Journal of Research in Teaching فصلنامه علمی تدریس پژوهی

Vol 11, No 2, Summer , 2023 صفحات: ۱۴۷-۱۲۳ سال یازدهم– شماره دم – تابستان ۱۴۰۲

Hybrid Learning Environment: The Effectiveness of Simultaneous Use of Real And Virtual Experiments on Students' Scientific Reasoning Skill

Mojtaba Jahanifar*[1], Amir Masnavi[2]

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۱۴ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۱۷

Received Date: 2023/02/03 **Accepted Date: 2023/08/08**

Abstract

Understanding science, and having high-level thinking skills are essential skills for living in today's world. To improve such skills, science education standards around the world, and curricula of different countries, including Canada, Australia, and England, as well as the national curriculum of Iran, suggest inquiry-based learning.; but in the past 20 years, digital technologies such as virtual experiments have been used to improve, and even in some cases replace real experiments. Also, a combination of real and virtual experiments enhances conceptual understanding more than single experimental formats, however, this is a question that has remained unanswered so far and that is whether the combination of virtual and real laboratories will also affect other cognitive processes of students such as thinking and reasoning or not. Therefore, the main purpose of this study is to clarify the role of using real, virtual, and combined real and virtual experiments on improving systemic thinking with the subject of electric currents.

In this study, 80 male high school students in Ahvaz who were studying in the eleventh grade of in the academic year 1402-1401 were selected by available sampling. The level of learning of the participants from the subject of electric currents, as well as their systemic thinking skills, were measured using the standard tool "Determining and Interpreting Resistive Electric Circuit Concepts Test" or DIRECT. First, the students' scores in the pre-test and post-test of DIRECT were collected. Some answers were for the multiple-choice section and some answers were for the descriptive section. The correct answer to the multiple-choice section had a score of one, and the wrong answer had a score of zero for the student. To eliminate the effect of pre-test (memory retention of response), one-way analysis of covariance was used. In this method, the effect of pre-test scores on post-test scores is first predicted by simple linear regression and then removed; after removing the effect of pre-test, the difference between post-test mean of groups is examined by analysis of variance.

1. Assisstant professor of assessment and measurement, Depertment of Education, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

* Corresponding Author: Email: m.jahanifar@scu.ac.ir

2. Depertment of Education, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

The findings showed that the real learning environment and conducting inquiry in real laboratories had the most impact on students' real-world knowledge. Real-world knowledge is the knowledge of the elements that learners need to become familiar with a scientific field or solve problems related to it. This knowledge is the same as the knowledge of scientific terms and expressions, along with places and events in the real world. According to this definition and considering the characteristics of the real learning environment, the greater impact of real experiments on the better growth of students' real-world knowledge is justifiable. The low impact of the virtual learning environment on students' real-world knowledge and their procedural knowledge can also be understood from this perspective, because the real and sensory connection of students with the phenomenon in question in virtual learning environments will cause less impact of this environment on students' real-world knowledge. The superiority of the virtual learning environment over the real one can be well seen in the greater effectiveness of virtual experiments on their conceptual knowledge in this study. According to the findings, the virtual learning environment had the highest effect size (i.e. 0.61) on the growth of students' conceptual knowledge. In response to this research question that whether the combined learning environment could help improve students' physics knowledge, it should be said that combining real and virtual experiments in class and creating a combined learning environment could have a better effect and improve all types of knowledge well. The effectiveness of the combined learning environment showed that this environment, due to taking advantage of the features of both the real and virtual worlds simultaneously, could affect both real and procedural knowledge, as well as conceptual knowledge, and show its superiority over single learning environments, real or virtual. The findings showed that none of the learning environments used in the study, which were all based on scientific inquiry, could improve students' causal coherence skills. The lowest effect size in this study was related to the effectiveness of real (effect size 0.33), virtual (effect size 0.41) and combined (effect size 0.42) environments on causal coherence dimension in systemic thinking skill. Causal coherence is creating an accurate relationship and strong connection between reasoning components, and explaining phenomena using evidence, while using scientific and reality-based reasons.

The added value of this research is that it recommends the use of learning environments to improve knowledge in a classified way, so that according to the findings of this study, it can be concluded that for improving students' real-world and procedural knowledge, it is appropriate to use real learning environments and for improving conceptual knowledge, it is better to use a combination of real and virtual experiments. In the meantime, the continuous and creative use of classroom space for observation and real experimentation and the effective use of interactive simulations and virtual laboratories to show hidden aspects of many phenomena along with the real environment will help improve all types of knowledge in physics. The combined use of real and virtual learning environments, if accompanied by a suitable curriculum, will turn the class into the most equipped scientific laboratory for conducting inquiry. Inquiry without its complementary activity, namely modeling, cannot help students achieve high levels of thinking, and in this regard, the role of teachers as facilitators can be prominent and constructive. It is suggested that inquiry in class be performed by teachers with a model-based approach using a combination

of real and virtual experiments. More attention of teacher training centers to science education standards that are stated in the national curriculum, and including inquiry and modeling activities in it for teacher training, reviewing the content of curriculum based on real and virtual learning environments based on inquiry, holding training courses for better use of teachers and students from virtual laboratories, reviewing the science curriculum of the second high school (physics, chemistry, biology) with a focus on scientific modeling, equipping classes, workshops, and laboratories with new technologies, can all provide the ground for implementing inquiry-based teaching methods and their effectiveness.

Keywords: Virtual Education, Science Education, Modeling, Causal Reasoning, Hybrid Environment

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

محیط یادگیری ترکیبی: اثربخشی استفاده همزمان از آزمایش‌های واقعی و مجازی بر مهارت استدلال علمی دانش‌آموزان

مجتبی جهانی‌فر[۱]، امیر مثنوی[۲]

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی اثر آزمایش‌های واقعی، مجازی، و ترکیبی بر تفکر سیستمی شاگردان که به‌صورت استدلال علی بروز پیدا می‌کند، انجام گرفته است. پژوهش به روش کمی و با رویکرد نیمه آزمایشی انجام گرفت. جامعه آماری دانش‌آموزان پایه یازدهم دوره متوسطه دوم شهر اهواز بودند که نمونه ۸۰ نفری از آنان کاوشگری علمی با موضوع جریان الکتریکی را به سه صورت آزمایش واقعی (۲۴ نفر)، مجازی (۲۸ نفر)، و ترکیب آن دو (۲۸ نفر) تجربه کردند. یادگیری مفاهیم و مهارت تفکر سیستمی شاگردان به کمک آزمون استاندارد DIRECT قبل و بعد از فعالیت کاوشگری اندازه‌گیری شد. پاسخ‌ها ابتدا کدگذاری، و سپس نمره‌گذاری شدند. از تحلیل کواریانس برای مقایسه میانگین گروه‌ها استفاده شد. کاوشگری واقعی (اندازه اثر ۰/۵۴) و مجازی (انداز اثر ۰/۶۰) تقریباً به یک اندازه باعث یادگیری مفاهیم علمی‌شدند، اما شاگردان در شرایط ترکیبی (اندازه اثر ۰/۷۹) بهتر از شرایط تک آزمایشی یاد می‌گرفتند. سهم بیشتر نمره شاگردان در هر سه تجربه یادگیری مربوط به سطح دانش امور واقعی و روندی بود و نمره کمتری در سطوح بالای یادگیری مانند استدلال یا تفکر سیستمی داشتند. کاوشگری چه به‌صورت واقعی، چه مجازی، و چه ترکیبی، به خودی خود نتوانست دانش‌آموزان را وادار به استدلال منسجم و بازنگری مدل ذهنی خودشان کند. کاوشگری بدون فعالیت مکمل آن یعنی مدل‌سازی نمی‌تواند به ارتقا مهارت استدلال شاگردان کمک زیادی کند. پیشنهاد می‌شود کاوشگری در کلاس درس به‌صورت ترکیب آزمایش واقعی و مجازی توسط معلمان با رویکرد مبتنی بر مدل‌سازی انجام بگیرد.

واژه‌های کلیدی: آموزش مجازی، آموزش علوم، محیط ترکیبی، مدل‌سازی، استدلال علی

پرتال جامع علوم انسانی

۱. استادیار سنجش و اندازه گیری، گروه علوم تربیتی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

* نویسنده مسئول: Email: m.jahanifar@scu.ac.ir

۲. گروه علوم تربیتی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

مقدمه

یک از اساسی‌ترین اهداف آموزش علوم درک مفاهیم علمی در کنار کسب مهارت‌های تفکر و استدلال علمی است (NRC, 2012)، درک از علم، و داشتن مهارت‌های سطح بالای تفکر از مهارت‌های ضروری برای زندگی در دنیای امروز است (OECD, 2019). برای بهبود این‌گونه مهارت‌ها، استانداردهای آموزش علوم در سرتاسر دنیا، و برنامه درسی کشورهای مختلف از جمله کانادا، استرالیا، و انگلستان (Sjøberg et al., 2023)، و همچنین برنامه درسی ملّی ایران، یادگیری به کمک کاوشگری[1] یا همان پرسشگری هدایت شده[2] را پیشنهاد می‌کنند. یادگیری به کمک کاوشگری می‌تواند فرصت‌های یادگیری با ارزشی را در کلاس ایجاد کند و در آن دانش‌آموزان همانند دانشمندان به تدوین فرضیه‌ها، برنامه‌ریزی، مشاهده، و انجام آزمایش‌هایی برای رد یا قبول فرضیه‌های خود، می‌پردازند (Aulia et al., 2018; Margunayasa et al., 2019). فعالیت‌های یادگیری که بر کاوشگری علمی تکیه دارند به‌طور سنتی، معلمان و دانش‌آموزان را تشویق می‌کنند تا به کمک مواد آموزشی در دسترس، و یا آزمایشگاه‌های واقعی، موقعیت‌هایی را تجربه کرده و علوم را بیاموزند؛ اما در ۲۰ سال گذشته، فن‌آوری‌های دیجیتالی مانند آزمایش‌های مجازی برای بهبود، و حتی در برخی موارد بری جایگزینی آزمایش‌های واقعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Brinson, 2015; Wörner, Kuhn, et al., 2022). آزمایش‌های مجازی بیشتر به‌صورت مدل‌های رایانه‌ای، پویانمایی، و شبیه‌سازی‌های تعاملی در دسترس هستند.

چارچوب‌های نظری طراحی شده برای انجام فعالیت‌های علمی در کلاس تأکید زیادی بر استفاده از مدل‌ها، و انجام فعالیت مدل‌سازی علمی در کلاس درس دارند و این‌گونه استدلال می‌کنند که مدل‌سازی می‌تواند به بهبود درک دانش‌آموزان از رویدادهای طبیعی کمک کرده و او را با فرآیند ساخت دانش آشنا کند (Jiménez-Aleixandre et al., 2017; Osborne & Lederman, 2014). شبیه‌سازی‌ها و آزمایشگاه‌های مجازی که به ارائه نمایش‌های پویای رایانه‌ای از مدل‌ها، فرآیندها یا پدیده‌های دنیای واقعی می‌پردازند، فرصت‌های متعددی مانند تعامل، تجسم و چندوجهی بودن پدیده‌ها را در اختیار معلمان و دانش‌آموزان قرار می‌دهند (Bozzo et al., 2022). به‌کارگیری ابزارهای رایانه‌ای می‌تواند از عهده یادگیری مهارت‌های شناختی نسبتاً پیچیده مثل استدلال علی به‌خوبی برآید. شبیه‌سازی‌های تعاملی، و آزمایشگاه‌های مجازی نقش میانجی بین دنیای واقعی و مدل‌های علمی را بازی می‌کنند و این کار موجب ایجاد تعامل بین مدل ذهنی دانش‌آموزان در یک موضوع علمی و رویدادهای طبیعی خواهد شد، که این کنش و واکنش می‌تواند به درک بهتر مفاهیم علمی منجر شده و تقویت مهارت‌های شناختی را در پی داشته باشد؛ و البته استفاده از آزمایشگاه‌های واقعی و مجازی با دانش مدل‌سازی، و مهارت دانش‌آموزان در ساخت مدل، ارتباط داشته باشد (Flegr et al., 2023). آموزش به کمک شبیه‌سازی (آزمایش مجازی) می‌تواند درک مفاهیم پیچیده علمی را از طریق مدل‌سازی راحت‌تر کند و موجب افزایش علاقه و انگیزه بیشتر برای یاد گرفتن شود (Plass et al., 2009; Sarabando et al., 2014) اما با این وجود، برخی از خطرات در استفاده از شبیه‌سازی‌ها در بررسی پیشینه پژوهش نیز نمایان شد، از جمله فقدان واقع‌گرایی،

1. Learning By Inquiry
2. Guided Inquiry Learning

به این معنی که مدل‌ها همه واقعیت نیستند و البته باید این مورد را به دانش‌آموزان گوشزد کرد (Byrne et al., 2010; Sadideen et al., 2012). جزئی‌نگری در ارتباط با رخدادهای طبیعی و واقعی، همچنین اشکالاتی که در بازنمایی ذهنی شبیه‌سازی به وجود می‌آید انتقادهایی دیگری است که به استفاده از آزمایش‌های مجازی در کلاس درس گرفته می‌شود (López & Pintó, 2017).

استفاده گسترده از آزمایشگاه‌های مجازی، و شبیه‌سازی‌های تعاملی در سال‌های اخیر همواره پرسش‌هایی درباره سودمندی چنین ابزارهایی در آموزش، چگونگی کاربست آن‌ها، زمان استفاده، و چرایی استفاده از آن‌ها مطرح کرده است. یکی از مهم‌ترین سؤال‌ها این است که آزمایشگاه‌های مجازی به‌طور مستقل در کلاس‌های درس استفاده شوند و یا اینکه مکمل فعالیت‌های واقعی و عملی در کلاس درس باشند؟ (Widiyatmoko, 2018). البته نقش سازنده آزمایش‌های مجازی برای موقعیت‌های علمی که نمایش و یا استفاده از یک مفهوم احتیاج به تجهیزات پیشرفته، و یا انتزاع پیچیده دارد، پررنگ‌تر و اساسی‌تر است. استفاده از آزمایشگاه مجازی باعث افزایش مهارت‌های علمی دانش‌آموزان به‌ویژه مهارت پیش‌بینی و اندازه‌گیری می‌شود، به‌طوری‌که آزمایشگاه مجازی می‌توانند فرصت‌هایی را برای دانش‌آموزان برای انجام آزمایش‌ها در سطح توانایی و سرعت یادگیری هر دانش‌آموز در هر زمان و هر مکان فراهم کنند (Usman et al., 2021). پژوهش‌ها در مورد جایگزینی آزمایش‌های واقعی با آزمایش‌های مجازی نشان می‌دهد که هر دو رویکرد ویژگی‌های منحصر به خودشان را دارند و هر کدام می‌توانند روی ویژگی‌های شناختی و یا عاطفی خاصی از دانش‌آموزان اثرگذار باشند (De Jong et al., 2013; Elmoazen et al., 2023; Kapici et al., 2019). ازاین‌رو این سؤال همواره مطرح می‌شود که چگونه می‌توان از مزایای هر دو آزمایشگاه واقعی و مجازی استفاده کرد و فرصت یادگیری مناسبی را برای دانش‌آموزان در کلاس درس ایجاد کرد؟ بررسی‌های پژوهشگران این مطالعه نشان داد که ترکیب آزمایش‌های واقعی و مجازی رویکرد تازه‌ای است که می‌تواند ویژگی‌های هر دو محیط یادگیری را به خدمت بگیرد. در بیشتر موارد ترکیبی از آزمایش‌های واقعی و مجازی، درک مفهومی را بهتر از یک نوع آزمایش ارتقا می‌دهد، و البته هیچ نشانه‌ای مبنی بر اینکه کدام محیط در کلاس درس باید در ابتدا پیاده‌سازی شود و سپس دیگری وجود ندارد (Wörner, Kuhn, et al., 2022). آزمایشگاه‌های مجازی زمانی که با چارچوب آموزشی صحیح، پشتیبانی یادگیرنده، محتوا و تعامل معلم همراه شوند، منجر به پیامدهای یادگیری سطح بالاتر و تجربه یادگیری غنی‌تر خواهند شد (Alkhaldi et al., 2016; Bozzo et al., 2022).

استانداردهای آموزشی مانند استاندار آموزش علوم برای نسل آینده[1] (۲۰۱۳)، استاندارد آموزش ملی علوم[2] (۲۰۱۲) بر یادگیری و آموزش تفکر سیستمی[3] تأکید داشته و آن را راه‌حل کلیدی برای دانش‌آموزان می‌دانند که با استفاده از آن به استدلال‌های علمی، درک الگوها، تبیین علت و معلول، و کشف وابستگی متقابل بین پدیده‌ها بپردازند (Nguyen & Santagata, 2021). تفکر سیستمی روشی برای درک پیچیدگی‌های دنیای واقعی از طریق نگاه کردن در قالب کلیات و روابط است، و نه از طریق تفکیک سیستم

[1] next generation science standards
[2] national science education standards
[3] systems thinking

به اجزای سازنده‌ی آن (Gilissen et al., 2020)، تفکر سیستمی با رویکردی مبتنی بر شواهد می‌تواند به کاوش راه‌حل‌های تازه، و توسعه مفاهیم در زمینه‌های پیچیده علمی بپردازد(Momsen et al., 2022). استفاده از مدل‌سازی و شبیه‌سازی رایانه‌ای، استفاده از نقاشی و مدل‌های مداد-کاغذی، استفاده از شیوه جعبه سیاه استدلال، برخی روش‌هایی است که تاکنون برای ارتقا سطح تفکر سیستمی در دانش‌آموزان پیشنهاد شده است (Blatti et al., 2019; De Andrade et al., 2022; Nguyen & Santagata, 2021; Sjøberg et al., 2023) "جعبه سیاه" بخشی ذاتی از استدلال و تفکر در آموزش علوم است و فهم آن‌ها برای یادگیری مکانیسم‌های علمی، بهبود سواد علمی و درک ماهیت علم ضروری است (Haskel-Ittah, 2023). شبیه‌سازی رایانه‌ای و مدل‌های مفهومی که به کمک رایانه‌ها تولید می‌شوند می‌توانند به شرح و بسط بیشتر پیوندهای علی و انسجام بیشتر استدلال‌ها کمک کنند (Jahanifar & Hormozi Nejad, 2023)

پیاده‌سازی آزمایشگاه شبیه‌سازی مجازی مجموعه‌ای از منابع یادگیری را فراهم می‌کند که دانش‌آموزان می‌توانند در زمان دلخواه خود به آن‌ها دسترسی داشته باشند و مشارکت معلم با آن‌ها کلاس را تعاملی و کارآمدتر می‌کند(Xu et al., 2018). همچنین ترکیبی از آزمایش‌های واقعی و مجازی درک مفهومی را بیشتر از قالب‌های آزمایشی منفرد تقویت می‌کند (Bozzo et al., 2022; Flegr et al., 2023; Wörner, Becker, et al., 2022) با این حال، این یک سؤال تاکنون بدون پاسخ مانده است و آن اینکه آیا ترکیب آزمایشگاه‌های مجازی و واقعی بر سایر فرآیندهای شناختی دانش‌آموزان همانند تفکر و استدلال نیز اثربخش خواهد بود یا خیر. ساختار علی و سیستماتیک بسیاری از پدیده‌های دنیای واقعی، تأکید برنامه‌های درسی و استانداردهای آموزشی علوم بر توسعه و بهبود تفکر سیستمی، نقش استدلال‌های علی در بهبود شناخت از فرآیندهای علمی، استفاده فزاینده فناوری‌های تازه در کلاس درس از جمله آزمایشگاه‌های مجازی، تجارب یادگیری و تدریس در دوران همه‌گیری کرونا، پژوهشگران را بر آن داشت که به بررسی میزان اثربخشی استفاده ترکیبی از آزمایشگاه‌های مجازی و واقعی بر بهبود تفکر سیستمی (با تأکید بر استدلال علی) دانش‌آموزان دوره دوم متوسطه بپردازد. ازاین‌رو هدف اصلی این مطالعه روشن کردن نقش استفاده از آزمایش‌های واقعی، مجازی، و ترکیب آزمایش واقعی و مجازی، بر بهبود تفکر سیستمی با موضوع جریان‌های الکتریکی است و به‌طور ویژه به سؤال‌های " (الف) آزمایش‌های واقعی و مجازی به‌طور جداگانه چه تأثیری بر درک مفاهیم و مهارت تفکر سیستمی دانش‌آموزان خواهند داشت و (ب) تأثیر ترکیب آزمایشگاه‌های مجازی و واقعی بر درک مفاهیم علمی و تفکر سیستمی دانش‌آموزان چه خواهد بود؟" پاسخ داده خواهد شد.

روش پژوهش

این مطالعه به‌صورت کمی و با رویکرد نیمه آزمایشی صورت گرفته است. در ادامه ابتدا به مشارکت‌کنندگان پژوهش و پس از آن به معرفی ابزار پژوهش پرداخته می‌شود، و در پایان روش تحلیل داده‌ها و فعالیت‌های کاوشگری انجام شده در کلاس معرفی می‌شوند.

نمونه و روش گرداوری داده‌ها

در این پژوهش ۸۰ دانش‌آموزان پسر دوره دوم متوسطه شهر اهواز که در سال تحصیلی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ که در پایه یازدهم رشته‌های تجربی و ریاضی مشغول به تحصیل بودند، با نمونه‌گیری در دسترس انتخاب شدند. برای اطمینان از همسان بودن تقریبی سواد خواندن و نوشتن دانش‌آموزان (برای نوشتن استدلال‌ها و سؤال‌های انتها-باز) همه مشارکت‌کنندگان از مدارس دولتی انتخاب شده، و بررسی کارنامه تحصیلی سال اول دوره متوسطه آن‌ها نشان داد که میانگین نمرات درس ادبیات فارسی آن‌ها ۱۶/۲۵ با انحراف استاندارد ۰/۸۹ و میانگین دروس ریاضی، و فیزیک آن‌ها به ترتیب ۱۳/۷۵ و ۱۴/۵۰با انحراف استاندارد ۰/۹۴ و ۰/۸۱ بود. داده‌های مربوط به تفکر سیستمی و درک از موضوع جریان الکتریکی مشارکت‌کنندگان به کمک آزمون چندگزینه‌ای (انتها-باز) که در ادامه معرفی خواهد شد، گردآوری شدند. برای اطمینان از اینکه دانش‌آموزان از نقطه شروع یکسان و با مهارت تفکر سیستمی تقریباً برابر وارد فعالیت کاوشگری شده‌اند، ابتدا آزمون استاندارد درک از موضوع جریان الکتریکی و تفکر سیستمی برای همه شرکت‌کنندگان اجرا شد و سپس بر اساس نمره‌های کسب شده در سه گروه چنان طبقه‌بندی شدند که میزان درک از مفاهیم الکتریسیته جاری، و تفکر سیستمی در هر سه گروه تقریباً همانند باشد. بدین ترتیب ۲۴ نفر از دانش‌آموزان در گروه آزمایش واقعی، ۲۸ نفر در گروه آزمایش مجازی، و ۲۸ نفر در گروه ترکیبی به‌طور یکنواخت از نظر توانایی درک مفاهیم و تفکر سیستمی مشارکت داده شدند.

ابزار پژوهش

میزان یادگیری مشارکت‌کنندگان از موضوع جریان‌های الکتریکی، و همچنین مهارت تفکر سیستمی آنان به کمک ابزار استاندارد "ابزار تعیین و تفسیر مفاهیم مدارهای الکتریکی مقاومتی[1]" یا همان DIRECT اندازه‌گیری شد. این آزمون برای ارزیابی درک دانش‌آموزان از مدارهای الکتریکی، مقاومت و مفاهیم جریان مستقیم طراحی شده است (Engelhardt & Beichner, 2003) دو تغییر در سؤال‌های آزمون ایجاد شد تا از آن‌ها برای اندازه‌گیری تفکر سیستمی دانش‌آموزان در مبحث جریان الکتریکی استفاده شود. ابتدا دانش‌آموزان علاوه بر انتخاب پاسخ صحیح، موظف بودند در مورد انتخاب خود توضیح دهند و دلیل آن را ارائه دهند. در واقع در انتهای باز سؤال‌ها، دانش‌آموزان دست به استدلال علی در مورد چرایی و چگونگی انتخاب خود می‌زدند. سپس، از دانش‌آموزان خواسته شد تا با انتخاب یکی از گزینه‌های زیر، میزان اطمینان را در انتخاب خود نشان دهند: «من می‌دانستم و با اطمینان انتخاب کردم»، «نمی‌دانستم و پاسخ را حدس زدم» یا «مطمئن نیستم». این سؤالات برای کدگذاری پاسخ‌های دانش‌آموزان ضروری بود زیرا محتوای پاسخ‌های تشریحی ابتدا کدگذاری و سپس نمره‌گذاری می‌شد.

کدگذاری و نمره‌گذاری پاسخ‌ها: مهم‌ترین موضوع در تفکر سیستمی، توجه به مؤلفه‌های یک سیستم و پیوند (رابطه) بین آن‌ها است. مؤلفه‌های یک سیستم و روابط بین آن‌ها در آموزش علوم به کمک چارچوب سه‌گانه ساختار، رفتار و عملکرد (SBF) توضیح داده می‌شود (Hmelo-Silver et al., 2017) ساختار به معرفی مؤلفه‌های فیزیکی و مرئی سیستم‌ها می‌پردازد، به‌طور مثال در مدار ساده الکتریکی ساختاری را

1. Determining and interpreting resistive electric circuits concepts test (DIRECT)

شکل می‌دهد که شامل منبع تغذیه (باتری)، سیم‌های رابط، و مصرف‌کننده (لامپ) است. رفتار شامل اقدامات یک سیستم برای دستیابی به یک هدف یا نتیجه است. این بخش شامل سازوکارهای مرئی و سازوکارهای نامرئی (مانند کاهش یا افزایش پتانسیل الکتریکی) می‌شود. این رفتارها در خدمت مجموعه‌ای از عملکردها هستند، یعنی همان هدف اصلی سیستم. برای مثال، در مدارهای الکتریکی افزایش یا کاهش نور یک لامپ، عملکرد آن سیستم را نمایش می‌دهد. چارچوب‌های استدلال علی مکمل چارچوب‌های تفکر سیستمی هستند، چرا که بر عمق یادگیری دانش‌آموزان تأکید دارند و فهم بسیاری از پدیده‌های فیزیکی حاصل ادغام استدلال علی و تفکر سیستمی است. چارچوب استدلال علی شامل عنصر، شواهد (دلایل)، و انسجام علی[1] است که نشان‌دهنده یک زنجیره منطقی است که تبیین‌ها، شواهد و ایده‌های دانش‌آموز را به هم متصل می‌کند(Kang et al., 2014) به‌منظور سنجش مهارت‌های تفکر سیستمی دانش‌آموزان در سه بعد عنصر، شواهد (دلایل)، و انسجام علی، پاسخ‌های تشریحی شاگردان ابتدا مطابق با جدول ۱ کدگذاری شد. پاسخ‌نامه تشریحی یازده دانش‌آموز توسط چهار دبیر با سابقه بیش از ده سال مطابق با کدهای جدول ۱ نمره‌گذاری شد. نمره هر دانش‌آموز بر اساس تعداد کدهایی که در پاسخ آن‌ها یافت می‌شد تعیین گردید. از آماره کاپای کوهن به‌منظور توافق سه داور (دبیر) روی کدهای هر سه بعد استفاده گردید(Iseki, 2020) که برای کدهای ابعاد عنصر، شواهد(دلایل)، و انسجام علی به ترتیب مقادیر $\kappa = 0/93$، $\kappa = 0/91$، و $\kappa = 0/89$ بدست آمدند. با توجه به توافق بالای داوران روی کدها، عینیت نمره‌گذاری تأیید شد و سایر برگه‌های آزمون توسط پژوهشگران مطابق با نظر داوران بازنگری و نمره‌گذاری شد. جدول۱ طرح نمره‌گذاری برگه‌های آزمون را در پیش‌آزمون و پس‌آزمون نمایش می‌دهد.

جدول۱. طرح کدگذاری و نمره‌گذاری پاسخ دانش‌آموزان به سؤال‌های آزمون DIRECT

ابعاد	کدها (نشانگرها)	مقدار نمره برای هر کد		
		۰	۱	۲
عناصر	تعداد عناصر یک استدلال که دانش‌آموز در پاسخ خود از آن‌ها استفاده کرده است. (لامپ‌ها و باتری‌ها، مفهوم جریان الکتریکی و مفهوم پتانسیل، مفهوم مقاومت الکتریکی)	اگر بین ۰ تا ۱ عنصر شناسایی شود	بین ۲ تا ۴ عنصر شناسایی شود.	۵ یا بیش از ۵ عنصر شناسایی شود.
شواهد (دلایل)	میزان دلایل و شواهدی که دانش‌آموزان از طریق مشاهده مستقیم بدست می آورند یا داده‌هایی که در اثبات ادعاهایشان ارائه می‌کنند(وجود یک مقاومت یا یک لامپ، اشاره به نوع بستن لامپ‌ها و باتری‌ها)	این‌طور فکر می کنم چون به نظرم درسته. اظهارنظر بدون دلیل	ارائه دلایل و شواهد بدون ارتباط دادن آن‌ها به توضیحات علی (تبیین ناقص)	ارائه دلایل و ارتباط دادن آن‌ها به توضیحات علی (تبیین)

1. Causal Coherence

انسجام علی	عمق و انسجام پیوندهایی که دانش‌آموزان بین عنصرها و سازوکارهای علی کشف کرده و در پاسخ خود آورده‌اند (استفاده همزمان از مفهوم جریان، پتانسیل، و بستن لامپ‌ها به یکدیگر، برای تبیین میزان روشنایی لامپ)	هیچ علّیتی وجود ندارد. فقط وضعیت توصیف می‌شود.	علیّت خطّی[1]، بدون توجه به سایر علت‌ها و ارتباط بین علل و پیچیدگی آن	علیّت منسجم و غیر خطّی[2]، توجه جامع به همه دلایل و ارتباط بین دلایل مختلف و ایجاد یک نظام علی

برای هر پاسخ درست در آزمون DIRECT نمره یک و پاسخ نادرست نمره صفر در نظر گرفته‌شده است. این آزمون دارای ۲۹ سؤال است، که دانش مفهومی را با ۱۴ سؤال، دانش امور واقعی را با ۵ سؤال، و دانش روندی را با ۱۰ سؤال می‌سنجد. نمره‌گذاری پاسخ‌های تشریحی تفکر سیستمی نیز مطابق جدول ۱ انجام گرفت. شش سؤال آزمون DIRECT به‌صورت انتها-باز برای نوشتن استدلال در اختیار دانش‌آموزان قرار گرفت، بنابراین نمره تفکر سیستمی آن‌ها عددی بین صفر تا ۶ برای هر سؤال (هر سؤال سه بعد دارد و هر بعد نمره‌ای بین صفر تا ۲ خواهد داشت) و صفر تا ۳۶ برای همه آزمون است.

تحلیل آماری

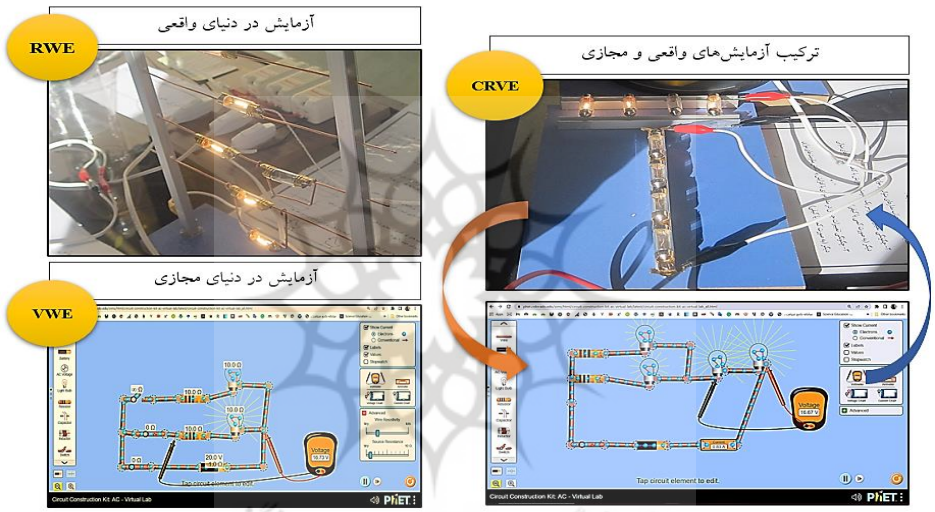
ابتدا نمرات دانش‌آموزان در پیش آزمون و پس‌آزمون DIRECT جمع‌آوری شد. برخی پاسخ‌ها برای قسمت چندگزینه‌ای و برخی پاسخ‌ها برای قسمت تشریحی بود. پاسخ درست به قسمت چندگزینه‌ای نمره یک، و پاسخ غلط نمره صفر را برای دانش‌آموز در پی داشت. برای حذف اثر پیش آزمون (نگهداری ذهنی پاسخ) از تحلیل کواریانس یک راهه[3] استفاده شد. در این روش تأثیر نمرات پیش آزمون بر نمرات پس‌آزمون ابتدا با رگرسیون خطی ساده پیش‌بینی و سپس حذف می‌شود؛ پس از حذف اثر پیش آزمون، تفاوت بین میانگین پس‌آزمون گروه‌ها به کمک تحلیل واریانس بررسی می‌شود(Wilcox, 2022) در این پژوهش متغیر مستقل همان محیط یادگیری برای انجام فعالیت کاوشگری است که دارای سه سطح محیط آزمایشگاه واقعی، مجازی، و ترکیبی است. همچنین متغیرهای وابسته میزان یادگیری مفهوم جریان الکتریکی و مهارت تفکر سیستمی هستند. همچنین برای نشان دادن اثربخشی محیط‌های یادگیری از اندازه اثر g هجز[4] (Durlak, 2009; Hedges, 1981) استفاده شد.

فعالیت‌های کاوشگری و آزمایش‌ها

قبل از شروع تدریس و انجام فعالیت‌های کاوشگری به کمک آزمایش، پژوهشگران سه معلم را برای اجرای برنامه درسی ارائه شده انتخاب کرد. معلمان منتخب بیش از ده سال سابقه تدریس فیزیک داشتند و قبلاً دوره‌های آموزشی مبتنی بر رایانه را گذرانده بودند. طی چهار جلسه توجیهی، پژوهشگران سعی کردند معلمان را با کاوشگری علمی، و نرم‌افزارهای رایانه‌ای تعاملی، شبه سازی، و آزمایش مجازی آشنا

1. Linear Causal
2. Nonlinear/Coherent Causal
3. One-Way Analysis of Covariance (Ancova)
4. Hedges's G Effect Size

کند. پس از انجام پیش آزمون، دوره در شش جلسه (هر جلسه ۶۰ دقیقه) در سه هفته خارج از ساعات رسمی مدرسه برگزار شد. همه دانش‌آموزان در شروع جلسه در یک فعالیت بارش فکری شرکت کردند. دانش‌آموزان فهرستی از مفاهیم و فرآیندهایی که در مورد جریان الکتریسیته یاد گرفتند تهیه کردند و سعی کردند با استفاده از نمودارها، نقشه‌ها و نقشه‌ها مدل ذهنی خود را در مورد مصرف انرژی الکتریکی در لامپ‌ها یا لوازم‌خانگی بیان کنند. فعالیت بارش فکری برای سنجش اولیه دانش‌آموز انجام شد و در هر جلسه ۱۵ دقیقه به طول می‌انجامید. در این پژوهش، موضوع جریان‌های الکتریکی با سه رویکرد متفاوت کاوشگری علمی و به کمک آزمایش تدریس شد. رویکرد (الف) انجام تدریس به کمک آزمایش در فضای واقعی[1] (RWE)، رویکرد (ب) انجام تدریس به کمک آزمایشگاه مجازی[2] (VWE)، و رویکرد (ج) ترکیب آزمایشگاه‌های واقعی و مجازی[3] (CRVE). شکل ۱ فعالیت‌های کاوشگری در سه گروه را به نمایش گذاشته است.



شکل ۱. نمایش فعالیت‌های کاوشگری در کلاس به‌صورت انجام آزمایش‌های واقعی، مجازی و ترکیبی

ترکیب آزمایش‌های مجازی و واقعی به‌صورت تعامل، بازبینی، و اصلاح صورت گرفت. به‌گونه‌ای که دانش‌آموزان با تجربه‌ای که در دنیای واقعی کسب کرده‌اند، دست به آزمایش‌های مجازی می‌زنند. با توجه به ویژگی فضای مجازی که بازنگری آزمایش‌ها احتیاج به صرف وقت و هزینه زیادی ندارد، دانش‌آموزان می‌توانند آزمایش‌هایی را انجام دهند که به‌راحتی در آن ویژگی مواد و اجزا را تغییر داده و طرحی ایجاد کنند که در دنیای واقعی مستلزم زمان و حتی هزینه‌های زیادی است. این تعامل به‌صورت برگشت‌پذیر انجام گرفت، به‌گونه‌ای که دانش‌آموزان دوباره به دنیای واقعی برگشته و جزئیات بیشتری را در آزمایش

1. Real World Experiment
2. Virtual Word Experiment
3. Combination The Real And Virtual Word Experiments

واقعی بررسی می‌کردند. آزمایش‌های مجازی به کمک نرم‌افزار شبیه‌ساز PhET انجام گرفت۱. پروژه شبیه‌سازی تعاملی PhET در سال ۲۰۰۲ در دانشگاه کلرادو تأسیس شد. نرم‌افزار PhET شبیه‌سازی‌های ریاضی و علوم رایگان و تعاملی را ارائه می‌دهد که می‌توان به‌صورت آنلاین، رایانه‌ها یا تلفن‌های هوشمند به آن دسترسی داشت. این شبیه‌سازی‌ها بر اساس تحقیقات آموزشی گسترده طراحی شده‌اند تا دانش‌آموزان را با موضوعات مختلف علمی از طریق یک محیط تعاملی و بازی مانند درگیر کنند. با استفاده از شبیه‌سازی PhET، دانش‌آموزان می‌توانند مفاهیم علمی را از طریق کاوش و مدل‌سازی در دنیای واقعی بیاموزند(Perkins et al., 2006). آزمایشگاه‌های مجازی، و شبیه‌سازی‌های تعاملی در وب‌سایت PhET به‌صورت رایگان به چند زبان مختلف در اختیار عموم قرار گرفته است، ضمن اینکه برای استفاده بهتر معلمان و دانش‌آموزان، راهنمایی‌هایی و مقالات پژوهشی نیز می‌توان در وب‌سایت پیدا کرد.

یافته‌ها

برای نمایش اثربخشی آزمایش‌ها، ابتدا باید نشان داد که دانش‌آموزان در نقطه تقریباً یکسانی از درک مفاهیم الکتریسیته جاری و تفکر سیستمی قرار دارند. هرچند دانش‌آموزان همگن از نظر میزان پیشرفت تحصیلی در اختیار پژوهشگران بودند ولی به کمک پیش‌آزمون سطح دانش در الکتریسیته جاری و میزان مهارت آن‌ها در تفکر سیستمی سنجش شد و با توجه به نمرات کسب شده در سه گروه همگن، قرار گرفتند. جدول ۲ تفاوت میانگین پیش‌آزمون را برای سه گروه به نمایش گذاشته است.

جدول ۲. میانگین نمره‌های کسب شده در پیش‌آزمون DIRECT، و مقایسه میانگین‌ها

دانش‌ها و مهارت‌ها		میانگین (انحراف استاندارد)			F (درجه آزادی)
		RWE	VWE	CRVE	
دانش	دانش مفهومی	۵/۲۵ (۱/۲۴)	۴/۸۹ (۱/۱۸)	۵/۳۱ (۱/۹۱)	۱/۰۳ (۷۶و۲)
الکتریسیته	دانش امور واقعی	۲/۱۳ (۱/۸۹)	۳/۲۱ (۱/۷۶)	۲/۹۰(۱/۴۱)	۰/۸۳ (۷۶و۲)
جاری	دانش روندی	۴/۳۲ (۱/۱۹)	۵/۶(۱/۱۱)	۴/۹۱(۱/۵۴)	۱/۰۲ (۷۶و۲)
مهارت	عناصر استدلال	۴/۶۹(۲/۱۹)	۴/۱۱ (۲/۱۶)	۳/۹۸(۲/۲۱)	۱/۵۳ (۷۶و۲)
تفکر	ارائه شواهد	۱/۱۸ (۱/۸۹)	۱/۹۴ (۲/۰۶)	۲/۰۳(۲/۴۱)	۱/۱۳ (۷۶و۲)
سیستمی	انسجام علی	۱/۰۳ (۱/۵۹)	۱/۳۱ (۱/۹۶)	۰/۹۰(۱/۶۱)	۰/۹۶ (۷۶و۲)

در جدول ۲ با توجه مقادیر درجه آزادی و آماره F تفاوت شاخصی بین میانگین هیچ‌کدام از ابعاد دانش الکتریسیته جاری، و مهارت تفکر سیستمی، در سطح معناداری کمتر از ۰/۰۱ در بین سه دسته دانش‌آموزان در محیط‌های یادگیری متفاوت دیده نشده است، این یعنی همه دانش‌آموزان از نقطه شروع تقریباً یکسانی یادگیری در سه محیط واقعی، مجازی و ترکیبی را شروع کردند.

۱. برای استفاده از آزمایشهای مجازی به صورت آفلاین و آنلاین به وب سایت https://phet.colorado.edu/ مراجعه کنید.

برای اطمینان از نزدیک بودن توزیع داده‌ها به توزیع طبیعی چولگی، کشیدگی، و وجود داده‌های پرت در آن‌ها بررسی شد. نمره شاگردان در پس‌آزمون مقادیر از دست رفته نداشت. کشیدگی هر کدام از ابعاد دانش الکتریسیته جاری زیر مقیاس‌های آزمون بین ۰/۷۶- و ۰/۹۵ و مقدار چولگی آن‌ها بین ۰/۷۹ تا ۱/۴۲ است. مطابق با نظر کلاین و لیتل[1] (۲۰۱۶) نسبت شاخص چولگی و کشیدگی متغیرها به انحراف استاندارد آن‌ها همچون توزیع طبیعی استاندارد Z مورد تفسیر قرار می‌گیرد، که در هیچ‌کدام از متغیرها در سطح معناداری کمتر از ۰/۰۱ این نسبت‌ها از ۲/۵۸ بزرگ‌تر نبودند و چولگی و کشیدگی غیرطبیعی در داده‌ها وجود نداشته و نرمال بودن آن‌ها مورد تأیید است. پس‌آزمون دانش جریان الکتریکی و تفکر سیستمی به لحاظ نبودن داده‌های پرت نیز وارسی شدند، فاصله ماهالانوبیسD به‌عنوان شاخص بررسی داده‌های پرت چندمتغیری استفاده شد(Tabachnick & Fidell, 2019) مقدار D به دست آمده برای پاسخ‌ها به این پرسشنامه در سطح $p<۰/۰۱$ معنادار نبود. جدول ۵ میانگین دانش جریان الکتریکی برای محیط‌های یادگیری واقعی، مجازی و ترکیبی در پیش آزمون و پس‌آزمون را مقایسه کرده است.

ابتدا اثربخشی هر کدام از محیط‌های یادگیری بر ابعاد مختلف دانش جریان‌های الکتریکی و تفکر سیستمی مورد توجه قرار گرفت. در جدول ۳ تفاوت میانگین نمره‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون در ابعاد مختلف دانش جریان‌های الکتریکی را نمایش می‌دهد. در اینجا برای مقایسه پیش‌آزمون و پس‌آزمون از آزمون تی دو گروه وابسته استفاده شده است.

جدول ۳. مقایسه میانگین نمره‌های کسب شده دانش در پیش آزمون و پس‌آزمون DIRECT

نوع دانش	محیط یادگیری	میانگین پیش‌آزمون	میانگین پس‌آزمون	(درجه t آزادی)	سطح معناداری	اندازه اثر g
دانش	RWE	۵/۲۵ (۱/۲۴)	۸/۱۳ (۰/۳۱)	(۲۳)۲/۵۴	۰/۰۰۰	۰/۵۴
مفهومی	VWE	۴/۸۹ (۱/۱۸)	۷/۸۹ (۰/۲۸)	(۲۷)۳/۸۶	۰/۰۰۰	۰/۶۱
	CRVE	۵/۳۱ (۱/۹۱)	۹/۵۱ (۰۱/۷۱)	(۲۷)۳/۰۱	۰/۰۰۰	۰/۷۹
دانش امور	RWE	۲/۱۳ (۱/۸۹)	۳/۴۱ (۰/۸۱)	(۲۳)۲/۴۵	۰/۰۰۰	۰/۶۰
واقعی	VWE	۳/۲۱ (۱/۷۶)	۴/۰۱ (۰/۶۶)	(۲۷)۱/۶۶	۰/۰۰۰	۰/۲۴
	CRVE	۲/۹۰ (۱/۴۱)	۴/۸۹ (۰/۵۱)	(۲۷)۴/۲۱	۰/۰۰۰	۰/۶۵
دانش	RWE	۴/۳۲ (۱/۱۹)	۶/۵۲ (۱/۱۹)	(۲۳)۲/۴۰	۰/۰۰۰	۰/۵۱
روندی	VWE	۵/۶ (۱/۱۱)	۶/۹۸ (۱/۱۱)	(۲۷)۱/۶۴	۰/۰۰۰	۰/۲۴
	CRVE	۴/۹۱ (۱/۵۴)	۸/۸۳ (۱/۵۴)	(۲۷)۲/۷۶	۰/۰۰۰	۰/۷۹

جدول ۳ نشان داد که محیط‌های یادگیری که بر کاوشگری علمی تکیه دارند، همگی می‌توانند دانش با موضوع جریان الکتریکی را ارتقا دهند. به‌طوری‌که هم محیط یادگیری مجازی (آزمایشگاه مجازی)، و محیط یادگیری واقعی (آزمایشگاه واقعی) موجب ارتقا دانش شدند. آزمایشگاه مجازی به جز در دانش مفهومی، در سایر انواع دانش (واقعی، و روندی) نتوانست برتری خود را نسبت به آزمایش‌های واقعی حفظ کند. ترکیب آزمایش‌های واقعی و مجازی بدون توجه به نوع دانش، همواره از آزمایش‌های مجازی و واقعی

1. Kline & Little

به‌صورت تکی، عملکرد بهتری داشته است. جدول ۴ تفاوت میانگین نمره‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون در ابعاد مختلف مهارت تفکر سیستمی را نمایش می‌دهد.

جدول ۴. مقایسه میانگین نمره‌های کسب شده مهارت تفکر سیستمی در پیش آزمون و پس‌آزمون DIRECT

مهارت تفکر	محیط یادگیری	میانگین پیش‌آزمون	میانگین پس‌آزمون	(درجه آزادی) t	سطح معناداری	اندازه اثر g
عناصر	RWE	(۲/۱۹)۴/۶۹	(۰/۹۷)۱۰/۱۲	(۲۳)۳/۱۶	۰/۰۰۰	۱/۱۶
استدلال	VWE	(۲/۱۶) ۴/۱۱	(۱/۱۶) ۹/۹۱	(۲۷)۳/۵۴	۰/۰۰۰	۱/۴۱
	CRVE	(۲/۲۱)۳/۹۸	(۱/۲۱)۱۰/۴۳	(۲۷)۳/۱۱	۰/۰۰۰	۱/۶۲
ارائه شواهد	RWE	(۱/۸۹) ۱/۱۸	(۱/۱۹) ۶/۳۱	(۲۳)۳/۱۵	۰/۰۰۰	۱/۳۵
	VWE	(۲/۰۶) ۱/۹۴	(۲/۴۲) ۶/۵۴	(۲۷)۳/۶۶	۰/۰۰۰	۱/۶۳
	CRVE	(۲/۴۱)۲/۰۳	(۱/۳۱)۸/۱۲	(۲۷)۴/۰۷	۰/۰۰۰	۲/۶۵
انسجام علی	RWE	(۱/۵۹) ۱/۰۳	(۱/۷۹) ۲/۱۷	(۲۳)۱/۰۹	۰/۲۱۰	۰/۳۳
	VWE	(۱/۹۶) ۱/۳۱	(۱/۹۶) ۲/۳۸	(۲۷)۰/۹۱	۰/۳۴۵	۰/۴۱
	CRVE	(۱/۶۱)۰/۹۰	(۱/۶۱)۲/۹۱	(۲۷)۱/۳۱	۰/۱۹۳	۰/۴۲

در مورد مهارت‌های تفکر سیستمی اوضاع متفاوت است، مطابق با جدول ۴ هرچند هر سه محیط یادگیری توانسته‌اند مهارت شناسایی عناصر و ارائه شواهد در تفکر سیستمی را ارتقا دهند و بازهم محیط یادگیری ترکیبی همواره از محیط‌های دیگر اثربخش‌تر بوده، اما نکته مهم آن است که کاوشگری در محیط‌های یادگیری مختلف، نتوانسته است بر انسجام علی شاگردان اثر شاخصی داشته باشد و دانش‌آموزان هنگام کاوشگری علمی (انجام آزمایش) جدای از محیط یادگیری در انسجام علی برای انجام تفکر سیستمی ضعیف عمل کرده‌اند.

برای انجام تحلیل کواریانس، و مقایسه میانگین پس‌آزمون‌ها در سه محیط یادگیری آزمایش واقعی، مجازی، و ترکیبی، دو پیش‌فرض بررسی شد. پیش‌فرض اول بررسی همگنی واریانس ابعاد دانش و ابعاد مهارت (متغیرهای وابسته) در سه محیط یادگیری است. جدول ۵، مقادیر آزمون لون[1] برای بررسی همگنی واریانس را نمایش داده است.

جدول ۵. آماره لون برای بررسی همگنی واریانس پس‌آزمون دانش الکتریسیته و مهارت تفکر سیستمی

ابعاد دانش و مهارت		آماره لون	درجه‌های آزادی	سطح معناداری
دانش الکتریسیته جاری	دانش مفهومی	۱/۳۹	۲و ۷۸	۰/۷۱۱
	دانش امور واقعی	۰/۸۹۰	۲و ۷۸	۰/۰۹۴
	دانش روندی	۰/۶۵۷	۲و ۷۸	۰/۰۸۴
مهارت تفکر سیستمی	عناصر استدلال	۱/۰۰۶	۲و ۷۸	۰/۵۴۱
	ارائه شواهد و دلایل	۱/۰۴۵	۲و ۷۸	۰/۳۲۰
	انسجام علی	۰/۷۱۱	۲و ۷۸	۰/۱۰۲

[1] Levene's test

مطابق با جدول ۵ و با توجه به تأیید فرضیه صفر مبنی بر نبودن تفاوت معنی‌دار بین واریانس نمره‌ها در همه محیط‌های یادگیری به بررسی پیش‌فرض دوم پرداخته شد. پیش‌فرض دوم این است که شیب‌خط رگرسیون نمرات پس‌آزمون (به‌عنوان متغیر ملاک) و نمرات پیش آزمون (به‌عنوان متغیر پیش‌بینی کننده) در هر سه محیط یادگیری یکسان است (Harrison et al., 2021) برقراری این شرط از آنجایی که در تحلیل کواریانس اثر پیش‌آزمون روی پس‌آزمون ابتدا به کمک رگرسیون ساده خطی پیش‌بینی و سپس حذف می‌شود ضروری است. برای اینکار باید نشان داد که رابطه خطی معناداری بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون در هر سه محیط یادگیری وجود دارد (Wilcox, 2022). جدول ۶ مقادیر آزمون F برای بررسی رابطه خطی بین پیش آزمون (متغیر پیش‌بین) و پس‌آزمون (متغیر ملاک) یا همان همگنی شیب‌های رگرسیون را نمایش می‌دهد.

جدول۶. بررسی همگنی شیب‌های رگرسیون در محیط‌های یادگیری سه‌گانه

منبع واریانس	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F	سطح معناداری
محیط یادگیری*پیش آزمون	۱۳/۲۸۵	۲	۶/۶۴۲	۱/۰۵۱	۰/۲۰۷
خطا	۴۸۰/۲۱۱	۷۶	۶/۳۱۸		
مجموع	۴۹۳/۴۹۶	۷۸			

معنادار نبودن آزمون F برای تعامل بین محیط یادگیری و پیش‌آزمون، نشان از همگنی شیب‌خط رگرسیون در همه محیط‌ها داشته و پیش‌فرض دوم نیز برقرار است. اکنون می‌توان تحلیل کواریانس را با تعدیل اثر پیش‌آزمون بر پس‌آزمون با اطمینان انجام داد. جدول ۷ مقادیر آزمون F برای بررسی تفاوت میانگین پس‌آزمون ابعاد دانش جریان‌های الکتریکی و مهارت تفکر سیستمی بین سه محیط یادگیری آزمایش واقعی، مجازی، و ترکیبی را نمایش می‌دهد.

جدول ۷. میانگین نمره‌های کسب شده در پس‌آزمون DIRECT، و مقایسه میانگین‌ها

دانش‌ها و مهارت‌ها		میانگین (انحراف استاندارد)			F (درجه آزادی)
		RWE	VWE	CRVE	
دانش الکتریسیته جاری	دانش مفهومی	۸/۱۳ (۰/۳۱)	۷/۸۹ (۰/۲۸)	۹/۵۱ (۰۱/۷۱)	۸/۱۳ (۲و۷۶)
	دانش امور واقعی	۳/۴۱ (۰/۸۱)	۴/۰۱ (۰/۶۶)	۴/۸۹ (۰/۵۱)	۰/۹۱ (۲و۷۶)
	دانش روندی	۶/۵۲ (۱/۱۹)	۶/۹۸ (۱/۱۱)	۸/۸۳ (۱/۵۴)	۰/۹۷ (۲و۷۶)
مهارت تفکر سیستمی	عناصر استدلال	۱۰/۱۲ (۰/۹۷)	۹/۹۱ (۱/۱۶)	۱۰/۴۳ (۱/۲۱)	۰/۸۳ (۲و۷۶)
	ارائه شواهد	۶/۳۱ (۱/۱۹)	۶/۵۴ (۲/۴۲)	۸/۱۲ (۱/۳۱)	۴/۱۳ (۲و۷۶)
	انسجام علی	۲/۱۷ (۱/۷۹)	۲/۳۸ (۱/۹۶)	۲/۹۱ (۱/۶۱)	۰/۷۱ (۲و۷۶)

مطابق با جدول ۷ محیط‌های مختلف یادگیری تفاوت معناداری در یادگیری دانش مفهومی با موضوع جریان‌های الکتریکی را نشان می‌دهند، اما در دانش امور واقعی، و روندی تفاوتی ندارد که دانش‌آموز در کدام محیط آموزش دیده باشد. موضوع برای مهارت تفکر سیستمی متفاوت‌تر است، به‌طوری‌که تنها در ارائه شواهد و دلایل در تفکر سیستمی تفاوت معناداری بین محیط‌ها دیده شد و در این میان محیط یادگیری ترکیبی از دو محیط دیگر در این زمینه برتری دارد. در شناسایی عناصر استدلال و از آن مهم‌تر

انسجام استدلال در تفکر سیستمی هیچ‌کدام از محیط‌ها بر محیط دیگر برتری نداشته و به‌طورکلی در این دو مورد دانش‌آموزان ضعیف عمل کرده‌اند، چه در محیط واقعی، چه مجازی، و چه ترکیبی.

بحث

کاوشگری علمی یا به تعبیری پرسشگری، و در کنار آن فعالیت‌های دست‌ورزی[1] همواره برای آموزش و یادگیری علوم مورد تأکید قرار گرفته است (Bozzo et al., 2022). از طرفی پیشرفت روزافزون فن‌آوری و حضور آن در کلاس روز به روز نمایان‌تر شده و نقش آن در فرآیند یادگیری پررنگ‌تر می‌شود. استفاده بهینه از همه فرصت‌های یادگیری و تجربه محیط‌های یادگیری متنوع، در کنار تأثیرگذاری محیط‌های واقعی و مجازی روی بر خی ویژگی‌های شناختی، رفتاری، و یا عاطفی به‌طور جداگانه، باعث شده است که رویکرد استفاده از محیط‌های یادگیری واقعی و مجازی در کنار هم مورد توجه برنامه ریزان درسی و معلمان قرار بگیرد (Flegr et al., 2023; Kapici et al., 2019). این مطالعه سعی کرده است تا با ترکیب محیط‌های یادگیری مجازی و واقعی در کلاس درس فیزیک اثربخشی آن را بر یادگیری مفاهیم، و بهبود مهارت‌های تفکر سیستمی با موضوع جریان‌های الکتریکی مورد سنجش قرار دهد. در ادامه ابتدا به سؤال میزان تأثیرگذاری محیط‌های یادگیری بر دانش شاگردان با موضوع جریان الکتریکی و سپس به میزان تأثیرگذاری محیط‌های یادگیری بر تفکر سیستمی پاسخ داده خواهد شد.

محیط‌های یادگیری واقعی و مجازی هر دو باعث یادگیری مفاهیم فیزیکی از جمله مفاهیم مربوط به جریان‌های الکتریکی شدند. این یافته قابل انتظار با پژوهش‌های گذشته همچون (Wörner et. al ,2022a) و (Wörner et. Al, 2022b)همسو است. با توجه به اینکه در این مطالعه دانش کلی با موضوع الکتریسیته جاری مدنظر نبوده و دانش را در سه سطح دانش مفهومی، دانش روندی، و دانش امور واقعی برسی شده است، شایسته است این یافته را با جزئیات بیشتری تفسیر کرد. یافته‌ها نشان داد محیط یادگیری واقعی و انجام کاوشگری در محیط آزمایشگاه‌های واقعی بیشترین تأثیر را بر دانش امور واقعی شاگردان داشته است. دانش امور واقعی همان دانش عناصر مورد نیاز یادگیرنده برای آشنا شدن با یک رشته علمی یا حل مسائل مربوط به آن است (Anderson & Bloom, 2014; Stanny, 2016). این دانش همان دانش اصطلاحات و بیانات علمی، به همراه مکان‌ها و رویدادها در جهان واقعی است. مطابق با این تعریف و با توجه به ویژگی‌های محیط یادگیری واقعی، تأثیرگذاری بیشتر آزمایش‌های واقعی بر رشد بهتر دانش امور واقعی شاگردان قابل توجیه است. تأثیر کم محیط یادگیری مجازی بر دانش امور واقعی دانش‌آموزان و دانش روندی آن‌ها نیز از همین منظر قابل فهم است چرا که ارتباط واقعی و حسی کم دانش‌آموزان با پدیده موردنظر در محیط‌های یادگیری مجازی باعث تأثیرگذاری کمتر این محیط بر دانش امور واقعی شاگردان خواهد شد. برتری محیط یادگیری مجازی نسبت به محیط واقعی را می‌توان در اثربخشی بیشتر آزمایش‌های مجازی بر دانش مفهومی آن‌ها در این مطالعه به‌خوبی مشاهده کرد. مطابق با یافته‌ها، محیط یادگیری مجازی بیشترین اندازه اثر (یعنی ۰/۶۱) را بر رشد دانش مفهومی دانش‌آموزان داشته است. دانش مفهومی همان دانش مقوله‌ها، طبقه‌ها، و مفاهیم انتزاعی یک رشته خاص علمی است که به کمک آن

1. Hands-On Activities

اصل‌ها، قضیه‌ها، و نظریه‌ها در یک رشته علمی تعریف و یا تأیید می‌شوند (Stanny, 2016). از طرفی محیط یادگیری مجازی با توجه به ویژگی‌هایی که دارد بستر مناسبی را برای مفهوم‌سازی انتزاعی ایجاد می‌کند و با ابزار مناسبی که در اختیار دارد تصاویر و مدل‌های ذهنی شاگردان را به‌خوبی به تصویر کشیده و قادر است مدل‌های مفهومی ایجاد کند که در دنیای واقعی و با امکانات محیط واقعی امکان خلق آن‌ها وجود ندارد (Nguyen & Santagata, 2021). بنابراین می‌توان چنین گفت که کاوشگری از طریق محیط‌های مجازی و نرم‌افزارهای شبیه‌سازی تعاملی می‌تواند به درک بیشتر دانش‌آموزان از مفاهیم و اصول علمی کمک کرده و موجب ارتقا بیشتر دانش مفهومی آنان شود. در پاسخ به سؤال اول باید چنین گفت که هم محیط یادگیری مجازی و هم محیط یادگیری واقعی بر ارتقا دانش فیزیک دانش‌آموزان تأثیرگذار هستند و آن را بهبود می‌بخشند اما با توجه به طبقه‌بندی که از دانش ارائه می‌شود باید چنین گفت که هر محیط یادگیری با توجه به ویژگی‌ها و ماهیتی که دارد می‌تواند طبقه خاصی از دانش شاگردان را بهبود ببخشد، به‌طوری‌که محیط یادگیری واقعی به بهبود دانش امور واقعی و روندی، و محیط مجازی به بهبود دانش مفهومی دانش‌آموزان کمک بیشتری کرده‌اند.

آزمایشگاه‌های مجازی همچنان در حال توسعه هستند و آن‌ها در کلاس درس طی دهه‌های اخیر رشد چشمگیر داشته است (Elmoazen et al., 2023). اما ترکیب‌ها یا توالی‌های خوب طراحی شده از دو محیط آزمایشگاهی واقعی و مجازی در مقایسه با استفاده از یک نوع محیط به‌تنهایی باعث درک بیشتر می‌شوند (Kapici et al., 2019). در پاسخ به این سؤال پژوهش که آیا محیط یادگیری ترکیبی توانسته است به بهبود دانش فیزیک شاگردان کمک کند باید گفت که ترکیب آزمایش‌های واقعی و مجازی در کلاس درس و ایجاد محیط یادگیری ترکیبی توانسته است اثربخشی بهتری داشته و همه انواع دانش را به‌خوبی ارتقا داد. اثربخشی بین ۰/۶۵ تا ۰/۷۹ محیط یادگیری ترکیبی نشان داد که این محیط به دلیل بهره گرفتن از ویژگی‌های دنیای واقعی و دنیای مجازی به‌طور همزمان توانسته است هم روی دانش واقعی و روندی، هم روی دانش مفهومی تأثیرگذار باشد و برتری خود را نسبت به محیط‌های تک یادگیری واقعی یا مجازی نشان دهد. این یافته را پژوهش‌های (Wang & Tseng, 2016) و (Zacharia & Michael, 2016) نیز تأیید می‌کنند. ترکیب آزمایش‌های واقعی و مجازی در این مطالعه بیشتر با هدف بازنگری و اصلاح تعارض‌های شناختی در دنیای واقعی، انجام گرفته است. مفاهیم انتزاعی در موضوع جریان‌های الکتریکی مانند انرژی الکتریکی، مقاومت الکتریکی، پتانسیل و جریان الکتریکی همواره دانش‌آموزان را دچار کج‌فهمی و تعارض شناختی کرده است (Widodo et al., 2018). این کج‌فهمی‌ها و تعارضات در دنیای واقعی جز به کمک ایجاد مدل‌های ذهنی و مفهومی که به توجیه و تشریح پدیده‌ها بپردازد، و در بسیاری موارد زوایای پنهان و انتزاعی یک پدیده در دنیای واقعی را به نمایش بگذارد رفع نخواهند شد (Eshach et al., 2018; Raven & Wenner, 2023). به همین دلیل حضور محیط یادگیری مجازی در کنار محیط‌های واقعی می‌تواند ضمن آشکار کردن بسیاری از زوایای پنهان رخدادها، بسیاری از تعارضات شناختی ناشی از مشاهده و یا اندازه‌گیری در دنیای واقعی را در محیطی با هزینه، خطر، و صرف انرژی کمتر انجام دهد. به همین دلیل است که ترکیب دنیای مجازی و واقعی هم می‌تواند به ارتقا دانش اصطلاحات علمی، و روند انجام رخدادها

از طریق مشاهده واقعیت بپردازد، و هم درک دانش‌آموزان از مفاهیم پیچیده و انتزاعی علم را به کمک مدل‌ها و شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای بهبود ببخشد.

در پاسخ به این سؤال که تأثیرپذیری ابعاد تفکر سیستمی دانش‌آموزان از محیط‌های یادگیری چگونه است باید این‌گونه گفت که محیط‌های یادگیری تأثیر متفاوتی بر ابعاد مختلف تفکر سیستمی گذاشته‌اند. اولین بعد از تفکر سیستمی شناسایی عناصر استدلال است، که همان توانایی شناسایی اجزای یک سیستم و فرآیندهای درون آن، و توانایی شناسایی روابط ساده بین یا بین اجزای سیستم است (Assaraf & Orion, 2005; Dickes et al., 2016). شناسایی اجزا یا عناصر مطابق با طبقه‌بندی آموزش و یادگیری بازنگری شده بلوم[1] در سطوح پائین یادگیری قرار دارد و فعل شناختی "شناسایی[2]" در سطح دانش قرار داشته و شامل فرآیندهای پیچیده شناختی مانند تحلیل، استدلال علی، و تفکر سطح بالا نمی‌شود (ر.ج. آندرسون و کراتول، ۲۰۰۱). با توجه به مبنای نظری محیط‌های یادگیری واقعی، مجازی، و ترکیبی که همگی مبتنی بر نظریه‌های یادگیری شناختی نسبتاً جدید مانند سازنده‌گرایی هستند انتظار می‌رود که محیط یادگیری تأثیر چندانی بر بهبود این سطح از یادگیری نداشته باشد که البته در این مطالعه نیز شاهد این نتیجه بودیم و در هر سه محیط یادگیری واقعی، مجازی، و ترکیبی رشد یکسان مهارت شناسایی عناصر استدلال توسط دانش‌آموزان اتفاق افتاد. در بعد شواهد و دلایل موضوع کمی متفاوت است به‌طوری‌که با وجود اثربخشی تقریباً یکسان محیط‌های واقعی (اندازه اثر ۱/۳۵) و مجازی (اندازه اثر ۱/۶۴) بر آوردن شواهد و دلایل به‌منظور انجام استدلال درباره پدیده‌های الکتریکی مدار، ترکیب محیط‌های یادگیری واقعی و مجازی در این بعد اثربخشی بهتری داشته است (اندازه اثر ۲/۶۵). تأثیرپذیری بیشتر بعد شواهد و دلایل از محیط یادگیری ترکیبی (واقعی و مجازی) از این منظر توجیه‌پذیر است که از طرفی توانایی سازمان‌دهی اجزا، فرآیندها و تعاملات سیستم‌ها و همچنین توانایی تشخیص ابعاد پنهان سیستم، و درک پدیده‌های طبیعی از طریق الگوها و روابط متقابل که در سطح دیده نمی‌شوند از مهم‌ترین ویژگی‌های بعد شواهد و دلایل در انجام تفکر سیستمی است (Dickes et al., 2016; Hmelo-Silver et al., 2015) که به نظر می‌رسد این بعد از تفکر سیستمی ترکیبی از استفاده از واقعیت (مشاهده پدیده‌ها و درک الگوهای طبیعی) و انتزاع (تشخیص ابعاد پنهان سیستم) باشد؛ از طرفی دیگر محیط یادگیری ترکیبی نیز ساختار مشابهی داشته و ویژگی‌های دنیای واقعی و مجازی را با هم دارد. تناسب بین ویژگی‌های محیط یادگیری ترکیبی و بعد شواهد و دلایل در تفکر سیستمی این اثربخشی را به‌خوبی توجیه می‌کند.

یافته‌ها نشان داد که هیچ‌کدام از محیط‌های یادگیری استفاده شده در مطالعه که همگی بر کاوشگری علمی متکی بودند نتوانستند موجب ارتقا مهارت انسجام علی دانش‌آموزان شوند. پایین‌ترین اندازه اثر در این مطالعه مربوط به اثربخشی محیط‌های واقعی (اندازه اثر ۰/۳۳)، مجازی(اندازه اثر ۰/۴۱) و ترکیبی(اندازه اثر ۰/۴۲) بر بعد انسجام علی در مهارت تفکر سیستمی بود. انسجام علی همان ایجاد ارتباط دقیق، و پیوند محکم بین اجزای استدلال، و توجیه پدیده‌ها به کمک شواهد، و درعین‌حال استفاده از دلایل علمی و مبتنی بر واقعیت است(Dickes et al., 2016). تفکر سیستمی و استدلال علی در زمره استدلال‌های مبتنی

1. Revised of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives
2. Identification

بر مدل[1] هستند. مدل‌ها بازنمایی‌های تبیینی هستند که می‌توانند جنبه‌های مختلف یک مکانیسم را توصیف کنند (Tytler et al., 2020). استدلال مبتنی بر مدل، که شامل فرآیندهای خلاقانه‌ای مانند انتزاع، تعمیم و بهبود است، نقش مهمی در ساخت و ارزیابی مدل ایفا می‌کند، این سبک استدلال با «روش علمی یا همان کاوشگری علمی» که معمولاً شناخته شده است متفاوت است (Kind & Osborne, 2017). توجه به این نکته مهم است که مدل‌سازی دیگر صرفاً محصول استدلال تلقی نمی‌شود، بلکه به‌عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از خود فرآیند استدلال شناخته شده است و مهم‌تر آنکه کاوشگری علمی و مدل‌سازی دو فعالیت مکمل و تأثیرگذار در آموزش علوم هستند، به‌طوری‌که استدلال علی که از نمودهای تفکر سیستمی دانش‌آموزان است در قالب استدلال مبتنی بر مدل تعریف شده و بکار می‌رود (Sjøberg et al., 2023). با توجه به اینکه هر سه محیط یادگیری در این پژوهش بر کاوشگری تکیه داشته و بر مبنای آزمایش و مشاهده بنا نهاده شدند و توجه کمتری به مدل و مدل‌سازی در توجیه پدیده‌ها و پیش‌بینی رخدادها داشته‌اند، شکست آن‌ها در ارتقا انسجام علی دانش‌آموزان برای انجام تفکر سیستمی توجیه‌پذیر بوده و در کنار ویژگی‌های مطلوبی که محیط‌های یادگیری آزمایشگاه واقعی، مجازی، و ترکیبی در ارتقا دانش، بهبود شناخت عناصر استدلال، و گرداوری شواهد داشتند، در ایجاد پیوند بین اجزای مختلف سیستم به‌منظور ارائه استدلال علی منسجم نقش مؤثری نداشتند. دلیل اصلی عدم اثربخشی محیط‌های یادگیری مختلف در ارتقا و بهبود انسجام علی و انجام استدلال مناسب را می‌توان در عدم توجه کافی این‌گونه محیط‌ها به مکمل فعالیت کاوشگری، یعنی مدل‌سازی علمی دانست.

کنترل جنسیت اولین محدودیت این پژوهش است، در این پژوهش ما تنها از دانش‌آموزان پسر استفاده کردیم، بنابراین یکی از مهم‌ترین تفاوت‌های فردی که جنسیت دانش‌آموزان باشد در این پژوهش کنترل شده است، این موضوع در کنار انتخاب غیر تصادفی دانش‌آموزان از دبیرستان‌های دولتی شهر اهواز با ویژگی‌های خاص قومی تعمیم نتایج را به همه دانش‌آموزان دختر و پسر با فرهنگ، شرایط تحصیل، و قومیت‌های متفاوت با محدودیت روبرو خواهد کرد. در این پژوهش سایر تفاوت‌های فردی تأثیرگذار بر یادگیری مانند خودپنداره تحصیلی، خودکارآمدی تحصیلی، نگرش نسبت به علم کنترل نشدند که توصیه می‌شود، پژوهش‌های آینده به‌منظور دستیابی به نتایج تعمیم‌پذیر و دقیق دست به کنترل و بررسی این عوامل بزنند. محدودیت مهم دیگر پژوهش استفاده از آزمون درک مفاهیم الکتریسیته جاری به‌صورت انتها-باز برای سنجش تفکر سیستمی دانش‌آموزان است. در این پژوهش به دلیل نبود آزمون مستقل برای سنجش تفکر سیستمی یا همان استدلال علی از سؤال‌های آزمون درک مفاهیم به‌صورت انتها-باز برای سنجش نحوه استدلال کردن شاگردان به‌صورت تشریحی استفاده شد. پیشنهاد می‌شود به‌منظور بررسی دقیق‌تر تفکر سیستمی و روایی بهتر فرآیند اندازه‌گیری، ابزاری مناسب با تکیه بر موضوعات متفاوت علمی توسعه داده شود.

1. Model-Based Reasoning

نتیجه‌گیری

هرچند در بیشتر برنامه‌های درسی به روز در دنیا، و استانداردهای مهم آموزش علوم بر انجام فعالیت‌های کاوشگری به‌صورت انجام آزمایش‌های واقعی و مجازی برای توسعه سواد علمی دانش‌آموزان توصیه شده است اما ارزش افزوده این پژوهش آن است که استفاده از محیط‌های یادگیری را برای ارتقا دانش به‌صورت طبقه‌بندی شده توصیه می‌کند، به‌طوری‌که از یافته‌های این مطالعه می‌توان چنین نتیجه گرفت که برای ارتقا دانش امور واقعی و روندی شاگردان شایسته است از محیط‌های یادگیری واقعی و برای ارتقا دانش مفهومی بهتر است از ترکیب آزمایش‌های واقعی و مجازی استفاده کرد. در این میان استفاده مستمر و خلاق از فضای کلاس برای مشاهده و انجام آزمایش واقعی و استفاده مؤثر از شبیه‌سازی‌های تعاملی و آزمایشگاه‌های مجازی به‌منظور نشان دادن زوایای پنهان بسیاری از پدیده‌ها در کنار محیط واقعی، به ارتقای همه انواع دانش در درس فیزیک کمک خواهد کرد. استفاده ترکیبی از محیط‌های یادگیری واقعی و مجازی، درصورتی‌که با برنامه درسی مناسبی همراه شود کلاس را به مجهزترین آزمایشگاه علمی برای انجام کاوشگری تبدیل خواهد کرد.

کاوشگری، و مدل‌سازی دو فعالیت مهم علمی هستند که استفاده همزمان آن‌ها در کلاس، دانش‌آموزان را به دانشمندان شبیه خواهد کرد. یکی از مهم‌ترین برنامه‌ها در کلاس درگیر کردن دانش‌آموزان در فعالیت‌های علمی است تا بتوانند همانند دانشمندان به کاوشگری پرداخته و از دنیای واقعی مدل‌های مفهومی بسازند و به کمک آن‌ها رخدادهای طبیعی را توصیف و یا پیش‌بینی کنند (Lazenby & Becker, 2021). کاوشگری علمی هرگاه در کنار مدل‌سازی قرار بگیرد می‌تواند گرایش دانش‌آموزان به علم را افزایش داده و مهارت‌های تفکر و استدلال علمی آنان را توسعه بخشد (Inkinen et al., 2020). مطابق با یافته‌های این پژوهش محیط‌های یادگیری مبتنی بر کاوشگری بدون همراهی فعالیت مدل‌سازی نمی‌توانند به ارتقا تفکر سطح بالا در دانش‌آموزان کمک کنند و نتیجه می‌گیریم که استفاده از مدل، به‌عنوان یک ابزار شناختی، و به‌کارگیری دانش فرا مدل‌سازی به‌عنوان یک مهارت فراشناختی می‌تواند به بهبود مهارت تفکر دانش‌آموزان از جمله تفکر سیستمی و استدلال علمی آن‌ها کمک کند. کاوشگری بدون فعالیت مکمل آن یعنی مدل‌سازی نمی‌تواند به ارتقا شایستگی شاگردان به سطوح بالای تفکر کمک زیادی کند و در این میان نقش معلمان به‌عنوان تسهیل‌گر می‌تواند پررنگ و سازنده باشد. پیشنهاد می‌شود کاوشگری در کلاس درس به‌صورت ترکیب آزمایش واقعی و مجازی توسط معلمان با رویکرد مبتنی بر مدل‌سازی انجام بگیرد. توجه بیشتر برنامه درسی مراکز تربیت معلم (دانشگاه فرهنگیان و یا دانشگاه‌هایی که معلم تربیت می‌کنند) به استانداردهای آموزش علوم که در برنامه درسی ملی به آن‌ها تصریح شده، و گنجاندن فعالیت‌های کاوشگری و مدل‌سازی در آن برای آموزش معلمان، بازبینی محتوای برنامه درسی با تکیه بر محیط‌های یادگیری واقعی و مجازی مبتنی بر کاوشگری، برگزاری دوره‌های آموزشی برای استفاده بهتر معلمان و دانش‌آموزان از آزمایشگاه‌های مجازی، بازبینی برنامه درسی علوم دوره دوم متوسطه (فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی) با محوریت مدل‌سازی علمی، تجهیز کلاس‌ها، کارگاه‌ها، و آزمایشگاه‌ها به فن‌آوری‌های

جدید، همگی می‌توانند زمینه را برای اجرای روش‌های تدریس مبتنی بر کاوشگری و اثربخش بودن آن فراهم نماید.

تشکر و قدردانی

از همه دانش‌آموزان و معلمانی که در این پژوهش شرکت داشتند تشکر می‌کنیم، که اگر تلاش و همکاری آنان نبود این پژوهش به سرانجام نمی‌رسید.

ملاحظات اخلاقی

در جریان اجرای این پژوهش و تهیه مقاله کلیه قوانین کشوری و اصول اخلاق حرفه‌ای مرتبط با موضوع پژوهش از جمله رعایت حقوق آزمودنی‌ها، سازمان‌ها و نهادها و نیز مؤلفین و مصنفین رعایت شده است. پیروی از اصول اخلاق پژوهش در مطالعه حاضر رعایت شده و فرم‌های رضایت‌نامه آگاهانه توسط تمامی آزمودنی‌ها تکمیل شد.

حامی مالی

هزینه‌های مطالعه حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شد.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است و این مقاله قبلاً در هیچ نشریه‌ای اعم از داخلی یا خارجی چاپ نشده است و صرفاً جهت بررسی و چاپ به فصلنامه تدریس‌پژوهی ارسال شده است.

References

Alkhaldi, T., Pranata, I., & Athauda, R. I. (2016). A review of contemporary virtual and remote laboratory implementations: observations and findings. *Journal of Computers in Education*, *3*(3), 329–351. https://doi.org/10.1007/s40692-016-0068-z

Anderson, L. W., & Bloom, B. S. (2014). A taxonomy for learning, teaching, and assessing : a revision of Bloom's. In *TA - TT* - (Pearson ne). Pearson. https://doi.org/LK - https://worldcat.org/title/864384105

Assaraf, O., & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of Earth System education. *Journal of Research in Science Teaching*, *42*, 518–560. https://doi.org/10.1002/tea.20061

Aulia, E. V., Poedjiastoeti, S., & Agustini, R. (2018). The Effectiveness of Guided Inquiry-based Learning Material on Students' Science Literacy Skills. *Journal of Physics: Conference Series*, *947*(1), 12049. https://doi.org/10.1088/1742-6596/947/1/012049

Blatti, J., Garcia, J., Cave, D., Monge, F., Cuccinello, A., Portillo, J., Juarez, B., Chan, E., & Schwebel, F. (2019). Systems Thinking in Science Education and Outreach toward a Sustainable Future. *Journal of Chemical Education*, *96*. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00318

Bozzo, G., Lopez, V., Couso, D., & Monti, F. (2022). Combining real and virtual activities about electrostatic interactions in primary school. *International Journal of Science Education*, *44*(18), 2704–2723. https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2149284

Brinson, J. R. (2015). Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research. *Computers & Education*, *87*, 218–237. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.07.003

Byrne, J., Heavey, C., & Byrne, P. J. (2010). A review of Web-based simulation and supporting tools. *Simulation Modelling Practice and Theory*, *18*(3), 253–276. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.simpat.2009.09.013

De Andrade, V., Shwartz, Y., Freire, S., & Baptista, M. (2022). Students' mechanistic reasoning in practice: Enabling functions of drawing, gestures and talk. *Science Education*, *106*(1), 199–225. https://doi.org/10.1002/sce.21685

De Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and Virtual Laboratories in Science and Engineering Education. *Science*, *340*(6130), 305–308. https://doi.org/10.1126/science.1230579

Dickes, A. C., Sengupta, P., Farris, A. M. Y. V., & Basu, S. (2016). Development of Mechanistic Reasoning and Multilevel Explanations of Ecology in Third Grade Using Agent-Based Models. *Science Education*, *100*(4), 734–776. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/sce.21217

Durlak, J. (2009). How to Select, Calculate, and Interpret Effect Sizes. *Journal of Pediatric Psychology*, *34*, 917–928. https://doi.org/10.1093/jpepsy/jsp004

Elmoazen, R., Saqr, M., Khalil, M., & Wasson, B. (2023). Learning analytics in virtual laboratories: a systematic literature review of empirical research. *Smart Learning Environments*, *10*(1), 23. https://doi.org/10.1186/s40561-023-00244-y

Engelhardt, P. V., & Beichner, R. J. (2003). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, *72*(1), 98–115. https://doi.org/10.1119/1.1614813

Eshach, H., Lin, T.-C., & Tsai, C.-C. (2018). Misconception of sound and conceptual change: A cross-sectional study on students' materialistic thinking of sound. *Journal of Research in Science Teaching*, *55*(5), 664–684. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tea.21435

Flegr, S., Kuhn, J., & Scheiter, K. (2023). When the whole is greater than the sum of its parts: Combining real and virtual experiments in science education. *Computers & Education*, *197*, 104745. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104745

Gilissen, M. G. R., Knippels, M.-C. P. J., & van Joolingen, W. R. (2020). Bringing systems thinking into the classroom. *International Journal of Science Education*, *42*(8), 1253–1280. https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1755741

Harrison, V., Kemp, R., Brace, N., Kemp, R., & Snelgar, R. (2021). SPSS for Psychologists. In *SPSS for Psychologists*. Red Globe Press. https://doi.org/10.1007/978-1-137-57923-2

Haskel-Ittah, M. (2023). Explanatory black boxes and mechanistic reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, *60*(4), 915–933. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tea.21817

Hedges, L. V. (1981). Distribution Theory for Glass's Estimator of Effect Size and Related Estimators. *Journal of Educational Statistics*, *6*(2), 107–128. https://doi.org/10.2307/1164588

Hmelo-Silver, C. E., Liu, L., Gray, S., & Jordan, R. (2015). Using representational tools to learn about complex systems: A tale of two classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, *52*(1), 6–35. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tea.21187

Inkinen, J., Klager, C., Juuti, K., Schneider, B., Salmela-Aro, K., Krajcik, J., & Lavonen, J. (2020). High school students' situational engagement associated with scientific practices in designed science learning situations. *Science Education*, *104*(4), 667–692. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/sce.21570

Iseki, H. (2020). Cohen's kappa statistics as a convenient means to identify accurate SARS-CoV-2 rapid antibody tests. *MedRxiv*, 2020.06.13.20130070. https://doi.org/10.1101/2020.06.13.20130070

Jahanifar, M., & Hormozi Nejad, M. (2023). Improving students' causal reasoning skills with the computer modelling. *Technology of Education Journal (TEJ)*, *17*(3), 607–620. https://doi.org/10.22061/tej.2023.9401.2841

Jiménez-Aleixandre, M. P., Crujeiras, B., Taber, K. S., & Akpan, B. (2017). *Science education. New directions in mathematics and science education: Vol. null* (null (ed.)).

Kang, H., Thompson, J., & Windschitl, M. (2014). Creating Opportunities for Students to Show What They Know: The Role of Scaffolding in Assessment Tasks. *Science Education*, *98*. https://doi.org/10.1002/sce.21123

Kapici, H. O., Akcay, H., & de Jong, T. (2019). Using Hands-On and Virtual Laboratories Alone or Together—Which Works Better for Acquiring Knowledge and Skills? *Journal of Science Education and Technology*, *28*(3), 231–250. https://doi.org/10.1007/s10956-018-9762-0

Kind, P., & Osborne, J. (2017). Styles of Scientific Reasoning: A Cultural Rationale for Science Education? *Science Education*, *101*(1), 8–31. https://doi.org/10.1002/sce.21251

Lazenby, K., & Becker, N. M. (2021). Evaluation of the students' understanding of models in science (SUMS) for use in undergraduate chemistry. *Chem. Educ. Res. Pract.*, *22*(1), 62–76. https://doi.org/10.1039/D0RP00084A

López, V., & Pintó, R. (2017). Identifying secondary-school students' difficulties when reading visual representations displayed in physics simulations. *International*

Journal of Science Education, *39*(10), 1353–1380. https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1332441

Margunayasa, I. G., Dantes, N., Marhaeni, A., & Suastra, I. W. (2019). The Effect of Guided Inquiry Learning and Cognitive Style on Science Learning Achievement. *International Journal of Instruction*.

Momsen, J., Speth, E. B., Wyse, S., & Long, T. (2022). Using Systems and Systems Thinking to Unify Biology Education. *CBE—Life Sciences Education*, *21*(2), es3. https://doi.org/10.1187/cbe.21-05-0118

Nguyen, H., & Santagata, R. (2021). Impact of computer modeling on learning and teaching systems thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, *58*(5), 661–688. https://doi.org/10.1002/tea.21674

Osborne, J., & Lederman, N. G. (2014). *Handbook of Research on Science Education: Vol. null* (null (ed.)).

Perkins, K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., Wieman, C., & LeMaster, R. (2006). PhET: Interactive Simulations for Teaching and Learning Physics. *The Physics Teacher*, *44*, 18–23. https://doi.org/10.1119/1.2150754

Plass, J. L., Homer, B. D., & Hayward, E. O. (2009). Design factors for educationally effective animations and simulations. *Journal of Computing in Higher Education*, *21*(1), 31–61. https://doi.org/10.1007/s12528-009-9011-x

Raven, S., & Wenner, J. A. (2023). Science at the center: Meaningful science learning in a preschool classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, *60*(3), 484–514. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tea.21807

S., S., Hmelo-Silver, C. E., Jordan, R., Eberbach, C., & Sinha, S. (2017). Systems learning with a conceptual representation: A quasi-experimental study. *Instructional Science*, *45*(1), 53. https://doi.org/10.1007/s11251-016-9392-y

Sadideen, H., Hamaoui, K., Saadeddin, M., & Kneebone, R. (2012). Simulators and the simulation environment: Getting the balance right in simulation-based surgical education. *International Journal of Surgery (London, England)*, *10*. https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2012.08.010

Sarabando, C., Cravino, J. P., & Soares, A. A. (2014). Contribution of a Computer Simulation to Students' Learning of the Physics Concepts of Weight and Mass. *Procedia Technology*, *13*, 112–121. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.02.015

Sjøberg, M., Furberg, A., & Knain, E. (2023). Undergraduate biology students' model-based reasoning in the laboratory: Exploring the role of drawings, talk, and gestures. *Science Education*, *107*(1), 124–148. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/sce.21765

Stanny, C. J. (2016). Reevaluating Bloom's Taxonomy: What Measurable Verbs Can and Cannot Say about Student Learning. *Education Sciences*, *6*(4). https://doi.org/10.3390/educsci6040037

Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2019). *Using multivariate statistics*. Pearson. http://queens.ezp1.qub.ac.uk/login?url=http://ebookcentral.proquest.com/lib/qub/detail.action?docID=5581921

Tytler, R., Prain, V., Aranda, G., Ferguson, J., & Gorur, R. (2020). Drawing to reason and learn in science. *Journal of Research in Science Teaching*, *57*(2), 209–231. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tea.21590

Usman, M., Suyanta, & Huda, K. (2021). Virtual lab as distance learning media to enhance student's science process skill during the COVID-19 pandemic. *Journal of Physics: Conference Series*, *1882*(1), 12126. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1882/1/012126

Wang, T.-L., & Tseng, Y.-K. (2016). The Comparative Effectiveness of Physical, Virtual, and Virtual-Physical Manipulatives on Third-Grade Students' Science Achievement and Conceptual Understanding of Evaporation and Condensation. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *16*. https://doi.org/10.1007/s10763-016-9774-2

Widiyatmoko, A. (2018). *The Effectiveness of Simulation in Science Learning on Conceptual Understanding : A Literature Review*.

Widodo, W., Rosdiana, L., Fauziah, A. M., & Suryanti. (2018). Revealing Student's Multiple-Misconception on Electric Circuits. *Journal of Physics: Conference Series*, *1108*(1), 12088. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1108/1/012088

Wilcox, R. R. (2022). *Chapter 12 - ANCOVA* (R. R. B. T.-I. to R. E. and H. T. (Fifth E. Wilcox (ed.); pp. 773–826). Academic Press. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820098-8.00018-X

Wörner, S., Becker, S., Küchemann, S., Scheiter, K., & Kuhn, J. (2022). Development and validation of the ray optics in converging lenses concept inventory. *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.*, *18*(2), 20131. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.020131

Wörner, S., Kuhn, J., & Scheiter, K. (2022). The Best of Two Worlds: A Systematic Review on Combining Real and Virtual Experiments in Science Education. *Review of Educational Research*, *92*(6), 911–952. https://doi.org/10.3102/00346543221079417

Xu, X., Allen, W., Miao, Z., Yao, J., Sha, L., & Chen, Y. (2018). Exploration of an interactive "Virtual and Actual Combined" teaching mode in medical developmental biology. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, *46*. https://doi.org/10.1002/bmb.21174

Zacharia, Z., & Michael, M. (2016). *Using Physical and Virtual Manipulatives to Improve Primary School Students' Understanding of Concepts of Electric Circuits* (pp. 125–140). https://doi.org/10.1007/978-3-319-22933-1_12