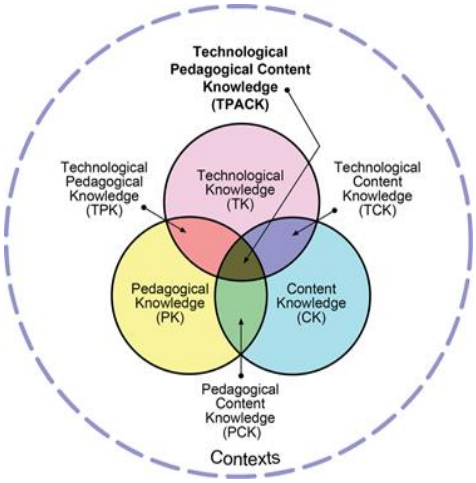
شواهد محلی و جهانی این چالش را تأیید می‌کنند. در ایران، امتیاز ۴۴۳ دانش‌آموزان کلاس چهارم در تیمز ۲۰۱۹(TIMSS 2019) پایین‌تر از میانگین جهانی ۵۰۰ بوده و افتی نسبت به دوره‌های قبلی نشان می‌دهد[۴]. مطالعات محلی حاکی از آن است که روش‌های سنتی با تأکید بر حفظ فرمول‌ها، درک مفهومی را محدود می‌کنند و اضطراب ریاضی را افزایش داده‌اند[۵]. در سطح جهانی، گزارش تیمز ۲۰۲۳ (TIMSS 2023) افت ۱۸ امتیازی در نمرات ریاضی کلاس چهارم ایالات متحده و ۲۷ امتیازی در کلاس هشتم بین سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۳ را گزارش کرده که بخشی به روش‌های سنتی تدریس و تأثیرات همه‌گیری کووید نسبت داده می‌شود [۶]. گزارش PISA 2022) نیز افت ۱۵ امتیازی عملکرد ریاضی در کشورهای سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD) را نشان می‌دهد که به بهره‌گیری‌ناپذیری مؤثر از فناوری مرتبط است[۷]. توجه‌نکردن به این مسئله پیامدهای گسترده‌ای دارد. از منظر اقتصادی، ضعف مهارت‌های ریاضی فرصت‌های شغلی در حوزه‌های آموزشی تلفیقی (STEM) را کاهش می‌دهد که تا سال ۲۰۳۰ حدود ۷۵درصد مشاغل آینده را تشکیل خواهند داد و می‌تواند بهره‌وری اقتصادی را تا ۱٫۵درصد تولید ناخالص داخلی پایین بیاورد [۸،۹]. از منظر اجتماعی، روش‌های ناکارآمد آموزشی به کاهش انگیزه، افزایش استرس (۷۰درصد دانش‌آموزان ابتدایی تأثیر منفی ریاضی بر خواب و فعالیت‌های فوق‌برنامه گزارش کرده‌اند) و نرخ ترک تحصیل تا ۱۵درصد در ایران منجر شده و نابرابری‌های آموزشی را به‌ویژه در مناطق محروم، تشدید می‌کنند[۱۰،۱۱]. در ایران، افزایش ۶۰درصدی قیمت کتاب‌های درسی دسترسی به آموزش را برای ۱٫۷میلیون دانش‌آموز محدود کرده و فقر یادگیری ریاضی در ۷۰درصد دانش‌آموزان را تشدید کرده است که بخشی به سیستم آموزشی ناکارآمد نسبت داده می‌شود[۱۲،۱۳].

مداخلات مبتنی بر فناوری می‌توانند این مشکلات را کاهش دهند و انگیزهٔ یادگیری را تا ۳۰درصد افزایش دهند[۱۴]. با تمرکز مجدد بر مسئلهٔ تحقیق، شکاف دانشی در کاربرد TPACK و جئوجبرا در آموزش هندسهٔ ابتدایی ایران آشکار است. مطالعات جهانی نشان داده‌اند که TPACKعملکرد تحصیلی را، به‌ویژه در مفاهیم هندسی تا ۲۵درصد بهبود می‌بخشد[۱۵،۱۶]. بررسی‌های اخیر نیز ادغام TPACK با ابزارهای دیجیتال مانند جئوجبرا را در افزایش شایستگی‌های معلمان و عملکرد دانش‌آموزان مؤثر می‌دانند[۱۷]. بااین‌حال، این مطالعات عمدتاً در کشورهای غربی انجام شده و کاربرد آن‌ها در ایران به‌دلیل محدودیت‌های زیرساختی و تفاوت‌های فرهنگی کمتر بررسی شده است[۱۸،۱۹]. جئوجبرا با قابلیت نمایش گرافیکی، جبری و صفحهٔ گسترده و امکان دست‌کاری پویا اشکال، می‌تواند درک روابط هندسی

را تقویت کند[۲۰،۲۱]؛ اما ناآشنایی معلمان و کمبود تجهیزات در مناطق محروم، اثربخشی آن را محدود کرده است[۲۲]. این مطالعه با پرکردن این شکاف، دانش نو دربارهٔ تأثیر TPACK و جئوجبرا بر عملکرد تحصیلی و تجربیات یادگیری در زمینهٔ ایرانی ارائه می‌دهد. اهداف اصلی شامل بررسی تأثیر این روش بر عملکرد کمّی (تقارن، محیط، مساحت و حجم) و تجربیات کیفی (انگیزه، اضطراب و همکاری) است که می‌تواند به سیاست‌گذاری آموزشی کمک کند.

- *مدل آموزشی "محتوایی-پداگوژیکی و فناورانه (TPACK)"*

مدل TPACK چارچوبی مرجع است که ادغام فناوری اطلاعات و ارتباطات را درفرایند یاددهی-یادگیری تسهیل می‌کند و به معلمان کمک می‌کند تا ابزارهای دیجیتال را به‌طور مؤثر با دانش محتوایی و پداگوژیکی ترکیب کنند[۲۳]. این مدل از دانش محتوای آموزشی (PCK) شولمن[۲۴] گسترش یافته و شامل دانش فناوری(TK)، دانش پداگوژی(PK)، دانش محتوایی(CK) و ترکیبات آن‌ها مانندTCK، PCK، TPK و TPACK است (شکل ۱)[۲۵،۲۶].



شکل۱: مدل دانش محتوایی- پداگوژیکی و فناورانه
Fig. 1: Technological and Pedagocial Content Knowledge Model

ادغام TPACK با ابزارهای پویا مانند جئوجبرا، که مفاهیم هندسه، جبر و حساب را تلفیق می‌کند، درک روابط هندسی و مهارت‌های استدلالی را تقویت می‌کند[۲۰،۲۸]. جئوجبرا امکان نمایش اشکال به سه روش (گرافیکی، جبری، صفحه گسترده) را فراهم می‌کند و دانش‌آموزان را به کاوش روابط وابسته تشویق می‌کند[۲۹]. مطالعات نشان می‌دهند که این ابزار اضطراب هندسی را کاهش می‌دهد و نگرش مثبت به ریاضی را افزایش می‌دهد[۲۷،۲۱]. این ادبیات به شکل‌گیری فرضیهٔ تحقیق کمک می‌کند: «آموزش مبتنی بر TPACK با جئوجبرا بر عملکرد دانش‌آموزان در درس ریاضی تأثیر مثبت دارد»؛ زیرا نشان می‌دهد که ادغام فناوری با دانش محتوایی و پداگوژیکی درک مفهومی و تجربیات یادگیری را بهبود می‌بخشد. بااین‌حال، کمبود پژوهش در زمینهٔ ایران، جایی که محدودیت‌های زیرساختی مانع محسوب می‌شود[۱۹]، به بررسی این مدل را برجسته می‌کند و فرضیه را بر پایهٔ شواهد محلی و جهانی تدوین می‌کند.

روش شناسی پژوهش

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر آموزش مبتنی بر مدل TPACK بر عملکرد و تجربیات یادگیری دانش‌آموزان در درس ریاضی، به‌صورت کاربردی و با رویکرد ترکیبی تبیینی ترتیبی (کمّی و کیفی) انجام شد. این روش با ترکیب داده‌های کمّی و کیفی، امکان بررسی جامع و عمیق پدیده‌های پیچیده را فراهم می‌کند و ازاین‌رو در تحقیقات آموزشی از اهمیت زیادی برخوردار است. این روش ابتدا با تحلیل داده‌های کمّی، الگوها و اثرات مداخلات را شناسایی می‌کند و سپس از داده‌های کیفی برای توضیح دلایل و زمینه‌های این یافته‌ها بهره می‌برد که به افزایش روایی و اعتبار نتایج کمک می‌کند[۳۰]. انعطاف‌پذیری در طراحی پژوهش، پاسخ‌گویی به سؤالات چندگانه و توانایی درک عوامل زمینه‌ای، این روش را برای مطالعهٔ تأثیر فناوری بر یادگیری، ایده‌آل می‌سازد.

سؤال اصلی پژوهش اشاره دارد که آموزش ریاضی براساس مدل TPACK بر کیفیت یادگیری مباحث تقارن، محیط، مساحت و حجم ریاضی دانش‌آموزان پایهٔ پنجم مؤثر است و این روش چگونه بر تجربیات یادگیری آن‌ها اثر می‌گذارد؟

سؤالات فرعی بخش کمی پژوهش به شرح ذیل است:

- آیا روش تدریس بر اساس مدل TPACK بر افزایش عملکرد ریاضی دانش آموزان در مبحث تقارن موثر است؟
- آیا روش تدریس بر اساس مدل TPACK بر افزایش عملکرد ریاضی دانش آموزان در مبحث محیط موثر است؟
- آیا روش تدریس بر اساس مدل TPACK بر افزایش عملکرد ریاضی دانش آموزان در مبحث مساحت موثر است؟
- آیا روش تدریس بر اساس مدل TPACK بر افزایش عملکرد ریاضی دانش آموزان در مبحث حجم موثر است؟

سؤالات فرعی بخش کیفی پژوهش بدین شرح است:

- دانش‌آموزان گروه آزمایش چه ویژگی‌هایی از نرم‌افزار جئوجبرا را در یادگیری مفاهیم ریاضی (مانند محیط، تقارن، مساحت و حجم) مؤثر می‌دانند؟
- استفاده از جئوجبرا چه تأثیری بر انگیزه و علاقه دانش‌آموزان پایه پنجم به یادگیری ریاضی دارد؟
- دانش‌آموزان گروه آزمایش چه چالش‌هایی را در استفاده از جئوجبرا برای یادگیری ریاضی تجربه کرده‌اند؟
- از دیدگاه دانش‌آموزان، جئوجبرا چگونه درک آن‌ها از مفاهیم هندسی (مانند تجسم اشکال یا روابط هندسی) را تسهیل کرده است؟
- دانش‌آموزان گروه آزمایش چه تفاوت‌هایی بین یادگیری با جئوجبرا و روش‌های سنتی (مانند تخته یا کتاب درسی) گزارش می‌کنند؟

در بخش کمّی، این مطالعه از روش شبه‌آزمایشی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون با گروه کنترل استفاده شد. دلیل انتخاب روش شبه‌آزمایشی

بـه‌جـای آزمـایش واقعی، محـدودیـت‌های عملی در تخصـــیص کاملاً تصـــادفی دانش‌آموزان در گروه‌ها بود؛ زیرا گروه‌ها از کلاس‌های موجود در مدارس تشـــکیل شـــدند و امکان اختلاط کامل دانش‌آموزان به‌دلیل سـاختار سـازمانی مدارس وجود نداشت. این روش شبه‌آزمایشی امکان کنترل متغیرهای مداخله‌گر را از طریق همتاسـازی و اسـتفاده از گروه کنترل فراهم کرد؛ در حالی که همچنان به بررســـی اثر مداخله، روش تـدریس مبتنی برTPACK) بر عملکرد درســـی و تجربیـات یادگیری دانش‌آموزان پرداخت.

جامعهٔ آماری شامل کلیهٔ دانش‌آموزان دخترپایهٔ پنجم ابتدایی مدارس شهرستان بجنورد در سال تحصیلی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ بود. نمونهٔ پژوهش متشکل از ۶۰ دانش‌آموز بود که با روش نمونه‌گیری همتاسازی، براساس معیارهایی نظیر نمرات قبلی ریاضی و سطح تحصیلی، به‌صورت مساوی در دو گروه آزمایش و کنترل (هر گروه ۳۰ نفر) تقسیم شدند تا متغیرهای مداخله‌گر کاهش یابند. برای رعایت ملاحظات اخلاقی، رضایت‌نامهٔ کتبی از والدین و مجوز از مدیران مدارس اخذ شد. به‌منظور کاهش عوامل مداخله‌گر، از یک معلم برای تدریس به هر دو گروه کنترل و آزمایش استفاده شد که این امر تأثیر تفاوت‌های سبک تدریس معلمان را به حداقل رساند.

ابزار گردآوری داده‌ها در بخش کمّی، آزمون محقق‌ساخته‌ای شامل ۲۰ سؤال استاندارد در چهار مبحث محیط، تقارن، مساحت و حجم بود که از کتاب درسی و آزمون‌های استاندارد پایهٔ پنجم اقتباس شدند. این سؤالات ابتدا روی ۳۰ دانش‌آموز به‌صورت تصادفی آزمایش شد تا ضریب دشواری و همبستگی آن‌ها تعیین شود. روایی محتوایی و صوری آزمون توسط پنج کارشناس آموزش ابتدایی و معلمان پایهٔ پنجم تأیید شد. پایایی ابزار با آلفای کرونباخ (۰/۹۱) بررسی گردید، که نشان‌دهندهٔ پایایی بالای ابزار است. پیش‌آزمون برای ارزیابی سطح اولیهٔ دانش‌آموزان و اطمینان از هم‌سطح‌بودن گروه‌ها اجرا شد که این امر امکان مقایسهٔ دقیق‌تر نتایج پس‌آزمون را فراهم کرد.

برنامهٔ آموزشی برای گروه آزمایش براساس چارچوب TPACK، با استفاده از نرم‌افزار پویای جئوجبرا و برای گروه کنترل با روش سنتی طراحی شد. هر دو برنامه طی ۲۱ جلسه ۴۰دقیقه‌ای (۳ جلسه در هفته به‌مدت ۷ هفته) اجرا شدند و بر مباحث محیط، تقارن، مساحت و حجم تمرکز داشتند. جلسات گروه آزمایش شامل فعالیت‌های تعاملی، بحث گروهی و بازخورد فوری از معلم بود. معلم گروه آزمایش پیش از شروع دوره، کارگاه آموزشی ۶ساعته‌ای برای تسلط بر جئوجبرا و طراحی فعالیت‌های مبتنی بر TPACK گذراند. در مقابل، جلسات گروه کنترل با روش سنتی (استفاده از تخته، کتاب درسی، خط‌کش، گونیا و مدل‌های فیزیکی مانند مکعب‌های چوبی) برگزار شد و شامل تدریس مستقیم، حل تمرین روی تخته و کار گروهی با ابزارهای فیزیکی بود. پس از اتمام ۲۱ جلسهٔ آموزشی، همان آزمون محقق‌ساختهٔ پیش‌آزمون به‌عنوان پس‌آزمون برای هر دو گروه اجرا شد تا عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان در مباحث هدف سنجیده شود. شرایط اجرای آزمون (زمان، محیط و نظارت) برای هر دو گروه یکسان بود.

پس آزمون Pre-test	متغیرمستقل independent variable	پیش آزمون Post-test
T1	X	T
T2		T

جدول۱: ضریب پایایی آزمون ریاضی در بخش مقدماتی، پیش آزمون و پس آزمون
Table 1: Reliability Coefficient of the Mathematics Test in the Preliminary, Pre-test, and Post-test Sections

Test آزمون	Number of questions تعداد سؤالات	Cronbach's Alpha Coefficient ضریب آلفای کرونباخ
Preliminary (مقدماتی)	25	.84
Pre-test (پیش آزمون)	20	.87
Post-test (پس آزمون)	20	.91

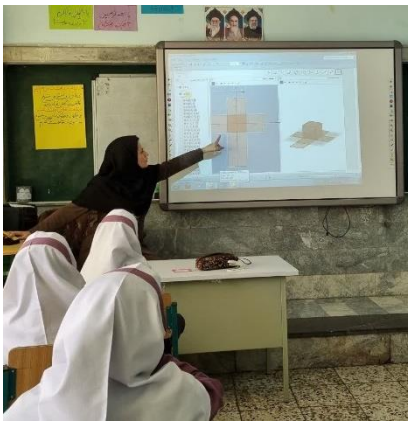
در این تحقیق، عملکرد دانش‌آموزان به‌عنوان متغیر وابســته و آموزش ریاضی به‌کمک نرم‌افزار جئوجبرا براساس مدل TPACK به‌عنوان متغییر مستقل پژوهش هستند.

در ادامـه برای گروه آزمـایش ۲۱ جلســهٔ آموزش بـه‌کمـک نرم‌افزار جئوجبرا طراحی و اجرا شـد. جلسات آموزشی گروه آزمایش به‌گونه‌ای طراحی شـد که دانش‌آموزان به‌صـورت تعاملی با جئوجبرا کار کنند و مفـاهیم ریـاضـــی را از طریق فعالیت‌های عملی و گروهی یاد بگیرند. جدول زیر برنامهٔ جلسات و فعالیت‌ها را نشان می‌دهد:

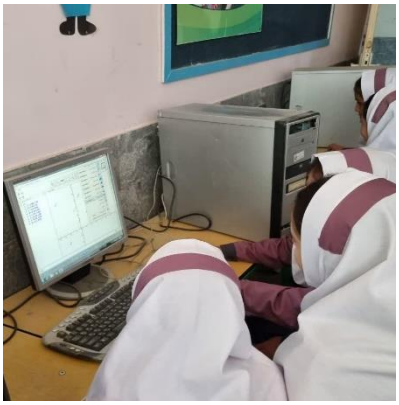
در ادامه بخش کیفی پس از تحلیل داده‌های کمّی اجرا شد تا یافته‌های کمّی را توضـــیح دهـد و تفســـیر عمیق‌تری از تجربیـات یـادگیری دانش‌آموزان ارائـه کنـد. این زمـان‌بنـدی بـه پژوهشـــگر اجـازه داد دانش‌آموزان تجربهٔ کامل اسـتفاده از جئوجبرا را داشته باشند و بتوانند دربارهٔ تأثیر آن بازخورد دقیق‌تری ارائه دهند. هدف بخش کیفی، درک عمیق‌تر تأثیر آموزش مبتنی بر چارچوب TPACK و نرم‌افزار جئوجبرا بر تجربیـات یـادگیری دانش‌آموزان پایهٔ پنجم ابتدایی در درس ریاضـــی (مباحث تقارن، محیط، مساحت و حجم) بود. این بخش به پرسش‌هایی مـانـنـد ویژگی‌هـای مؤثر جئوجبرا، تـأثیر آن بر انگیزه و درک مفـاهیم هندسـی، تفاوت با روش‌های سـنتی و چالش‌های اسـتفاده از جئوجبرا پرداخته است. شرکت‌کنندگان بخش کیفی از میان دانش‌آموزان گروه آزمـایش (۳۰ نفر) انتخـاب شـــدنـد. برای این منظور، ده دانش‌آموز به‌صـــورت هدفمند انتخاب شـــدند تا تنوع در تجربیات یادگیری،مانند سـطح عملکرد تحصیلی، علاقه به ریاضی و میزان تسلط بر جئوجبرا را پوشـــش دهنـد. انتخـاب هـدفمند به این معنا بود که دانش‌آموزانی با عـمـلکرد بـالا، متوســـط و پـایین در پس‌آزمون کمّی و همچنین دانش‌آموزانی که در جلسات آموزشی مشارکت فعال یا کمتری داشتند، در نمونهٔ کیفی گنجانده شدند.

جدول۲: فعالیت‌های گروه آزمایش
Table 2: Experimental group activities

مبحث Topic	تعداد جلسات Number of sessions	فعالیت‌ها Activities	ابزارهای جئوجبرا GeoGebra Tools	نقش دانش‌آموزان The role of students
شروع کار با جئوجبرا Getting started with GeoGebra	3	- معرفی محیط نرم‌افزار و ابزارهای ترسیم Introduction to the software environment and drawing tools - ترسیم اشکال ساده (خط، مثلث، چهارضلعی) Drawing simple shapes (lines, triangles, quadrilaterals) - آزمایش جابه‌جایی و چرخش اشکال Experimenting with moving and rotating shapes - تمرین رسم چندضلعی‌های منتظم Practice drawing regular polygons	ابزار ترسیم خط، نقطه، چندضلعی، نوار پیمایش Line, point, polygon drawing tools, scroll bar	- ترسیم اشکال تحت راهنمایی معلم Drawing shapes under teacher guidance -کاوش ابزارها به‌صورت انفرادی Exploring tools individually -بحث گروهی درباره ویژگی‌های اشکال Group discussion about shape properties
تقارن Symmetry	3	- ترسیم اشکال و قرینه‌سازی حول محور Drawing shapes and reflecting them across an axis - چرخش اشکال حول یک نقطه Rotating shapes around a point - طراحی الگوهای متقارن (مانند پروانه) Designing symmetric patterns (e.g., butterfly) - تحلیل تقارن مرکزی با جابه‌جایی اشکال Analyzing central symmetry through moving shapes	ابزار قرینه‌سازی، چرخش، انتقال Reflection, rotation, translation tools	- ترسیم و تحلیل اشکال متقارن به‌صورت گروهی Group drawing and analysis of symmetric shapes - ارائه الگوهای طراحی‌شده به کلاس Presenting designed patterns to the class - پاسخ به سؤالات معلم درباره تقارن Answering teacher's questions about symmetry
محیط **Perimeter**	5	- ترسیم چندضلعی‌ها و محاسبه محیط Drawing polygons and calculating perimeter - رسم دایره با شعاع‌های مختلف و محاسبه محیط Drawing circles with different radii and calculating perimeter - حل مسائل ترکیبی (مانند محیط پارک با اشکال مختلف) Solving mixed problems (e.g., park perimeter) - طراحی پروژه گروهی (محیط یک پارک) Designing group projects (a park's perimeter)	ابزار اندازه‌گیری طول، ترسیم دایره Length measurement tools, circle drawing tools	-محاسبه محیط به‌صورت انفرادی و گروهی Calculating perimeter individually and in groups -طراحی گروهی پارک با اشکال هندسی Group designing of a geometric park - ارائه نتایج به معلم Presenting results to the teacher
مساحت Area	4	- ترسیم مثلث، مربع، مستطیل و محاسبه مساحت Drawing triangles, squares, rectangles and calculating area - محاسبه مساحت لوزی با سطح‌سازی درونی Calculating the area of a rhombus using internal structuring - ترسیم ذوزنقه و محاسبه مساحت Drawing trapezoids and calculating area - حل مسائل ترکیبی چندشکلی Solving mixed problems	ابزار سطح‌سازی، محاسبه مساحت Area calculation tools, surface structuring tools	-ترسیم و محاسبه مساحت به‌صورت انفرادی Individual drawing and area calculation -حل مسائل گروهی با اشکال ترکیبی Solving group problems with composite shapes -بحث درباره روش‌های محاسبه Discussing different calculation methods
حجم Volume	4	- ترسیم حجم‌های ساده (مکعب، منشور) Drawing simple volumes (cube, prism) - محاسبه حجم‌های ترکیبی با چرخش اشکال Calculating composite volumes by rotating shapes - بازی‌های تعاملی برای درک حجم (مانند پر کردن اشکال سه‌بعدی) Interactive games for understanding volume (e.g., filling 3D shapes) - حل مسائل ترکیبی Solving mixed problems	ابزار سه‌بعدی، چرخش اشکال 3D tools, shape rotation tools	- ترسیم حجم‌ها به‌صورت گروهی Group drawing of volumes - مشارکت در بازی‌های تعاملی Participating in interactive games - ارائه پاسخ‌ها به‌صورت شفاهی
مرور و حل‌مسأله Review and Problem Solving	2	- حل مسائل ترکیبی از تمام مباحث Solving mixed problems from all topics - اجرای پروژه گروهی (طراحی پارک با محاسبه محیط و مساحت) Conducting group project (designing a park with perimeter and area calculations) - ارائه نتایج پروژه به کلاس Presenting project results to the class	ابزار ترسیم، محاسباتی Drawing and calculation tools	- حل مسائل به‌صورت گروهی Group problem solving - طراحی و ارائه پروژه پارک Designing and presenting the park project - دریافت بازخورد از معلم و همکلاسی‌ها Receiving feedback from teacher and peers



شکل۲: آموزش فضای کار با جئوجبرا و معرفی قابلیت هر آیکون
Fig. 2: Teaching the workspace with GeoGebra and introducing the functionality of each icon



شکل۳: فعالی گروهی دانش‌آموزان در فضای جئوجبرا
Fig. 3: Group activity of students in the GeoGebra space

ابزار اصلی گردآوری داده‌های کیفی، مصاحبهٔ نیمه‌ساختاریافته بود. پروتکل مصاحبه شامل ۵ سؤال باز طراحی شد که براساس چارچوب نظری TPACK و مطالعات پیشین در زمینهٔ فناوری آموزشی تدوین شد. هر مصاحبه به‌صورت فردی و در محیطی آرام (اتاق مشاورهٔ مدرسه) انجام شد و بین ۱۵ تا ۲۰ دقیقه طول کشید. مصاحبه‌ها با رضایت والدین و خود دانش‌آموزان ضبط صوتی شدند و برای تحلیل دقیق، کلمه‌به‌کلمه پیاده‌سازی شدند. برای ایجاد فضای راحت و جلب اعتماد دانش‌آموزان، مصاحبه‌ها توسط پژوهشگری که با دانش‌آموزان در طول جلسات آموزشی آشنا شده بود، انجام شد. قبل از هر مصاحبه، هدف پژوهش به دانش‌آموزان توضیح داده شد و به آن‌ها اطمینان داده شد که پاسخ‌هایشان محرمانه باقی می‌ماند و تأثیری بر نمراتشان نخواهد داشت. داده‌های کیفی با استفاده از روش تحلیل مضمون تحلیل شدند که مراحل آن شامل آشنایی با داده‌ها، کدگذاری اولیه، استخراج مضامین، بازبینی مضامین، تعریف و نام‌گذاری مضامین و گزارش نهایی است.

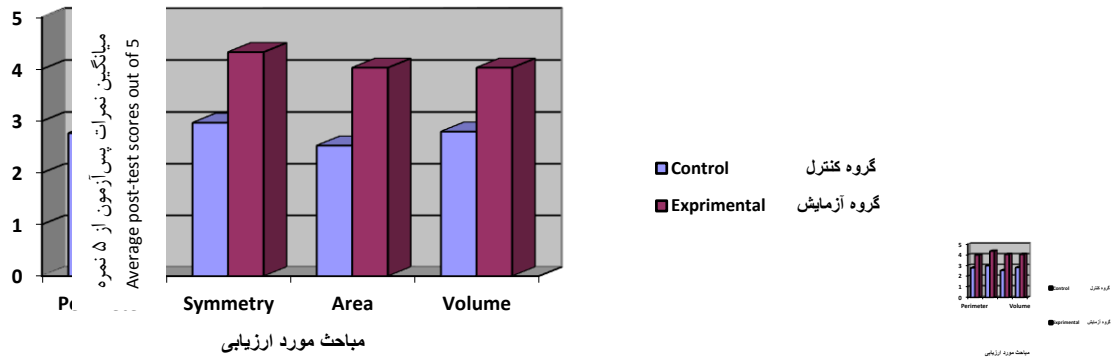
یافته‌های پژوهش

- *یافته‌های کمی*

داده‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون به‌صورت تفکیکی برای هر مبحث در نرم‌افزار SPSS وارد شد و تحلیل‌های آماری با مراحل زیر انجام گرفت.

جدول ۳: آماره‌های توصیفی نمرات پس‌آزمون دانش‌آموزان گروه کنترل و آزمایش
Table 3: Descriptive Statistics of Post-Test Scores for Control and Experimental Groups

	Group گروه	Mean میانگین	Std. Deviation انحراف معیار	N تعداد
Perimeter Post-test محیط پس آزمون	Control کنترل	2.77	1.073	30
	Experimental آزمایش	3.97	.765	30
	Total	3.37	1.104	60
Symmetry Post-test تقارن پس آزمون	Control کنترل	2.97	1.129	30
	Experimental آزمایش	4.33	.802	30
	Total	3.65	1.191	60
Area Post-test مساحت پس آزمون	Control کنترل	2.53	.973	30
	Experimental آزمایش	4.03	.809	30
	Total	3.28	1.166	60
Volume Post-test حجم پس آزمون	Control کنترل	2.80	1.157	30
	Experimental آزمایش	4.03	.809	30
	Total	3.42	1.169	60



شکل ۴: مقایسه میانگین پس‌آزمون گروه کنترل و آزمایش
Fig. 4: Comparison of post-test means of the control and experimental groups

جدول ۳ میانگین نمرات دانش‌آموزان گروه کنترل و آزمایش را در چهار مبحث محیط، تقارن، مساحت و حجم نشان می‌دهد. میانگین نمرات دانش‌آموزان گروه آزمایش در چهار مبحث بالاتر از گروه کنترل است.

همان‌طور که از یافته‌های جدول ۴ استنباط می‌شود، از آنجا که سطح معناداری(sig) به‌دست‌آمده در آزمون شاپیرو ویلک، در تمام متغیرهای پژوهش به‌تفکیک گروه، بیش از مقدار ملاک ۰/۰۵ (Sig> ۰/۰۵) است؛ در نتیجه می‌توان گفت که توزیع متغیرهای بررسی در نمونهٔ آماری توزیع نرمال است و می‌توان فرضیه‌های پژوهش را از طریق آزمون‌های پارامتریک سنجید.

برای تحلیل تفاوت بین گروه‌های کنترل و آزمایش از نظر مولفه‌های محیط، تقارن، مساحت و حجم، از روش تحلیل کوواریانس (ANCOVA) استفاده شد. پیش‌فرض‌های برابری واریانس‌ها و توزیع نرمال مولفه‌های چهارگانه با آزمون لِوِن و بررسی همگنی شیب رگرسیون ارزیابی شد. نتایج این بررسی‌ها در جدول‌های ۵ و ۶ گزارش شده است.

جدول‌های ۵ و ۶ گویای آن است که واریانس مؤلفه های محیط، تقارن، مساحت و حجم در دو گروه با هم برابر بوده و با یکدیگر تفاوت معنی داری ندارند (Sig> ۰/۰۵)، که این یافته، پایایی نتایج بعدی را نشان می‌دهد.

نتایج تحلیل کوواریانس جهت بررسی سؤال فرعی اول پژوهش: آیا دانش‌آموزانی که در کارگاه‌های جئوجبرا شرکت کرده‌اند نسبت به دانش‌آموزان گروه کنترل در مبحث محیط عملکرد بهتری کسب کردند؟

جدول ۷ نشان می‌دهد در پس‌آزمون نمرات ریاضی مبحث محیط در گروه آزمایش (گروهی که با نرم‌افزار جئوجبرا آموزش دیدند) با نمرات ریاضی مبحث محیط در گروه کنترل، تفاوت معنی‌داری وجود دارد (F =۲۴/۰۹۴ ، سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵). در نتیجه می‌توان دریافت که دانش‌آموزانی که مداخله دریافت می‌کنند، نسبت به دیگر افراد، عملکرد بهتری داشتند. به‌طورکلی مشاهدات بیان می‌کند که آموزش با جئوجبرا بر بهبود عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان در مبحث محیطی بااندازهٔ اثر (۰/۳۰۱) تأثیرگذار است.

نتایج تحلیل کواریانس جهت بررسی سؤال فرعی دوم پژوهش: آیا دانش‌آموزانی که در کارگاه‌های جئوجبرا شرکت کرده‌اند نسبت به دانش‌آموزان گروه کنترل در مبحث تقارن عملکرد بهتری کسب کردند؟

در جدول ۸ ملاحظه می‌شود که پس آزمون نمرات ریاضی مبحث تقارن در گروه آزمایش با نمرات ریاضی تقارن در گروه کنترل تفاوت معنی‌داری وجود دارد (سطح معنی‌داری کمتر از ۰,۰۵). با توجه به F= ۳۰/۵۱۷ و (Sig<۰/۰۵)، می‌توان دریافت که دانش‌آموزانی که مداخله دریافت می‌کنند، نسبت به دیگر افراد، عملکرد بهتری داشتند. به‌طورکلی مشاهدات بیان می‌کند که آموزش با جئوجبرا بر بهبود عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان در مبحث محیط با اندازهٔ اثر (۰/۳۴۹) تأثیرگذار است.

نتایج تحلیل کواریانس جهت بررسی سؤال فرعی سوم پژوهش: آیا دانش آموزانی که در کارگاه های جئوجبرا شرکت کرده اند نسبت به دانش‌آموزان گروه کنترل در مبحث مساحت عملکرد بهتری کسب کردند؟

مطابق با جدول شمارهٔ ۹ و براساس F به‌دست‌آمده (۳۵/۷۷۷) و اندازهٔ اثر ۰/۳۹۰ در بخش گروه‌ها که مربوط به تفاوت گروه کنترل و آزمایشی یا کنترل اثر متغیر وابسته است، می‌توان گفت که تفاوت دو گروه در سطح کمتر از ۰/۰۵ معنادار بوده است. بنابراین، تفاوت نمرهٔ آزمودنی‌ها در پس‌آزمون مبحث مساحت ناشی از اثر نرم‌افزار آموزشی جئوجبراست. نتایج تحلیل کواریانس برای بررسی سؤال سوم پژوهش: دانش‌آموزان مشارکت‌کننده در آموزش مبتنی بر فناوری جئوجبرا در مقایسه با گروه کنترل، پیشرفت تحصیلی بیشتری در مبحث مساحت ریاضی پنجم دارند (جدول ۸).

جدول ۴: تست نرمالی بودن داده ها

Table 4: Tests of Normality

	Group گروه		Shapiro-Wilk شاپیرویلک		
			Statistic	Df	Sig.
Standardized Residual for محیط پش آزمون	Control کنترل		.962	30	.344
	Experimental آزمایش		.935	30	.068
Standardized Residual for تقارن پس آزمون	Control کنترل		.981	30	.849
	Experimental آزمایش		.934	30	.065
Standardized Residual for مساحت پس آزمون	Control کنترل		.960	30	.310
	Experimental آزمایش		.919	30	.025
Standardized Residual for حجم پس آزمون	Control کنترل		.971	30	.562
	Experimental آزمایش		.962	30	.349

جدول۵: تست لون برای بررسی همگنی واریانس ها

Table 5: Levene's Test for Assessing Homogeneity of Variances

	F آمارهF	df1 درجه آزادی بین گروهی	df2 درجه آزادی درون گروهی	Sig. سطح معناداری
Perimeter Post-test محیط پس آزمون	1.409	1	58	.240
Symmetry Post-test تقارن پس آزمون	.693	1	58	.409
Area Post-test مساحت پس آزمون	1.043	1	58	.311
Volume Post-test حجم پس آزمون	2.724	1	58	.104

جدول ۶: همگنی شیب خط رگرسیون برای بررسی همگنی واریانس ها

Table 6: Homogeneity of Regression Slopes for Assessing Homogeneity of Variances

	F	Df درجه آزادی	Sig. سطح معناداری	Partial Eta Squared اندازه اثر جزئی
Perimeter Post-test محیط پس آزمون	.565	1	.456	.01
Symmetry Post-test تقارن پس آزمون	.663	1	.419	.012
Area Post-test مساحت پس آزمون	.182	1	.671	.03
Volume Post-test حجم پس آزمون	.62	1	.804	.01

جدول۷: تحلیل کواریانس نمرات مبحث محیط در گروه های مورد مطالع

Table 7: Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: (Post-test environment)محیط پس آزمون

Source منبع تغییرات	Type III Sum of Squares	Df درجه آزادی	Mean Square میانگین مربعات	F آمارهF	Sig. سطح معناداری	Partial Eta Squared اندازه اثر جزئی
Corrected Model	24.333[a]	3	8.111	9.542	.000	.338
Intercept	537.920	1	537.920	632.847	.000	.919
Group	20.480	1	20.480	24.094	.000	.301
محیط پیش آزمون Post-test environment	2.253	1	2.253	2.651	.109	.045
Error	47.600	56	.850			
Total	752.000	60				
Corrected Total	71.933	59				

a. R Squared = .338 (Adjusted R Squared = .303)

جدول۸: تحلیل کواریانس نمرات مبحث تقارن در گروه های مورد مطالعه
Table 8: Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: تقارن پس آزمون (Post-test symmetry)

Source منبع تغییرات	Type III Sum of Squares	Df درجه آزادی	Mean Square میانگین مربعات	F آمارهF	Sig. سطح معناداری	Partial Eta Squared اندازه اثر جزئی
Corrected Model	30.337[a]	2	15.168	16.218	.000	.363
Intercept	451.717	1	451.717	482.956	.000	.894
Post-test symmetry تقارن پیش آزمون	2.320	1	2.320	2.481	.121	.042
Group	28.539	1	28.539	30.513	.000	.349
Error	53.313	57	.935			
Total	883.000	60				
Corrected Total	83.650	59				

a. R Squared = .363 (Adjusted R Squared = .340)

جدول۹: تحلیل کواریانس نمرات مبحث مساحت در گروه های مورد مطالعه
Table 9: Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: مساحت پس آزمون (Post-test area)

Source منبع تغییرات	Type III Sum of Squares	Df درجه آزادی	Mean Square میانگین مربعات	F آمارهF	Sig. سطح معناداری	Partial Eta Squared اندازه اثر جزئی
Corrected Model	34.052[a]	3	11.351	13.779	.000	.425
Intercept	587.145	1	587.145	712.756	.000	.927
Group	29.472	1	29.472	35.777	.000	.390
Post-test area مساحت پیش آزمون	.098	1	.098	.119	.732	.002
Error	46.131	56	.824			
Total	727.000	60				
Corrected Total	80.183	59				

a. R Squared = .425 (Adjusted R Squared = .394)

نتایج تحلیل کوواریانس جهت بررسی سؤال فرعی چهارم پژوهش: آیا دانش آموزانی که در کارگاه های جئوجبرا شرکت کرده اند نسبت به دانش آموزان گروه کنترل در مبحث حجم عملکرد بهتری کسب کردند؟

مطابق با جدول شمارهٔ ۱۰ و براساس F به‌دست‌آمده (۲۳/۲۵۴) و اندازهٔ اثر (۰/۳۱۱) در بخش گروه‌ها که مربوط به تفاوت گروه کنترل و آزمایشی یا کنترل اثر متغیر وابسته است، می‌توان گفت که تفاوت دو گروه در سطح کمتر از ۰/۰۵ معنادار بوده است. بنابراین، تفاوت نمرهٔ آزمودنی‌ها در پس آزمون حجم در ریاضی ناشی از اثر نرم‌افزار آموزشی جئوجبراست. نتایج تحلیل کواریانس برای بررسی سؤال چهارم پژوهش نشان داد دانش‌آموزان مشارکت‌کننده در آموزش مبتنی بر فناوری جئوجبرا در مقایسه با گروه کنترل، پیشرفت تحصیلی بیشتری در مبحث حجم ریاضی پنجم دارند (جدول ۱۰).

- *یافته‌های کیفی*

تحلیل مضمون مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با ۱۰ دانش‌آموز گروه آزمایش که پس از اتمام مداخلهٔ آموزشی ۲۱ جلسه‌ای با نرم‌افزار جئوجبرا انجام شد، شش مضمون اصلی را دربارهٔ تجربیات و دیدگاه‌های آن‌ها از یادگیری ریاضی در مباحث محیط، تقارن، مساحت و حجم آشکار کرد. این مضامین شامل جذابیت بصری و تعاملی جئوجبرا، تسهیل درک مفاهیم هندسی، افزایش انگیزه و نگرش مثبت، تقویت تعامل و همکاری گروهی، کاهش اضطراب ریاضی و چالش‌های فنی و کاربری بودند. هر مضمون با نقل‌قول‌هایی از دانش‌آموزان پشتیبانی شده و ارتباط آن با مباحث خاص ریاضی مشخص شده است. یافته‌ها به‌ترتیب تعداد ارجاعات (فراوانی ذکر در مصاحبه‌ها) ارائه شده‌اند تا اهمیت نسبی هر مضمون نشان داده شود. جدول ۱۰ خلاصه‌ای از مضامین، تعداد ارجاعات، ارتباط با مباحث و نمونه‌نقل‌قول‌ها را ارائه می‌دهد.

جذابیت بصری و تعاملی جئوجبرا: جذابیت بصری به‌عنوان عامل کلیدی در یادگیری و در پژوهش‌های متعددی بررسی شده است. این ویژگی‌ها از طریق تحریک توجه، افزایش انگیزه و تسهیل پردازش اطلاعات، یادگیری را بهبود می‌بخشند. این اثر در دانش‌آموزانی با سطح متوسط و پایین بارزتر است. جذابیت بصری ابزارهای چندرسانه‌ای،مانند تصاویر رنگی و انیمیشن‌ها، می‌تواند توجه دانش‌آموزان را جلب کند و درک مفاهیم پیچیده را تسهیل کند[۳۱].

جدول ۱۰: تحلیل کواریانس نمرات مبحث حجم در گروه های مورد مطالعه
Table 10: Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: (Post-test volume)حجم پس آزمون

Source منبع تغییرات	Type III Sum of Squares	Df درجه آزادی	Mean Square میانگین مربعات	F آمارهF	Sig. سطح معناداری	Partial Eta Squared اندازه اثر جزئی
Corrected Model	27.905[a]	3	9.302	9.888	.000	.346
Intercept	624.446	1	624.446	663.818	.000	.922
group	21.875	1	21.875	23.254	.000	.293
Post-test volume حجم پیش آزمون	5.030	1	5.030	5.347	.024	.087
Error	52.679	56	.941			
Total	781.000	60				
Corrected Total	80.583	59				

a. R Squared = .346 (Adjusted R Squared = .311)

بااین‌حال، طراحی بصری باید متعادل باشد تا از حواس‌پرتی جلوگیری شود. انیمیشن‌های متحرک و تصاویر رنگی در جئوجبرا، مشابه ابزارهای چندرسانه‌ای، به درک بهتر مفاهیم هندسی مانند تقارن و حجم کمک می‌کنند. بر اساس یافته‌های مصاحبه‌های کیفی، جذابیت بصری و تعاملی نرم‌افزار جئوجبرا تأثیر قابل‌توجهی بر یادگیری دانش‌آموزان داشته است. ده دانش‌آموز گزارش کردند که ویژگی‌های گرافیکی و تعاملی جئوجبرا، از جمله تصاویر رنگی، انیمیشن‌های متحرک و امکان دست‌کاری اشکال، یادگیری را برای آن‌ها لذت‌بخش‌تر و جذاب‌تر کرده است. این ویژگی‌ها به‌ویژه در مباحث هندسی، مانند تقارن، حجم و مساحت برجسته بودند و یادگیری را به تجربه‌ای بازی‌گونه تبدیل کردند. برای مثال، یکی از دانش‌آموزان اظهار داشت: «وقتی تو جئوجبرا شکل‌ها رو می‌چرخوندم و رنگشون عوض می‌شد، دلم می‌خواست بیشتر تقارن رو امتحان کنم.» دیگری افزود: «مکعب‌های سه‌بعدی تو جئوجبرا خیلی قشنگ بود؛ انگار بازی می‌کردم.» دانش‌آموز دیگری نیز اشاره کرد: «وقتی رنگ‌ها عوض می‌شن یا شکل حرکت می‌کند، بیشتر توجه می‌کنم. به‌جوری قشنگ‌تر یاد می‌گیرم.» این یافته‌ها نشان می‌دهند که جذابیت بصری جئوجبرا نه‌تنها توجه و انگیزهٔ دانش‌آموزان را افزایش داده، بلکه درک مفاهیم پیچیدهٔ هندسی را نیز تسهیل کرده است.

تسهیل درک مفاهیم هندسی: جئوجبرا مهارت یادگیری و اثبات قضایای هندسی را بهبود می‌بخشد و به‌دلیل نمایش پویای اشکال هندسی، درک مفاهیم انتزاعی (مانند روابط بین اشکال) را تسهیل می‌کند[۳۲]. استفاده از اپلت‌های جئوجبرا در آموزش ریاضی، هنگامی که با روش‌های آموزشی مناسب (مثل کاوشگری) ترکیب شود، درک مفاهیم را بهبود می‌بخشد[۳۳]. دانش‌آموزان با این ابزار توانستند روابط هندسی را به‌صورت شهودی کشف کنند؛ مثلاً با چرخاندن اشکال یا تغییر پارامترها[۳۵]. این ابزار در آموزش مفاهیم هندسی پایه (مانند زوایا و تقارن) به دانش‌آموزان کمک می‌کند تا با آزمایش و خطا، روابط هندسی را بهتر درک کنند و بدفهمی‌های رایج (مانند درک نادرست از محور تقارن) را کاهش می‌دهد[۳۶]. جئوجبرا با فراهم‌کردن محیطی پویا برای آزمایش، یادگیری کاوشگری را در هندسه ترویج می‌دهد. دانش‌آموزان با تغییر پارامترها (مثل طول اضلاع یا زوایا) و مشاهدهٔ نتایج، روابط هندسی را کشف کردند که به درک عمیق‌تر مفاهیم منجر شد[۳۷].

عناصر بصری می‌توانند بارشناختی را کاهش دهند و یادگیری را با ایجاد انگیزه و تمرکز بهبود ببخشند. اصل طراحی چندرسانه‌ای مایر[۳۸] تأکید می‌کند که عناصر بصری باید با محتوای آموزشی هم‌راستا باشند. این عناصر همراه با اطلاعات کلامی، پردازش‌شناختی را تقویت می‌کند؛ زیرا مغز از دو کانال (بصری و کلامی) برای یادگیری استفاده می‌کند. جذابیت بصری می‌تواند حافظه و درک را بهبود ببخشد[۳۴]. جئوجبرا به‌دلیل ویژگی‌های بصری و تعاملی مانند نمایش پویای اشکال و امکان آزمایش، درک دانش‌آموزان از مفاهیم هندسی را بهبود می‌بخشد و انگیزهٔ آن‌ها را افزایش می‌دهد؛ به‌ویژه در مباحث تقارن و حجم[۳۵]. ده دانش‌آموز گزارش کردند که ابزارهای بصری و تعاملی جئوجبرا به درک عمیق‌تر مفاهیم انتزاعی، به‌ویژه در مباحث تقارن و حجم کمک کرده است. برای مثال، یکی از دانش‌آموزان اظهار داشت: «قبلاً مفهوم محور تقارن را درک نمی‌کردم؛ اما با جئوجبرا توانستم محور را ترسیم کنم و تغییرات شکل را مشاهده کنم.» در موضوع حجم، دانش‌آموزی بیان کرد: «با جئوجبرا مکعب را باز کردم و تعداد مربع‌های تشکیل‌دهنده آن را دیدم که به درک مفهوم حجم کمک کرد.» همچنین، انیمیشن‌های جئوجبرا درک مفاهیم را تسهیل کرده است. یکی از دانش‌آموزان گفت: «انیمیشنی که تغییرات مساحت

را نشـان می‌داد، به من کمک کرد بفهمم چرا با افزایش ضلع، مساحت افزایش می‌یابد.» دانش‌آموز دیگری افزود: «ترسیم مربع و تبدیل آن به مکعب در جئوجبرا باعث شـد تفاوت بین این دو را درک کنم.» علاوه بر این، دانش‌آموزی اظهار داشت: «مشاهدهٔ تبدیل مستطیل به جعبه با افزودن عمق برایم جـذاب بود و مفهوم حجم را بهتر فهمیدم.» دیگری گفت: «با ترسـیم‌محور تقارن و چرخاندن شکل، متوجه شدم دو طرف مانند آینه عمل می‌کنند؛ قبلاً فقط تعریف آن را حفظ کرده بودم.»

افزایش انگیزه و نگرش مثبت: نرم‌افزارهای آموزشـی با ایجاد محیطی تعاملی و بازی‌گونه، انگیزهٔ دانش‌آموزان را افزایش می‌دهند. اسـتفاده از بـازی‌هـای آموزشـی مبتنی بر نرم‌افزار در درس ریـاضـی، نگرش دانش‌آموزان را دربارهٔ این درس بهبود بخشـیده و انگیزهٔ آن‌ها را برای یادگیری افزایش داده اسـت[۳۸]. جئوجبرا به‌دلیل قابلیت بصری‌سازی مفاهیم پیچیدهٔ ریاضـی، مانند هندسـه و حجم، به دانش‌آموزان کمک می‌کند تا درک عمیق‌تری از مطالب داشـته باشـند و نگرش مثبت‌تری دربارهٔ ریاضی پیدا کنند. دانش‌آموزان با استفاده از جئوجبرا در مباحث هندسـه، احسـاس موفقیت بیشـتری داشـتند و این امر انگیزهٔ آن‌ها را برای ادامهٔ یادگیری افزایش داد[۳۲]. چندرسـانه‌ای‌های آموزشی برای دانش‌آموزان کم‌توان ذهنی، انگیزه و مشـارکـت در درس ریاضـی را افزایش داده اسـت. آن‌ها با افزایش مشارکت و جلب‌توجه دانش‌آموزان، انگیزهٔ پیشـرفت تحصیلی و نگرش مثبت آن‌ها را تقویت کرده‌اند[۳۹]. استفاده از نرم‌افزارهای آموزشی در مدارس هوشمند، انگیزهٔ پیشرفت و نگرش مثبت دانش‌آموزان را در مقایسـه با یادگیری افزایش می‌دهد. دانش‌آموزان در مدارس هوشـمند، به‌دلیل دسـترسـی به ابزارهای دیجیتال مانند نرم‌افزارهای آموزشـی، انگیزهٔ بیشـتری برای یادگیری نشـان دادند و نگرش مثبت‌تری دربارهٔ درس ریاضـی داشـتند. آموزش مبتنی بر گیمی‌فیکیشـن (بازی‌گونه‌سـازی) با اسـتفاده از نرم‌افزارهای آموزشـی، انگیزهٔ درونی و بیرونی دانش‌آموزان را بـه‌طور معنـاداری افزایش داده است. این روش، با ایجاد رقابت سالم و پاداش‌های مجازی، نگرش دانش‌آموزان را دربارهٔ درس ریاضـی بهبود بخشیده و آن‌ها را به مشارکت فعال‌تر تشویق کرده است. این رویکرد به‌ویژه در دانش‌آموزانی کـه پیش‌تر انگیزهٔ پایینی داشـتند، اثرات مثبت بیشـتری داشـته است[۴۰].

پژوهش حـاضـر با پژوهش آکتاس[۴۲] در رابطه با تأثیر جئوجبرا بر انگیزهٔ دانش‌آموزان هم‌راستاست و استفاده از جئوجبرا به‌دلیل جذابیت بصری و تعاملی، انگیزه و نگرش مثبت دانش‌آموزان نسبت به ریاضیات را افزایش می‌دهد. این اثر در دانش‌آموزانی با سـطح متوسـط و پایین بارزتر است. این عوامل می‌توانند حافظه و درک را بهبود ببخشند[۴۳]. گزارش‌های هشت دانش‌آموز نشان‌دهندهٔ تأثیر مثبت این ابزار بر انگیزه و نگرش آن‌هـا، بـه‌ویژه در میـان دانش‌آموزانی با عملکرد متوسـط و پـایین، اسـت. این ویژگی‌ها یادگیری را از فعالیتی خسـته‌کننده به فراینـدی پویـا و لـذت‌بخش تغییر داده‌انـد. یکی از دانش‌آموزان اظهار داشـت: «ریاضـی قبلاً خسته‌کننده بود؛ ولی با جئوجبرا دوست داشتم زودتر کلاس بعـدی بشـه.» این بیـان نشـان‌دهندهٔ تغییر نگرش از بی‌علاقگی به اشتیاق برای یادگیری است که جئوجبرا با محیط تعاملی خود ایجاد کرده است. دانش‌آموز دیگری تجربهٔ خود را این‌گونه توصیف کرد: «وقتی مسـاحت رو تو جئوجبرا حسـاب می‌کردم، حس می‌کردم دارم یـه پـازل حـل می‌کنم.» این تشـبیـه به پازل، جذابیت و حس موفقیت ناشـی از حل مسـائل را در محیط جئوجبرا نشـان می‌دهد. جئوجبرا همچنین با شـبیه‌سـازی بازی، یادگیری مفاهیم پیچیده‌تر مـانـنـد حجم را لذت‌بخش کرده اسـت. به‌گفتهٔ یکی از دانش‌آموزان: «وقتی با جئوجبرا حجم مکعب رو کشیدم و تغییرش دادم، حس کردم دارم بازی می‌کنم، نه ریاضـی! دیگه ازش خسـته نمی‌شم.» این تجربه بازی‌گونه، خسـتگی و اضطراب مرتبط با مفاهیم انتزاعی را کاهش داده و یادگیری را به فعالیتی سرگرم‌کننده تبدیل کرده است. علاوه بر این، قابلیت تغییر پویا و مشـاهدهٔ نتایج فوری در جئوجبرا، درک مفاهیم را تسـهیل کرده اسـت. دانش‌آموزی بیان کرد: «وقتی تغییر می‌دم اندازه ضـلعو، فوری محیطش عوض می‌شـه. اینجوری سریع می‌فهمم چی به چیها!» این بازخورد فوری، درک شـهودی از روابط ریاضـی را تقویت می‌کند و انگیزهٔ دانش‌آموزان را برای ادامهٔ کار افزایش داده است.

تقویـت تعـامـل و همکـاری گروهی: نرم‌افزارهـای ریـاضـی بـا ایجاد محیط‌های شـبیه‌سازی‌شده، فضایی برای گفت‌وگو و تبادل ایده فراهم کردنـد کـه تعـاملات اجتمـاعی و یـادگیری مشـارکتی را بهبود می‌بخشـد[۴۴]. استفاده از چندرسانه‌ای‌های آموزشی در درس ریاضی، همکـاری گروهی دانش‌آموزان، بـه‌ویژه در میـان دانش‌آموزان کم‌توان ذهنی، را بـه‌طور معنـاداری افزایش می‌دهـد[۴۰]. فعالیت‌های گروهی مبتنی بر جئوجبرا، دانش‌آموزان را بـه اشـتراک‌گـذاری ایده‌ها و حل مسـائل مشـترک تشـویق می‌کند و با ایجاد فضـایی برای بازخورد هم‌سـالان، مهـارت‌هـای اجتمـاعی مـانـنـد گوش‌دادن فعـال و ارائـهٔ پیشنهادهای سازنده را در دانش‌آموزان تقویت می‌کند[۴۵]. این برنامه با طراحی فعالیت‌های گروهی، مانند ترسیم اشکال سه‌بعدی، همکاری، مسئولیت‌پذیری جمعی در دانش‌آموزان،[۴۶] رقابت‌های دوستانه[۴۷] و حس خودکـارآمـدی گروهی[۴۸] را افزایش می‌دهـد و از سـویی مهـارت‌هـای ارتباطی و همکاری متقابل دانش‌آموزان را از طریق تبادل بازخورد و بحث‌های گروهی بهبود می‌بخشد. باید در نظر داشت نظارت معلم در این فراینـد نقش کلیـدی دارد[۴۹]. فعـالیـت‌های گروهی در نرم‌افزار جئوجبرا به‌عنوان ابزاری مؤثر برای تقویت همکاری و یادگیری مشـارکتی میان دانش‌آموزان شناخته شده است. بررسی اظهارات هفت دانش‌آموز نشـان‌دهنـدهٔ تأثیر مثبت این فعالیت‌ها، به‌ویژه در مباحث محیط و مسـاحـت، بوده اسـت. این فعـالیت‌ها که اغلب به‌صـورت پروژه‌هـای گروهی طراحی شـده‌اند، نه‌تنها درک مفاهیم ریاضـی را تسـهیـل کرده‌انـد، بلکه مهارت‌های همکاری و تعامل اجتماعی را نیز تقویـت کرده‌انـد. یکی از دانش‌آموزان اظهار داشـت: «با دوسـتم تو جئوجبرا یه پارک طراحی کردیم و محیطش رو حسـاب کردیم. با هم خیلی خوش گذشت.» این تجربه نشان‌دهندهٔ لذت‌بخش‌بودن یادگیری

در محیطی تعاملی و خلاق است. دانش‌آموز دیگری بیان کرد: «وقتی مساحت شکل‌ها رو با هم درست می‌کردیم، به هم کمک می‌کردیم.» این همکاری به دانش‌آموزان امکان داد از یکدیگر یاد بگیرند و نقاط ضعف خود را برطرف کنند. همچنین، فعالیت‌های گروهی فرصتی برای یادگیری دوسویه فراهم کرده است. به‌گفتهٔ یکی از دانش‌آموزان: «یه بار دوستم یادم داد چجوری تقارن بکشم. بعداً منم به یکی دیگه یاد دادم مساحتو حساب کنه.» این فرایند انتقال دانش، یادگیری فعال و مسئولیت‌پذیری را در میان دانش‌آموزان ترویج داده است. علاوه بر این، ساختار پروژه‌های گروهی به‌گونه‌ای بوده که مشارکت همهٔ اعضا را تضمین کرده است. یکی از دانش‌آموزان اشاره کرد: «خانوم گفته بود هرکی باید یه کاری انجام بده. این‌جوری همه مشارکت‌داشتن و کار راحت‌تر بود.» این تقسیم وظایف نه‌تنها بار کاری را سبک‌تر کرده، بلکه حس مسئولیت جمعی را نیز تقویت کرده است.

کاهش اضطراب ریاضی: اضطراب ریاضی به‌عنوان یک پدیدهٔ روان‌شناختی که عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان را مختل می‌کند، موضوع مطالعات متعددی بوده است. فعالیت‌های گروهی در جئوجبرا، به‌ویژه در مباحثی مانند محیط و مساحت، نه‌تنها یادگیری را تقویت می‌کند، بلکه اضطراب ریاضی را نیز کاهش می‌دهد. دانش‌آموزان در این فعالیت‌ها از طریق همکاری و تعامل، اعتمادبه‌نفس بیشتری پیدا کردند و از اشتباه کمتر می‌هراسند[۵۰]. جئوجبرا با بصری‌سازی مفاهیم ریاضی، اضطراب دانش‌آموزان را در مواجهه با مباحث پیچیده کاهش می‌دهد؛ اما نیازمند استفادهٔ هدفمند است[۱۸]. ترکیب جئوجبرا با روش کلاس معکوس، با افزایش درگیری فعال دانش‌آموزان در یادگیری، اضطراب ریاضی را به‌طور چشمگیری کاهش داده است[۴۹] و با ایجاد محیطی تعاملی و غیرقضاوت‌گر، اضطراب ریاضی دانش‌آموزان را کاهش و با امکان آزمایش و اصلاح اشتباهات به دانش‌آموزان اعتمادبه‌نفس بیشتری می‌دهد[۵۰]. گزارش‌های شش دانش‌آموز نشان‌دهندهٔ نقش این نرم‌افزار در ایجاد تجربه‌ای جذاب و کم‌استرس در یادگیری ریاضی است.

یکی از دانش‌آموزان اظهار داشت: «قبلاً از حجم می‌ترسیدم، ولی تو جئوجبرا چون خودم شکل رو می‌ساختم، راحت‌تر بود.» این تجربه نشان می‌دهد که امکان ساخت و دستکاری اشکال سه‌بعدی در جئوجبرا به درک بهتر مفاهیم و کاهش ترس از مباحث پیچیده کمک کرده است. دانش‌آموز دیگری افزود: «با جئوجبرا اشتباه می‌کردم، ولی چون می‌تونستم دوباره امتحان کنم، استرس نداشتم.» این ویژگی جئوجبرا، که به دانش‌آموزان اجازه می‌دهد بدون ترس از قضاوت اشتباه کنند و اصلاحات لازم را انجام دهند، اضطراب مرتبط با یادگیری را به‌طور چشمگیری کاهش داده است. جئوجبرا یادگیری را به تجربه‌ای بازی‌گونه و لذت‌بخش تبدیل کرده است. یکی از دانش‌آموزان بیان کرد: «مثل بازی می‌مونه، با شکل‌ها بازی می‌کنی و یاد می‌گیری. خسته نمی‌شی.» این جذابیت بصری و تعاملی، خستگی ناشی از روش‌های سنتی را کاهش داده و انگیزه یادگیری را افزایش داده است. علاوه بر این، جئوجبرا به دانش‌آموزان کمک کرده تا مفاهیم انتزاعی را به‌صورت ملموس درک کنند. به گفته یکی از دانش‌آموزان: «قبلاً فقط فرمول حفظ می‌کردیم. حالا می‌فهمم مساحت یعنی چند تا مربع جا می‌شن توی شکل.» این درک شهودی از مفاهیم، جایگزین حفظیات شده و یادگیری را معنادارتر کرده است. در مقایسه با روش‌های سنتی کلاس درس، جئوجبرا فضایی پویا و فعال برای یادگیری فراهم کرده است. دانش‌آموزی اظهار داشت: «تو کلاس فقط می‌نوشتیم و گوش می‌دادیم، ولی با جئوجبرا خودم شکل می‌کشم، هیجان داره.» این فعالیت عملی و خلاقانه، دانش‌آموزان را از حالت منفعل خارج کرده و آن‌ها را به مشارکت فعال در فرآیند یادگیری تشویق کرده است. به‌طور کلی، جئوجبرا با ایجاد محیطی تعاملی، بصری و کم‌فشار، نه‌تنها اضطراب ریاضی را کاهش داده، بلکه یادگیری مفاهیم پیچیده مانند حجم و مساحت را جذاب‌تر و مؤثرتر کرده است. این ابزار با جایگزینی روش‌های سنتی با تجربه‌ای بازی‌گونه و خلاق، به دانش‌آموزان کمک کرده تا با اعتمادبه‌نفس بیشتری به یادگیری ریاضی بپردازند.

چالش‌های فنی و کاربری: یکی از موانع اصلی استفاده از جئوجبرا، کمبود مهارت معلمان در کار با این نرم‌افزار است. پژوهشی نشان داد که برخی معلمان به‌دلیل ناآشنایی با جئوجبرا، قادر به استفاده از آن در تدریس نبودند و این موضوع مانع اجرای روش‌های نوین آموزشی شد[۳۲]. همچنین، دانش‌آموزان بدون آموزش کافی ممکن است در استفاده از ابزارهای پیشرفتهٔ جئوجبرا، مانند رسم نمودارهای پیچیده یا کار با محیط سه‌بعدی، دچار سردرگمی شوند. مطالعات[۱۹] نشان دادند که ناآشنایی اولیهٔ دانش‌آموزان با رابط کاربری جئوجبرا، به‌ویژه در جلسات اولیه، می‌تواند یادگیری را کندتر کند. موفقیت جئوجبرا به نحوهٔ طراحی فعالیت‌ها توسط معلم بستگی دارد. اگر فعالیت‌ها به‌درستی هدایت نشوند، ممکن است دانش‌آموزان از ابزار به‌صورت سطحی استفاده کنند. کلارک ویلسون و هویلز[۵۲] به موانعی مانند مشارکت نابرابر در گروه‌ها یا نیاز به مهارت‌های اولیهٔ کار با جئوجبرا اشاره کردند. طراحی مناسب فعالیت‌ها و نظارت معلم برای رفع این چالش‌ها ضروری است.

موفقیت جئوجبرا در تقویت همکاری گروهی به آموزش معلمان و طراحی دقیق فعالیت‌های گروهی وابسته است. جئوجبرا در بصری‌سازی مفاهیم قوی است؛ اما در برخی موارد ممکن است به بدفهمی منجر شود. برای مثال، پژوهشی در زمینهٔ توابع مثلثاتی نشان داد که استفاده از جئوجبرا در آموزش مفهوم زاویهٔ مثلثاتی، به‌دلیل نمایش‌های بصری نادرست، بدفهمی‌هایی را در دانش‌آموزان ایجاد کرد. همچنین، در مباحثی مانند مقیاس زاویه که نیازمند محاسبات ریاضی هستند، جئوجبرا تأثیر چندانی در رفع بدفهمی‌ها نداشت[۱۹]. در ایران، فیلترینگ برخی پلتفرم‌های مرتبط با جئوجبرا، مانند دسترسی به دوره‌های آنلاین یا به‌روزرسانی نرم‌افزار، مشکلاتی ایجاد کرده است. بسیاری از مدارس، به‌ویژه در مناطق محروم، فاقد رایانه یا تجهیزات کافی برای اجرای جئوجبرا هستند. این موضوع باعث شده که استفاده

از این نرم‌افزار به کلاس‌های حضوری یا آنلاین مجهز محدود شود[۳۲]. گزارش‌های پنج دانش‌آموز نشان‌دهندهٔ مشکلات فنی و کاربری در جلسات اولیهٔ استفاده از این نرم‌افزار است که به‌ویژه در میان دانش‌آموزانی با تجربهٔ کمتر در فناوری پررنگ‌تر بوده است. این چالش‌ها شامل ناآشنایی با ابزارها، پیچیدگی رابط کاربری، کندی سیستم و محدودیت‌های دسترسی به تجهیزات و اینترنت می‌شود. یکی از مشکلات اصلی، ناآشنایی اولیه با ابزارهای جئوجبرا بود. دانش‌آموزی اظهار داشت: «اولش نمی‌دونستم چطور تو جئوجبرا زاویه بکشم؛ ولی بعد از چند جلسه بهتر شد.» این نشان می‌دهد که منحنی یادگیری جئوجبرا برای برخی دانش‌آموزان در ابتدا دشوار است؛ اما با تمرین و تکرار قابل‌حل می‌شود. بااین‌حال، پیچیدگی رابط کاربری برای برخی دیگر مانعی جدی‌تر بود. به‌گفتهٔ یکی از دانش‌آموزان: «دوستم سریع می‌رفت جلو، ولی من هی گم می‌شدم توی برنامه، نمی‌تونستم مثلش برم جلو.» این تفاوت در سرعت یادگیری، به‌ویژه در میان دانش‌آموزانی با مهارت‌های فناوری کمتر، احساس ناکامی را تشدید کرده است.

مشکلات فنی نیز تجربهٔ کاربری را تحت‌تأثیر قرار داده‌اند. دانش‌آموزی گزارش داد: «بعضی وقت‌ها برنامه کند بود و شکل‌ها دیر می‌اومد.» این کندی سیستم که ممکن است به سخت‌افزار قدیمی یا اینترنت ضعیف مربوط باشد، تمرکز دانش‌آموزان را مختل کرده است. همچنین، یکی از دانش‌آموزان تجربه‌ای ناامیدکننده را شرح داد: «یه بار وسط کار اینترنت قطع شد، همه‌چی پرید. مجبور شدم از اول شروع کنم.» این مشکل نشان‌دهندهٔ وابستگی جئوجبرا به اتصال پایدار اینترنت در نسخه‌های آنلاین است که در صورت قطعی، پیشرفت کار را مختل می‌کند. علاوه بر این، محدودیت‌های دسترسی به تجهیزات مناسب چالش دیگری بوده است. یکی از دانش‌آموزان اظهار داشت: «من خونه لپ‌تاپ ندارم، فقط توی مدرسه می‌تونستم باهاش کار کنم.» این موضوع نشان‌دهندهٔ نابرابری در دسترسی به فناوری است که فرصت تمرین خارج از مدرسه را محدود می‌کند. به‌طور مشابه، دانش‌آموز دیگری گفت: «تو تبلت خواهرم اجرا نشد، فقط با کامپیوتر مدرسه می‌شد کار کرد.» این ناسازگاری با دستگاه‌های مختلف، استفاده از جئوجبرا را برای برخی دانش‌آموزان دشوار کرده است.

جدول ۱۱: مضامین استخراج‌شده از مصاحبه‌های کیفی
Table 11: Themes Extracted from Qualitative Interviews

شواهد (نقل‌قول دانش‌آموزان) Evidence (Student Quotes)	توضیح مختصر Brief Description	زیرمضمون Subtheme	مضمون اصلی Main Theme
وقتی تو جئوجبرا شکل‌ها رو می‌چرخوندم و رنگشون عوض می‌شد، دلم می‌خواست بیشتر تقارن رو امتحان کنم. When I rotated shapes in GeoGebra and their colors changed, I wanted to explore symmetry more.	ویژگی‌های گرافیکی و تعاملی جئوجبرا توجه و انگیزه دانش‌آموزان را افزایش می‌دهد. GeoGebra's graphical and interactive features increase students' attention and motivation.	تحریک توجه و افزایش انگیزه Stimulating Attention and Increasing Motivation	جذابیت بصری و تعاملی جئوجبرا Visual and Interactive Appeal of GeoGebra
مکعب‌های سه‌بعدی تو جئوجبرا خیلی قشنگ بود، انگار بازی می‌کردم. The 3D cubes in GeoGebra were so cool, it felt like I was playing a game.	انیمیشن‌ها و تصاویر رنگی درک مفاهیم هندسی مانند تقارن و حجم را آسان‌تر می‌کنند Animations and colorful visuals make understanding geometric concepts like symmetry and volume easier.	تسهیل درک مفاهیم پیچیده Facilitating Understanding of Complex Concepts	
وقتی رنگ‌ها عوض می‌شن یا شکل حرکت می‌کنه، بیشتر توجه می‌کنم. یه‌جوری قشنگ‌تر یاد می‌گیرم. When colors change or shapes move, I pay more attention. It makes learning more fun.	یادگیری با جئوجبرا به فعالیتی لذت‌بخش و شبیه بازی تبدیل می‌شود. Learning with GeoGebra becomes an enjoyable, game-like activity.	تجربه بازی‌گونه Game-like Experience	
با جئوجبرا مکعب را باز کردم و تعداد مربع‌های تشکیل‌دهنده آن را دیدم، که به درک مفهوم حجم کمک کرد. With GeoGebra, I unfolded a cube and saw the number of squares it was made of, which helped me understand volume.	نمایش پویای اشکال به درک تقارن و حجم کمک می‌کند. Dynamic shape displays help understand symmetry and volume.	بهبود درک مفاهیم انتزاعی Improving Understanding of Abstract Concepts	تسهیل درک مفاهیم هندسی Facilitating Understanding of Geometric Concepts
پیش‌تر مفهوم محور تقارن را درک نمی‌کردم، اما با جئوجبرا توانستم محور را ترسیم کرده و تغییرات شکل را مشاهده کنم. I didn't understand the axis of symmetry before, but with GeoGebra, I could draw the axis and observe shape changes.	جئوجبرا بدفهمی‌ها (مثل محور تقارن) را کاهش می‌دهد. GeoGebra reduces misconceptions (e.g., about the axis of symmetry).	کاهش بدفهمی‌های رایج Reducing Common Misconceptions	

شواهد (نقل‌قول دانش‌آموزان) Evidence (Student Quotes)	توضیح مختصر Brief Description	زیرمضمون Subtheme	مضمون اصلی Main Theme
انیمیشنی که تغییرات مساحت را نشان می‌داد، به من کمک کرد بفهمم چرا با افزایش ضلع، مساحت افزایش می‌یابد. An animation showing area changes helped me understand why increasing a side increases the area.	امکان آزمایش و تغییر پارامترها یادگیری شهودی را تقویت می‌کند. The ability to experiment and change parameters enhances intuitive learning.	ترویج یادگیری کاوشگری Promoting Inquiry-Based Learning	
ریاضی قبلاً خسته‌کننده بود، ولی با جئوجبرا دوست داشتم زودتر کلاس بعدی بشه. Math used to be boring, but with GeoGebra, I looked forward to the next class.	جئوجبرا یادگیری را از حالت خسته‌کننده به فرایندی جذاب تبدیل می‌کند. GeoGebra transforms learning from boring to engaging.	محیط تعاملی و بازی‌گونه Interactive and Game-like Environment	افزایش انگیزه و نگرش مثبت Increasing Motivation and Positive Attitude
وقتی مساحت رو تو جئوجبرا حساب می‌کردم، حس می‌کردم دارم یه پازل حل می‌کنم. When I calculated area in GeoGebra, it felt like solving a puzzle.	استفاده از جئوجبرا نگرش مثبت به ریاضی را تقویت می‌کند. Using GeoGebra fosters a positive attitude toward math.	بهبود نگرش نسبت به ریاضی Improving Attitude Toward Mathematics	
وقتی با جئوجبرا حجم مکعبو کشیدم و تغییرش دادم، حس کردم دارم بازی می‌کنم، نه ریاضی! When I drew and modified a cube's volume in GeoGebra, it felt like a game, not math!	حس موفقیت در حل مسائل انگیزه دانش‌آموزان را افزایش می‌دهد. A sense of achievement in solving problems boosts students' motivation.	تقویت حس موفقیت Enhancing Sense of Achievement	
با دوستم تو جئوجبرا یه پارک طراحی کردیم و محیطش رو حساب کردیم، با هم خیلی خوش گذشت. My friend and I designed a park in GeoGebra and calculated its perimeter; it was so much fun together.	فعالیت‌های گروهی در جئوجبرا همکاری و تبادل ایده‌ها را تقویت می‌کند. Group activities in GeoGebra enhance collaboration and idea exchange.	افزایش همکاری و یادگیری مشارکتی Increasing Collaboration and Cooperative Learning	تقویت تعامل و همکاری گروهی Enhancing Interaction and Group Collaboration
یه بار دوستم یادم داد چجوری تقارن بکشم. بعداً منم به یکی دیگه یاد دادم مساحت رو حساب کنه. Once, my friend taught me how to draw symmetry. Later, I taught someone else how to calculate area.	پروژه‌های گروهی مهارت‌های ارتباطی و مسئولیت‌پذیری را بهبود می‌بخشد. Group projects improve communication and responsibility skills.	تقویت مهارت‌های اجتماعی Enhancing Social Skills	
با جئوجبرا اشتباه می‌کردم، ولی چون می‌تونستم دوباره امتحان کنم، استرس نداشتم. I made mistakes in GeoGebra, but since I could try again, I wasn't stressed.	جئوجبرا با امکان آزمایش و اصلاح اشتباهات، اضطراب را کاهش می‌دهد. GeoGebra's low-pressure, interactive environment reduces anxiety.	محیط کم‌فشار و تعاملی Low-Pressure and Interactive Environment	کاهش اضطراب ریاضی Reducing Math Anxiety
قبلاً فقط فرمول حفظ می‌کردیم. حالا می‌فهمم مساحت یعنی چند تا مربع جا می‌شن توی شکل. Before, we just memorized formulas. Now I understand that area means how many squares fit in a shape.	درک ملموس مفاهیم، اضطراب مرتبط با حفظیات را کاهش می‌دهد. Tangible understanding of concepts reduces anxiety related to rote memorization.	جایگزینی یادگیری حفظی با درک شهودی Replacing Rote Learning with Intuitive Understanding	
اولش نمی‌دونستم چطور تو جئوجبرا زاویه بکشم. اوایل خیلی برام سخت بود اصلاً نمی‌فهمیدم چی‌کار کنم. At first, I didn't know how to draw an angle in GeoGebra. It was really hard, and I didn't understand what to do.	پیچیدگی اولیه جئوجبرا برای برخی دانش‌آموزان چالش‌برانگیز است. GeoGebra's initial complexity can be challenging for some students.	ناآشنایی اولیه با رابط کاربری Initial Unfamiliarity with the Interface	چالش‌های فنی و کاربری Technical and Usability Challenges
بعضی وقت‌ها برنامه کند بود و شکل‌ها دیر می‌اومد. Sometimes the program was slow, and shapes took a while to load.	کندی سیستم و قطعی اینترنت تجربه کاربری را مختل می‌کند. System slowness and internet issues disrupt the user experience.	مشکلات فنی Technical Issues	
من خونه کامپیوتر ندارم، فقط تو مدرسه می‌تونستم باهاش کار کنم. I don't have a computer at home, so I could only use it at school.	کمبود تجهیزات و اینترنت یادگیری را محدود می‌کند. Limited access to equipment and internet restricts learning.	محدودیت دسترسی به تجهیزات Limited Access to Equipment	

بحث و نتیجه‌گیری

ادغام فناوری در کلاس‌های درس به‌دلیل پتانسیل آن در بهبود عملکرد تحصیلی، افزایش انگیزه و کاهش اضطراب یادگیری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. فناوری‌های پویا مانند جئوجبرا، با ارائهٔ محیط‌های تعاملی و بصری، درک مفاهیم پیچیده را تسهیل می‌کنند و یادگیری را به تجربه‌ای جذاب و معنادار تبدیل می‌کنند[۵۳]. این ابزارها، به‌ویژه در آموزش ریاضی، با تقویت مهارت‌های شناختی و تصورات فضایی، به دانش‌آموزان کمک می‌کنند تا از روش‌های سنتی حفظ‌محور به‌سمت یادگیری مفهومی حرکت کنند[۵۴].

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهند که استفاده از مدل TPACK همراه با نرم‌افزار جئوجبرا تأثیر چشمگیری بر بهبود عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان پایهٔ پنجم ابتدایی در مباحث هندسی ریاضی، یعنی تقارن، محیط، مساحت و حجم تأثیر چشمگیری داشته است. در بخش کمّی، تحلیل کوواریانس تفاوت معناداری بین گروه آزمایش و کنترل، با اندازهٔ اثر متوسط تا بالا(η^2 بین ۰/۲۹۳ تا ۰/۳۹۰) نشان داد. این نتایج با پژوهش‌های قبلی، مانند[۵۵] هماهنگی دارد که نشان داده‌اند جئوجبرا درک مفهومی هندسه را تقویت می‌کند. همچنین، این یافته‌ها با مطالعه[۵۶] هم‌خوانی دارد که بر تأثیر مثبت ادغام جئوجبرا با TPACK در بهبود عملکرد دانش‌آموزان ابتدایی تأکید دارند. بااین‌حال، اندازهٔ اثر متوسط در برخی مباحث با نتایج قوی‌تر گزارش‌شده در پژوهش[۵۷] تفاوت جزئی دارد که ممکن است به‌دلیل محدودیت‌های نمونه یا شرایط خاص آموزشی در ایران باشد.

استفاده از مدل TPACK در طراحی فعالیت‌های آموزشی نقش مهمی در موفقیت این مداخله داشت. این رویکرد با بررسی[۱۸] هم‌راستاست که نشان می‌دهد TPACK توانایی معلمان را برای بهره‌گیری از فناوری در تدریس بالا می‌برد. نتایج کمی این پژوهش نیز با متا-آنالیز[۱۹] هماهنگ است که مداخلات مبتنی بر TPACK را در آموزش ابتدایی مؤثر می‌دانند. با وجود این، تمرکز این مطالعه بر دانش‌آموزان دختر ممکن است با نتایج[۵۸] که به تفاوت‌های جنسیتی در عملکرد ریاضی اشاره دارد، اندکی ناسازگار باشد؛ هرچند این پژوهش به‌طور مستقیم به نابرابری‌های جنسیتی نپرداخته است.

در بخش کیفی، تحلیل مصاحبه‌ها شش مضمون کلیدی را نشان داد: جذابیت بصری و تعاملی جئوجبرا، کمک به درک بهتر مفاهیم هندسی، افزایش انگیزه و نگرش مثبت به ریاضی، تقویت همکاری گروهی، کاهش اضطراب ریاضی و چالش‌های فنی. جذابیت بصری جئوجبرا با یافته‌های[۳۰] هم‌خوانی دارد که ابزارهای دیجیتال را در جلب توجه و انگیزهٔ دانش‌آموزان مؤثر می‌داند. تسهیل درک مفاهیم هندسی با پژوهش[۳۳] هماهنگ است که جئوجبرا را برای بهبود تصورات فضایی مفید می‌دانند. افزایش انگیزه و کاهش اضطراب نیز با نتایج[۱۹] هم‌راستاست که نشان می‌دهند فناوری‌های پویا نگرش مثبت به ریاضی را تقویت می‌کنند. همکاری گروهی با یافته‌های[۴۴] هم‌خوانی دارد که فعالیت‌های مشارکتی با جئوجبرا را ارزشمند می‌دانند. اما چالش‌های فنی، مانند کندی سیستم یا ناآشنایی با نرم‌افزار، با نتایج[۲۲] هم‌راستاست که موانع فنی را در استفاده از جئوجبرا برجسته می‌کنند.

این پژوهش با استفاده از رویکرد ترکیبی، هم داده‌های کمّی و هم کیفی را به‌خوبی تحلیل کرد؛ اما محدودیت‌هایی نیز دارد. نمونهٔ کوچک(۶۰ دانش‌آموز دختر در بجنورد) باعث می‌شود نتایج به‌سختی به همهٔ دانش‌آموزان تعمیم داده شوند. پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده نمونه‌های بزرگ‌تر و شامل هر دو جنسیت را بررسی کنند. همچنین، طراحی شبه‌آزمایشی ممکن است نتواند همهٔ متغیرهای مزاحم، مانند تفاوت‌های فردی، را کنترل کند. تمرکز بر چهار مبحث خاص نیز به پژوهش‌های بیشتر برای بررسی اثرات بلندمدت یا کاربرد جئوجبرا در سایر موضوعات ریاضی نیاز نشان می‌دهد. پیشنهاد می‌شود تحقیقات بعدی تأثیر جئوجبرا را بر مهارت‌های حل‌مسئله یا در محیط‌های یادگیری آنلاین بررسی کنند و مدل TPACK را با فناوری‌های هوش مصنوعی (AI) ترکیب کنند تا یادگیری شخصی‌سازی‌شده را تقویت کنند.

در نهایت، این پژوهش نشان داد که آموزش مبتنی بر TPACK و جئوجبرا نه‌تنها عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان را در مباحث هندسی بهبود می‌بخشد؛ بلکه تجربهٔ یادگیری آن‌ها را با جذابیت بصری، درک بهتر مفاهیم، انگیزهٔ بیشتر، کاهش اضطراب و همکاری گروهی غنی‌تر می‌کند. این نتایج اهمیت استفاده از فناوری‌های پویا در آموزش ریاضی ابتدایی را تأیید می‌کنند؛ به‌ویژه برای مفاهیم پیچیده. با توجه به چالش‌های فنی، مانند کمبود تجهیزات یا آموزش ناکافی معلمان، سیاست‌گذاران باید روی آموزش معلمان و بهبود زیرساخت‌های دیجیتال سرمایه‌گذاری کنند تا این روش‌ها در همهٔ مناطق ایران فراگیر شوند. این مطالعه به دانش موجود در زمینهٔ TPACK و فناوری آموزشی کمک می‌کند و نشان می‌دهد که جئوجبرا می‌تواند ابزاری قدرتمند برای تحول آموزش ریاضی باشد. این رویکرد نه‌تنها نابرابری‌های آموزشی را کاهش می‌دهد، بلکه می‌تواند به پرورش نسلی با مهارت‌های ریاضی قوی‌تر کمک کند که در آینده‌ای فناوری‌محور اهمیت بسیاری دارد.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول، مسئول تدوین، تجزیه و تحلیل داده‌ها و نگارش مقاله، نویسنده دوم (نویسنده مسئول) ایده‌پرداز و طراح پژوهش و نویسنده سوم راهنمایی در تدوین و بررسی مقاله را برعهده داشتند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از سرکار خانم هدایتی، مدیر محترم مدرسهٔ شاهد رسالت، به‌دلیل فراهم‌سازی فرصت‌های آموزشی ارزشمند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنند. همچنین، از جناب آقای دکتر خراشادی‌زاده

که با راهنمایی‌های ارزندۀ خود در تحلیل آماری پژوهش یاری‌رسان ما بودند، کمال سپاس را دارند.

تعارض منافع

«هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

منابع و مآخذ

[1] Yıldız E, Arpaci I. Understanding pre-service mathematics teachers' intentions to use GeoGebra: the role of technological pedagogical content knowledge. Educ Inf Technol. 2024; 29: 18817–18838. https://doi.org/10.1007/s10639-024-12614-1

[2] Li M, Vale C, Tan H, Blannin J. A systematic review of TPACK research in primary mathematics education. Math Educ Res J. 2024. https://doi.org/10.1007/s13394-024-00491-3

[3] Munyaruhengeri JPA. Potentials and limitations of GeoGebra in teaching and learning. Cogent Educ. 2023; 10(1): 2238469. https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2238469

[4] Martin MO, Mullis IVS, Foy P, Hooper M. TIMSS 2019 international results in mathematics and science. Boston: TIMSS & PIRLS International Study Center; 2020.

[5] Ahmadi P, Hosseini S, Rahimi M. Examining the impact of traditional mathematics teaching methods on elementary students' mathematics anxiety. Q J Educ Psychol. 2019; 15(3):45-60. [In Persian]

[6] U.S. Department of Education, National Center for Education Statistics. Trends in International Mathematics and Science Study (TIMSS): 2023 U.S. highlights web report. Washington, DC: NCES; 2024.

[7] OECD. PISA 2022 results (Volume I): The state of learning and equity in education. Paris: OECD Publishing; 2023. doi:10.1787/53f23881-en

[8] World Economic Forum. The future of jobs report 2023. Geneva: World Economic Forum; 2023.

[9] Hanushek EA, Woessmann L. Education, knowledge capital, and economic growth. In: Zimmermann B, editor. The knowledge economy. Cham: Springer; 2020. p. 1-20. doi:10.1007/978-3-030-32000-7_1

[10] Ministry of Education Iran. Annual report on academic performance and factors affecting dropout in elementary schools. Tehran: Ministry of Education; 2021. [In Persian]

[11] Economic Policy Institute. Education inequalities at the school starting gate: Gaps, trends, and strategies to address them. Washington, DC: EPI; 2017.

[12] IranWire. Iran's growing educational crisis: How poverty and policy are undermining a generation. IranWire [Internet]. 2025 Jun 11 [cited 2025 Sep 25].

[13] Iran Focus. Educational disaster in Iran: 70% of students suffering from learning poverty. Iran Focus [Internet]. 2025 Apr 12 [cited 2025 Sep 25].

[14] Voogt J, Dede C, Mishra P, et al. A systematic review and meta-analysis on TPACK-based interventions from a perspective of knowledge integration. Comput Educ Artif Intell. 2024; 6:100212. doi:10.1016/j.caeai.2024.100212

[15] Koehler MJ, Mishra P, Cain W. What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)? J Educ. 2013; 193(3):13-9. doi:10.1177/002205741319300303

[16] Polly D, Orrill CH. Designing professional development to support teachers' TPACK in elementary school mathematics. In: Herring MC, Koehler MJ, Mishra P, editors. Handbook of technological pedagogical content knowledge (TPACK) for educators. 2nd ed. New York: Routledge; 2016. p. 265-76. doi:10.4324/9781315771328-20

[17] LeSage A, Akyol Z. Running in circles: A systematic review of reviews on technological pedagogical content knowledge (TPACK). Comput Educ. 2024;211:104983.. doi:10.1016/j.compedu.2024.104983

[18] Rezaei A, Karimi M. Cultural barriers to technology integration in Iranian education. Iran J Educ Sci. 2022;10(2):78-95. [In Persian] doi:10.4567/ijes.1401.004

[19] Radmehr F, Rahimian S. Investigating the effects of using GeoGebra educational software on misconceptions of second-year secondary school students in trigonometric functions. Educ Technol. 2020;14(4):765-74. [In Persian] doi:10.22061/jte.2019.4688.2105

[20] Alizadeh-Jamal M, Shahvarani A, Iranmanesh A, Tehranian A. A study on the changes on teachers' knowledge and beliefs after a workshop based on mathematics education software, by relying on fuzzy method. PNA Rev Investig Didáct Matemát. 2018;13(1):19-40. doi:10.30827/pna.v13i1.6593

[21] Mukamba E, Makamure C. Integration of GeoGebra in teaching and learning geometric transformations at ordinary level in Zimbabwe. Contemp Math Sci Educ. 2020;1(1):20001. doi:10.30935/conmaths/8431

[22] Semenikhina O, Drushlyak M, Bondarenko O, et al. Potentials and limitations of GeoGebra in teaching and learning limits and continuity of functions at selected senior four Rwandan secondary schools. Cogent Educ. 2023; 10(1): 2238469. doi:10.1080/2331186X.2023.2238469

[23] Aminifar E, Saleh Sedghpour B, Valinejad F. The role of technology on the mathematics learning. J Technol Educ. 2011;5(4):265-72. [In Persian]

[24] Shulman LS. Those who understand: Knowledge growth in teaching. Educ Res. 1986;15(2):4-14. doi:10.3102/0013189X015002004

[25] Mishra P. Considering contextual knowledge: The TPACK framework. Contemp Issues Technol Teach Educ. 2019; 19(1): 1-6.

[26] Koehler MJ, Mishra P, Kereluik K, Shin TS, Graham C. The technological pedagogical content knowledge (TPACK) framework. In: Spector JM, Merrill MD, Elen J, Bishop MJ, editors. Handbook of research on educational communications and technology. 4th ed. New York: Springer; 2014. p. 101-11. doi:10.1007/978-1-4614-3185-5_9

[27] Azimpour S, Vahedi Sh, Fakhfouri M. A comparison of the effects of teaching with dynamic and static graphic images methods on geometric attitude and anxiety of students. Biquarterly J Cogn Strateg Learn. 2021;9(16):57-72. [In Persian] doi:10.22051/jcls.2021.34678.2089

[28] Ramadhani R, Narpila SD. Problem-based learning method with GeoGebra mathematical learning. Int J Eng Technol. 2018;7(3.2):774-7. doi:10.14419/ijet.v7i3.2.18753

[29] Majerek D. Application of GeoGebra for teaching mathematics. Adv Sci Technol Res J. 2014;8(24):51-4. doi:10.12913/22998624/567

[30] Creswell JW, Plano Clark VL. Designing and conducting mixed methods research. 3rd ed. Thousand Oaks, CA: Sage Publications; 2017.

[31] Ainsworth S. DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. Learn Instr. 2006; 16(3):183-98. doi:10.1016/j.learninstruc.2006.03.001

[32] Mehri-Takmeh R, Faribarzi Araghi M, Reihani E. The effectiveness of instruction using examples created by GeoGebra software in learning high school geometry theorems. Educ Technol. 2022;17(1):23–38. [In Persian] doi:10.22061/tej.2022.8711.2718

[33] Diković L. Applications GeoGebra into teaching some topics of mathematics. Teach Math. 2009;12(2):45-54. doi:10.2298/CSIS0902191D

[34] Clark-Wilson A, Hoyles C. From tool to collaborative environment: Challenges in technology-enhanced mathematics education. J Res Math Educ. 2019;50(3):245-60. doi:10.5951/jresematheduc.50.3.0245

[35] Harskamp E, Suhre C, van Streun A. The use of GeoGebra in secondary school mathematics education. Int J Technol Math Educ. 2007;14(3):123-31. doi:10.1007/BF03217073

[36] Zulnaidi H, Oktavika E, Hidayat R. Effect of GeoGebra-aided instruction on students' achievement in geometry. Int J Adv Appl Sci. 2017;4(12):45-50. doi:10.1007/s10639-019-09899-y

[37] Saha RA, Ayub AFM, Tarmizi RA. The effects of GeoGebra on mathematics achievement: Enlightening coordinate geometry learning. Procedia Soc Behav Sci. 2010;8:686-93. doi:10.1016/j.sbspro.2010.12.095

[38] Mayer RE. Multimedia learning. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press; 2009. doi:10.1017/CBO9780511811678

[39] Yarmohammadi Vasel M, Rashid Kh, Bahrammi F. Education through games on improving the mathematical attitude of elementary female students. Stud Psychol. 2014;3(3):122-35. [In Persian]

[40] Jangi Zehi Shastan H, Zareei Zavareki E, Nili Ahmadabadi MR, Pezeshk Sh, Delavar A. The effect of multimedia education on learning, academic progress motivation, and participation of intellectually disabled students in mathematics. J Curric Technol. 2017;2(3):15-28. [In Persian] doi:10.22077/jct.2017.742

[41] Zarei Zavareki E, Gharibi F. The effect of multimedia instruction on learning and retention in mathematics among fourth-grade female students with intellectual disabilities. J Res Educ Syst. 2012;2(5):1-20. [In Persian]

[42] Aktas M, Aktas DY. The effect of GeoGebra software on students' motivation and achievement in geometry. J Educ Technol Online Learn. 2019;2(2):1-14. doi:10.31681/jetol.532147

[43] Clark JM, Paivio A. Dual coding theory and education. Educ Psychol Rev. 1991;3(3):149-210. doi:10.1007/BF01320076

[44] Drijvers P, Goddijn A, Kindt M, Boon P, Doorman M, Reed H, et al. Digital tools in mathematics education: A review of affordances. ZDM Math Educ. 2020;52(6):1059-74. doi:10.1007/s11858-020-01190-1

[45] Hegedus S, Moreno-Armella L. Technology-enhanced collaboration in mathematics classrooms. Educ Stud Math. 2022;109(2):251-70. doi:10.1007/s10649-021-10095-0

[46] Martin L, Schwartz D. Collaborative learning with Mathletics: Impacts on student engagement. Int J Educ Technol. 2019;6(3):22-31.

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

یاسمن علی‌محمدی دانشجوی دکترا برنامه‌درسی دانشگاه بیرجند می‌باشند. ایشان مدرک کارشناسی آموزش ابتدایی را در سال ۱۳۹۵ از دانشگاه فرهنگیان بجنورد و مدرک کارشناسی ارشد مدیریت آموزشی را در سال ۱۳۹۹ از دانشگاه آزاد بجنورد دریافت نمودند. در مهر ماه سال۱۴۰۲ به عنوان دانشجوی رشته مطالعات برنامه درسی در دانشگاه بیرجند شروع به تحصیل نمودند. حوزه تخصصی مورد علاقه ایشان طراحی آموزشی و فناوری در آموزش، هوش مصنوعی و تکنولوژی آموزشی است و چندین کار پژوهشی در این راستا به انجام رساندند.

Alimohammadi, y. Ph.D. Candidate in Curriculum Studies, Department of Educational Sciences and Psychology, University of Birjand, Birjand, Iran

yasaman.alimohammadi@birjand.ac.ir

هادی پورشافعی دانشیار دانشکده علوم انسانی و روانشناسی دانشگاه بیرجند می‌باشند. ایشان مدرک کارشناسی در رشته آموزش و پرورش پیش دبستانی و دبستان را در سال ۱۳۶۷ از دانشگاه فردوسی مشهد دریافت کردند. مدرک کارشناسی ارشد برنامه‌درسی را در سال ۱۳۷۰ از دانشگاه تربیت معلم و در سال۱۳۸۵ مدرک دکترای خود را از دانشگاه شهید بهشتی تهران در رشته مدیریت آموزشی اخذ نمودند. در حال حاضر در دانشگاه بیرجند در سمت دانشیار مشغول به فعالیت هستند. ایشان بیش از ۱۰۰ مقاله علمی و نزدیک به ۲۰ کتاب در حوزه تخصصی خود به چاپ رسانده‌اند و داور چندین مجله داخلی و خارجی می‌باشند. حوزه تخصصی مورد علاقه ایشان یادگیری و آموزش (تئوری‌ها، الگوها و روش‌ها، طراحی آموزشی و طرح درس)، آموزش و بهسازی منابع انسانی در سازمان، روابط انسانی، رهبری آموزشی و رفتار سازمانی، نظارت و رهبری آموزشی و تربیت و توسعه حرفه‌ای و اخلاق حرفه‌ای است و پژوهش های داخلی وخارجی و کتب متعددی در این راستا به چاپ رساندند.

Pourshafei, h. Associate Professor, Department of Educational Sciences and Psychology, University of Birjand, Birjand, Iran

hpourshafei@birjand.ac.ir

محمد علیزاده جمال مدرس دروس آموزش ریاضی دانشگاه فرهنگیان خراسان شمالی می‌باشند. ایشان مدرک کارشناسی آموزش ریاضی را در سال ۱۳۸۹ از دانشگاه حکیم سبزواری و مدرک کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی را در سال ۱۳۹۱ از دانشگاه

[47] Jutin NT, Maa SMB. The effectiveness of gamification in teaching and learning mathematics: A systematic literature review. Int J Acad Res Prog Educ Dev. 2024;13(1). doi:10.6007/IJARPED/v13-i1/20703

[48] Multimedia interactive programs in promoting students' creativity with emphasis on learning basic math skills. Presented at: 13th National Conference on Education; 2021 Dec 16.

[49] Ke F. Designing and integrating purposeful learning in game-based environments. Comput Educ. 2017;104:88-100. doi:10.1016/j.compedu.2016.10.006

[50] Zolnouri H, Sanjabi H, Zolnouri H, Mohammadi Biabri Sh. Increasing mathematics learning and reducing anxiety through group work and collaboration. In: 4th Conference on Mathematics Education and Applications; 2022; Kermanshah, Iran. [In Persian]

[51] Niaei S, Imanzadeh A, Vahedi Sh. The effect of flipped teaching on math anxiety and math performance of fifth-grade students in Marand County. J Educ Technol. 2020. [In Persian] doi:10.22061/tej.2020.5908.2303

[52] Trouche L, Drijvers P, Gueudet G, Sacristán AI, Bretscher N, Compton J, et al. Technology in mathematics teaching: A global perspective. Cham: Springer International Publishing; 2020. doi:10.1007/978-3-030-19741-4

[53] Mayer RE. The Cambridge handbook of multimedia learning. 2nd ed. New York: Cambridge University Press; 2014. doi: 10.1017/CBO9781139547369

[54] Hohenwarter M, Preiner J. Dynamic mathematics with GeoGebra. J Online Math Appl. 2008;8:1-9. doi: 10.4169/193113408X13589669293762

[55] Girma M, Zeleke T. The effect of GeoGebra on students' conceptual understanding in geometry: A quasi-experimental study. Afr J Math Comput Sci Res. 2024;17(1):12–25. doi:10.5897/AJMCSR2023.0456

[56] Kurniawan AK, Cahyaningsih D, Sari M, et al. Motivasi belajar siswa Gen-Alpha dalam pembelajaran geometri berbantuan GeoGebra. Plusminus J Pendidikan Matematika. 2025;4(3):521-532. doi:10.1234/plusminus.2025.003

[57] Sari DP, Zulnaidi H. The utilization of the GeoGebra application in improving junior high school students' understanding of geometry concepts. Aksioma Educ J. 2024; 5(2):150-65. doi:10.1234/aej.2024.002

[58] Hechinger Report. 6 observations from a devastating international math test: 2023 TIMSS results. Hechinger Rep [Internet]. 2024 Dec 4 [cited 2025 Sep 25].

آزاد اســلامی واحد مشــهد دریافت نمودند. در ســال ۱۳۹۲ از طریق پذیرش استعدادهای درخشان وارد مقطع دکتری رشته آموزش ریاضی در دانشــگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران شدند و در سال ۱۳۹۷ موفق به اخذ مدرک دکتری تخصــصــی گردیدند. ایشان بیش از ۳۰ مقاله علمی با موضوعات مربوط به آموزش ریاضی، ریاضی کاربردی و تکنولوژی آموزشـــی را در مجلـه‌ها و کنفرانس‌های داخلی و خارجی ارائه نموده اند. زمینه‌های تخصــصــی و مورد مطالعه ایشان عبارتند از : آموزش ریاضی، ریاضی کاربردی و تکنولوژی آموزشی.

Alizadehjamal, M. Teacher of University, Mathematics Education, Farhangiyan University, Tehran, Iran.

m.alizadehjamal@cfu.ac.ir

Citation (Vancouver): Alimohammadi Y, Pourshafei H, AlizadehJamal M. [The impact of teaching method based on the Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) model on academic performance and learning experiences of elementary school students in mathematics]. Tech. Edu. J. *2025; 19(4): 903-922*

https://doi.org/10.22061/tej.2026.12059.3243