

Investigating the Effectiveness of Teaching Kinematics Concepts Using Thought Experiments on Students' Academic Progress and Designing an Interactive E-Book

Mohammad Delavar* Fatemeh Ahmadi**

*PhD Student, Department of Physics, Faculty of Basic Sciences, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran. Mohammad.delavar@sru.ac.ir

**Corresponding author, Associate Professor, Department of Physics, Faculty of Basic Sciences, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran, Fahmadi@sru.ac.ir

Abstract

Teaching kinematics concepts in the twelfth-grade physics curriculum presents significant challenges due to their abstract nature and the widespread misconceptions held by students. Thought experiments, with a tradition dating back to the works of Galileo and Einstein, can facilitate the learning of abstract concepts by enhancing mental visualization and scientific reasoning. This study aimed to investigate the effectiveness of thought experiment-based instruction in improving students' academic achievement in kinematics, as well as to design and evaluate an electronic educational resource based on this instructional approach. A mixed-methods research design was employed. In the quantitative phase, after identifying students' misconceptions, instructional content based on thought experiments was developed and implemented using a quasi-experimental pretest-posttest design with an experimental group ($n = 26$) and a control group ($n = 38$) consisting of twelfth-grade female students in Karaj, Iran. Data were collected using a researcher-developed 20-item achievement test with a reliability coefficient of 0.859 and content validity confirmed by subject-matter experts. Data analysis using independent-samples *t*-tests and analysis of covariance (ANCOVA) revealed that thought experiment-based instruction had a statistically significant positive effect on students' academic achievement. In the qualitative phase, the developed instructional content was evaluated as an electronic learning resource. Analysis of focus group data collected from seven experts confirmed the scientific quality, content accuracy, interactivity, user-friendly design, and instructional effectiveness of the electronic resource. The experts also recommended further improvements, including enhanced animations, personalization features, and the integration of gamification elements to enrich the learning experience. Overall, the findings indicate that thought experiments constitute an effective instructional strategy for promoting a deeper understanding of kinematics concepts. Furthermore, electronic educational content designed on the basis of this approach can improve students' conceptual understanding, increase their learning motivation, and contribute to the development of high-quality educational resources.

Keywords: Electronic educational content; Thought experiments; Academic achievement; Physics education.

بررسی اثربخشی آموزش مفاهیم حرکت‌شناسی به کمک آزمایش‌های فکری بر پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان و طراحی یک محتوای الکترونیکی

محمد دلاور* فاطمه احمدی**

*دانشجوی دکتری، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

Mohammad.delavar@sru.ac.ir

**نویسنده مسئول، دانشیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

Fahmadi@sru.ac.ir

تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۰۹/۲۰ تاریخ شروع بررسی: ۱۴۰۴/۱۰/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۲۰

چکیده

آموزش مفاهیم حرکت‌شناسی در فیزیک پایه دوازدهم، به دلیل ماهیت انتزاعی و وجود بدفهمی‌های رایج در میان دانش‌آموزان، نیازمند رویکردهای نوین آموزشی است. آزمایش‌های فکری، که پیشینه آن‌ها به آثار گالیله و اینشتین بازمی‌گردد، می‌توانند با تقویت تجسم ذهنی و استدلال علمی، در یادگیری مفاهیم انتزاعی نقش مؤثری ایفا کنند. هدف این پژوهش بررسی اثربخشی آموزش حرکت‌شناسی مبتنی بر آزمایش‌های فکری بر پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان و نیز طراحی و ارزیابی یک محتوای الکترونیکی مبتنی بر این رویکرد بود. این مطالعه با روش آمیخته انجام شد. در بخش کمی، پس از شناسایی بدفهمی‌های دانش‌آموزان، محتوای آموزشی مبتنی بر آزمایش‌های فکری طراحی و با طرح نیمه آزمایشی پیش‌آزمون - پس‌آزمون بر روی دو گروه آزمایش (۲۶ نفر) و کنترل (۳۸ نفر) از دانش‌آموزان دختر پایه دوازدهم شهر کرج اجرا شد. ابزار سنجش، آزمون محقق‌ساخته ۲۰ سؤالی با پایایی ۰.۸۵۹ و روایی تأییدشده توسط متخصصان بود. تحلیل داده‌ها با آزمون‌های تی و تحلیل کوواریانس نشان داد آموزش مبتنی بر آزمایش‌های فکری تأثیر معناداری بر بهبود پیشرفت تحصیلی دارد. در بخش کیفی، محتوای تولیدشده در قالب یک محتوای الکترونیکی ارزیابی شد. تحلیل داده‌های حاصل از گروه کانونی با حضور هفت متخصص، کیفیت علمی، دقت محتوایی، تعامل پذیری، طراحی کاربرپسند و اثرگذاری آموزشی محتوا را تأیید کرد. متخصصان پیشنهادهایی همچون تقویت پویانمایی، امکان شخصی‌سازی و بهره‌گیری از عناصر بازی‌وارسازی برای ارتقای تجربه یادگیری ارائه دادند. نتایج کلی پژوهش نشان می‌دهد که آزمایش‌های فکری ابزاری کارآمد برای تسهیل یادگیری عمیق مفاهیم حرکت‌شناسی هستند و محتوای الکترونیکی مبتنی بر این رویکرد می‌تواند به بهبود درک مفهومی و افزایش انگیزه یادگیری دانش‌آموزان کمک کرده و در توسعه محتوای آموزشی مناسب مؤثر باشد.

کلمات کلیدی: محتوای الکترونیکی، آزمایش‌های فکری، پیشرفت تحصیلی، آموزش فیزیک

مقدمه

آموزش فیزیک در دوره متوسطه، نقشی حیاتی در آماده‌سازی دانش‌آموزان برای ورود به تحصیلات عالی و توسعه مهارت‌های علمی و حل مسئله آن‌ها ایفا می‌کند (مانورونگ و میهاردی^۱، ۲۰۱۶). مبحث حرکت‌شناسی، که به مطالعه حرکت اجسام، بدون توجه به نیروهای عامل آن می‌پردازد، یکی از موضوعات اصلی برنامه درسی فیزیک این پایه است. این مبحث شامل مفاهیمی چون جابجایی، سرعت، شتاب و روابط ریاضی میان آن‌هاست که درک آن‌ها نیازمند توانایی تجسم ذهنی و استدلال مفهومی است و پژوهش‌ها نشان داده‌اند که دانش‌آموزان در فهم این مفاهیم با چالش‌های جدی مواجه می‌شوند (نصرت و همکاران، ۱۳۸۹ و ردیش^۲، ۲۰۰۳). به عنوان مثال، درک تفاوت بین سرعت متوسط و لحظه‌ای یا تجسم حرکت شتاب‌دار با شتاب ثابت، مانند حرکت یک جسم در حال سقوط آزاد، اغلب برای دانش‌آموزان دشوار است، زیرا این مفاهیم به صورت انتزاعی ارائه می‌شوند و کمتر با تجربیات روزمره آن‌ها پیوند می‌خورند (احمدی بابادی، ۱۴۰۳). مطالعات نشان می‌دهند که تأکید بیش از حد بر آزمون‌های سراسری و محتوای گسترده کتاب‌های درسی در ایران، فرصت کافی برای درک عمیق مفاهیم فیزیکی را از دانش‌آموزان می‌گیرد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹ و شکرباغانی^۳، ۲۰۱۶). همچنین، روش‌های تدریس سنتی که بر حفظ فرمول‌ها تمرکز دارند، به کاهش درک مفهومی و انگیزه دانش‌آموزان منجر می‌شوند (محمودی و صادقی، ۱۳۹۷ و گود^۴ و همکاران، ۲۰۱۹). برای بهبود این وضعیت، استفاده از روش‌های تدریس فعال، مسئله‌محور و مبتنی بر فناوری پیشنهاد شده است که می‌تواند به توسعه مهارت‌های تفکر انتقادی در دانش‌آموزان کمک کند (نصرت و همکاران، ۱۳۸۹؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۹ و بائو و کوئینگ^۵، ۲۰۱۹).

از آن جایی که پیشرفت تحصیلی به عنوان معیاری از میزان تسلط بر محتوای آموزشی و توانایی به کارگیری آن تعریف می‌شود، به طور مستقیم تحت تأثیر روش‌ها و ابزارهای آموزشی قرار دارد (یورک^۶ و همکاران، ۲۰۱۵). در مبحث حرکت‌شناسی، جایی که دانش‌آموزان باید بتوانند حرکت را به صورت ذهنی شبیه‌سازی کنند (مثلاً پیش‌بینی مسیر یک توپ پرتاب‌شده با زاویه خاص یا تحلیل حرکت نسبی دو قطار که با سرعت‌های متفاوت در جهت مخالف حرکت می‌کنند)، فقدان ابزارهای آموزشی تعاملی و خلاقانه می‌تواند به کاهش عملکرد منجر شود. (ایبانیز و دلگادو-کلوس^۷، ۲۰۱۸). از طرفی، ضعف در یادگیری مفاهیم پایه مانند حرکت‌شناسی می‌تواند تأثیرات بلندمدتی بر توانایی دانش‌آموزان برای ادامه تحصیل در رشته‌های علوم پایه، مهندسی و ریاضیات داشته باشد (شورای ملی پژوهش^۸، ۲۰۱۲). برای مثال، دانش‌آموزانی که در فهم مفاهیم حرکت مشکل دارند، در درس پیشرفته‌تر مانند دینامیک یا مکانیک کلاسیک نیز با مشکلاتی مواجه می‌شوند (تومینارو و ردیش^۹، ۲۰۰۷).

در این زمینه، چارچوب نظری تعامل، ساخت، فعالیت و انفعال (ICAP^{۱۰}) که توسط چی و وایلی^{۱۱} (۲۰۱۴) مطرح شده است، بیان می‌دارد که با افزایش سطح درگیری شناختی یادگیرندگان از حالت منفعل به فعال — به‌ویژه زمانی که فرد به‌طور مؤثر در فرآیند ساخت دانش مشارکت می‌کند — کیفیت و اثربخشی یادگیری نیز به‌طور چشمگیری ارتقا می‌یابد. بر اساس این چارچوب، روش‌های یادگیری تعاملی، مانند بحث گروهی و فعالیت‌های حل مسئله، می‌توانند نقش مهمی در درک عمیق‌تر مفاهیم فیزیک ایفا کنند. بنابراین، به کارگیری شیوه‌های تدریس فعال و مبتنی بر حل مسئله می‌تواند یادگیری دانش‌آموزان را بهبود بخشد و آن‌ها را برای

¹ Manurung & Mihardi

² Redish

³ Shekarbaghani

⁴ Good

⁵ Bao & Koenig

⁶ York

⁷ Ibáñez & Delgado-Kloos

⁸ National Research Council

⁹ Tuminaro & Redish

¹⁰ Interactive, Constructive, Active, and Passive

¹¹ Chi & Wylie

چالش‌های پیچیده‌تر علمی آماده کند. (هیوئیت^{۱۲}، ۲۰۱۷). بنابراین، توسعه و به‌کارگیری رویکردهای آموزشی که بتوانند مفاهیم انتزاعی حرکت‌شناسی را ملموس‌تر و یادگیری را به تجربه‌ای فعال و جذاب تبدیل کنند، نه‌تنها یک نیاز آموزشی، بلکه یک ضرورت اجتماعی و علمی به شمار می‌رود.

یکی از رویکردهایی که در دهه‌های اخیر در آموزش علوم مورد توجه قرار گرفته، آزمایش‌های فکری^{۱۳} است. این رویکرد ریشه در سنت علمی کلاسیک دارد و در آثار دانشمندانی چون گالیله و انیشتین به‌کار رفته است و بر بازسازی ذهنی موقعیت‌های فرضی و تحلیل پیامدهای آن‌ها مبتنی است (رینر و بارکو^{۱۴}، ۲۰۰۳). با وجود اختلاف‌نظر درباره تعریف دقیق آن، اغلب آزمایش فکری به‌عنوان فرآیندی سه‌مرحله‌ای شامل طراحی یک سناریوی تخیلی، تحلیل و استدلال درباره پیامدهای آن، و نتیجه‌گیری بر اساس ارزیابی منطقی در نظر گرفته می‌شود (زومرفلد^{۱۵}، ۲۰۱۶). ویژگی مشترک همه این تعاریف، ماهیت تخیلی همراه با استدلال منطقی است؛ به‌گونه‌ای که یادگیرنده در فرایند تحلیل، گاه با پیامدهای متناقض پیش‌فرض‌های خود مواجه می‌شود و مشابه برهان خلف، به بازنگری و اصلاح آن‌ها می‌پردازد.

از منظر شناختی، آزمایش‌های فکری بر چند سازوکار کلیدی استوارند. نخست، ایده‌آل‌سازی که با حذف عوامل مزاحم، امکان تمرکز بر اصول بنیادی را فراهم می‌کند (ولنتزاس و هالکیا^{۱۶}، ۲۰۱۱). دوم، مدل‌سازی ذهنی که طی آن یادگیرنده با شبیه‌سازی درونی یک سناریو، پیامدهای آن را پیش‌بینی و ارزیابی می‌کند و بدین‌ترتیب زمینه‌ای برای آزمون تجربی فراهم می‌شود (دونرتاش^{۱۷}، ۲۰۱۱). سوم، ایجاد تضاد شناختی که از طریق مقایسه نتایج و پیامدهای سناریوهای مختلف رخ می‌دهد و به شناسایی و اصلاح باورهای نادرست منجر می‌شود (باسکاندزیف^{۱۸}، ۲۰۲۴). علاوه بر این، راهبردهایی مانند طرح پرسش‌های «چه می‌شد اگر» و بهره‌گیری از شبیه‌سازی‌های حسی-حرکتی نیز در همین چارچوب قرار می‌گیرند و با فعال‌سازی فرایندهای استدلالی، به تعمیق یادگیری مفهومی کمک می‌کنند (رینر و گیلبرت^{۱۹}، ۲۰۰۰). در این میان، تجربه حسی نقطه آغاز یادگیری محسوب می‌شود؛ به این معنا که آزمایش فکری بر پایه ادراک اولیه حاصل از مشاهده یا آزمایش ساده شکل می‌گیرد و به‌عنوان مکملی برای توسعه تحلیل مفهومی و پیش‌بینی نتایج عمل می‌کند، نه جایگزینی برای تجربه عینی (رینر و بارکو، ۲۰۰۳؛ باسکاندزیف و بوناویتز^{۲۰}، ۲۰۲۵).

شواهد پژوهشی نشان می‌دهد که آزمایش‌های فکری، به‌ویژه در آموزش فیزیک و مکانیک، ابزاری مؤثر برای تعمیق درک مفهومی محسوب می‌شوند؛ زیرا امکان بررسی مفاهیم پیچیده در شرایط ایده‌آل را بدون نیاز به تجهیزات فراهم می‌کنند (باسکاندزیف و بوناویتز، ۲۰۲۵). این رویکرد همچنین از طریق برانگیختن تخیل و استدلال منطقی، مهارت‌های حل مسئله و خلاقیت را ارتقا می‌دهد (تورتوپ^{۲۱}، ۲۰۱۶). در آموزش حرکت‌شناسی، برای مثال تحلیل ذهنی حرکت دو دونه با سرعت‌های متفاوت می‌تواند درک شهودی سرعت نسبی را تقویت کند (ولنتزاس و هالکیا، ۲۰۱۱). نتایج مطالعات مختلف نیز نشان داده‌اند که استفاده از این روش به بهبود درک مفهومی، تقویت تفکر انتقادی و توسعه استدلال علمی می‌انجامد (ماچری^{۲۲}، ۲۰۱۷؛ ولنتزاس و هالکیا، ۲۰۱۱). افزون بر این، با ایجاد ناسازگاری شناختی، این رویکرد به شناسایی و اصلاح خطاهای مفهومی کمک می‌کند و یادگیری عمیق‌تری را تسهیل می‌سازد (باسکاندزیف، ۲۰۲۴).

¹² Hewitt

¹³ Thought Experiments

¹⁴ Reiner & Burko

¹⁵ Sommerfeld

¹⁶ Velentzas & Halkia

¹⁷ Dönertaş

¹⁸ Bascandzief

¹⁹ Reiner & Gilbert

²⁰ Bascandzief & Bonawitz

²¹ Tortop

²² Machery

با وجود این مزایا، آزمایش‌های فکری با محدودیت‌هایی نیز همراه است. اثربخشی آن‌ها بیشتر در شرایطی آشکار می‌شود که هدف، بررسی اصول بنیادی و شرایط ایده‌آل باشد؛ در مقابل، در پدیده‌های وابسته به عوامل پیچیده محیطی، اتکای صرف به سناریوهای ذهنی ممکن است کافی نباشد و استفاده هم‌زمان از آزمایش‌های واقعی یا شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای ضرورت پیدا می‌کند (رینر و بارکو، ۲۰۰۳؛ شریفی^{۲۳} و همکاران، ۲۰۲۵a). افزون بر این، اعتبار نتایج حاصل از آزمایش‌های فکری زمانی قابل پذیرش است که با قوانین فیزیکی و شواهد تجربی سازگار باشد (رینر و بارکو، ۲۰۰۳). همچنین بهره‌گیری مؤثر از این روش نیازمند مهارت‌هایی مانند تخیل فضایی، استدلال تحلیلی، مدل‌سازی ذهنی و خودتنظیمی شناختی است؛ بنابراین همه دانش‌آموزان به یک اندازه از آن بهره نمی‌برند و برخی به هدایت آموزشی یا ترکیب آن با فعالیت‌های عملی نیاز دارند (تورتوپ، ۲۰۱۶؛ رینر و بارکو، ۲۰۰۳).

بر این اساس، چارچوب عملیاتی پژوهش حاضر بر رویکردی ترکیبی استوار است که در آن آزمایش‌های فکری به‌عنوان ابزار اصلی برای تقویت درک مفهومی و استدلال علمی به‌کار گرفته می‌شوند و در کنار آن‌ها در محتوای الکترونیکی، شبیه‌سازی‌های تعاملی به‌عنوان راهبردهای مکمل برای یادگیری فعال ارائه می‌شود. همچنین محتواهای الکترونیکی تعاملی به‌عنوان بستری برای ارائه سناریوهای آزمایش فکری و ایجاد تجربه‌های یادگیری پویا مورد توجه قرار گرفته‌اند. چنین ترکیبی امکان پیوند میان تحلیل ذهنی، مشاهده، و تعامل فعال را فراهم می‌کند و به توسعه عمیق‌تر مفاهیم حرکت‌شناسی کمک می‌کند.

با وجود گسترش پژوهش‌ها در زمینه آزمایش‌های فکری، نحوه ادغام نظام‌مند این رویکرد با ابزارهای تعاملی و محیط‌های یادگیری دیجیتال، به‌ویژه در آموزش حرکت‌شناسی، همچنان کمتر مورد بررسی قرار گرفته است.

بنابراین اهداف اصلی این پژوهش، بررسی تأثیر آموزش مفاهیم حرکت‌شناسی مبتنی بر آزمایش‌های فکری بر پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان پایه دوازدهم و تهیه و ارائه یک محتوای الکترونیکی مناسب بر اساس محتوای ارزیابی شده است. بنابراین، این مطالعه دو پرسش اصلی را دنبال می‌کند: (۱) آیا آموزش مفاهیم فیزیک (حرکت‌شناسی) مبتنی بر آزمایش‌های فکری می‌تواند پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان را بهبود بخشد؟ (۲) خبرگان آموزشی محتوای الکترونیکی تهیه شده را از نظر کیفی چگونه ارزیابی می‌کنند؟

پیشینه تحقیق

پژوهش‌های مختلفی در ارتباط با موضوع پژوهش حاضر انجام شده به‌عنوان مثال، گندلر^{۲۴} (۲۰۰۴) در پژوهشی به نقش آزمایش‌های فکری در تولید باورهای جدید درباره ویژگی‌های جهان طبیعی پرداخت. او استدلال کرد که این روش، با برانگیختن شهوذهای شبه‌حسی از طریق سناریوهای خیالی، می‌تواند به باورهای شبه‌مشاهده‌ای منجر شود که در برخی زمینه‌ها به‌عنوان منبعی قابل اعتماد برای توجیه دانش عمل می‌کنند. این یافته نشان می‌دهد که آزمایش‌های فکری می‌توانند در آموزش علوم، با مدل‌سازی موقعیت‌های غیرقابل‌دسترس، به درک مفاهیم انتزاعی کمک کنند.

رینر و گیلبرت (۲۰۰۰) در مطالعه‌ای به بررسی منابع معرفت‌شناختی آزمایش‌های فکری در یادگیری علوم پرداختند. آن‌ها دریافتند که این روش از سه منبع اصلی بهره می‌برد: تجربه بدنی-حرکتی، تصویرسازی بصری و استدلال مفهومی-منطقی. برای مثال، دانش‌آموزان می‌توانند اشیاء را در ذهن خود بچرخانند، مسیرهای حرکتی را پیش‌بینی کنند یا اثرات نیروها را تصور کنند، که این توانایی‌ها درک شهودی مفاهیم فیزیکی مانند حرکت را تقویت می‌کند. این پژوهش تأکید کرد که آزمایش‌های فکری، به دلیل ساختار هدفمند و انسجام درونی، ابزار قدرتمندی برای بازیابی دانش ضمنی هستند که در روش‌های رسمی آموزشی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند.

پژوهش استفنز و کلمنت^{۲۵} (۲۰۱۲) نقش آزمایش‌های فکری را در آموزش علوم بررسی کرد و نشان داد که این روش می‌تواند بحث‌های کلاسی را غنی‌تر کند. آن‌ها با مطالعه موردی دریافتند که دانش‌آموزان نه تنها از آزمایش‌های فکری ارائه‌شده توسط معلم بهره می‌برند، بلکه خودشان نیز قادر به خلق سناریوهای مشابه هستند. این فرآیند، که با تصویرسازی ذهنی همراه است، به گسترش

²³ Sharifi

²⁴ Gendler

²⁵ Stephens & Clement

ایده‌ها و بهبود استدلال علمی در میان دانش‌آموزان کمک می‌کند. این مطالعه نشان داد که آزمایش‌های فکری دانش‌آموزی می‌توانند شباهت‌های زیادی با نمونه‌های تخصصی دانشمندان داشته باشند. ولنتزاس و هالکیا (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای کیفی، اثربخشی آزمایش فکری «آسانسور اینشتین» را در آموزش اصل هم‌ارزی به دانش‌آموزان دبیرستانی بررسی کردند. نتایج نشان داد که این آزمایش فکری به دانش‌آموزان کمک کرد تا مفاهیم انتزاعی مانند انحراف نور در میدان‌های گرانشی را درک کنند و فراتر از تجربیات روزمره خود، به تحلیل پدیده‌های فیزیکی بپردازند. این پژوهش بر پتانسیل آزمایش‌های فکری در آموزش مفاهیم پیچیده فیزیک تأکید کرد همچنین آن‌ها دریافتند که آزمایش‌های فکری می‌توانند به توسعه تفکر انتقادی در دانش‌آموزان کمک کنند. همچنین سوچتمیکا^{۲۶} و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای به بررسی مدل‌های آموزشی برای پرورش تفکر انتقادی در آموزش علوم پرداختند. اگرچه تمرکز اصلی آن‌ها بر مدل‌هایی مانند یادگیری مبتنی بر مسئله و استم^{۲۷} بود، اما آزمایش‌های فکری به عنوان بخشی از رویکردهای تعاملی معرفی شدند که می‌توانند تفکر انتقادی را تقویت کنند. این پژوهش نشان داد که فعالیت‌های مبتنی بر سناریوهای فرضی، با ایجاد فضای تحلیل و استدلال، به دانش‌آموزان کمک می‌کنند تا اطلاعات را بهتر ارزیابی کنند. از طرفی مچری (۲۰۱۷) در کتاب خود به تحلیل روش‌های فلسفی مانند آزمایش‌های فکری پرداخت و استدلال کرد که قضاوت‌های مبتنی بر سناریوهای خیالی، مشابه قضاوت‌های روزمره هستند و نیازی به شهودهای خاص ندارند. این دیدگاه نشان می‌دهد که آزمایش‌های فکری در آموزش می‌توانند به عنوان ابزاری ساده و در دسترس برای تقویت استدلال دانش‌آموزان بدون پیچیدگی‌های غیرضروری عمل کنند. بانکونگ^{۲۸} (۲۰۲۴) نیز در یک مرور نظام‌مند به این نتیجه رسید که آزمایش‌های فکری می‌توانند استدلال علمی را تقویت کند. مطالعات بررسی شده تا اینجا بیشتر بر آموزش متداول متمرکز بوده و تأثیر این روش‌ها را در بستر دیجیتال، به‌ویژه در زمینه حرکت‌شناسی را بررسی نکرده‌اند.

شریفی و همکاران (۲۰۲۵a) در مطالعه‌ای با طرح نیمه‌آزمایشی بر روی دانش‌آموزان پایه دوازدهم، تأثیر آموزش مفاهیم دینامیک با استفاده از آزمایش‌های ذهنی را بررسی کردند. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که دانش‌آموزان گروه آزمایش علاوه بر بهبود معنادار در پیشرفت تحصیلی، در مهارت‌های شناختی همچون انعطاف‌پذیری شناختی و خودتنظیمی نیز رشد قابل توجهی داشته‌اند؛ در حالی که گروه کنترل، هرچند از نظر پیشرفت تحصیلی نسبت به پیش‌آزمون رشد نشان داد، اما در مهارت‌های شناختی روندی کاهشی داشت. در مطالعه‌ای دیگر، شریفی و همکاران (۲۰۲۵b) به بررسی اثر آموزش مفاهیم سینماتیک با استفاده از آزمایش‌های ذهنی پرداختند. این پژوهش که بر روی ۶۴ دانش‌آموز دختر پایه دوازدهم انجام شد، نشان داد که به‌کارگیری این رویکرد آموزشی نه تنها موجب افزایش معنادار پیشرفت تحصیلی شد، بلکه راهبردهای انگیزشی یادگیری و سطوح شناختی دانش‌آموزان گروه آزمایش نیز در مقایسه با گروه کنترل بهبود چشمگیری یافت. در مجموع، یافته‌های این مطالعات بیانگر آن است که استفاده از آزمایش‌های ذهنی در آموزش فیزیک می‌تواند ابزاری مؤثر برای ارتقای هم‌زمان پیشرفت تحصیلی، مهارت‌های شناختی و راهبردهای یادگیری باشد.

زکریا و اندرسون^{۲۹} (۲۰۰۳) نشان دادند که استفاده از شبیه‌سازی‌های تعاملی، مانند مدل‌های رایانه‌ای ساده حرکت، درک مفهومی دانش‌آموزان از مفاهیم حرکت‌شناسی مانند سرعت و شتاب را بهبود می‌بخشد. آن‌ها در آزمایشی دریافتند که دانش‌آموزانی که قبل از انجام یک آزمایش فیزیکی از شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای استفاده کردند، در مقایسه با گروهی که به روش سنتی آموزش دیدند، در تحلیل حرکت شتاب‌دار با شتاب ثابت (مانند سقوط آزاد یک جسم) عملکرد بهتری داشتند. در زمینه استفاده از فناوری دیجیتال، وی^{۳۰} و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر ابزارهای دیجیتالی مانند نرم‌افزار ترکر^{۳۱} را بر آموزش مفاهیم حرکتی بررسی کردند. آن‌ها دریافتند

²⁶ Sujatmika

²⁷ STEM

²⁸ Bancong

²⁹ Zacharia & Anderson

³⁰ Wee

³¹ Tracker

که دانش‌آموزانی که از این ابزار برای تحلیل حرکت اجسام (مثلاً پرتاب یک جسم با زاویه) استفاده کردند، درک بهتری از رابطه بین سرعت و جابجایی به دست آوردند. نرم‌افزار ترکر به دانش‌آموزان اجازه می‌دهد مسیر حرکت را از طریق ویدئو تحلیل کرده و متغیرهایی مانند سرعت اولیه یا زاویه پرتاب را تغییر دهند، که موجب درک شهودی‌تر مفاهیم حرکت‌شناسی می‌شود.

بعلاوه، باندا و نزاباهیمانا^{۳۲} (۲۰۲۱) تأثیر یادگیری فعال با شبیه‌سازی‌های تعاملی را در آموزش فیزیک بررسی کردند و دریافتند که این ابزارها می‌توانند مشارکت دانش‌آموزان را افزایش داده و درک آن‌ها از روابط فیزیکی را بهبود بخشند. مطالعه آن‌ها نشان داد که استفاده از شبیه‌سازی‌های دیجیتال در کنار روش‌های متداول، می‌تواند باعث بهبود تعامل یادگیرندگان با محتوای آموزشی شود. این یافته‌ها نشان می‌دهند که ادغام فناوری‌های تعاملی در آموزش فیزیک می‌تواند یک روش مؤثر برای ارتقای یادگیری مفهومی باشد. در واقع نشان می‌دهند که شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای می‌توانند به‌عنوان ابزاری تکمیلی برای تقویت درک دانش‌آموزان از مفاهیم حرکت به کار روند. همچنین، سان و پن^{۳۳} (۲۰۲۱) دریافتند که استفاده از کتاب‌های الکترونیکی تعاملی، که شامل پویانمایی‌ها و سوالات باز هستند، موجب افزایش انگیزه و بهبود عملکرد دانش‌آموزان در دروس علمی می‌شود. با این حال، این پژوهش‌ها عمدتاً به محتوای عمومی علوم پرداخته‌اند و کاربرد آزمایش‌های فکری در این قالب را بررسی نکرده‌اند.

پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهند که آزمایش‌های فکری، با تحریک تصویرسازی ذهنی، استدلال منطقی و تفکر خلاق، می‌توانند درک مفهومی و توانایی‌های شناختی دانش‌آموزان را در آموزش علوم، به‌ویژه در مباحثی مانند حرکت‌شناسی، تقویت کنند. هم‌زمان با پیشرفت فناوری، امکان به‌کارگیری این رویکرد در ابزارهای دیجیتال فراهم شده است. کتاب‌های الکترونیکی، به‌عنوان یکی از این ابزارها، با قابلیت ارائه محتوای چندرسانه‌ای و تعاملی، تجربه یادگیری را غنی‌تر و جذاب‌تر می‌سازند (محمد دهلان^{۳۴} و همکاران، ۲۰۲۴؛ جانا^{۳۵}، ۲۰۲۳). در پژوهش حاضر تلاش شد تا پس از بررسی اثربخشی آموزش مفاهیم حرکت‌شناسی مبتنی بر آزمایش‌های فکری، محتوای طراحی‌شده در قالب یک محتوای الکترونیکی ارائه شود تا دانش‌آموزان پایه دوازدهم در فهم این مفاهیم یاری شوند. این محتوا شامل سناریوهایی مانند «حرکت یک جسم با شتاب غیر صفر و سرعت صفر» یا «بررسی حرکت جسم با شتاب‌های متفاوت در یک مسیر مشخص» است که همراه با پویانمایی‌های ساده، نمودارهای تعاملی و سوالات باز ارائه شده‌اند. این عناصر به دانش‌آموزان امکان می‌دهند متغیرهایی چون سرعت اولیه یا شتاب را تغییر دهند و نتایج را به‌صورت بصری مشاهده کنند، که به درک عمیق‌تر روابط حرکت‌شناسی می‌انجامد. مزیت این ابزار در مقایسه با شبیه‌سازی‌های پیچیده یا آزمایش‌های عملی پرهزینه، سهولت دسترسی و کاهش هزینه‌هاست؛ زیرا می‌تواند روی دستگاه‌هایی ساده مانند تبلت یا گوشی هوشمند اجرا شود و در دسترس دانش‌آموزان مناطق مختلف قرار گیرد (ژای^{۳۶} و همکاران، ۲۰۱۹). افزون بر این، بهره‌گیری از عناصر بصری و تعاملی، مانند نمایش گرافیکی حرکت پرتابی یا امکان تغییر شرایط در سناریوها، فرآیند یادگیری را از حالت منفعل به فعال تغییر داده و انگیزه دانش‌آموزان را افزایش می‌دهد (سان و پن، ۲۰۲۱). این ویژگی‌ها موجب می‌شود کتاب الکترونیکی ابزاری مناسب برای آموزش حرکت‌شناسی در شرایط متنوع، به‌ویژه در نظام‌های آموزشی با محدودیت منابع، باشد (هارجونو^{۳۷} و همکاران، ۲۰۲۰).

پژوهش‌های اخیر نیز نشان داده‌اند که فناوری‌های آموزشی و فعالیت‌های تعاملی می‌توانند در بهبود یادگیری مفهومی نقش چشمگیری داشته باشند، با این حال استفاده از آن‌ها در قالب محتوا الکترونیکی کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. مرور پیشینه آشکار می‌سازد که سه حوزه اصلی، یعنی آزمایش‌های فکری، شبیه‌سازی‌های تعاملی و محتوای الکترونیکی، هر یک به‌طور مستقل در یادگیری علوم مؤثر بوده‌اند، اما پژوهش‌های اندکی به تلفیق این رویکردها پرداخته‌اند. پژوهش حاضر در راستای پر کردن این

³² Banda & Nzabahimana

³³ Sun & Pan

³⁴ Mohd Dahlan

³⁵ Jana

³⁶ Zhai

³⁷ Harjono

خلاً، ابتدا اثربخشی آموزش حرکت‌شناسی مبتنی بر آزمایش‌های فکری را بررسی می‌کند و سپس محتوای توسعه‌یافته را در قالب الکترونیکی ارائه و مورد ارزیابی متخصصان قرار می‌دهد.

روش پژوهش

برای دستیابی به اهداف تحقیق، از رویکرد آمیخته (کمی-کیفی) استفاده شد که در ادامه به تفصیل شرح داده می‌شود.

بخش کمی تحقیق

طرح پژوهش

این مطالعه از نوع کاربردی و به روش نیمه‌آزمایشی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون با دو گروه آزمایش و کنترل انجام شد. در این طرح، گروه آزمایش در معرض آموزش با محتواهای آموزشی به کمک آزمایش‌های فکری و گروه کنترل در معرض آموزش با روش متداول قرار گرفتند. تغییرات متغیر وابسته (پیشرفت تحصیلی) در پیش‌آزمون و پس‌آزمون با استفاده از آزمون تی زوجی^{۳۸} بررسی شد. برای مقایسه میانگین پیشرفت تحصیلی بین دو گروه و تحلیل اثر مداخله، از آزمون کوواریانس تک‌متغیره^{۳۹} استفاده شد. این روش‌ها امکان کنترل متغیرهای مخدوش‌کننده و تحلیل دقیق‌تر اثر مداخله را فراهم کردند (فیلد^{۴۰}، ۲۰۱۸).

جامعه و نمونه آماری

جامعه آماری این پژوهش شامل کلیه دانش‌آموزان دختر پایه دوازدهم رشته علوم تجربی شهر کرج در سال تحصیلی ۱۴۰۳-۱۴۰۴ بود. نمونه پژوهش شامل ۶۴ نفر از این جامعه بود که به صورت نمونه در دسترس انتخاب شدند. اعضای نمونه به صورت تصادفی در دو گروه تقسیم شدند: گروه آزمایش با ۲۶ نفر (۴۰.۶۲٪) و گروه کنترل با ۳۸ نفر (۵۹.۳۷٪) نفره تشکیل شده بود. یک کلاس ۲۶ نفره به عنوان گروه آزمایش و دو کلاس ۱۹ نفره به عنوان گروه کنترل در نظر گرفته شدند.

ابزارهای اندازه‌گیری

ابزار اندازه‌گیری، یک آزمون محقق‌ساخته برای سنجش پیشرفت تحصیلی بود. این آزمون شامل ۲۰ سؤال چهارگزینه‌ای بود که بر اساس کتاب درسی فیزیک پایه دوازدهم طراحی شد. توزیع سؤالات بر اساس سطوح شناختی بلوم به این صورت بود: ۵٪ در سطح دانش، ۲۵٪ در سطح فهمیدن، ۵۰٪ در سطح به‌کار بستن و ۲۰٪ در سطح تحلیل. این آزمون با الهام از منابع معتبری چون کتاب فیزیک مفهومی^{۴۱} نوشته هیوئیت، کتاب آموزش فیزیک^{۴۲} نوشته ردیش و آزمون سنجش درک نمودارها در حرکت‌شناسی^{۴۳} (TUG-K) (بیچنر^{۴۴}، ۱۹۹۴) طراحی شد. روایی محتوایی آزمون توسط سه دبیر با تجربه فیزیک و دو استاد دانشگاه در حوزه آموزش فیزیک تأیید شد. پایایی آزمون با محاسبه ضریب آلفای کرونباخ ۰.۸۵۹ به دست آمد که نشان‌دهنده پایایی بالای آن است.

طراحی و اجرای طرح آموزشی

دوره آموزشی به مدت ۶ جلسه ۷۵ دقیقه‌ای برای هر دو گروه اجرا شد. گروه کنترل با روش متداول آموزش دید که شامل ارائه مطالب توسط معلم، انتقال نکات کلیدی به صورت جزوه و واگذاری سؤالات کتاب درسی به عنوان تکلیف بود. در این روش، تأکید بر به خاطر سپردن اطلاعات و حل مسائل بر اساس محفوظات بود و معلم سؤالات چالش‌برانگیز را خود حل می‌کرد، بدون درگیری فعال دانش‌آموزان. در مقابل، گروه آزمایش با استفاده از محتواهای مبتنی بر ۷ آزمایش فکری آموزش دید که به بحث و گفت‌وگوی کلاسی منجر شد. مباحث تدریس شده و مسائل حل شده در هر دو گروه یکسان بود و تنها شیوه آموزش متفاوت بود. محتوای آموزشی مبتنی

³⁸ Paired t-test

³⁹ ANCOVA

⁴⁰ Field

⁴¹ Conceptual Physics

⁴² Teaching Physics

⁴³ Test of Understanding Graphs in Kinematics

⁴⁴ Beichner

بر آزمایش‌های فکری به‌عنوان ابزار اصلی مداخله در گروه آزمایش طراحی شد. این آزمایش‌های فکری بر اساس بدفهمی‌های رایج حرکت‌شناسی تدوین شدند که شامل موارد زیر بود:

(۱) تمایز ندادن بین مسافت و جابجایی، (۲) عدم درک جهت و اندازه کمیت‌های برداری (جابجایی، سرعت، شتاب)، (۳) ناتوانی در تحلیل نمودارهای حرکت‌شناسی، و (۴) ابهام در مفهوم سرعت و شتاب منفی. هر آزمایش فکری شامل سه مرحله بود: (۱) بیان سناریوی تخیلی مرتبط با فرضیه، (۲) تنظیم ساختار استدلالی برای تأیید یا رد فرضیه، (۳) نتیجه‌گیری بر اساس ارزیابی (شریفی و همکاران، ۲۰۲۵b). جدول ۱ شرح جلسات آموزشی گروه آزمایش را نشان می‌دهد. همچنین روایی محتوا نیز توسط سه دبیر با تجربه فیزیک و دو استاد آموزش فیزیک بررسی و پس از اعمال نظرات تخصصی مورد تأیید قرار گرفت.

جدول ۱: شرح جلسات آموزشی با رویکرد آزمایش فکری

شماره	شماره جلسه	مدت زمان جلسه	موضوع مورد بحث	مفاهیم بررسی شده
۱	۱	۷۵ دقیقه	جابه جایی و مسافت به عنوان کمیت برداری و اسکالر	آشنایی با مفهوم حرکت، مسافت و جابه جایی
۲	۱	۷۵ دقیقه	سرعت و جابه جایی دو کمیت برداری که هم جهت هستند.	آشنایی با تندی و سرعت متوسط
۳	۲	۷۵ دقیقه	سرعت متحرک در لحظه تغییر جهت، صفر است.	آشنایی با نمودار مکان-زمان
۴	۳	۷۵ دقیقه	در صورتی که $\vec{a} = 0$ باشد، $\vec{v}$ می تواند صفر نباشد.	آشنایی با حرکت یکنواخت
۵	۴	۷۵ دقیقه	بردار شتاب همواره هم جهت بردار سرعت و جابه جایی جسم نیست.	آشنایی با مفهوم شتاب
۶	۵	۷۵ دقیقه	در صورتی که $\vec{v} = 0$ باشد، $\vec{a}$ می تواند صفر نباشد.	آشنایی با حرکت شتاب ثابت، معادلات و نمودارهای حرکت شتابدار
۷	۶	۷۵ دقیقه	شتاب یا سرعت منفی به معنای کاهش آن کمیت نیست.	آشنایی با حرکت تند شونده و کند شونده، تعیین علامت کمیت های سرعت و شتاب

در گروه آزمایش، هر جلسه با طرح یک پرسش آغاز می‌شد تا سطح درک اولیه دانش‌آموزان از مفهوم موردنظر ارزیابی شود. در صورت آشکار شدن بدفهمی‌ها، سناریوی آزمایش فکری بر روی تخته ارائه می‌شد و فرایند آموزش از طریق گفت‌وگوی کلاسی و پرسش‌های هدایت‌کننده ادامه می‌یافت. از دانش‌آموزان خواسته می‌شد موقعیت مطرح‌شده را به‌صورت ذهنی بازسازی کنند؛ برای مثال، با بستن چشم‌ها یا ترسیم یک طرح ساده بر روی کاغذ، آن را مجسم سازند (گندلر، ۲۰۰۴).

بخش کیفی تحقیق

طراحی محتوای الکترونیکی

محتوای الکترونیکی طراحی شده در این پژوهش در قالب تعدادی واحد آموزشی تنظیم شده است که هر یک متناظر با جلسات آموزشی گروه آزمایش می باشند. طراحی این محتوا با هدف تسهیل یادگیری مفاهیم حرکت شناسی از طریق درگیرسازی فعال دانش آموزان و بهره گیری از آزمایش های فکری انجام شده و به صورت کلی در سه بعد اصلی شامل محتوای مفهومی، ویژگی های چندرسانه ای، و طراحی رابط کاربری توسعه یافته است. در بعد محتوای مفهومی، هر واحد آموزشی با یک سناریوی آزمایش فکری آغاز می شود که به صورت یک موقعیت چالش برانگیز همراه با تصویر ارائه می گردد. این سناریوها بر اساس بدفهمی های رایج دانش آموزان طراحی شده اند و هدف آن ها فعال سازی پیش دانسته ها، ایجاد تعارض شناختی و هدایت دانش آموز به سمت تحلیل و استدلال است. در این سناریوها، یک فرضیه مطرح شده که در بستر استدلال دانش آموز را به تایید یا رد آن هدایت میکند. موضوع این آزمایش های فکری با محتوا و سطح کتاب درسی فیزیک پایه دوازدهم هم راستا بوده و مفاهیمی مانند جابجایی، سرعت، شتاب، حرکت یکنواخت و حرکت شتابدار را پوشش می دهد. این رویکرد با دیدگاه های مطرح شده درباره نقش آزمایش های فکری در فهم مفاهیم علمی و تقویت استدلال مفهومی هم خوانی دارد (گندلر، ۲۰۰۴).

در ادامه هر سناریو، محتوای آموزشی با استفاده از عناصر چندرسانه ای توسعه می یابد. این عناصر شامل پویانمایی های ساده برای نمایش بصری حرکت (مانند حرکت پرتابی)، تصاویر آموزشی، نمودارهای مکان-زمان و سرعت-زمان، و سؤالات مفهومی باز پاسخ هستند که دانش آموز را به تحلیل عمیق تر وادار می کنند. طراحی این عناصر بر اساس اصول یادگیری چندرسانه ای انجام شده است، به گونه ای که ترکیب تصویر، متن و تعامل، بار شناختی را مدیریت کرده و یادگیری معنادار را تقویت می کند (مایر و فیورلا^{۴۵}، ۲۰۲۲). علاوه بر این، در این محتوا از آزمایشگاه های مجازی نیز استفاده شده است که امکان تعامل فعال را برای یادگیرنده فراهم می کند. در این بخش، دانش آموز می تواند متغیرهایی مانند سرعت اولیه، شتاب یا شرایط حرکت را تغییر داده و تأثیر این تغییرات را به صورت بصری مشاهده و تحلیل کند. این قابلیت به درک شهودی تر روابط بین کمیت های فیزیکی کمک کرده و امکان یادگیری از طریق تجربه و اکتشاف را فراهم می سازد. همچنین، ویدئوهای آموزشی حل تمرین به صورت گام به گام در نظر گرفته شده اند تا فرآیند حل مسائل برای دانش آموزان شفاف تر شود و یادگیری آن ها تثبیت گردد.

در طراحی رابط کاربری، تلاش شده است تا محیطی ساده، قابل فهم و کاربر پسند ایجاد شود. ساختار محتوا به گونه ای است که کاربر تجربه ای مشابه با مطالعه یک کتاب فیزیکی را داشته باشد؛ به طوری که امکان ورق زدن صفحات، کلیک بر بخش های مختلف و پیمایش آسان در میان مطالب فراهم شده است. استفاده از تصاویر و پویانمایی ها با هدف جلب توجه، کاهش بار شناختی و تسهیل تجسم ذهنی صورت گرفته است تا با یافته های پژوهشی در زمینه اهمیت تصویرسازی در فرایندهای شناختی هم راستا باشد (گندلر، ۲۰۰۴).

محتوای الکترونیکی با استفاده از نرم افزارهای طراحی آموزشی (مانند Adobe Captivate یا Articulate Storyline) توسعه یافت و شامل پویانمایی های ساده (مثل نمایش حرکت یک جسم پرتاب شده)، نمودارهای بصری و سؤالات باز پاسخ بود که دانش آموزان را به استدلال ترغیب می کرد. در مجموع، محتوای الکترونیکی طراحی شده با ترکیب هدفمند آزمایش های فکری، عناصر تعاملی، ابزارهای چندرسانه ای و آموزش مبتنی بر حل مسئله، بستری مناسب برای یادگیری فعال، درک مفهومی عمیق و افزایش مشارکت دانش آموزان در فرایند یادگیری مفاهیم حرکت شناسی فراهم می کند. همچنین، این محتوا به گونه ای طراحی شده تا قابلیت اجرا بر روی دستگاه های مختلف از جمله تلفن همراه، تبلت و رایانه را داشته باشد که این امر دسترسی پذیری و انعطاف پذیری استفاده از آن را افزایش می دهد. نمونه ای از این محتوا و اجزای آن در بخش پیوست ارائه شده است و نسخه کامل آن از طریق لینک (<https://physics-edu.ir/courses/mechanics/>) در دسترس می باشد.

به عنوان نمونه، یکی از آزمایش های فکری طراحی شده به موقعیت نوسان یک تاب مربوط می شود. در این سناریو، دانش آموزان با این پرسش مواجه می شوند که آیا ممکن است سرعت جسمی در یک لحظه صفر باشد اما همچنان شتاب داشته باشد. موقعیت به این

صورت طرح می‌شود که فردی بر روی تاب نشسته و در حال نوسان است و در نقطه بازگشت مسیر، سرعت او برای لحظه‌ای صفر می‌شود. در نگاه اولیه ممکن است چنین برداشت شود که صفر بودن سرعت به معنای نبودن شتاب و سکون کامل است؛ اما تحلیل حرکت نشان می‌دهد که اگر شتاب نیز در آن لحظه صفر باشد، تغییر جهت حرکت امکان‌پذیر نخواهد بود و نوسان متوقف می‌شود. این تعارض شناختی دانش‌آموز را وادار می‌کند رابطه بین سرعت و شتاب را بازنگری کند. بررسی سینماتیکی حرکت تاب نشان می‌دهد که هرچند مقدار سرعت لحظه‌ای در نقطه بازگشت صفر است، اما صفر بودن سرعت در یک لحظه لزوماً به معنای صفر بودن شتاب نیست و برای تحلیل دقیق حرکت باید به تغییرات زمانی سرعت و جهت آن توجه کرد. این آزمایش فکری با تأکید بر ماهیت برداری کمیت‌های حرکت، تمایز میان «صفر بودن مقدار سرعت» و «نداشتن شتاب» را برای دانش‌آموزان روشن می‌سازد.

اعتبارسنجی محتوای الکترونیکی

برای اعتبارسنجی محتوای الکترونیکی، از روش گروه‌های کانونی^{۴۶} استفاده شد که یک تکنیک کیفی مؤثر برای جمع‌آوری بازخوردهای عمیق و کاربردی است (باربور و کیتزینگر^{۴۷}، ۱۹۹۹). این روش به دلیل تعامل بین شرکت‌کنندگان، امکان کشف نگرش‌ها، احساسات و تجربیات را فراهم می‌کند که با روش‌های دیگر مانند مصاحبه فردی یا پرسشنامه به راحتی قابل دسترسی نیست (مورگان^{۴۸}، ۲۰۱۲).

مراحل اجرا

• تعیین اهداف و سؤالات: سؤالات نیمه‌ساختاریافته‌ای طراحی شد، از جمله:

۱. میزان همخوانی محتوا با سرفصل‌های آموزشی کتب دبیرستان چقدر است؟
۲. تأثیر بخش‌های تعاملی بر یادگیری و مشارکت دانش‌آموزان چگونه به نظر می‌رسد؟
۳. کیفیت تمرین‌ها و مثال‌ها از نظر چالش‌برانگیزی و به‌روز بودن چگونه است؟
۴. طراحی بصری و ابزارهای چندرسانه‌ای در محتوای الکترونیکی چگونه است؟
۵. سهولت دسترسی فنی و پیمایش در محتوای الکترونیکی چگونه است؟

• انتخاب شرکت‌کنندگان: هفت متخصص به روش ملاک‌محور انتخاب شدند: دو متخصص آموزش فیزیک، دو متخصص علوم شناختی، یک متخصص تکنولوژی آموزشی و دو متخصص علوم تربیتی (در مجموع ۷ نفر). این افراد تجربه تدریس و تخصص مرتبط داشتند و تمایل به همکاری نشان دادند.

جدول ۲: مشخصات خبرگان شرکت‌کننده در بخش گروه‌های کانونی

جنسیت	سن	شغل	رشته	مدرك تحصیلی
زن	۵۱	عضو هیات علمی	فیزیک	دکتری تخصصی
مرد	۵۵	عضو هیات علمی	فیزیک	دکتری تخصصی
زن	۵۳	عضو هیات علمی	روانشناسی تربیتی	دکتری تخصصی
مرد	۵۸	عضو هیات علمی	برنامه ریزی درسی	دکتری تخصصی
مرد	۳۷	معلم و مدرس دانشگاه	علوم شناختی	دکتری تخصصی
زن	۲۹	معلم	آموزش فیزیک	کارشناسی ارشد

⁴⁶ Focus Groups

⁴⁷ Barbour & Kitzinger

⁴⁸ Morgan

- طراحی و اجرای جلسه: یک گروه کانونی واحد در یک جلسه ۲ ساعته برگزار شد. پس از ارائه کوتاهی از محتوای طراحی شده، شرکت کنندگان به بحث آزاد و پاسخ به سؤالات تشویق شدند. جلسه با رضایت شرکت کنندگان ضبط شد.
- تحلیل داده‌ها: محتوای کامل جلسه پیاده‌سازی و سپس با رویکرد تحلیل مضمون^{۴۹} مورد بررسی قرار گرفت (بران و کلارک^{۵۰}، ۲۰۰۶).

هدف از تحلیل، فراتر رفتن از فهرست کردن صرف نقاط قوت و ضعف و دستیابی به الگوهای مشترک و تفاوت‌های مهم در دیدگاه‌های متخصصان بود که از طریق مراحل خوانش مکرر متن جلسه، کدگذاری اولیه (کدهای باز)، تجمیع کدها (کدهای محوری) و شناسایی مضامین فرعی، و استخراج و پالایش مضامین اصلی پیگیری شد. مضامین اصلی نهایی شامل کیفیت علمی و دقت در محتوا، اثرگذاری آموزشی و یادگیری، جذابیت و پویایی و طراحی کاربر پسند و راحتی در استفاده بودند که چارچوبی نظام‌مند برای اصلاحات بعدی محتوا را فراهم کردند.

- جمع‌بندی: یافته‌های حاصل از تحلیل مضمون در اختیار گروه طراحی محتوای الکترونیکی قرار گرفت و اصلاحات لازم تا جای ممکن بر اساس آن اعمال شد سپس مجدداً به تایید گروه کانونی رسید.

یافته‌ها

در این بخش، یافته‌های حاصل از تحلیل داده‌های کمی و کیفی پژوهش ارائه می‌شود. ابتدا نتایج بخش کمی که بر اساس آزمون محقق ساخته پیشرفت تحصیلی به دست آمده، شرح داده می‌شود و سپس در بخش بعدی، نتایج کیفی گزارش خواهد شد.

نتایج بخش کمی

داده‌های جمع‌آوری شده از آزمون محقق ساخته پیشرفت تحصیلی با استفاده از نرم‌افزار اسپس اس ۲۶^{۵۱} تحلیل شدند. هدف از این تحلیل، بررسی تأثیر آموزش مفاهیم حرکت شناسی به کمک آزمایش‌های فکری بر پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان و مقایسه عملکرد گروه آزمایش و کنترل بود. در ابتدا، پیش‌فرض‌های آماری برای استفاده از آزمون‌های پارامتریک بررسی شد و سپس تحلیل‌های توصیفی و استنباطی انجام گرفت.

بررسی پیش‌فرض‌ها

برای اطمینان از همگنی واریانس‌ها بین دو گروه آزمایش و کنترل، از آزمون لَوْن^{۵۲} استفاده شد. همچنین، یکنواختی ضرایب در پیش‌آزمون با آزمون کوواریانس تک‌متغیره ارزیابی گردید. نتایج این آزمون‌ها در جدول ۲ ارائه شده است:

جدول ۳: نتایج آزمون لَوْن و کوواریانس تک‌متغیره برای بررسی همگنی واریانس

متغیر	آزمون لَوْن	آزمون کوواریانس
پیشرفت تحصیلی	0.401	0.362

⁴⁹ Thematic Analysis

⁵⁰ Braun & Clarke

⁵¹ SPSS 26

⁵² Levene's Test

نتایج آزمون لَوْن برای متغیر پیشرفت تحصیلی ($p = 0.401$) نشان داد که مقدار p بیشتر از ۰.۰۵ است، بنابراین فرض همگنی واریانس‌ها بین دو گروه تأیید می‌شود و امکان استفاده از آزمون‌های پارامتریک وجود دارد. همچنین، نتایج آزمون کوواریانس تک‌متغیره با سطح اطمینان ۹۵٪ ($p = 0.362 > 0.05$) حاکی از یکنواختی ضرایب در مرحله پیش‌آزمون بود، که این پیش‌فرض نیز برای تحلیل‌های بعدی برقرار است.

تحلیل توصیفی

مقادیر توصیفی پیشرفت تحصیلی در دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون برای هر گروه در جدول ۳ ارائه شده است. این جدول شامل میانگین، انحراف معیار، اختلاف میانگین و نتایج آزمون تی زوجی برای بررسی تغییرات درون‌گروهی است:

جدول ۴: مقادیر توصیفی پیشرفت تحصیلی به تفکیک گروه

متغیر	گروه	نوع	میانگین $\pm$ انحراف معیار	اختلاف میانگین	آماره t	درجه آزادی	معنی داری
پیشرفت تحصیلی	کنترل	پیش‌آزمون	4 ± 2.45	-2.47	4.92	32	<0.001
		پس‌آزمون	6.47 ± 2.29				
	آزمایش	پیش‌آزمون	3.28 ± 1.51	-5.96	0.38	24	<0.001
		پس‌آزمون	9.24 ± 2.49				

نتایج نشان می‌دهد که در گروه کنترل، میانگین نمرات از ۴ در پیش‌آزمون به ۶.۴۷ در پس‌آزمون افزایش یافته است (اختلاف میانگین -۲.۴۷) و آزمون تی زوجی ($t = 4.92, p < 0.001$) این تغییر را معنی‌دار نشان می‌دهد. در گروه آزمایش، میانگین نمرات از ۳.۲۸ در پیش‌آزمون به ۹.۲۴ در پس‌آزمون رسیده (اختلاف میانگین -۵.۹۶) و آزمون تی زوجی ($t = 0.38, p < 0.001$) نیز تغییرات را معنی‌دار تأیید می‌کند. این نتایج حاکی از بهبود عملکرد تحصیلی در هر دو گروه است، اما میزان افزایش در گروه آزمایش بیشتر به نظر می‌رسد.

تحلیل استنباطی

برای پاسخگویی به سوال اول پژوهش می‌توان فرضیه زیر را نوشت:
فرضیه: آموزش مفاهیم حرکت شناسی به کمک آزمایش‌های فکری بر پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان تأثیر معنادار دارد.
برای مقایسه بین‌گروهی و بررسی فرضیه پژوهش مبنی بر تأثیر آموزش با آزمایش‌های فکری بر پیشرفت تحصیلی، از آزمون کوواریانس تک‌متغیره استفاده شد. نتایج این آزمون در جدول ۴ ارائه شده است:

جدول ۵: نتایج آزمون کوواریانس مربوط به پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان

پارامتر	بتا	خطای استاندارد	آماره t	مقدار (p-value)	ضریب اتا (η^2)
عرض از مبدأ	8.1	0.66	12.2	<0.001*	0.734
پیش‌آزمون	0.34	0.15	2.29	0.026*	0.088

پارامتر	بتا	خطای استاندارد	آماره t	مقدار (p-value)	ضریب اتا (η^2)
گروه	-3.01	0.62	-4.86	<0.001*	0.304

نتایج آزمون کوواریانس نشان داد که تفاوت معنی داری در میانگین پیشرفت تحصیلی بین دو گروه وجود دارد:

$$[F(1,57) = 23.6, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .304]$$

این یافته تأیید می‌کند که آموزش مفاهیم حرکت شناسی با استفاده از آزمایش‌های فکری تأثیر معنی داری بر پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان داشته است. به‌طور خاص، گروه آزمایش به‌طور متوسط ۳۰۱ واحد بیشتر از گروه کنترل پیشرفت داشته است. ($p < .001$) ضریب تعیین (R^2) مدل برابر با ۰.۳۲۳ بود، که نشان می‌دهد ۳۲.۳٪ از تغییرات نمرات پس‌آزمون تحت تأثیر متغیر گروه (مداخله آموزشی) و نمرات پیش‌آزمون است. همچنین، ضریب اتای جزئی (۰.۳۰۴) حاکی از اثرگذاری متوسط تا قوی مداخله است (کوهن^{۵۳}، ۱۹۸۸). بر اساس نتایج به دست آمده، فرضیه پژوهش مبنی بر تأثیر مثبت آموزش با آزمایش‌های فکری بر پیشرفت تحصیلی تأیید شد. گروه آزمایش نسبت به گروه کنترل عملکرد بهتری نشان داد. این یافته نشان‌دهنده اثربخشی رویکرد مبتنی بر آزمایش‌های فکری در بهبود یادگیری حرکت شناسی است.

نتایج بخش کیفی

برای ارزیابی کیفیت محتوای الکترونیکی، داده‌های کیفی از جلسات گروه کانونی با استفاده از روش تحلیل مضمون بررسی شدند (بران و کلارک، ۲۰۰۶). این تحلیل بر اساس کدهای استخراج‌شده از نظرات ۷ متخصص انجام شد و به شناسایی مضامین اصلی منجر گردید. در ادامه، نتایج به تفکیک مضمون‌ها ارائه می‌شود.

۱- کیفیت علمی و دقت محتوا

- **دقت مفاهیم علمی (فراوانی: ۶):** شرکت‌کنندگان بر صحت علمی محتوا تأکید داشتند و آن را با استانداردهای علمی روز و منابع معتبر هم‌راستا دانستند. به گفته یکی از متخصصان: «این محتوای الکترونیک به‌خوبی توانسته مفاهیم کلیدی حرکت شناسی را به دقت بیان کند و پایه‌ای علمی قوی ارائه دهد.» دیگری افزود: «مفاهیم علمی به‌صورت دقیق و بدون خطا طراحی شده و می‌تواند مرجعی صحیح برای دانش‌آموزان باشد.» با این حال، برخی پیشنهاد کردند که مفاهیم پیچیده‌تر، مانند تفاوت سرعت و تندی، با توضیحات تکمیلی یا نمایش گرافیکی دقیق‌تر همراه شود تا فهم آن‌ها تسهیل گردد. همچنین، نقش آزمایش‌های فکری در ارتقای دقت علمی مورد توجه قرار گرفت: «آزمایش‌های فکری به یادگیری و فهم مطالب کمک می‌کند و نقطه قوت آن است.»
- **وضوح تعاریف و اصطلاحات (فراوانی: ۵):** تعاریف مفاهیمی چون سرعت، شتاب و جرم به‌طور کلی شفاف و مناسب سطح دبیرستان ارزیابی شد. یکی از شرکت‌کنندگان اظهار داشت: «تعاریف ساده و شفاف هستند.» با این حال، پیشنهاد شد که برای برخی مفاهیم (مانند انواع حرکت) از مثال‌های ملموس‌تر و پویانمایی استفاده شود تا درک بهتری ایجاد کند.
- **انطباق با سرفصل‌های درسی (فراوانی: ۶):** محتوای الکترونیکی با سرفصل‌های آموزشی درس فیزیک پایه دوازدهم هم‌راستا بود. یکی از متخصصان گفت: «با توجه به پوشش کامل محتوای کتاب درسی، این محتوا می‌تواند به عنوان منبع مستقلی جایگزین کتاب درسی شود.» این انطباق، محتوای طراحی شده را به عنوان مکملی معتبر یا جایگزینی مستقل معرفی می‌کند.

نتیجه‌گیری مضمون: محتوا از نظر علمی دقیق و با سرفصل‌ها هم‌راستاست، اما افزودن توضیحات تکمیلی برای مفاهیم پیچیده توصیه می‌شود.

۲- جذابیت و پویایی

- تعاملی بودن محتوا (فراوانی: ۵): قابلیت‌های تعاملی مانند آزمایش‌های مجازی و ویدئوهای آموزشی مورد استقبال قرار گرفت. یکی از شرکت‌کنندگان اظهار داشت: «شبیه‌سازی‌ها دانش‌آموزان را به تجربه عملی مفاهیم سوق می‌دهد.» پیشنهاد شد تعداد این محتواها برای مفاهیم پیچیده (مانند قوانین نیوتن) افزایش یابد.
- جذابیت بصری و طراحی گرافیکی (فراوانی: ۶): طراحی بصری با تصاویر و نمودارهای واضح، انگیزه‌بخش توصیف شد. به گفته یکی از متخصصان: «طراحی گرافیکی جذاب، دانش‌آموزان را به مطالعه ترغیب می‌کند.» با این حال، افزودن پویانمایی‌های پویاتر پیشنهاد شد. همچنین، رویکرد بازی‌وارسازی مورد توجه قرار گرفت: «استفاده از بازی‌های آموزشی می‌تواند انگیزه را افزایش دهد.» مطالعات نشان می‌دهند که بازی‌وارسازی یادگیری و خلاقیت را تقویت می‌کند (دتردینگ^{۵۴} و همکاران، ۲۰۱۱).

نتیجه‌گیری مضمون: محتوای الکترونیکی از نظر تعاملی و بصری موفق است، اما افزایش پویانمایی‌ها و بازی‌وارسازی می‌تواند جذابیت را بیشتر کند.

۳- طراحی کاربرپسند و راحتی/استفاده

- ناوبری و دسترسی (فراوانی: ۴): منوها و قابلیت جستجو به‌عنوان نقاط قوت شناخته شدند. یکی از متخصصان گفت: «راهنمای محتوا و قابلیت جستجو و حاشیه‌نویسی بسیار کاربردی است.»
- قابلیت شخصی‌سازی (فراوانی: ۲): پیشنهاد شد که تنظیماتی مانند تغییر فونت و رنگ پس‌زمینه اضافه شود تا نیازهای متنوع کاربران برآورده گردد.
- طراحی کاربرپسند (فراوانی: ۵): رابط کاربری با رنگ‌بندی مناسب و حجم مناسب مطالب، بار شناختی را کنترل می‌کند. یکی از شرکت‌کنندگان اظهار داشت: «استفاده مناسب از جلوه‌های بصری از اخلاص در یادگیری جلوگیری کرده است.» نتیجه‌گیری مضمون: ناوبری و طراحی کاربرپسند قوی است، اما قابلیت‌های شخصی‌سازی نیاز به تقویت دارد.

۴- اثرگذاری آموزشی و یادگیری

- تشویق به حل مسئله و تفکر انتقادی (فراوانی: ۵): آزمایش‌های فکری و مضمون‌رین‌ها تفکر انتقادی را تقویت می‌کنند. به گفته یکی از متخصصان: «آزمایش‌های فکری بدیع هستند و مهارت حل مسئله را ارتقا می‌دهند.»
- ارتباط با دنیای واقعی و علوم دیگر (فراوانی: ۴): مثال‌های ملموس (مانند اصطکاک در خودروها) مورد تحسین قرار گرفت، اما پیشنهاد شد مثال‌های بیشتری اضافه شود تا ارتباط با زندگی روزمره و علوم دیگر (مثل ریاضی) تقویت گردد. نتیجه‌گیری مضمون: محتوای الکترونیکی در تقویت یادگیری و تفکر انتقادی موفق است و مثال‌های واقعی آن اثربخشی را افزایش داده‌اند.

پیشنهادهای کاربردی برای بهبود

- توضیحات تکمیلی: افزودن مثال‌ها و توضیحات بیشتر برای مفاهیم پیچیده (مانند شتاب).
- پویانمایی‌های آموزشی: افزایش پویانمایی‌ها برای موضوعات پویا (مانند حرکت).
- تنظیمات شخصی‌سازی: اضافه کردن قابلیت تغییر فونت و رنگ پس‌زمینه.
- کاربردهای دنیای واقعی: گسترش مثال‌های عملی (مانند کاربرد شتاب در صنعت).
- بازی‌وارسازی: گنجاندن بازی‌های آموزشی برای افزایش انگیزه.

جدول ۶: نتایج تحلیل کیفی در قالب نمودار

مضامین اصلی	مضامین فرعی	فراوانی
جذابیت و پویایی	جذابیت بصری و طراحی گرافیکی	۶
	تعاملی بودن محتوا	۵
کیفیت علمی و دقت در محتوا	دقت در مفاهیم علمی	۶
	وضوح تعاریف و اصطلاحات	۵
	انطباق با سرفصل های کتاب درسی	۶
طراحی کاربرپسند و سهولت در استفاده	طراحی کاربرپسند	۵
	قابلیت شخصی سازی	۲
	ناوبری و دسترسی	۴
اثرگذاری آموزشی و یادگیری	تشویق به حل مساله و تفکر انتقادی	۵
	ارتباط با دنیای واقعی و پیوند با علوم دیگر	۴

نتایج مضامین

نهایتاً محتوای الکترونیکی طراحی شده طبق نظر متخصصان، ابزاری مؤثر با دقت علمی بالا، طراحی جذاب، قابلیت‌های تعاملی، و با تمرکز بر تفکر انتقادی است. نقاط قوت شامل انطباق با سرفصل‌ها، استفاده از آزمایش‌های فکری، و ارتباط با دنیای واقعی است. با این حال، افزودن پویانمایی‌های بیشتر، قابلیت‌های شخصی‌سازی کاملتر و استفاده از بازیوارسازی می‌تواند آن را بهبود بخشد.

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی اثربخشی آموزش مفاهیم حرکت‌شناسی درس فیزیک با استفاده از آزمایش‌های فکری بر پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان پایه دوازدهم و همچنین تدوین یک محتوای درسی الکترونیکی مناسب، بر اساس آزمایش‌های فکری طراحی‌شده، انجام شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که آموزش مفاهیم حرکت‌شناسی مبتنی بر آزمایش‌های فکری، در مقایسه با روش‌های متداول، تأثیر مثبت و معناداری بر پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان پایه دوازدهم دارد و گروه آزمایش عملکرد بهتری نسبت به گروه کنترل نشان داد. این نتایج با مطالعات پیشین نظیر ولنتزاس و هالکیا (۲۰۱۱) و رینر و گیلبرت (۲۰۰۰) همخوانی دارد که نقش آزمایش‌های فکری را در تقویت درک مفهومی و استدلال علمی نشان داده‌اند. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که آزمایش‌های فکری از طریق ایجاد سناریوهای ذهنی، امکان تجسم و تحلیل مفاهیم انتزاعی مانند سرعت، شتاب و جابجایی را فراهم می‌کنند و از این طریق به تسهیل یادگیری این مفاهیم کمک می‌کنند (ولنتزاس و هالکیا، ۲۰۱۱؛ رینر و گیلبرت، ۲۰۰۰). در بخش کیفی، ارزیابی متخصصان حوزه آموزش از محتوای الکترونیکی طراحی‌شده نشان داد که این محتوا از نظر کیفیت علمی، دقت مفهومی، جذابیت، پویایی، اثرگذاری آموزشی و طراحی کاربرپسند دارای سطح مطلوبی است. این یافته نشان می‌دهد که محتوای الکترونیکی مبتنی بر آزمایش‌های فکری طراحی‌شده در این پژوهش، از نظر آموزشی معتبر بوده و قابلیت استفاده به‌عنوان یک ابزار مکمل در آموزش حرکت‌شناسی را دارد. این نتایج با پژوهش‌های سان و پن (۲۰۲۱) و هارجونو و همکاران (۲۰۲۰) هم‌راستا است که نشان داده‌اند ابزارهای دیجیتال تعاملی می‌توانند یادگیری و انگیزه دانش‌آموزان را بهبود دهند. در عین حال، پیشنهاد‌های ارائه‌شده از سوی متخصصان، از جمله ضرورت افزودن پویانمایی‌های جذاب‌تر، قابلیت‌های شخصی‌سازی و عناصر بازی‌وارسازی، نشان داد که اگرچه محتوای طراحی‌شده از نظر علمی و آموزشی معتبر است، اما همچنان امکان بهبود آن از نظر طراحی انگیزشی وجود دارد. این

موضوع با نظریه یادگیری چندرسانه‌ای مایر و فیورلا (۲۰۲۲) همخوان است که بر اهمیت ایجاد تعادل میان بار شناختی و جذابیت بصری در طراحی محتوای آموزشی تأکید دارد.

یکی از ویژگی‌های مهم این پژوهش، استفاده از رویکرد آمیخته (کمی-کیفی) بود که امکان بررسی اثربخشی آموزشی و اعتبار محتوای طراحی شده را به صورت مکمل فراهم کرد. در بخش کمی، اثربخشی آموزش مبتنی بر آزمایش‌های فکری با استفاده از طرح شبه‌آزمایشی پیش‌آزمون-پس‌آزمون با گروه کنترل بررسی شد و نتایج آن نشان‌دهنده بهبود معنادار یادگیری دانش‌آموزان بود. در بخش کیفی نیز ارزیابی متخصصان از طریق گروه‌های کانونی نشان داد که محتوای طراحی شده از نظر علمی و آموزشی قابل قبول است. این ترکیب نشان داد که آزمایش‌های فکری نه تنها از نظر نظری، بلکه در قالب یک ابزار آموزشی طراحی شده نیز قابلیت اجرا و استفاده در محیط واقعی کلاس درس را دارند. همچنین، طراحی محتوا با توجه به بدفهمی‌های رایج دانش‌آموزان، مانند تمایز میان مسافت و جابجایی یا مفهوم شتاب منفی، نشان داد که می‌توان از آزمایش‌های فکری برای هدف قرار دادن مشکلات مفهومی خاص دانش‌آموزان استفاده کرد. این یافته با چارچوب مطالعات ترکیبی کرسول و پلانو کلارک^{۵۵} (۲۰۱۸) همخوان است که بر اهمیت ترکیب شواهد کمی و کیفی برای درک بهتر پدیده‌های آموزشی تأکید می‌کند. همچنین این نتیجه با چارچوب ICAP نیز سازگار است که نقش فعالیت‌های تعاملی را در یادگیری عمیق برجسته می‌کند (چی و وایلی، ۲۰۱۴).

با وجود این یافته‌ها، نتایج پژوهش باید با توجه به برخی محدودیت‌ها تفسیر شوند. نمونه‌گیری در دسترس و محدود بودن نمونه به دانش‌آموزان دختر در یک منطقه جغرافیایی خاص (شهر کرج) نشان می‌دهد که نتایج به طور مستقیم قابل تعمیم به همه دانش‌آموزان نیست. همچنین، دوره آموزشی شش جلسه‌ای نشان داد که حتی یک مداخله آموزشی نسبتاً کوتاه نیز می‌تواند تأثیر معناداری بر یادگیری داشته باشد، اما برای بررسی پایداری این اثر در بلندمدت به مطالعات بیشتری نیاز است. بنابراین، انجام پژوهش‌هایی با نمونه‌های متنوع‌تر، دوره‌های آموزشی طولانی‌تر و در سایر مباحث فیزیک می‌تواند به تعیین دامنه و پایداری اثربخشی این رویکرد کمک کند.

در مجموع، این یافته‌ها نشان می‌دهد که آزمایش‌های فکری را می‌توان نه تنها به عنوان یک راهبرد آموزشی مؤثر، بلکه به عنوان مبنایی برای طراحی ابزارهای آموزشی الکترونیکی مورد استفاده قرار داد. همچنین تأکید متخصصان بر دسترس‌پذیری محتوا و عدم وابستگی آن به تجهیزات پیچیده نشان داد که این ابزار قابلیت استفاده در محیط‌های آموزشی با امکانات محدود را دارد. بر این اساس، دستاورد اصلی این پژوهش ارائه شواهد تجربی از اثربخشی آموزش مبتنی بر آزمایش‌های فکری در بهبود یادگیری حرکت‌شناسی و همچنین طراحی و اعتبارسنجی یک محتوای الکترونیکی مبتنی بر این رویکرد است که قابلیت استفاده در محیط‌های واقعی آموزشی را دارد. علاوه بر این، نتایج این پژوهش نشان داد که می‌توان از آزمایش‌های فکری به عنوان یک چارچوب عملی برای طراحی ابزارهای آموزشی الکترونیکی در آموزش علوم (فیزیک) استفاده کرد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، اثربخشی این محتوای الکترونیکی در شرایط آموزشی متفاوت و بر متغیرهایی مانند پیشرفت تحصیلی، خودکارآمدی و نگرش دانش‌آموزان مورد بررسی قرار گیرد. همچنین بررسی نقش عناصر طراحی مانند بازی‌وارسازی و قابلیت‌های تعاملی پیشرفته می‌تواند به بهبود اثربخشی این ابزارها کمک کند.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع وجود ندارد.

سپاسگزاری

نویسنده دوم مقاله از دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی بابت حمایت مالی با شماره پژوهانه ۲۳۹۰۵/۳۸۸۰۶۶ تشکر و قدردانی می‌کند.

منابع

- احمدی بابادی، قباد. (۱۴۰۳). تأثیر روش‌های تدریس فعال بر درک مفاهیم شیمی: مطالعه تأثیر استفاده از روش‌هایی مانند تدریس مبتنی بر مسئله، پروژه و بحث گروهی بر افزایش عمق یادگیری [مقاله ارائه شده در کنفرانس]. اولین همایش بین‌المللی ایده‌های تحول‌آفرین در زمینه مطالعات فرهنگی و آموزشی در آموزش و پرورش با تأکید بر اقدام‌پژوهی، درس‌پژوهی و روایت‌پژوهی در هزاره سوم. <https://civilica.com/doc/2128491>
- احمدی، غلامعلی، صابری، منیژه، و احمدی، فاطمه. (۱۳۹۹). تأثیر تدریس به شیوه بحث گروهی بر توانایی استدلال دانش‌آموزان در حل مسائل فیزیک. *فناوری آموزش*، ۱۴ (۴)، ۹۰۱-۹۱۳. <https://doi.org/10.22061/tej.2020.5614.2247>
- محمودی، فیروز، و صادقی، فرزانه. (۱۳۹۷). فراتحلیل اثربخشی روش‌های تدریس فعال بر پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان. *مجله مطالعات آموزش و یادگیری*، ۱۰ (۱)، ۲۵-۵۵. <https://doi.org/10.22099/jsli.2018.4915>
- نصرت، فاطمه، یوسفی، علیرضا، و لیاقت‌دار، محمدجواد. (۱۳۸۹). تأثیر آموزش فعال فناورانه فیزیک بر پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان دوره متوسطه. *پژوهش در برنامه‌ریزی درسی (دانش و پژوهش در علوم تربیتی-برنامه‌ریزی درسی)*، ۷ (۲۵)، ۵۳-۶۴. <https://sid.ir/paper/127455/fa>
- Banda, H. J., & Nzabanimana, J. (2021). Effect of integrating physics education technology simulations on students' conceptual understanding in physics: A review of literature. *Physical Review Physics Education Research*, 17(2), Article 023108. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.023108>
- Bancong, H. (2024). The past and present of thought experiments' research at Glancy: Bibliometric review and analysis. *Discover Education*, 3, Article 142. <https://doi.org/10.1007/s44217-024-00246-z>
- Bao, L., & Koenig, K. (2019). Physics education research for 21st century learning. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1, Article 2. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0007-8>
- Bascandziev, I. (2024). *Thought experiments as an error detection and correction tool*. *Cognitive Science*, 48(1), Article e13401. <https://doi.org/10.1111/cogs.13401>
- Bascandziev, I., & Bonawitz, E. (2025, August 14). *Thought experiments can enhance science learning*. Harvard Graduate School of Education. <https://www.gse.harvard.edu/ideas/usable-knowledge/25/08/thought-experiments-can-enhance-science-learning>
- Barbour, R. S., & Kitzinger, J. (Eds.). (1999). *Developing focus group research: Politics, theory and practice*. SAGE. <https://doi.org/10.4135/9781849208857>
- Beichner, R. J. (1994). Testing student interpretation of kinematics graphs. *American Journal of Physics*, 62(8), 750-762. <https://doi.org/10.1119/1.17449>
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp0630a>
- Chi, M. T. H., & Wylie, R. (2014). The ICAP framework: Linking cognitive engagement to active learning outcomes. *Educational Psychologist*, 49(4), 219-243. <https://doi.org/10.1080/00461520.2014.965823>

- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE.
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: Defining gamification. In *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments* (pp. 9–15). ACM. <https://doi.org/10.1145/2181037.2181040>
- Dönertaş, Ş. (2011). *Role of thought experiments in solving conceptual physics problems* [Doctoral dissertation, Middle East Technical University]. OpenMETU Repository. <https://open.metu.edu.tr/handle/11511/21216>
- Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics* (5th ed.). SAGE Publications Ltd.
- Gendler, T. S. (2004). Thought experiments rethought—and re-perceived. *Philosophy of Science*, 71(5), 1152–1163. <https://doi.org/10.1086/425239>
- Good, M., Maries, A., & Singh, C. (2019). Impact of traditional or evidence-based active-engagement instruction on introductory female and male students' attitudes and approaches to physics problem solving. *Physical Review Physics Education Research*, 15(2), Article 020129. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.020129>
- Harjono, A., Gunawan, G., Adawiyah, R., & Herayanti, L. (2020). An interactive e-book for physics to improve students' conceptual mastery. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 15(5), 40–54. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i05.10967>
- Hewitt, P. G. (2017). *Conceptual physics* (12th ed.). Pearson Education India.
- Ibáñez, M. B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, 123, 109–123. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>
- Jana, S. (2023). Interactive e-books and multimedia learning: Enhancing engagement and retention in secondary English. *Journal of Natural Science*, 34, Article 3754. <https://namibian-studies.com/index.php/JNS/article/view/3754>
- Machery, E. (2017). *Philosophy within its proper bounds*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198807520.001.0001>
- Manurung, S. R., & Mihardi, S. (2016). Improving the conceptual understanding in kinematics subject matter with hypertext media learning and formal thinking ability. *Journal of Education and Practice*, 7(9), 91–97. <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JEP/article/view/29626>
- Mayer, R. E., & Fiorella, L. (Eds.). (2022). *The Cambridge handbook of multimedia learning* (3rd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108894333>
- Mohd Dahlan, M. B., Sabri, S., Mohtaram, S., & Kamarudin, N. S. (2024). Empowering learning: The impact of interactive ebooks. *Educational Administration: Theory and Practice*, 30(5), 12231–12237. <https://kuey.net/index.php/kuey/article/view/5079>

- Morgan, D. L. (2012). Focus groups and social interaction. In J. F. Gubrium, J. A. Holstein, A. B. Marvasti, & K. D. McKinney (Eds.), *The SAGE handbook of interview research: The complexity of the craft* (2nd ed., pp. 161–176). SAGE.
- National Research Council. (2012). *A framework for K–12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>
- Redish, E. F. (2003). *Teaching physics with the Physics Suite*. John Wiley & Sons.
- Reiner, M., & Gilbert, J. (2000). Epistemological resources for thought experimentation in science learning. *International Journal of Science Education*, 22(5), 489–506. <https://doi.org/10.1080/095006900289741>
- Reiner, M., & Burko, L. (2003). On the limitations of thought experiments in physics and the consequences for physics education. *Science & Education*, 12(4), 365–385. <https://doi.org/10.1023/A:1024438726685>
- Sharifi, F., Ahmadi, F., & Meshkat, M. (2025a). Investigating the effect of teaching dynamic concepts with the help of thought experiments on the academic progress and cognitive skills of students. *Physics Education*, 60(4), Article 045003. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/adcd7>
- Sharifi, F., Ahmadi, F., Meshkat, M., & Talkhabi, M. (2025b). Investigating the effect of teaching kinematics concepts using thought experiments on students' academic progress and learning strategies. *Physics Education*, 60(3), Article 035018. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/adbd1>
- Shekarbaghani, A. S. (2016). Comparative study of physics curriculum in Iran with several other countries. *International Education Studies*, 9(8), 112–118. <https://doi.org/10.5539/ies.v9n8p112>
- Sommerfeld, A. (2016). *Mechanics: Lectures on theoretical physics* (Vol. 1). Academic Press.
- Stephens, A. L., & Clement, J. J. (2012). The role of thought experiments in science and science learning. In B. J. Fraser, K. G. Tobin, & C. J. McRobbie (Eds.), *Second international handbook of science education* (pp. 157–175). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_13
- Sujatmika, S., Masykuri, M., Prayitno, B. A., & Sutarno, S. (2024). Fostering critical thinking in science education: Exploring effective pedagogical models. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 11(7), Article 16. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2024.07.016>
- Sun, L., & Pan, C. E. (2021). Effects of the application of information technology to e-book learning on learning motivation and effectiveness. *Frontiers in Psychology*, 12, Article 752303. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.752303>
- Tortop, H. S. (2016). *Why thought experiments should be used as an educational tool to develop problem-solving skills and creativity of the gifted students* (ED572823). ERIC. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED572823.pdf>
- Tuminaro, J., & Redish, E. F. (2007). Elements of a cognitive model of physics problem solving: Epistemic games. *Physical Review Special Topics–Physics Education Research*, 3(2), Article 020101. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.3.020101>
- Velentzas, A., & Halkia, K. (2012). The use of thought experiments in teaching physics: The case of the principle of equivalence. In C. Bruguière, A. Tiberghien, & P. Clément (Eds.), *E-Book*

proceedings of the ESERA 2011 Conference: Science learning and citizenship (Strand 3, Part 3, pp. 239–243). European Science Education Research Association

- Wee, L. K., Chew, C., Goh, G. H., & Tan, S. (2012). Using Tracker as a pedagogical tool for understanding projectile motion. *Physics Education*, 47(4), 448–455. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/47/4/448>
- York, T. T., Gibson, C., & Rankin, S. (2015). Defining and measuring academic success. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 20, Article 5. <https://doi.org/10.7275/hz5x-tx03>
- Zacharia, Z. C., & Anderson, O. R. (2003). The effects of an interactive computer-based simulation prior to performing a laboratory inquiry-based experiment on students' conceptual understanding of physics. *American Journal of Physics*, 71(6), 618–629. <https://doi.org/10.1119/1.1566427>
- Zhai, X., Li, M., & Chen, S. (2019). Examining the uses of student-led, teacher-led, and collaborative functions of mobile technology and their impacts on physics achievement and interest. *Journal of Science Education and Technology*, 28(4), 383–394. <https://doi.org/10.1007/s10956-019-9767-3>

پیوست ها

پیوست ۱

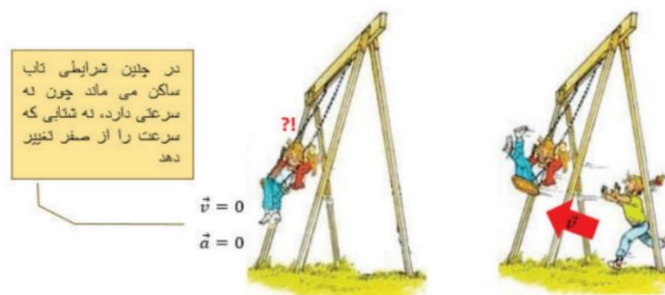
نمونه ای از آزمایش های فکری استفاده شده در محتوای الکترونیکی

آزمایش فکری:

شما و دوستانتان در حال تاب خوردن هستید که درس کلاس فیزیکتان را به خاطر می آورید. در فیزیک خوانده بودید، سرعت و شتاب چه کمیت هایی هستند. وقتی دوستان شما را هل می دهد، راجع به سرعت تاب خوردنتان باهم صحبت می کنید. شما می گوئید: وقتی هنوز مرا هل نداده ای شتابی ندارم و چون در حالت سکون هستم، سرعت هم صفر است. نتیجه می گیرید زمانی که سرعت صفر باشد قطعاً جسم شتابی هم ندارد؛ چرا که ساکن است. دوستان معتقد است که شاید سرعت جسم صفر باشد اما جسم شتاب داشته باشد. سوالی که پیش می آید این است که آیا ممکن است سرعت متحرکی صفر باشد اما او شتاب داشته باشد؟

تصور کنید:

شخصی روی تابی نشسته و از حالت قائم شروع به تاب خوردن می کند. در نقطه ای که تاب می خواهد مسیر رفته را برگردد یعنی نقطه تغییر جهت، سرعت صفر است. اگر با صفر بودن سرعت شخص، شتاب نیز صفر باشد یعنی سرعت او دیگر ممکن نیست از صفر به عددی دیگر تغییر کند و همیشه صفر می ماند. در چنین شرایطی هیچ تابی نمی تواند حرکت رفت و برگشتی داشته باشد چرا که مسیر رفته را دیگر نمی تواند با سرعت صفر بازگردد و یک نفر دیگر باید در انتهای مسیر باشد تا دوباره او را هل دهد تا به عقب برگردد (شکل - ۱)



(شکل- ۱)

تحلیل مفهومی

این فعالیت ذهنی دانش آموز را از تحلیل صرفاً شهودی و مبتنی بر توصیف های روزمره حرکت، به سوی تحلیلی نظام مند و مبتنی مفاهیم شتاب و سرعت هدایت می کند و درک برداری کمیت های سینماتیکی را تقویت می نماید. به طور خاص، این آزمایش فکری تمایز میان «حرکت در یک جهت»، «ایست لحظه ای» و «تغییر جهت حرکت» را به صورت مفهومی روشن می سازد.

این آزمایش فکری با دعوت از دانش آموزان به تصور وضعیت خود بر روی یک تاب در حال نوسان، بستری مفهومی برای تحلیل دقیق حرکت فراهم می آورد. در ابتدای این فرآیند، به صورت آگاهانه این فرض ساده انگارانه و نادرست مطرح می شود که «صفر بودن سرعت به معنای صفر بودن شتاب است». این فرض به عنوان نقطه شروع استدلال در نظر گرفته می شود تا زمینه ای برای ارزیابی انتقادی آن فراهم شود و دانش آموز در یک موقعیت شناختی چالشی قرار گیرد. در ادامه، فراگیر با بررسی وضعیت حرکت نوسانی تاب درمی یابند که در برخی نقاط مسیر، نقاط بازگشت، سرعت لحظه ای جسم به صفر می رسد، در حالی که شتاب لزوماً صفر نیست. بدین ترتیب، در بستر این استدلال، فرض اولیه به طور نظام مند رد می شود و دانش آموز به این درک می رسد که صفر بودن سرعت

الزاماً به معنای عدم وجود شتاب نیست. این آزمایش فکری تمایز بنیادین میان «صفر بودن سرعت در یک لحظه» و «عدم تغییر بردار سرعت» را برجسته می‌سازد و نشان می‌دهد که تحلیل دقیق حرکت مستلزم بررسی برداری کمیت‌هاست، نه صرفاً اتکا به مقدار عددی سرعت.

در واقع، این آزمایش فکری چند هدف مفهومی کلیدی را دنبال می‌کند: نخست، اصلاح یک برداشت نادرست بنیادین درباره رابطه سرعت و شتاب؛ دوم، برجسته‌سازی ماهیت برداری سرعت، شتاب و نقش تغییر جهت حرکت در تعریف شتاب و نهایتاً، تأکید بر این نکته که «صفر بودن سرعت در یک لحظه» معادل «عدم تغییر حرکت» یا «نبود شتاب» نیست. به‌طور کلی، این فعالیت ذهنی با ایجاد تعارض شناختی و هدایت تدریجی استدلال، دانش‌آموز را از تفسیرهای اسکالر و سطحی از کمیت‌ها فراتر برده و به سوی یک درک عمیق‌تر، برداری و مبتنی بر مفاهیم بنیادی فیزیک سوق می‌دهد.

پیوست-۲

بخش اول- سینماتیک ۱۲

بخش اول- سینماتیک ۱۱

اسکیت سواری را تصور کنید که در یک مسیر دایره‌ای شکل در حال حرکت است. او از نقطه ی B حرکت خود را آغاز کرده و سرعش تا رسیدن به نقطه ی C افزایش می‌یابد. بنابراین تا رسیدن به نقطه ی C شتاب و سرعتی در جهت مثبت دارد و از C به بعد سرعت فرد کم و کمتر می‌شود تا در نقطه ی D متوقف شود. پس شتاب اسکیت سواری در فاصله ی BC با شتاب در خلاف جهت حرکت آن (در جهت منفی) است. از طرفی، در آزمایش شماره ۳ آموختیم که هر کمیت برداری در نقطه ی تغییر جهت خود باید مقداری صفر داشته باشد. بنابراین در نقطه ی C شتاب اسکیت سواری صفر و سرعت او بیشینه است.

در نتیجه شتاب صفر به معنای ساکن بودن جسم نیست.

آزمایش فکری:

شما و دوستان در حال تاب خوردن هستید که درس کلاس فیزیکتان را به خاطر می‌آورید. در فیزیک خوانده بودید، سرعت و شتاب چه کمیت‌هایی هستند. وقتی دوستان شما را هل می‌دهد، راجع به سرعت تاب خوردنتان باهم صحبت می‌کنید. شما می‌گویید: وقتی هنوز مرا هل نداده‌ای شتابی ندارم و چون در حالت سکون هستم، سرعت هم صفر است. نتیجه می‌گیرید زمانی که سرعت صفر باشد قطعاً جسم شتابی هم ندارد؛ چرا که ساکن است. دوستان معتقد است که شاید مانند آزمایش فکری قبل، حالتی باشد که سرعت جسم صفر باشد اما جسم شتاب داشته باشد. سوالی که پیش می‌آید این است که آیا ممکن است سرعت متحرکی صفر باشد (v = 0) اما او شتاب داشته باشد (a ≠ 0)؟

تصور کنید:

شخصی روی تابی نشسته و از حالت قائم شروع به تاب خوردن می‌کند. در نقطه ای که تاب می‌خواهد مسیر رفته را برگردد یعنی نقطه تغییر جهت، سرعت صفر می‌باشد، اگر با صفر بودن سرعت شخصی، شتاب نیز صفر باشد یعنی سرعت او دیگر ممکن نیست از صفر به عددی دیگر تغییر کند و همیشه صفر می‌ماند. در چنین شرایطی هیچ تابی نمی‌تواند حرکت رفت و برگشتی داشته باشد چرا که مسیر رفته را دیگر نمی‌تواند یا سرعت صفر بازگردد و یک نفر دیگر باید در انتهای مسیر باشد تا دوباره او را هل دهد تا به عقب برگردد.

شکل (۱)- صفحاتی برگرفته از کتاب الکترونیکی طراحی شده (<https://physics-edu.ir/courses/mechanics/>). -آزمایش فکری

حرکت تاب برای بررسی وجود شتاب در حالت سرعت صفر.

بخش اول - سینماتیک

نتیجه

در صورتی که سرعت جسم در حال افزایش باشد، بردار سرعت و شتاب هم جهت اند. هنگامی که سرعت متحرک در حال کاهش باشد مانند زمانی که اتوبوس در حال ترمز گرفتن است، شتاب خلاف جهت سرعت می باشد.



آزمایش فکری:

شما و دوستان کنار هم نشسته اید و مشغول تماشای مسابقه اسکیت هستید که سوالی به ذهنتان می رسد. شما می گوید چون نشسته اید و حرکت ندارید، شتابی هم نداریم. دوستان با این حرف خیلی موافق نیست و می گوید، ممکن هست شرایطی باشد که یک جسم شتابی نداشته باشد اما در حالت سکون هم نباشد. بنابراین سوالی که پیش می آید این است که آیا در صورتی که $a = 0$ یا $v = 0$ ، a یا v نیز می باشد؟

تصور کنید

اسکیت سواری را تصور کنید که در یک مسیر نیم دایره ای شکل حرکت می کند. سرعت این اسکیت سوار در نقاط a و b چگونه است؟ در نقطه ی c چطور؟ شتاب او در این نقاط خاص چگونه می تواند باشد؟



آزمایشگاه مجازی
 اجرا

بخش اول - سینماتیک

سرعت و شتاب دو کمیت برداری

پیش تر دیدیم که بردار جابه جایی هم جهت با بردار سرعت می باشد، حال می خواهیم بررسی کنیم که آیا ممکن است شتاب متحرک در جهت حرکت آن نباشد؟

آزمایش فکری:

در رنگ ورزش با دوستان در حال والیبال بازی کردن هستید که حرکت توپ توجهتان را به خودش جلب می کند. سرعت توپ، شتاب و جهت حرکت توپ موضوع بحثتان می شود. شما از رنگ فیزیک بخطر دارید که شتاب و سرعت کمیتی برداری هستند. با دوستان صحبت می کنید که توپ که در هر جهتی که سرعت دارد، حرکت می کند. دوستان می گوید شتاب توپ در جهت پرتابش است پس باید شتاب، سرعت و جابه جایی توپ همگی در یک جهت باشند. چگونه می توان درستی این نتیجه را بررسی کرد؟ در واقع سوالی که باید جواب آن را بیابیم این است که بردار شتاب و سرعت به لحاظ جهت چگونه اند؟

تصور کنید

دو گلوله از ارتفاعی مشخص با سرعتی معلوم به سمت بالا پرتاب می شود. اما برای گلوله ۱ شتاب و سرعت هم جهت تصور شوند و برای گلوله دیگر خلاف جهت. گلوله ۱ با هم جهت بودن شتاب و سرعتش همواره از زمین دور می شود و گوی زمین آن را دفع می کند اما با وجود نیروی گرانش چنین چیزی در سرعت های پایین ممکن نیست. از طرفی امروزه ما می دانیم که شتاب گرانش زمین که بر گلوله وارد می شود همواره به سمت پایین است پس تصور این موضوع که سرعت و شتاب یک متحرک هم جهت و در جهت حرکتش می باشد کاملاً نادرست می باشد.



گلوله ۱ گلوله ۲

شکل (۲) - صفحاتی از این کتاب (<https://physics-edu.ir/courses/mechanics/>). - آزمایش فکری برای بررسی وجود سرعت در

حالت شتاب صفر به همراه آزمایشگاه مجازی و پویانمایی