Tech. Edu. J. 17(3): 607-620, Summer 2023

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

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Improving students' causal reasoning skills with the computer modelling

M. Jahanifar [*,1], ***M. Hormozi Nejad*** [2]

[1] *Department of education, Faculty of Education and Psychology, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran*
[2] *Department of Educational Administration, Faculty of Humanities, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Ahvaz, Iran*

Received: 11 January 2023
Reviewed: 16 March 2023
Revised: 05 May 2023
Accepted: 11 June 2023

KEYWORDS:
Physics Education
Computer Modelling
Systems Thinking
Causal Reasoning

* Corresponding author
M.jahanifar@scu.ac.ir
(+9861) 33226600

ABSTRACT

Background and Objectives: Computer modelling helps a lot in learning comprehensive scientific concepts, including the causal mechanisms of phenomena, which is challenging for novice learners. Despite the many studies that have been published to show the effectiveness of using computers in the classroom, fewer studies have investigated the use of computer modelling and its effects on students' thinking. The causal structure of many natural and physics phenomena, the emphasis of science education standards on systems thinking development, and its improvement in students, the key role of causal reasoning in a better understanding of science, the increasing use of computer technologies in the physics classroom, the rapid development of computer software and Internet systems for modelling and simulating the real world in order to help physics teaching and learning, and to solve the shortcomings of paper modelling with the help of computers, prompted researchers to investigate the effectiveness of using computer modelling in the physics classroom to see how it would improve the students' causal reasoning. Investigating the effectiveness of computer modelling on students' understanding of causal links and reasoning in physics phenomena is the main goal of this research.

Methods: A sample of 80 secondary high school students in the 11th grade was selected and participated in a semi-experimental design, consisting of two classes of 20 students (using computer modelling) and two classes of 20 students (using conceptual modelling on paper). The students' scores of the causal reasoning were collected in pre-test and post-test; to remove the pre-test effect (mental retention of answers), analysis of covariance was used. In this analysis, the effect of the pre-test scores on the post-test scores was first predicted with the help of simple linear regression, and after removing this effect, the difference between the post-test mean values of causal reasoning between the groups was explored with the analysis of variance. In this research, the mean difference was investigated both for the type of modelling (computer and paper) and for gender; therefore, due to having two independent variables, the analysis of covariance was two-way. With this analysis, the effect of the interaction between the gender variable and the teaching method was also measured.

Findings: Compared to paper modelling, computer modelling was effective in increasing students' ability to present coherent causal expressions and better explanations of scientific evidence and ideas, and enriched their systems thinking. Recognizing the reasoning elements, gathering evidence and expressing their reasons in order to end reasoning, as well as the coherence of reasoning, were more difficult for students who were trained with paper modelling than for those who were trained with the help of computer modelling. The findings showed that the connection among the pieces of evidence was one of the most difficult parts of physics reasoning. In fact, the student's ability to integrate the pieces of evidence in order to conclude the argument and express the result was less than their other reasoning abilities. However, computer modelling could improve this ability better than paper modelling

Conclusion: This quasi-experimental design helped us to reach important conclusions about the differences in causal reasoning between two different groups. Using computer tools can handle the learning of relatively complex cognitive skills such as causal reasoning. Computer simulation and conceptual models that are produced with computers can help to explain more causal links and more coherence of reasoning in physics classrooms. Therefore, we recommend curriculum designers and physics teachers use more computer simulation and modelling in order to strengthen system thinking in physics classrooms, and scientific explanations with the help of causal reasoning.

NUMBER OF REFERENCES	NUMBER OF FIGURES	NUMBER OF TABLES
22	4	8

مقاله پژوهشی

بهبود مهارت استدلال علّی دانش‌آموزان به کمک مدل‌سازی رایانه‌ای

مجتبی جهانی‌فر*[۱]، معصومه هرمزی‌نژاد[۲]

[۱] گروه علوم تربیتی، دانشکده علوم تربیتی و روان شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
[۲] گروه مدیریت آموزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: مدل‌سازی رایانه‌ای به یادگیری مفاهیم فراگیر علمی از جمله ساز و کارهای علّی پدیده‌ها که برای بسیاری از نوآموزان چالش‌برانگیز است، کمک فراوانی می‌کند. باوجود پژوهش‌های فراوانی که برای نشان دادن اثربخشی استفاده از رایانه در کلاس منتشر شده است؛ کمتر پژوهشی به بررسی کاربرد مدل‌سازی رایانه‌ای توسط معلم و اثرات آن بر تفکر و استدلال دانش‌آموزان در مقایسه با همان تعاملات بدون استفاده از ابزارهای رایانه‌ای پرداخته است. ساختار علّی بسیاری از پدیده‌های طبیعی و فیزیکی، تأکید استانداردهای روز آموزش علوم بر توسعه و بهبود تفکر سیستمی در دانش‌آموزان، نقش پررنگ استدلال‌های علّی در درک بهتر علوم، کاربرد فزاینده فن‌آوری‌های رایانه‌ای در کلاس درس فیزیک، ظهور و توسعه سریع نرم‌افزارهای رایانه‌ای و سامانه‌های اینترنتی برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی دنیای واقعی به منظور کمک بیشتر به آموزش و یادگیری فیزیک، و رفع نارسایی‌های مدل‌سازی روی کاغذ به کمک رایانه، پژوهشگران را برآن داشت که به بررسی میزان اثربخشی استفاده از مدل‌سازی رایانه‌ای در کلاس درس فیزیک بر بهبود تفکر سیستمی (با تأکید بر استدلال علّی) دانش‌آموزان دوره دوم متوسطه بپردازند. بررسی اثربخشی مدل‌سازی رایانه‌ای بر درک دانش‌آموزان از پیوندها و استدلال‌های علّی در پدیده‌های فیزیکی، هدف اصلی این پژوهش است.

روش‌ها: . نمونه ۸۰ نفری دانش‌آموزان پایه یازدهم رشته تجربی انتخاب و در یک طرح نیمه-آزمایشی، متشکل از دو کلاس ۲۰ نفره (با بهره‌گیری از مدل‌سازی رایانه‌ای) و دو کلاس ۲۰ نفره (با بهره‌گیری از مدل‌سازی مفهومی روی کاغذ) شرکت کردند. نمره‌های دانش‌آموزان در استدلال علّی به‌صورت پیش‌آزمون و پس‌آزمون، جمع‌آوری شده اند، به کمک تحلیل کواریانس تفاوت بین میانگین پس‌آزمون استدلال علّی بین گروه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش تفاوت میانگین هم برای نوع مدل‌سازی (رایانه‌ای و کاغذی) و هم برای جنسیت بررسی گردید. این طرح آزمایشی تحلیل واریانس دو عاملی نام دارد.

یافته‌ها: مدل‌سازی رایانه‌ای در مقایسه با مدل‌سازی روی کاغذ، در افزایش توانایی دانش‌آموزان برای ارائه عبارات منسجم علّی و تشریح بهتر شواهد و ایده‌های علمی تأثیر داشته است، و موجب غنی شدن تفکر سیستمی دانش‌آموزان می‌گردد. شناخت عناصر استدلال، گرداوری شواهد و ابراز دلائل خود به‌منظور به ثمر رساندن استدلال‌ها، و همچنین انسجام استدلال برای افرادی که با مدل‌سازی کاغذی آموزش دیده‌اند دشوارتر از دانش‌آموزانی است که به کمک مدل‌سازی رایانه ای آموزش دیده‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهند ارتباط بین شواهد، از دشوارترین قسمت‌های یک استدلال فیزیکی است، در واقع توانائی شاگردان در منسجم کردن، و یکپارچه سازی شواهد به‌منظور خاتمه استدلال و بیان نتیجه کمتر از سایر توانائی‌های استدلالی آنها بوده است، البته مدل‌سازی رایانه ای توانسته به نسبت مدل‌سازی کاغذی این توانایی را بهبود ببخشد.

نتیجه‌گیری: این طرح نیمه-آزمایشی به ما کمک کرد تا درباره تفاوت‌های استدلال‌های علّی بین دو گروه مختلف، به نتایج مهمی دست پیدا کنیم. به‌کارگیری ابزارهای رایانه‌ای می‌تواند از عهده یادگیری مهارت‌های شناختی نسبتاً پیچیده مثل استدلال علّی به خوبی برآید. شبیه‌سازی رایانه‌ای و مدل‌های مفهومی که به کمک رایانه‌ها تولید می‌شوند می‌توانند به شرح و بسط بیشتر پیوندهای علّی و انسجام بیشتر استدلال‌ها در درس فیزیک کمک کنند. از این رو طراحان برنامه درسی و معلمان فیزیک را به استفاده بیشتر از شبیه‌سازی و مدل‌سازی رایانه‌ای به‌منظور تقویت تفکر سیستمی در درس فیزیک، و تبیین‌های علمی به کمک استدلال‌های علّی توصیه می‌کنیم.

تاریخ دریافت: ۲۱ دی ۱۴۰۱
تاریخ داوری: ۲۵ اسفند ۱۴۰۱
تاریخ اصلاح: ۱۵ اردیبهشت ۱۴۰۲
تاریخ پذیرش: ۲۱ خرداد ۱۴۰۲

واژگان کلیدی:
آموزش فیزیک
مدل‌سازی رایانه‌ای
تفکر سیستمی
استدلال علّی

* نویسنده مسئول
M.jahanifar@scu.ac.ir
۰۶۱-۳۳۲۲۶۶۰۰

مقدّمه

استانداردهای تازه آموزش علوم همانند استاندارد علم برای نسل آینده (NGSS) و استانداردهای ملی آموزش علوم (NSES) تفکر سیستمی، را راه‌حل کلیدی برای دانش‌آموزان می‌دانند. دانش‌آموزان به کمک تفکر سیستمی به استدلال‌های علمی، درک الگوها، تبیین علت و معلول، و کشف وابستگی متقابل بین پدیده‌ها می‌پردازند[۱]. تفکر سیستمی روشی برای درک پیچیدگی‌های دنیای واقعی از طریق نگاه کردن در قالب کلیات و روابط است، و نه از طریق تفکیک سیستم به اجزای سازنده

آن[۲]. تفکر سیستمی با رویکردی مبتنی بر شواهد می‌تواند به کاوش راه‌حل‌های تازه و توسعه مفاهیم در زمینه‌های پیچیده علمی بپردازد [۳].

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 سه گانه ساختار، رفتار و عملکرد (SBF) توضیح داده می‌شود [۴]. ساختار همان معرفی مؤلفه‌های فیزیکی و مرئی سیستم‌ها است؛ مثل آونگ که شامل نخ و گلوله است. همچنین رفتار شامل اقدامات یک سیستم برای دست‌یابی به یک هدف یا نتیجه است. این بخش شامل سازوکارهای مرئی (مانند جابه‌جایی آونگ) و سازوکارهای نامرئی (مانند شتاب آونگ) می‌شود. این رفتارها در خدمت مجموعه‌ای از عملکردها هستند؛ یعنی همان هدف اصلی سیستم. برای مثال، نوسان (حرکت رفت و برگشتی) یک آونگ، عملکرد آن سیستم را نمایش می‌دهد. چارچوب‌های استدلال علّی مکمل چارچوب‌های تفکر سیستمی هستند؛ چراکه بر عمق یادگیری دانش‌آموزان تأکید دارند[۵]. فهم بسیاری از پدیده‌های فیزیکی حاصل ادغام استدلال علّی و تفکر سیستمی است. چارچوب استدلال علّی شامل عنصر، شواهد (دلائل)، و انسجام علّی (Causal coherence) است که نشان‌دهنده یک زنجیره منطقی است که تبیین‌ها، شواهد و ایده‌های دانش‌آموز را به هم متصل می‌کند[۵].

عنصر شامل مؤلفه‌های سیستمی و فرآیندهایی می‌شود که دانش‌آموزان قادر به شناسایی آنها هستند و معادل با ساختار و رفتار در چارچوب تفکر سیستمی هستند[۵]. عنصرها می‌توانند اشیا، ستاره‌ها، یا خودروها و یا فرآیندهای فیزیکی مانند شتاب گرفتن اجسام و یا گرم شدن یک مقاومت الکتریکی باشند. شواهد به واقعیت‌هایی اشاره دارد که دانش-آموزان از داده‌ها استخراج می‌کنند. گاهی اوقات تبیین و استدلال علّی به کمک شواهدی (دلائلی) صورت می‌گیرد که نامناسب و ناکافی هستند و برخی مواقع استدلال و تبیین علّی مبتنی بر شواهدی هستند که با پدیدهای علمی منطبق هستند. نقش معلمان توجه دادن دانش‌آموزان به شواهد (دلائل) معتبر است تا با گرداوری آن شواهد به فرض آزمایی، پیش‌بینی و استدلال علمی بپردازند. انسجام علّی، وضعیتی را توصیف می‌کند که تبیین‌های علّی، زنجیره‌ای منسجم و منطقی از استدلال‌های علمی را نشان می‌دهند که عناصر قابل مشاهده (حتی غیرقابل مشاهده) و ایده‌های علمی را به هم متصل می‌کنند. انسجام علّی به این سؤال پاسخ می‌دهد که آیا تبیین‌های ارائه شده، با داده‌ها و ایده‌های علمی سازگار هستند یا خیر. این جنبه از استدلال علّی با پیوند بین عملکردها و رفتارهای موجود در چارچوب تفکر سیستمی (SBF) مطابقت دارد.

هنگامی‌که از دانش‌آموز درباره «*نقش نیروی اصطکاک در راه رفتن*» سؤال شود و پاسخ این باشد که « *نیروی اصطکاک در جهت مخالف حرکت، مانع لیز خوردن افراد هنگام راه رفتن می‌شود*»، این اظهار نظر، از تفکری خام برمی‌آید که ضمن منطبق نبودن بر چارچوب مؤلفه‌های تفکر سیستمی (ساختار، رفتار، و عملکرد)، استدلال منسجم علّی نیز ندارد. این تفکر نه به مؤلفه‌های سیستم و نه ارتباط بین آنها توجه کرده است. در مقابل اگر دانش‌آموز تفکر سیستمی دقیق‌تری داشته باشد؛ ضمن اشاره به نیروهای مختلف که در راه رفتن مؤثر هستند (مؤلفه‌ها یا همان ساختار سیستم) و تأثیری که نیروها بر یکدیگر و بر راه رفتن افراد می‌گذارند (پیوند بین مؤلفه‌ها یا همان رفتار سیستم)، او توانسته به کمک این دیدگاه یکپارچه و سیستمی نقش اصطکاک را در راه رفتن (عملکرد سیستم) توجیه کند. داشتن چنین درک خام از سیستم‌ها، بر عدم توسعه و یادگیری تفکر سیستمی تأثیرگذار است. از سوی دیگر یادگیری تفکر سیستمی و کاربرد آن در دوره های پایین تحصیلی، موجب توسعه این تفکر و پیوند آن با سطوح بالاتر تفکر در دوره‌های بالاتر تحصیلی خواهد شد؛ به‌طوری‌که شاگردان به کمک آن بتوانند به حل مسائل پیچیده‌تر علوم بپردازند [۶]. در این میان استفاده از مدل‌سازی و دانش مدل‌سازی نقش مؤثری در یادگیری تفکر سیستمی ایفا می‌کند.

مدل‌سازی به کمک ترسیم، و یا به‌صورت رایانه‌ای نقش کلیدی در هموار کردن راه برای استدلال دانش‌آموزان در مورد مکانیسم‌ها ایفا می‌کند. به‌ویژه، نقاشی‌ها برای تشویق دانش‌آموزان به جستجوی مکانیزم پدیده‌ها، و ساخت استدلال مکانیکی (Mechanistic reasoning) پیچیده در دانش‌آموزان کمک می‌کنند[۱و۴]. شواهد متعددی وجود دارد که نشان می‌دهد آموزش صریح مدل‌های سیستمی به بهبود استدلال علمی و تفکر دانش‌آموزان کمک می‌کند[۷,۸]. مدل‌های سیستمی همان مدل‌های مفهومی و علمی هستند که بازنمایی کننده یک سیستم باشند. روش‌های مدل‌سازی به‌طور خاص به دانش‌آموزان کمک می‌کنند تا ایده‌های علمی خود را در قالب ارائه مفاهیم فیزیکی یا نمایش نموداری بیان کرده تا پیش‌بینی‌ها و توضیحاتی را پیرامون سیستم‌ها، ارائه دهند. البته درگیر ساختن دانش‌آموزان در پژوهش‌های مدل- محور، پا را فراتر از شناخت مدل‌های موجود گذاشته و از آنها می‌خواهد تا شیوه‌هایی را برای نمایش ایده‌های علمی خود بسازند؛ به توسعه فرضیات و تبیین‌ها پرداخته و در مدل‌های خود با استفاده از داده‌ها، تجدیدنظر کرده و آنها را اصلاح کنند[۹]. از این گفته می‌توان چنین استدلال کرد که بین مدل‌سازی علمی و تفکر سیستمی ارتباط نزدیکی وجود دارد.

بررسی اثر مدل‌های کاغذی ساخته‌شده توسط دانش‌آموزان قبل و بعد از سپری کردن واحد آموزشی نشان داده است که مدل‌های ساخته‌شده، نشان از افزایش درک و شناخت دانش‌آموزان از روابط مهم و ابعاد سیستم دارند[۱۰]؛ هرچند ممکن است که تجدیدنظر درباره این مدل‌های کاغذی و اصلاح آنها، برای دانش‌آموزان چالش برانگیز باشد. علاوه بر این، مدل‌های دو بعدی کشیده‌شده روی کاغذ نمی‌توانند عناصر و فرآیندهایی را که در معرض دید نیستند و زوایای پنهان سیستم (عناصر و شواهد پنهان) را تشکیل می‌دهند، به‌خوبی به تصویر بکشند. این خود موجب می شود که دانش‌آموزان به جای کشف و یا توصیف روابط متقابل میان اجزای یک سیستم، اغلب بر مؤلفه‌های انفرادی (خود

اجزا به‌طور جداگانه و نه به‌صورت یک سیستم یکپارچه) متمرکز شوند [۱۱]؛ از این‌رو، امکان به‌کارگیری مدل‌سازی رایانه‌ای برای معرفی سیستم‌ها ضرورت بیشتری پیدا می‌کند و مدل‌سازی به کمک رایانه فرصت مناسبی را در اختیار دانش‌آموزان قرار خواهد داد تا به بیان و شبیه‌سازی مفاهیم سیستماتیک و ایده‌هایی بپردازند که فهم آنها انتزاعی است و یا مدل‌سازی کاغذی امکان نمایش مناسب آنها را ندارد. مهم‌ترین ویژگی مدل‌سازی رایانه‌ای آن است که در آن دانش‌آموزان می‌توانند فرضیات و راه‌حل‌های خود را به‌وسیله آن‌ها آزمایش کرده، به پیش‌بینی رویدادها بپردازند، و به ارزیابی داده‌های واقعی در مقابل داده‌های شبیه‌سازی شده بپردازند. این ویژگی مهم مدل‌سازی رایانه‌ای موجب تقویت و بهبود پیوندهای مفهومی در ذهن دانش‌آموزان می‌شود[۱۲]. مدل‌سازی‌های رایانه‌ای به شاگردان کمک می‌کند تا به جای تبیین خطی ساده پدیده‌ها آن‌ها را به‌صورت حلقه‌های بازخوردی علّی تشریح کرده و توصیف کنند [۴]. مدل‌سازی رایانه‌ای می‌تواند با برجسته کردن پدیده‌های اساسی یک سیستم، به غنی‌سازی تفکر سیستمی کمک کند [۱۳] و باعث عمیق‌تر و جزئی‌تر شدن استدلال علّی دانش‌آموزان پیرامون مکانیزم‌های سیستمی شود[۱۴].

کاوش در پیشینه پژوهش نشان داد، بررسی تفکر سیستمی دانش‌آموزان در دوره دوم متوسطه، و به‌طور مشخص کیفیت استدلالی که در تبیین پدیده‌ها انجام می‌دهند، و تأثیری که شبیه‌سازی های رایانه‌ای می‌توانند روی سطوح مختلف استدلال علّی داشته باشد به‌طور ویژه برای علوم تجربی (مثل فیزیک) که ماهیت آن تبیین ساختار علّی پدیده‌ها است، کمتر صورت گرفته است. ساختار علّی بسیاری از پدیده‌های دنیای واقعی، تأکید پژوهشگران و استانداردهای آموزشی علوم بر توسعه و بهبود تفکر سیستمی، نقش استدلال‌های علّی در فهم بهتر مفاهیم علمی، نفوذ روزافزون استفاده از فناوری‌های رایانه‌ای در کلاس درس فیزیک، ظهور و توسعه سریع نرم‌افزارهای رایانه‌ای و سامانه‌های اینترنتی برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی دنیای واقعی به‌منظور کمک بیشتر به آموزش و یادگیری فیزیک، و رفع نارسایی‌های مدل‌سازی روی کاغذ به کمک رایانه، پژوهشگران را بر آن داشت که به بررسی میزان اثربخشی استفاده از مدل‌سازی رایانه‌ای در کلاس درس فیزیک بر بهبود تفکر سیستمی (با تأکید بر استدلال علّی) دانش‌آموزان دوره دوم متوسطه بپردازند. می‌توان سؤال این پژوهش را این‌گونه مطرح کرد که چگونه مدلسازی رایانه‌ای در مقایسه با مدلسازی کاغذی بر بهبود استدلال علّی دانش‌آموزان در درس فیزیک تأثیر می‌گذارد؟

روش

این پژوهش به‌صورت کمّی و با رویکرد نیمه-آزمایشی، انجام گرفته است. در ادامه ضمن معرفی مشارکت‌کنندگان پژوهش، ابزار و روش‌های استفاده شده به همراه تحلیل آماری به‌کار رفته بیشتر شرح داده خواهد شد.

جامعه، نمونه، و روش گردآوری داده‌ها

جامعه آماری این پژوهش دانش‌آموزان دوره دوم متوسطه در رشته‌های ریاضی و تجربی شهر اهواز بوده‌اند، که به کمک نمونه‌گیری خوشه‌ای تصادفی دو مرحله ای، ۸۰ نفر دانش‌آموز انتخاب شدند. ۴۰ نفر دانش‌آموز دختر، و ۴۰ نفر دانش‌آموز پسر، در پایه یازدهم در چهار گروه به‌طور تصادفی قرار گرفتند. پیش از گروه‌بندی دانش‌آموزان، میانگین کل، نمره درس ریاضی، نمره درس فیزیک، نمره درس ادبیات فارسی، و نمره درس زبان خارجه آنها در پایه دهم بررسی شد. هدف این بود که دانش‌آموزان از لحاظ توانایی تحصیل، به‌طور همگن در این چهار گروه توزیع شوند. گروه اول (CM.M)، ۲۰ نفر پسر بودند که به کمک مدل‌سازی رایانه‌ای آموزش می‌دیدند و گروه دوم (CM.F) ۲۰ نفر دختر که آنها هم به کمک مدل‌سازی رایانه‌ای آموزش دیدند. گروه سوم (PM.M) و چهارم (PM.F) نیز به ترتیب ۲۰ نفر پسر و دختر بودند که تنها به کمک مداد و کاغذ، تصاویر، نقاشی، و نمودار دست به مدل‌سازی می‌زدند. داده‌ها در دو مرحله، پیش از برگزاری دوره آموزشی (پیش‌آزمون)، و پس از برگزاری دوره آموزشی (پس‌آزمون) به کمک آزمون محقق ساخته که در ادامه آن را معرفی خواهیم کرد گردآوری شدند.

ابزار پژوهش

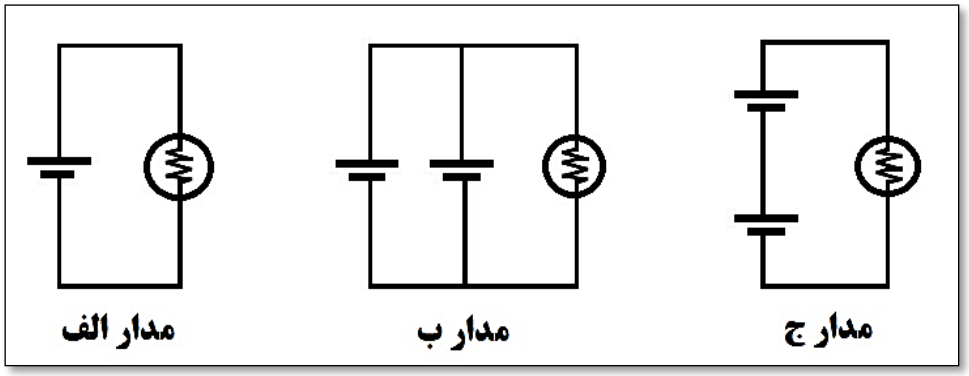
برای اندازه‌گیری مهارت‌های تفکر سیستمی دانش‌آموزان در فیزیک، و به‌طور مشخص در موضوع الکتریسیته جاری، آزمونی سه سؤالی برای پیش‌آزمون و پس‌آزمون طراحی شد. این سه پرسش مبتنی بر ابعاد سه گانه تفکر سیستمی و استدلال علّی طراحی شدند. سؤال اوّل از دانش‌آموزان خواسته بود تا پیش‌بینی کنند که در کدام مدار یا مدارها بیشترین انرژی در هر ثانیه به لامپ داده می‌شود و اینکه برای هر پیش بینی خود توضیح و دلیلی بیاورند. در سؤال دوم، از دانش‌آموزان خواسته شده بود روشنایی لامپ را در مدار ۱ با مدار ۲ مقایسه کنند. و با استدلال نشان دهند روشن‌ترین لامپ کدام است. و سؤال آخر این‌که لامپی را در سه مدار متفاوت به دانش‌آموزان پیشنهاد دادیم، از آنها خواستیم به کمک تفکر سیستمی و استدلال علّی نشان دهند مصرف انرژی لامپ در کدام مدار از بقیه کمتر است. در هریک از سؤال‌ها، ابعاد سه‌گانه عنصر، دلائل (شواهد)، و انسجام علّی نمره جداگانه‌ای را دریافت کرده و نمرات تمام سؤال‌ها با هم جمع شدند تا یک نمره ترکیبی برای هر بعد ایجاد شود. شکل ۱ سؤال اول آزمون را نمایش می‌دهد.

برای بررسی روایی ظاهری سؤال‌ها از ۱۰ دانش‌آموز پایه یازدهم (که در نمونه انتخابی حضور نداشتند) خواستیم تا نسبت به ظاهر، وضوح، و گویایی سؤال‌های مطرح شده اظهار نظر کنند. با این کار جملات نامفهوم، کلمات نامرتبط و دشوار در سؤال‌ها حذف شد و ظاهر سؤال‌ها نیز با توان دانش‌آموزان و موضوع مورد نظر متناسب شد. همچنین روایی محتوای سؤال‌های آزمون را به کمک ۵ متخصص بررسی کردیم. در این مرحله از سه پژوهشگر آموزش فیزیک، و دو دبیر فیزیک، که سابقه‌ای

بیش از ده سال در تدریس فیزیک داشتند درخواست کردیم میزان ارتباط سؤال‌ها با اهداف مورد نظر و ابعاد تفکر سیستمی را برای ما مشخص کنند. از نظر این متخصصان نیز در تصحیح و تغییر سؤال‌ها استفاده شد.

روش تحلیل داده‌ها

- کدگذاری پاسخ‌ها و نمره‌گذاری: برای اندازه‌گیری مهارت‌های تفکر سیستمی دانش‌آموزان در سه بعد عنصر، شواهد(دلائل)، و انسجام علّی، پاسخ‌های تشریحی شاگردان را کدگذاری کرده و از سه دبیر با سابقه بالای ۱۵ سال خواستیم تا کدهای مد نظر ما را در میان اظهار نظر (پاسخ تشریحی) ۱۵ نفر از دانش‌آموزان به‌طور تصادفی ردیابی کنند. نمره هر دانش‌آموز براساس تعداد کدهایی که در پاسخ آنها یافت می‌شد تعیین گردید. از آماره کاپای کوهن به‌منظور توافق سه داور روی کدهای هر سه بعد استفاده شد[۱۵] که برای کدهای ابعاد عنصر، شواهد (دلائل)، و انسجام علّی به ترتیب مقادیر $K=۰/۸۲$، $K=۰/۸۹$، و $K=۰/۹۱$ به‌دست آمدند. با توجه به توافق بالای داوران روی کدها، سایر برگه‌های آزمون توسط پژوهشگران مطابق با نظرات داوران بررسی شد. جدول۱ طرح نمره‌گذاری برگه‌های آزمون را در پیش‌آزمون و پس‌آزمون نمایش می‌دهد.



شکل۱: سؤال اول آزمون محقق ساخته برای اندازه‌گیری مهارت‌های استدلال علّی دانش‌آموزان در موضوع الکتریسیته جاری
Fig. 1: The first question of the researcher-made test to measure students' causal reasoning skills in the topic of current electricity

جدول۱: طرح کدگذاری و نمره‌گذاری پاسخ دانش‌آموزان به سؤال‌های آزمون
Table 1: Coding and scoring scheme of students' answers to test items

ابعاد (Dimensions)	کدها (نشانگرها) (Codes (indicators))	مقدار نمره برای هر کد (Code values)		
		0	1	2
عناصر (Elements)	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.) The number of elements of an argument that the student has used in her/his answer (light bulbs and batteries, the concept of electric current and the concept of potential, the concept of electric resistance).	اگر بین ۰ تا ۱ عنصر شناسایی شود. If between 0 and 1 element is detected.	بین ۲ تا ۴ عنصر شناسایی شود. Identify between 2 and 4 elements.	۵ یا بیش از ۵ عنصر شناسایی شود. 5 or more elements are identified.
شواهد (دلائل) (Evidence)	میزان دلایل و شواهدی که دانش‌آموزان از طریق مشاهده مستقیم به‌دست می‌آورند یا داده‌هایی که در اثبات ادعاهای شان ارائه می‌کنند (وجود یک مقاومت یا یک لامپ، اشاره به نوع بستن لامپ‌ها و باتری‌ها) The number of reasons and evidence that students obtain through direct observation or the data that they provide to prove their claims (the presence of a resistor or a light bulb, referring to the type of closing of light bulbs and batteries)	این‌طور فکر می‌کنم چون به نظرم درسته. اظهار نظر بدون دلیل I think so because it seems right to me. Comment without reason	ارائه دلایل و شواهد بدون ارتباط دادن آنها به توضیحات علّی (تبیین ناقص) Presenting reasons and evidence without relating them to causal explanations (incomplete explanation)	ارائه دلایل و ارتباط دادن آنها به توضیحات علّی (تبیین) Presenting reasons and relating them to causal explanations (explanation)
انسجام علی (Causal coherence)	عمق و انسجام پیوندهایی که دانش‌آموزان بین عنصرها و سازوکارهای علّی 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، بدون توجه به سایر علت‌ها و ارتباط بین علل و پیچیدگی آن	علیّت منسجم و غیر خطّی، توجه جامع به همه دلایل و ارتباط بین دلایل مختلف و ایجاد یک نظام علّی

ابعاد (Dimensions)	کدها (نشانگرها) (Codes (indicators))	مقدار نمره برای هر کد (Code values)		
		0	1	2
	The depth and coherence of the connections that students discovered between elements and causal mechanisms and made in their responses (simultaneous use of the concept of current, potential, and connecting light bulbs to each other to explain how bright a light bulb is)	There is no causality. Only the situation is described.	Linear causality, regardless of other causes and the relationship between causes and its complexity	Cohesive and non-linear causality, comprehensive attention to all reasons and the connection between different reasons and the creation of a causal system.

- روش تحلیل استنباطی داده‌ها: نمره‌های دانش‌آموزان به‌صورت پیش‌آزمون و پس‌آزمون، جمع‌آوری شده‌اند، برای حذف اثر پیش‌آزمون (نگهداری ذهنی پاسخ‌ها)، از تحلیل کواریانس استفاده شد [۱۶]. در این تحلیل ابتدا به کمک رگرسیون خطی ساده میزان تأثیر نمرات پیش‌آزمون بر روی نمرات پس‌آزمون پیش‌بینی شدند، و بعد از حذف این اثر، به کمک تحلیل واریانس تفاوت بین میانگین پس‌آزمون تفکر سیستمی بین گروه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش تفاوت میانگین هم برای نوع مدل‌سازی (رایانه‌ای و کاغذی) و هم برای جنسیت بررسی شد؛ بنابراین به دلیل داشتن دو متغیر مستقل، تحلیل کواریانس از نوع دو راهه خواهد بود. با این تحلیل تأثیر تعامل بین متغیر جنسیت و روش تدریس نیز سنجیده خواهد شد. این طرح آزمایشی تحلیل واریانس دو عاملی نام دارد. شکل ۲ طرح واریانس عاملی اجرا شده در این پژوهش را نمایش می‌دهد.

روند انجام فعالیت‌های آموزشی مدل‌سازی

پیش از شروع دوره آموزشی، یک معلم مرد و یک معلم زن برای تدریس انتخاب شدند. هر دو معلم آموزش دیدند تا برنامه درسی که پژوهشگران آماده کردند را در ۴ گروه تدریس کنند؛ در دو گروه کلاس دختران، و دو گروه کلاس پسران. هر دو معلم بیش از ۱۰ سال سابقه تدریس فیزیک داشتند و پیش از این دوره‌های تدریس مبتنی بر رایانه را به‌صورت ضمن خدمت گذرانده بودند. پژوهشگران طی ۴ جلسه آموزشی سعی کردند، این دو معلم را با مفاهیم مدل‌سازی علمی، دانش فرامدل‌سازی، مدل‌سازی به کمک نرم‌افزار Phet، و تفکر سیستمی آشنا کنند. پیش از شروع دوره آموزشی، دانش‌آموزان دروس مشابهی را درباره الکتریسیته جاری و جریان‌های الکتریکی در برنامه رسمی مدرسه گذرانده بودند.

پس از برگزاری پیش‌آزمون، این دوره طی ۸ جلسه ۶۰ دقیقه‌ای طی چهار هفته در ساعاتی خارج از ساعات رسمی مدرسه برگزار شد. تمام دانش‌آموزان حاضر در چهار گروه، در ابتدای دوره طی یک جلسه ۳۰ دقیقه‌ای در فعالیت‌های هم‌اندیشی (بارش مغزی) شرکت کردند. دانش‌آموزان در گروهای ۴ نفره در پاسخ به سؤال معلم خود فهرستی را از فرآیندها و مفاهیمی که از جریان و الکتریسیته جاری آموختند تهیه کردند و سعی می‌کردند به کمک نمودار، نقشه، نقاشی و مواردی مثل این مدل ذهنی خود را از مصرف انرژی الکتریکی در لامپ‌ها، و مفاهیم مربوط به مدارهای الکتریکی به نمایش درآورند. این فعالیت هم برای آموزش فعالیت هم‌اندیشی و هم به‌منظور سنجش آغازین شاگردان انجام گرفت.

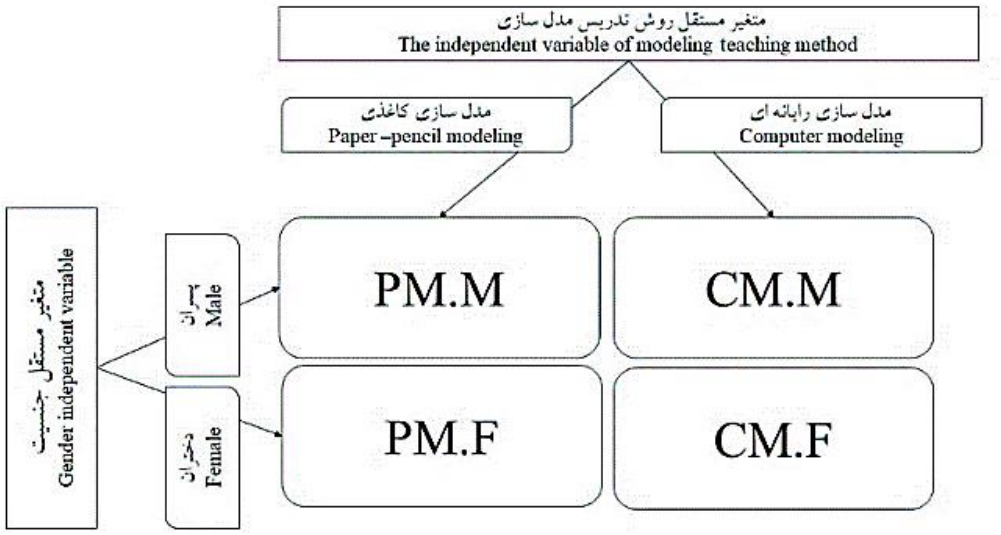
رویکرد تدریس هم در گروه‌های آزمایش (گروه۱و۲) و هم در گروه‌های کنترل (گروه‌های ۳و۴) رویکرد آموزش مبتنی بر مدل (Model-based teaching :MBT) است. آموزش‌هایی که براساس مدل‌سازی طرح‌ریزی می شوند، درک مفهومی شاگردان را از دنیای واقعی افزایش داده و نقش کلیدی در کشف پدیده‌های علمی توسط شاگردان، و منسجم‌تر شدن آگاهی آنان از پدیده‌های طبیعی دارند [۱۷]. آموزش مبتنی بر مدل‌سازی در مقایسه با روش‌های سنتی آموزش علوم، می‌تواند باورهای ساده‌لوحانه (کج فهمی‌ها)، دانش‌های پراکنده و بی‌معنی، و انفعال دانش‌آموزان در برابر پدیده‌های دنیای واقعی را برطرف کند [۱۸]. تفاوت روش تدریس در گروه‌های آزمایش و کنترل در استفاده از شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای برای مدل‌سازی در مقابل استفاده از مداد و کاغذ برای مدل‌سازی است.

در گروه‌های آزمایش (گروه‌های ۱و ۲) تدریس موضوع جریان‌های الکتریکی به کمک رایانه انجام گرفت، و مدل‌های مفهومی که از مدارهای الکتریکی ساخته می‌شدند، به کمک نرم‌افزار PhET شبیه‌سازی می‌شدند. پروژه شبیه‌سازی تعاملی PhET در دانشگاه کلرادو در سال ۲۰۰۲ تأسیس شد. این نرم‌افزار که هم تحت شبکه جهانی وب و هم در رایانه‌ها و گوشی های هوشمند قابل اجرا است، دست به شبیه‌سازی‌های ریاضی و علوم تعاملی و رایگان می‌زند. شبیه‌سازی‌های PhET مبتنی بر تحقیقات آموزشی گسترده هستند و دانش‌آموزان را از طریق محیطی تعاملی و بازی مانند(Game-like) با موضوعات مختلف علوم درگیر کرده و آنها از طریق اکتشاف و مدل‌سازی دنیای واقعی، به یادگیری مفاهیم می‌پردازند. در گروه‌های کنترل (گروه‌های ۳ و۴) همان موضوعاتی تدریس می‌شود که در گروه‌های آزمایش تدریس می‌شوند. رویکرد تدریس در این گروه‌ها نیز آموزش مبتنی بر مدل‌سازی است؛ اما دیگر خبری از شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای و مزایای آن وجود ندارد. تفاوت‌های اساسی در تدریس گروه‌های آزمایش و کنترل را می‌توان در جذابیت‌های دیداری بیشتر شبیه‌سازی‌های نرم‌افزار PhET نسبت به نقاشی‌ها و نمودارهای کاغذی، امکان تعامل با قسمت‌های مختلف مدل‌های رایانه‌ای ساخته شده، امکان تغییر و اصلاح مدل‌ها به‌طور مداوم، امکان دیدن نتیجه مدل‌سازی و اندازه‌گیری متغیرهای مدل، امکان ارزیابی و پی

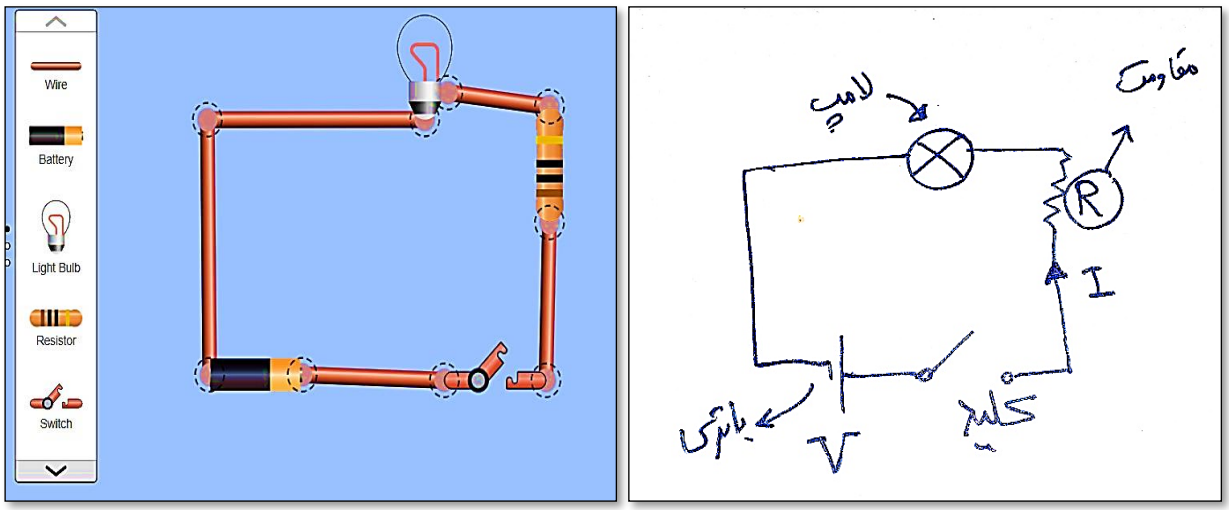
بردن به کج فهمی‌ها و اشتباهات احتمالی در ساخت و تفسیر مدل، و امکان پیش‌بینی و توصیف بهتر پدیده‌ها دانست. شکل ۳ مدل‌سازی یک مدار ساده الکتریکی را در دو گروه آزمایش و کنترل نمایش می‌دهد. شکل سمت راست مدل‌سازی مدار الکتریکی ساده را به کمک مداد و کاغذ و شکل سمت چپ همان مدل‌سازی را به کمک شبیه‌سازی نرم‌افزار PhET نمایش می‌دهد.

یافته‌ها

در ابتدا باید نشان دهیم، چهار گروهی که برای آزمایش انتخاب کرده‌ایم، از نقطه یکسانی یادگیری را آغاز کرده‌اند. بررسی دروس متوسطه دوم آنها نشان داد که به لحاظ پیشرفت تحصیلی گروه‌های همگنی در اختیار داریم؛ اما پیش‌آزمون با موضوع تفکر سیستمی در درس فیزیک بر روی هر چهار گروه نیز انجام گرفت تا مطمئن شویم، مهارت تفکر سیستمی آنها در ابتدای دوره آموزشی به هم نزدیک است. جدول ۲ مقایسه میانگین عملکرد چهار گروه در پیش‌آزمون تفکر سیستمی که به کمک تحلیل واریانس یک راهه انجام گرفته است را نمایش می‌دهد. مقادیر درون پرانتز انحراف استاندارد نمره پیش‌آزمون هستند.



شکل۲: طرح عاملی برای تحلیل واریانس دو راهه نمره‌های پس‌آزمون تفکر سیستمی
Fig. 2: Factorial design for two-way ANOVA for system thinking post-test scores



شکل۳: مدل مفهومی ساخته شده از مدار الکتریکی ساده به کمک مداد و کاغذ (سمت راست) و به کمک نرم‌افزار PhET (سمت چپ)
Fig. 3: A conceptual model made of a simple electric circuit with the help of pencil and paper (right side) and with the help of PhET software (left side)

جدول۲: عملکرد گروه‌های چهارگانه پژوهش در پیش‌آزمون تفکر سیستمی
Table 2: The performance of the four research groups in the system thinking pre-test

زیر مقیاس‌های پیش‌آزمون تفکر سیستمی (Systems thinking pretest subscales)	میانگین گروه‌ها (Groups mean)				شاخص F و درجه‌های آزادی F index and degrees of) (freedom
	CM.F	CM.M	PM.M	CM.F	
عناصر استدلال و تفکر سیستمی (Elements of reasoning and systems thinking)	2/15 (0/45)	2/41 (0/68)	2/37 (0/88)	2/16 (0/45)	F=1/02، 3، 76
شواهد (دلائل) استدلال و تفکر سیستمی (Evidence for reasoning and systems thinking)	1/12 (0/33)	1/17 (0/48)	1/43 (0/62)	0/98 (0/94)	F=0/78، 3، 76
انسجام علّی حین انجام استدلال (Causal coherence during reasoning)	1/05 (0/63)	0/97 (0/78)	0/77 (0/38)	0/56 (0/65)	F=1/11، 3، 76

هر دانش‌آموز از هر زیر مقیاس برای هر سؤال آزمون تفکر سیستمی می‌تواند نمره‌ای از صفر تا ۲ را دریافت کند، و چون برای هر سؤال سه زیرمقیاس و برای هر آزمون سه سؤال وجود دارد، طبیعی است که نمره هر دانش‌آموز در هر سؤال بین صفر تا ۶ باشد و در کل آزمون عددی بین صفر تا ۱۸ را دریافت کند. به‌طور میانگین عملکرد دانش‌آموزان در چهار گروه در پیش‌آزمون به هم نزدیک بوده است، و در سطح معناداری p<۰/۰۱ تفاوت محسوس و معناداری بین میانگین‌ها مشاهده نشد، و به ما این اطمینان را داد که در شروع دوره آموزشی همه دانش‌آموزان به‌طور تقریبی در سطح یادگیری یکسانی با موضوع استدلال و تفکر سیستمی قرار داشته‌اند.

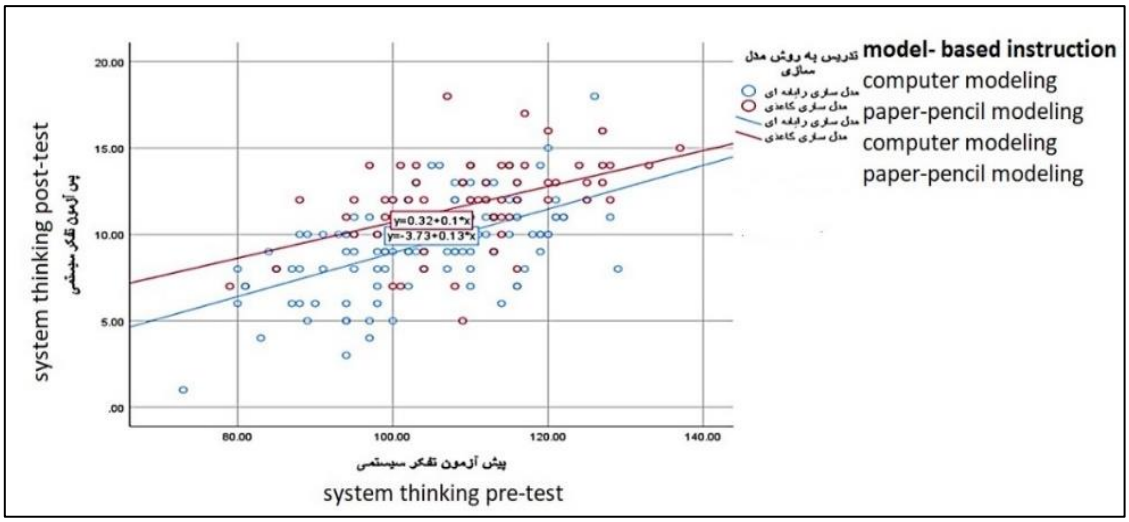
نمره شاگردان در پس‌آزمون تفکر سیستمی فاقد مقادیر از دست رفته بود. کشیدگی زیر مقیاس‌های آزمون بین ۰/۶۲- و ۰/۸۵ بوده و مقدار چولگی آنها بین ۰/۷۳ تا ۱/۱۲ است. شاخص چولگی و کشیدگی متغیرها بر انحراف استاندارد آنها تقسیم شده و نسبت به‌دست آمده همچون توزیع طبیعی استاندارد z مورد تفسیر قرار گیرد [۱۹]. در هیچ‌کدام از متغیرها در سطح معناداری ۰/۰۱ نسبت‌ها از ۲/۵۸ بزرگ‌تر نبودند؛ که این نشان از عدم چولگی و کشیدگی داده‌ها داشته و نرمال بودن آن‌ها مورد تأیید قرار گرفت. پس‌آزمون تفکر سیستمی به لحاظ نبودن داده‌های پرت نیز وارسی شدند. فاصله ماهالانوبیسD به‌عنوان شاخص بررسی دادهای پرت چندمتغیری استفاده شد[۲۰]. مقدار D به دست آمده برای پاسخ‌ها به این پرسش‌نامه در سطح p<۰/۰۱ معنادار نبود.

پس‌آزمون سه متغیر وابسته عناصر، شواهد و انسجام علّی را اندازه‌گیری کرد. دو متغیر مستقل در پژوهش وجود دارد؛ متغیر مستقل اول روش تدریس مدل محور است، و متغیر مستقل دوم جنسیت است. پیش فرض اول بررسی همگنی واریانس متغیرهای وابسته در بین گروه‌ها است. داده‌ها نشان داد که شرط همگنی واریانس پس‌آزمون تفکر سیستمی بین گروه‌های چهارگانه برقرار است(با درجه آزادی‌های ۳ و ۷۶ و شاخص آماری F= ۳/۴۴ و سطح معناداری p<۰/۵۶). پیش فرض دوم برای انجام تحلیل کواریانس(تعدیل اثر پیش‌آزمون، بر نمره‌های پس‌آزمون تفکر سیستمی)، این است که نشان دهیم شیب خط رگرسیون نمره‌های پس‌آزمون (به‌عنوان متغیر ملاک) و نمره‌های پیش‌آزمون (به‌عنوان متغیر پیش‌بین) در همه گروه‌ها یکسان است[۲۱]. شکل ۴ پراکندگی نمره‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون تفکر سیستمی به همراه شیب های خط رگرسیون را نمایش می‌دهد.

خط‌های رگرسیون برای پیش‌بینی نمره‌های پس‌آزمون تفکر سیستمی، از روی نمره‌های پیش‌آزمون تفکر سیستمی، برای هر دو گروه مدل‌سازی به کمک شبیه‌سازی رایانه‌ای و مدل‌سازی به کمک مداد کاغذ، با یکدیگر موازی هستند. این موضوع برقراری پیش فرض دوم انجام تحلیل کواریانس را تأیید می‌کند.

با حذف اثر پیش‌آزمون تفکر سیستمی، تحلیل واریانس دوراهه برای همه متغیرهای وابسته پس‌آزمون (عناصر، شواهد و انسجام علّی) و متغیرهای مستقل (روش مدل‌سازی و جنسیت) انجام گرفت. جدول ۳ میانگین نمرات پس‌آزمون عناصر تفکر سیستمی را نمایش می‌دهد.

جدول ۳ به‌خوبی نمایش می‌دهد، که شناخت عناصر استدلال برای افرادی که با مدل‌سازی کاغذی آموزش دیده اند دشوارتر از دانش‌آموزانی است که به کمک مدل‌سازی رایانه‌ای آموزش دیده‌اند. این فرضیه را می‌توان، به کمک تحلیل واریانس دو راهه نیز مورد بررسی قرار داد. جدول ۴، مجموع مجذورات به همراه آماره F برای پس‌آزمون عناصر استدلال و تفکر را نمایش می‌دهد. ستون آخر همان مجذور اتا است که به‌منظور بررسی اندازه اثر متغیر مستقل گزارش شده است.



شکل۴: مقایسه خط رگرسیون پس‌آزمون نمرات تفکر سیستمی از روی نمره‌های پیش‌آزمون

Fig. 4: Comparison of the post-test regression line of system thinking scores from the pre-test scores

جدول ۳: میانگین پس‌آزمون عناصر تفکر سیستمی

Table 3: Mean post-test of system thinking elements

روش مدل‌سازی (Modeling method)	جنسیت (Gender)	تعداد (Number)	میانگین (انحراف استاندارد) (Mean (standard deviation))
مدل‌سازی کاغذی (Paper modeling)	پسران	20	2/40 (1/56)
	دختران	20	2/12 (1/31)
	مجموع	40	1/73 (1/43)
مدل‌سازی رایانه‌ای (Computer modeling)	پسران	20	4/75 (1/07)
	دختران	20	4/35 (1/04)
	مجموع	40	4/55 (1/06)

جدول۴: تحلیل واریانس دو راهه برای مؤلفه عناصر در پس‌آزمون تفکر سیستمی

Table 4: Two-way analysis of variance for the elements component in the system thinking post-test

منبع واریانس (source of variance)	مجموع مجذورات (sum of squares)	میانگین مجذورات (mean squares)	*F	سطح اطمینان confidence) (level	اندازه اثر (Effect size)
بین گروهی- جنسیت (اثر اصلی) (Between-group-gender (main effect))	4/51	4/51	3/29	0/12	0/031
بین گروهی- مدل‌سازی(اثر اصلی) (Between-group -modeling (main effect)	159/61	159/61	116/58	0/0001	0/64
جنسیت و مدل‌سازی (اثر تعاملی) (Gender and modeling (interaction effect))	15/31	15/31	11/18	0/001	0/18
درون گروهی (خطا) (Within-group (error)	104/05	1/36			

*یادداشت: درجه آزادی درون گروهی ۷۶ و درجه آزادی بین گروهی ۱ است.

آن‌گونه که در جدول۴ مشاهده می‌کنید؛ روش مدل‌سازی بر نمره عناصر یک استدلال یا همان عناصر تفکر سیستمی به‌طور مستقیم تأثیرگذار است. این تأثیر معنادار و اندازه آن بیشتر از ۰/۶ است. جنسیت تأثیر معناداری بر نمره تشخیص عناصر در یک استدلال ندارد. این موضوع هم از عدم معناداری آزمون واریانس مشخص است و هم از اندازه اثر بسیار کوچک ۰/۰۳۱. اما تعامل جنسیت و روش مدل‌سازی می‌توانند بر شناخت عناصر استدلال علّی تأثیرگذار باشند، این تأثیرگذاری هرچند معنادار است؛ اما مقدار آن کمتر از ۰/۲ و ناچیز است.

پس‌آزمون تفکر سیستمی، شامل شواهد و دلائل برای انجام استدلال نیز هست. جدول ۵ میانگین نمرات پس‌آزمون شواهد و دلائل استدلال را نمایش می‌دهد.

جدول ۵: میانگین پس‌آزمون شواهد و دلائل در تفکر سیستمی
Table 5: Mean post-test of evidence in systemic thinking

روش مدل‌سازی (Modeling method)	جنسیت (Gender)	تعداد (Number)	میانگین (انحراف استاندارد) Mean (standard) deviation
مدل‌سازی کاغذی (Paper modeling)	پسران	20	1/64 (1/16)
	دختران	20	1/03 (1/21)
	مجموع	40	1/33 (1/13)
مدل‌سازی رایانه‌ای Computer) (modeling	پسران	20	4/40 (1/17)
	دختران	20	4/20 (1/32)
	مجموع	40	4/30 (1/66)

گردآوری شواهد و ابراز دلیل برای استدلال کردن در مورد مدارهای الکتریکی هم در میان دو گروه متفاوت است. شاگردانی که به کمک مدل‌سازی رایانه‌ای آموزش دیده‌اند، برای گرداوری شواهد و ابراز دلائل خود به‌منظور به ثمر رساندن استدلال‌ها، دچار زحمت کمتری بودند، و نمره‌های بالاتری را در پس‌آزمون دریافت کردند. اختلاف سه نمره‌ای میانگین دو گروه مدل‌سازی این ادعا را به ظاهر تأیید می‌کند؛ اما برای فرض آزمایی از تحلیل واریانس دوراهه بهره برده‌ایم. بیان این نکته هم ضروری است که همچنان جنسیت نقش آشکاری در استدلال و تفکر سیستمی نداشته است. جدول ۶ مجموع مجذورات به همراه آماره F برای پس‌آزمون شواهد و دلائل در تفکر سیستمی را نمایش می‌دهد.
اندازه اثر کوچک جنسیت و همچنین اندازه اثر کوچک تعامل جنسیت با مدل‌سازی، نشان از تأثیرگذاری ناچیز آنها در تقویت مهارت یافتن شواهد مثبت و دلائل کافی برای استدلال است. در اینجا هم بیشترین اثرگذاری را در اثر مستقیم یا اصلی مدل‌سازی می‌بینیم، و مدل‌سازی به کمک رایانه بدون ارتباط با جنسیت و به‌طور مستقیم، می‌تواند موجب افزایش توانایی شاگردان در درس فیزیک برای گرداوری شواهد و دلائل بهتر برای استدلال در مورد مدارهای الکتریکی شود. اندازه اثر مدل‌سازی نزدیک به ۰/۷ است که مقدار معنادار و بزرگی است.
سومین و مهم‌ترین مؤلفه از تفکر سیستمی، انسجام علّی و توانایی دانش‌آموزان در ارتباط دادن شواهد و دلائل به یکدیگر برای نتیجه‌گیری مطلوب است؛ هرچند میانگین نمره شاگردان در این مؤلفه نسبت به مؤلفه‌های دیگر استدلال و تفکر سیستمی، پایین تر بوده، اما مقادیر جدول ۷ نشان می‌دهند، که مدل‌سازی رایانه‌ای باز هم اثربخشی خودش را روی این بخش از تفکر سیستمی نشان داده است.

جدول ۷: میانگین پس‌آزمون مؤلفه انسجام علّی در تفکر سیستمی
Table 7: Mean post-test of causal coherence component in systemic thinking

روش مدل‌سازی Modeling) (method	جنسیت (Gender)	تعداد (Number)	میانگین (انحراف استاندارد) Mean (standard) (deviation)
مدل‌سازی کاغذی (Paper modeling)	پسران	20	1/12 (1/99)
	دختران	20	1/34 (1/71)
	مجموع	40	1/23 (1/93)
مدل‌سازی رایانه‌ای Computer) (modeling	پسران	20	3/85 (0/93)
	دختران	20	3/70 (1/01)
	مجموع	40	3/78 (1)

جدول۶: تحلیل واریانس دو راهه برای مؤلفه شواهد و دلائل در پس‌آزمون تفکر سیستمی
Table 6: Two-way analysis of variance for the evidence component in the system thinking post-test

منبع واریانس (source of variance)	مجموع مجذورات (sum of squares)	میانگین مجذورات (mean square)	*F	سطح اطمینان confidence) (level	اندازه اثر (Effect size)
بین گروهی- جنسیت (اثر اصلی) (Between-group-gender (main effect))	1/51	1/51	1/38	0/23	0/018
بین گروهی- مدل‌سازی(اثر اصلی) (Between-group -modeling (main effect)	159/61	177/01	161/79	0/0001	0/69
جنسیت و مدل‌سازی (اثر تعاملی) (Gender and modeling (interaction effect))	4/51	4/51	4/12	0/051	0/051
درون گروهی (خطا) (Within-group (error)	104/05	1/36			

*یادداشت: درجه آزادی درون گروهی ۷۶ و درجه آزادی بین گروهی ۱ است.

داده‌ها نشان می‌دهند ارتباط بین شواهد، از دشوارترین قسمت‌های یک استدلال فیزیکی است. توانائی شاگردان در منسجم کردن، و یکپارچه‌سازی شواهد دلائل خود به‌منظور خاتمه استدلال و بیان نتیجه کمتر از سایر توانائی‌های استدلالی آنها بوده است. البته مدل‌سازی رایانه‌ای توانسته به نسب مدل‌سازی کاغذی این توانایی را بهبود ببخشد. جدول ۸ مقادیر تحلیل واریانس دوراهه برای تأیید این گفته را نشان می‌دهد.

همچنان جنسیت نمی‌تواند عامل تأثیرگذاری بر مؤلفه‌های استدلال علّی باشد. معنادار نبودن آزمون تحلیل واریانس برای جنسیت و اندازه اثر بسیار ناچیز ۰/۰۱ نشان از بی‌تأثیری جنسیت بر مؤلفه انسجام علّی در تفکر سیستمی داشتند. تعامل بین جنسیت و روش مدل‌سازی نیز نتوانست روی انسجام علّی تأثیر شاخصی بگذارد، و باز هم مدل‌سازی رایانه‌ای به‌طور مستقیم توانسته باعث افزایش مهارت انسجام علّی در موضوع جریان الکتریکی شود. تفاوت معنادار ۲/۶ نمره‌ای بین گروه مدل‌سازی به کمک رایانه، و گروه مدل‌سازی کاغذی، و همچنین اندازه اثر ۰/۷۱، نشان از اثر بخشی مدل‌سازی رایانه‌ای بر افزایش انسجام علّی در استدلال دانش‌آموزان داشت.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش تلاش شد تا نشان داده شود مهارت استدلال‌های علّی دانش‌آموزان، در کنار سایر مؤلفه‌های تفکر سیستمی آنها، به کمک مدل‌سازی رایانه‌ای تقویت می‌شود. این موضوع را به‌طور خاص برای درس فیزیک و دانش موضوعی الکتریسیته جاری مورد بررسی قرار دادیم. بین روش مدل‌سازی به کمک مداد و کاغذ، و مدل‌سازی به کمک رایانه در هر سه مؤلفه استدلال علّی تفاوت وجود داشت. البته این اختلاف برای مؤلفه عنصر کم بود؛ ولی هرچه به سمت مؤلفه‌های شواهد و دلائل استدلال، و استدلال علّی منسجم پیش می‌رفتیم، این اختلاف فاحش‌تر و البته عملکرد شاگردان در روش مدل‌سازی به کمک مداد کاغذ ضعیف‌تر می‌شد. ما نتوانستیم تأثیر مثبت یا منفی از تفاوت‌های جنسیتی برای استدلال علّی پیدا کنیم. دختران و پسران هنگام انجام فرآیند تفکر سیستمی و استدلال در موضوعات فیزیک تقریباً مشابه عمل می‌کنند و در هیچ‌کدام از مؤلفه‌های استدلال علّی شاهد تفاوت بین عملکرد دختران و پسران نبودیم. جنسیت حتی با روش مدل‌سازی هم تعامل آشکار و مؤثری نداشت. یافته‌های ما نشان از تأثیر مستقیم روش مدل‌سازی رایانه‌ای بر همه مؤلفه‌های استدلال و تفکر سیستمی داشت، و شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای توانسته‌اند بسیاری از ضعف‌های مدل‌سازی به کمک مداد و کاغذ در بهبود استدلال شاگردان در موضوع الکتریسیته جاری را رفع کنند.

مدل‌سازی به کمک رایانه در مقایسه با مدل‌سازی کاغذی، دارای ویژگی‌هایی است که به کمک آنها می‌توان به تقویت تفکر به‌طور عام، و بهبود تفکر سیستمی (استدلال علّی) پرداخت. پویایی و انعطاف‌پذیری مدل‌های رایانه‌ای به این موضوع کمک بزرگی کرده است؛ چراکه از مهم‌ترین ویژگی‌های مدل‌سازی در آموزش علوم، امکان بازنگری و اصلاح مدل‌ها است و از شایستگی‌های سطح بالای مدل‌سازی توانایی تغییر در آنها برای حل مسائل تازه است [۲۲]. این ویژگی در بیشتر موارد توسط مدل‌های مداد و کاغذی برآورده نمی‌شود و این مدل‌های رایانه‌ای هستند که می‌توانند با تغییرات و اصلاحات سریع و بهینه در مدل آن را برای استدلال تازه، موضوع جدید، و انسجام بهتر تفکر آماده کنند. عنصرهای کشیدنی و رهاکردنی و فرآیندهای برگشت‌پذیر و قابل اصلاح در نرم‌افزارهای رایانه‌ای از جمله Phet شاگردان را قادر می‌سازد تا به‌طور ساده یا پیچیده مدل‌ها را بسازند، آزمایش کنند، اصلاح کنند، بازنگری کنند و سپس به کمک مدلی که بارها و بارها آن را تغییر داده‌اند دست به استدلال و تفکر بزنند. این یافته با نتایج پژوهش انگوین و همکاران در سال ۲۰۲۱ همراستا است؛ با این تفاوت که پژوهش حاضر مشخصاً روی استدلال علّی شاگردان در مسائل الکتریسیته متمرکز شده است.

جدول۸: تحلیل واریانس دو راهه برای مؤلفه انسجام علّی در پس‌آزمون تفکر سیستمی

Table 8: Two-way analysis of variance for the causal coherence component after the system thinking test

منبع واریانس (source of variance)	مجموع مجذورات (sum of squares)	میانگین مجذورات (mean square)	*F	سطح اطمینان (confidence level)	اندازه اثر (Effect size)
بین گروهی- جنسیت (اثر اصلی) (Between-group-gender (main effect))	0/612	0/612	0/748	0/39	0/010
بین گروهی- مدل‌سازی(اثر اصلی) (Between-group -modeling (main effect)	154/01	154/01	188/03	0/0001	0/71
جنسیت و مدل‌سازی (اثر تعاملی) (Gender and modeling (interaction effect))	2/11	2/57	4/12	0/11	0/033
درون گروهی (خطا) (Within-group (error)	62/25	0/81			

*یادداشت: درجه آزادی درون گروهی ۷۶ و درجه آزادی بین گروهی ۱ است.

ما دریافتیم که شاگردانی که برای مدل‌سازی از شبیه‌سازی رایانه‌ای استفاده می‌کنند همواره در حال بررسی فرضیه‌ها، شواهد، و استدلال‌های جایگزین و تازه هستند؛ چرا که بررسی فرضیه تازه، یا گردآوری دلیل بهتر به کمک مدل‌سازی رایانه‌ای به مراتب آسان‌تر از مدل‌سازی به کمک کاغذ است. این ویژگی به درک بیشتر آنها از عناصر استدلال، یافتن شواهد بیشتر برای استدلال، و همچنین انسجام بیشتر استدلال آنها کمک کرده است. این دانش‌آموزان در بیان عناصر استدلال، تجسم شواهد و دلائل استدلال و آزمودن صریح مدل‌های ساخته شده به کمک رایانه به مراتب بهتر از شاگردانی عمل کرده‌اند که سعی داشتند با ترسیم خطی یک مدل کاغذی، استدلالی در مورد جریان‌های الکتریکی ارائه دهند. این یافته پژوهش با نتایج وینتروپ و همکاران در سال ۲۰۱۶ که بر تأثیر مدل‌سازی روی درس علوم و ریاضی تمرکز داشتند همراستا است.

رابط‌های کاربری نرم‌افزارهای رایانه‌ای هم جذاب و دوست داشتنی هستند و هم کار با آنها راحت است؛ به همین خاطر انسجام علّی در استدلال دانش‌آموزان و پیوند بین شواهد و دلائل به کمک پیام‌های توضیحی نرم‌افزار و یا ویژگی‌های تصویری آنها تقویت می‌شود. به‌طور مثال نقش رنگ‌ها برای نشان دادن افزایش و یا کاهش رابطه بین متغیرها(مثلاً در اینجا روشن و خاموشی لامپ‌ها) و یا نشان دادن اندازه-ها (کاهش و افزایش نور لامپ) خود به وضوح بهتر مدل و دریافت بهتر عناصر استدلال علّی کمک می‌کند.

پیشنهاد ما پررنگ‌تر کردن نقش مدل‌سازی در آموزش فیزیک به کمک شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای توسط معلمان است. نقش معلّم‌ها در اجرای فعالیت‌های مدل‌سازی رایانه‌ای بر هیچ‌کس پوشیده نیست. این معلمان هستند که دانش‌آموزان را با رابط نرم‌افزاری و مدل‌ها، و شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای آشنا می‌کنند، معلّم‌ها هستند که می‌توانند، دانش موضوعی دانش‌آموزان را ابتدا با مدل‌های مفهومی و علمی گره بزنند و رویکرد اصلی خود را در آموزش فیزیک مبتنی بر مدل‌سازی قرار دهند و سپس برای کمک به کیفیت بهتر تدریس خودشان و یادگیری بهتر دانش‌آموزان از مدل‌های رایانه استفاده کنند. نیازی نیست که ابزارهای مدل‌سازی از جمله رایانه‌ها و شبیه‌سازی‌های گرافیکی، از مواد ثابت و همیشگی برنامه درسی معلمان فیزیک باشد؛ بلکه پیشنهاد می‌کنیم معلّم‌ها حین فرآیند تدریس برای بهبود استدلال و تفکر دانش‌آموزان، تسهیل یادگیری آنها، و پاسخگویی به پرسش‌ها، و از همه مهم‌تر رفع کج فهمی‌های احتمالی آنها ازابزارهای مدل‌سازی بهره ببرند.

این پژوهش با محدودیت‌هایی نیز همراه بوده است، و یافته‌های این پژوهش تابعی از طرح آزمایشی است که پژوهشگران به‌کار برده‌اند. استفاده از جامعه آماری شهر اهواز، با ویژگی‌های قومیتی، اوضاع اجتماعی و اقتصادی این شهر، در کنار نمونه‌گیری خوشه‌ای، از مهم‌ترین محدودیت‌های پژوهشی ما بودند. ما این‌گونه استدلال می‌کنیم که یادگیری و درک موضوعات علمی، در بستر پیچیده‌تر تحت عنوان تعاملات اجتماعی و مصنوعات محیطی هم می‌تواند انجام گرفته و تکامل یابد و این موضوع ما را محدود می‌کند که پیشنهاد کنیم تعمیم نتایج با احتیاط بیشتر صورت بپذیرد. این پژوهش عمدتاً بر درک دانش‌آموزان از دانش موضوعی جریان الکتریکی، به کمک استدلال و تفکر سیستمی تمرکز داشته‌است. پژوهش‌های آتی می‌توانند ضمن توجه بیشتر به سایر تفاوت‌های فردی [مثل خودپنداره تحصیلی، خودکارآمدی تحصیلی و انگیزش] و البته تعامل و روابط اجتماعی شاگردان با هم و با معلم‌ها، به اثر بخشی مدل‌سازی رایانه‌ای بر پیشرفت یادگیری، انتقال یادگیری نیز بپردازند.

این طرح آزمایشی به ما کمک کرد تا درباره تفاوت‌های استدلال‌های علّی بین دو گروه مختلف، به نتایج مهمی دست پیدا کنیم. یافته‌های ما شواهدی برای تأکید بر استفاده از مدل‌سازی رایانه‌ای در راستای غنی‌سازی تفکر سیستمی، و به ویژه در مورد دلایل(شواهد) و انسجام علّی با موضوع جریان‌های الکتریکی در بین دانش‌آموزان ایرانی ارائه کردند که تاکنون در ایران بررسی نشده بود. نتایج نشان داد که به‌کارگیری ابزارهای رایانه‌ای می‌تواند از عهده یادگیری مهارت‌های شناختی نسبتاً پیچیده مثل استدلال علّی به خوبی برآید. شبیه‌سازی رایانه‌ای و مدل‌های مفهومی که به کمک رایانه‌ها تولید می‌شوند می‌توانند به شرح و بسط بیشتر پیوندهای علّی و انسجام بیشتر استدلال‌ها در درس فیزیک کمک کنند. در اجرای روش‌های مبتنی بر رایانه و البته بیشتر روش‌هایی که بر فناوری‌های تازه انجام می‌گیرند، همواره موضوعاتی مانند وجود امکانات و تجهیزات، نگرش نسبت به کاربرد رایانه و فناوری، میزان نفوذ پذیری فناوری در زندگی روزمره و برنامه‌های درسی، و البته دسترس‌پذیری و سهولت کاربری آنها نیز مطرح بوده است. بنابراین توصیه می‌شود در آینده پژوهشگران روی مسائل فرهنگی، اجتماعی و اجرائی استفاده از رایانه در کلاس‌های درس علوم تمرکز بیشتری داشته باشند. نتایج این مطالعه افق تازه‌ای را برای معلمان فیزیک در آینده روشن می‌کند، و آن هم حضور بیشتر رایانه‌ها در کلاس درس فیزیک برای بهبود تفکر، و البته توصیف، و پیش‌بینی بهتر دنیای واقعی است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول، در طراحی موضوع و اجرای طرح آزمایشی، کلاس‌های توجیهی برای آموزشگران، و نگارش بخش‌های اصلی دست نوشته نقش داشتند، نویسنده دوم در گردآوری داده‌ها، گرداوری پیشینه و ترجمه متون، تحلیل آماری داده‌ها، نگارش بخش‌هایی از دست نوشته، و طراحی اشکال و جدول‌ها نقش داشتند.

تشکر و قدردانی

پژوهشگران از همه دانش‌آموزان شرکت‌کننده در این پژوهش، معلمان و اولیا مدرسه که در اجرای کلاس‌ها، و برگزاری آزمون کمک کردند کمال تشکر و قدردانی را دارند. به راستی اگر همکاری دلسوزانه و توجه دقیق آنها نبود این پژوهش به ثمر نمی‌رسید.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

منابع و مآخذ

[1] Nguyen H, Santagata R. Impact of computer modeling on learning and teaching systems thinking. *J Res Sci Teach*. 2021; 58(5): 661–88.

[2] Ramage M, Shipp K. Systems thinkers. London: Springer; 2009.

[3] Amatucci FTA-TT-. Introduction to systems thinking. NV-. Los Angeles, CA: SAGE Publications, Inc.; 2021. (SAGE skills: business).

[4] Hmelo-Silver CE, Jordan R, Eberbach C, Sinha S. Systems learning with a conceptual representation: a quasi-experimental study. *Instr Sci.* 2017; 45(1): 53–72.

[5] Kang H, Thompson J, Windschitl M. Creating Opportunities for Students to Show What They Know: The Role of Scaffolding in Assessment Tasks. *Sci Educ*. 2014; 1(98).

[6] Assaraf O, Orion N. Development of system thinking skills in the context of Earth System education. *J Res Sci Teach*. 2005; 1(42): 518–60.

[7] Jacobson M, Wilensky U. Complex Systems in Education: Scientific and Educational Importance and Implications for the Learning Sciences. *J Learn Sci.* 2006; 1(15): 11–34.

[8] Plate R. Assessing individuals' understanding of nonlinear causal structures in complex systems. *Syst Dyn Rev*. 2010; 1(26): 19–33.

[9] Schwarz C V, Reiser BJ, Davis EA, Kenyon L, Achér A, Fortus D, et al. Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *J Res Sci Teach*. 2009; 46(6): 632–54.

[10] Eberbach C, Hmelo-Silver C, Jordan R, Taylor J, Hunter R. Multidimensional trajectories for understanding ecosystems. *Sci Educ*. 2021; 15(105).

[11] Komis V, Ergazaki M, Zogza V. Comparing computer-supported dynamic modeling and 'paper & pencil' concept mapping technique in students' collaborative activity. *Comput Educ*. 2007; 1(49): 991–1017.

[12] Weintrop D, Beheshti E, Horn M, Orton K, Jona K, Trouille L, et al. Defining Computational Thinking for Mathematics and Science Classrooms. *J Sci Educ Technol.* 2016; 1(25).

[13] Sands D, Parker M, Hedgeland H, Jordan S, Galloway R. Using concept inventories to measure understanding. *High Educ Pedagog*. 2018; 3(1): 173–82.

[14] Rosenberg JM, Lawson MA. An investigation of students' use of a computational science simulation in an online high school physics class. *Education Sciences.* 2019; 9(1): 49.

[15] Iseki H. Cohen's kappa statistics as a convenient means to identify accurate SARS-CoV-2 rapid antibody tests. *medRxiv.* 2020; 20130070.

[16] De Vocht F, Katikireddi S, McQuire C, Tilling K, Hickman M, Craig P. Conceptualising natural and quasi experiments in public health. *BMC Med Res Methodol.* 2021; 11(21).

[17] Wade-Jaimes K, Demir K, Qureshi A. Modeling strategies enhanced by metacognitive tools in high school physics to support student conceptual trajectories and understanding of electricity. *Sci Educ*. 2018; 102(4): 711–43.

[18] Chiu M-H, Lin J-W. Modeling competence in science education. *Discip Interdiscip Sci Educ Res.* 2019; 1(1): 1–11.

[19] Kline RB, Little TD. Principles and practice of structural equation modeling. New York: Guilford Press; 2016.

[20] Tabachnick BG, Fidell LS. Using multivariate statistics. Boston: Pearson; 2019.

[21] Harrison V, Kemp R, Brace N, Kemp R, Snelgar R. SPSS for Psychologists. SPSS for Psychologists. London: Red Globe Press; 2021.

[22] Nielsen SS, Nielsen JA. Models and Modelling: Science Teachers' Perceived Practice and Rationales in Lower Secondary School in the Context of a Revised Competence-Oriented Curriculum. *Eurasia J Math Sci Technol Educ.* 2021; 17(4): 1–18.

معرفی نویسندگان

AUTHORS BIOSKETCHES

مجتبی جهانی‌فر عضو هیأت علمی گروه علوم تربیتی دانشگاه شهید چمران اهواز است. ایشان دانش‌آموخته دوره دکتری تخصّصی سنجش و اندازه‌گیری با گرایش سنجش آموزش از دانشگاه تهران بوده و مدرک کارشناسی ارشد را با عنوان آموزش فیزیک از دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجائی تهران کسب کرده‌اند. مدل‌های ذهنی و مفهومی، خودپنداره تحصیلی در علوم، و کاربرد نظریه‌های جدید روان‌سنجی در آموزش علوم، مهم‌ترین حوزه‌های علاقمندی ایشان است و مقالات متعددی در حوزه آموزش علوم به زبان فارسی و لاتین منتشر کرده‌اند.

Mojtaba, Jahanifar, Educational Assessment, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

M.jahanifar@scu.ac.ir

معصومه هرمزی‌نژاد هنرآموز هنرستان‌های فنی حرفه‌ای و دانشکده فنی حرفه‌ای دخترانه شهر اهواز است. ایشان مدرک مهندسی کامپیوتر با گرایش نرم‌افزار را از دانشگاه شهید چمران اهواز و کارشناسی ارشد مدیریت آموزشی را

دانشگاه علوم و تحقیقات اهواز دریافت کرده‌اند. ایشان در حال حاضر دانشجوی دکتری مدیریت آموزشی دانشگاه آزاد اسلامی است. برنامه‌نویسی رایانه‌ای، تولید محتوا، اجتماع یادگیری حرفه‌ای و سیستم‌های هوشـمند آموزش و یادگیری از مهـم‌ترین حوزه‌هایی است که به آنها علاقمند است و مقالات متعددی در حوزه آموزش حرفه‌ای معلمان و مدیریت مدرسه به زبان فارسی منتشرکرده‌اند.

Massome Hormozi Nejad, Educational Administration, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Ahvaz, Iran
masrama@yahoo.com

Citation (Vancoure): Jahanifar M, Hormozi Nejad M. [Improving students' causal reasoning skills with the computer modelling]. *Tech. Edu. J. 2023; 17(3): 607-620*
https://doi.org/10.22061/tej.2023.9401.2841

COPYRIGHTS
©2023 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.