Cognitive Strategies in Learning
Bu-Ali Sina University
Print ISSN: 2423-7906
Online ISSN: 2423-7620

Article type: Research Article

Assessing Learners' Understanding of Conceptual Models and its Relationship with Causal Reasoning Skills

Mojtaba Jahanifar[1]✉, Bahareh Ghavami Hoseinpour[2], Fatemeh Dehghani [3]

1. Corresponding author, Assistant Professor, Department of Education, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: m.jahanifar@scu.ac.ir
2. Ph. D student of E-learning in Medical Sciences, Department of E-learning in Medical Sciences, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran. E-mail: ghavami_b@ajums.ac.ir
3. M.Sc. in Educational Research, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: f-dehghani@stu.scu.ac.ir

Article Info

Article history:

Received 4 July 2023

Revised form 7 December 2023

Accepted 16 December 2023

Keywords:

Science Education,

Modeling,

Bifocal Models,

Nature of Models,

Causal Reasoning.

ABSTRACT

Objective: Model-based reasoning, such as causal reasoning, is one of the most important cognitive skills in science education, although model-based teaching, especially computer models, have a positive effect on reasoning, but model understanding can also affect its application and usefulness. The purpose of this research is to investigate the relationship between students' models' understanding and the level of causal reasoning skills.

Method: This relationship was investigated when performing bifocal modeling with the subject of mechanics. A sample of 85 secondary high school students in Ahvaz was selected, and were asked to answer four questions related to mechanic descriptively during modeling and write their reasoning. Codes were first defined and answers were scored based on the codes.

Results: After modeling, the students answered the model understanding questionnaire and based on that, with the cluster analysis, they were classified into two categories: "model ideal understanding" and "model raw understanding". The findings showed that the students who had a good understanding of the model and the modeling process, except in the reasoning identifying the elements, which all performed similarly, were more successful in other dimensions of causal reasoning than the students who had a raw model understanding

Conclusion: Researchers have found that paying more attention to scientific modeling in official curricula, informing teachers about the models' nature, and encouraging them to teach based on models in the classroom are effective in improving students' models' understanding, and it strengthens thinking, including scientific reasoning.

Cite this article: Jahanifar, M., Ghavami Hoseinpour, B., & Dehghani, F. (2024). Assessing learners' understanding of conceptual models and its relationship with causal reasoning skills. *Cognit Strateg Learn*, 12(22), 17-33. https://doi.org/10.22084/J.PSYCHOGY.2024.27780.2578

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License.
Copyright © 2024 The Authors. Publisher: Bu-Ali Sina University.

Extended Abstract

1. Introduction

Some efforts have been made to involve students in scientific modeling, and researchers have developed model-based educational resources in most scientific branches. Along with these efforts, researches have also been conducted to develop students' understanding of the nature of scientific models and to know about the models' performance. According to a 2012 National Research Council document, understanding how science works is always a combination of content knowledge, procedural knowledge, and epistemic knowledge, so that engaging in scientific modeling invites and encourages students to think about the nature of knowledge, and how science works. Students must understand that both scientific knowledge and models are human constructs designed to explain or predict the phenomena. By examining the background of the subject, the researchers found that having an understanding of the models' nature and modeling practice may help students in using and developing models, because students' epistemological understanding of models and the modeling activity affects how they deal with the materials and ultimately what they learn. On the other hand, poor epistemological understanding may limit students in using and developing scientific models. Models can develop many cognitive skills; Also, increasing students' epistemological understanding has an effect on their better cognitive processing during modeling. One of the most important cognitive processes thinking skills and of course the reasoning power. The main purpose of the current research is to investigate the relationship between students' causal reasoning during a mechanic subject modeling assignment and their understanding about the model that they are building.

2. Materials and Methods

This quantitative research has been done with a descriptive approach. In this research, 85 secondary high school students in Ahvaz, who were available in the twelfth grade of science and math fields in the academic year of 1401-1402, were selected. The researchers used the "Basic mechanic Conceptual Understanding" (bMCU) test to examine students' causal reasoning. Students' understanding of the model was measured using the "Students' Understanding of Models in Science" (SUMS) questionnaire. Four modeling activities were designed for each student. The instructions for designing the models were adapted with the bMCU items, in fact, the students started modeling in order to answer the test questions and write arguments. Before conducting the bMCU test, the researchers familiarized the students with the interactive physics software environment during four 60-minute sessions, and the students learned how to work with different parts of the software and its functions. The students did the modeling according to the bifocal modeling framework. The Bifocal Modeling Framework (BMF) is an inquiry-based approach to science education that enables students to organize and evaluate connections between real-world experiments, or conceptual models, with computer models. The students were classified based on the scores of the SUMS questionnaire by using cluster analysis. To examine the relationship between students' reasoning and their understanding of models, focal correlation, which is a type of multivariate correlation, has been used.

3. Results

Students were classified into two separate clusters based on their understanding of the model. The first class, which was named "optimal level of model understanding", corresponds to students who have a high understanding of the models' nature. On the other

hand, the second class, which was named "raw level of model understanding", is related to students who had a raw and elementary understanding about models. Cluster analysis placed 29 of the students in the optimal level, and 56 in the raw level. Students who were at the optimal level generally had a significant advantage in performing causal reasoning compared to students who were at the raw level, this superiority was also visible in all dimensions of causal reasoning except the aspect of identifying the elements of reasoning. The percentage of explained variance of the composite variable "causal reasoning" by the composite variable "understanding of the model" is equal to 0.574, which shows a positive and strong correlation between them.

4. Discussion and Conclusion

The researchers expected that students who had a deeper, and more favorable understanding of the model would also have higher level thinking. The sign of high-level thinking was to carry out causal reasoning about a natural event in a precise manner. The findings showed that, on average, the students' models' understanding and the modeling process are different from each other, some were well acquainted with the models' nature and were aware of model's features and applications. Students with a favorable and expert level of models' understanding used to reason better, more qualitatively, and implemented the principles of systemic thinking well. Compared to the studies reported in the same way in the introduction, this finding seems to be similar to the reports of Treagust et al. (2002) and Schwarz & White, (2005) and (Lazenby & Becker, 2021. A relatively strong and positive correlation was observed between the students' causal reasoning skills and their models' understanding, which, of course, is an expected result, is consistent with the findings of Sins et al. (2009. According to the findings, it can be concluded that many students do not have sufficient knowledge of the models' nature, the models' characteristics, and their application, so the low models' understanding leads to the failure to develop one of the most important scientific skills, which is causal reasoning. The model's lack of knowledge or understanding may be seen in the lack of learning opportunities in classrooms to perform modeling activities; on the other hands teachers' lack of knowledge about the strengths and weaknesses of models will destroy the golden opportunity to use them effectively in the classroom. Also, the low attention of the science curriculum in Iran to the model, and the defects in the science teacher training curriculum can be important factors that cause a decrease in the models' awareness and the decline in students' scientific literacy.

5. Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines: All ethical principles are considered in this article. The confidentiality of student's information and the freedom to drop out whenever they want, and the results of the research will be available to them if they wish.

Funding: This research has received no funding from funding agencies in the public, commercial or non-profit sectors.

Authors' contributions: All authors participated in the design, implementation and writing of all parts of the present study.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

راهبردهای شناختی در یادگیری
شاپا چاپی: ۷۹۰۶-۲۴۲۳
شاپا الکترونیکی: ۷۶۲۰-۲۴۲۳

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سنجش درک فراگیران از مدل‌های مفهومی و رابطه آن با مهارت استدلال علّی

مجتبی جهانی‌فر[۱]✉، بهاره قوامی حسین‌پور[۲]، فاطمه دهقانی[۳]

۱. نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم تربیتی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: m.jahanifar@scu.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری تخصصی یادگیری الکترونیکی در آموزش پزشکی، گروه آموزش الکترونیکی در علوم پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: ghavami_b@ajums.ac.ir

۳. کارشناس ارشد تحقیقات آموزشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: f-dehghani@stu.scu.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵

کلیدواژه‌ها:

آموزش علوم،

مدل‌سازی،

مدل‌های دوکانونی،

ماهیت مدل‌ها،

استدلال علّی.

چکیده

هدف: استدلال‌های مبتنی بر مدل مانند استدلال علّی از مهم‌ترین مهارت‌های شناختی شاگردان در درس علوم است، هرچند روش‌های تدریس مبتنی بر مدل به‌ویژه مدل‌های رایانه‌ای بر استدلال و تفکر تأثیر مثبت دارند، اما آشنایی و درک از مدل نیز می‌تواند در کاربست و سودمندی آن تأثیرگذار باشد. هدف این پژوهش تعیین رابطه بین فهم شاگردان از مدل و مدل‌سازی علمی و میزان مهارت استدلال علّی آنان است. این رابطه هنگام انجام مدل‌سازی دو کانونی با موضوع حرکت‌شناسی بررسی شد.

روش: نمونه‌ای ۸۵ نفری (در دسترس) از شاگردان دوره دوم متوسطه اهواز انتخاب و از آن‌ها خواسته شد حین مدل‌سازی به چهار سؤال مرتبط با حرکت‌شناسی به‌طور تشریحی پاسخ داده و استدلال خود را بنویسند. برای پاسخ‌ها ابتدا کد تعریف شد و براساس کدها، نمره‌گذاری شدند. پس از مدل‌سازی، شاگردان به پرسشنامه درک از مدل پاسخ دادند و بر اساس آن و به کمک تحلیل خوشه‌ای به دو دسته درک مطلوب از مدل و درک خام از مدل طبقه‌بندی شدند.

یافته‌ها: یافته‌ها نشان داد شاگردانی که درک مطلوبی از مدل و فرآیند مدل‌سازی داشته‌اند، به‌جز در بعد شناسایی عناصر استدلال که همه عملکرد مشابهی داشتند، در سایر ابعاد استدلال علّی نسبت به شاگردانی که درک خام از مدل‌ها داشتند، موفق‌تر عمل کردند.

نتیجه‌گیری: پژوهش‌گران توجه بیشتر برنامه‌های درسی رسمی به مدل‌سازی علمی، و آگاه‌سازی معلمان نسبت به ماهیت مدل‌ها، و تشویق آنان برای تدریس مبتنی بر مدل در کلاس را بر بهبود درک فراگیر از مدل مؤثر دانسته و آن را موجب تقویت مهارت‌های شناختی مثل تفکر، از جمله استدلال علّی می‌دانند.

استناد: جهانی‌فر، مجتبی؛ قوامی حسین‌پور، بهاره؛ و دهقانی، فاطمه (۱۴۰۳). سنجش درک فراگیران از مدل‌های مفهومی و رابطه آن با مهارت استدلال علّی. *راهبردهای شناختی در یادگیری*، ۱۲(۲۲)، ۱۷-۳۳. https://doi.org/10.22084/J.PSYCHOGY.2024.27780.2578

ناشر: دانشگاه بوعلی سینا.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

در چند دهه گذشته، پژوهشگران و سیاست‌گذاران آموزشی بر مشارکت فعال‌تر و ایجاد شیوه‌های تازه آموزش علوم در محیط‌های آموزشی تأکید کرده‌اند. به‌عنوان بخشی از این مشارکت تمرین‌های علمی تعریف شده است که دانش‌آموزان را همانند دانشمندان به‌عنوان بخشی از پژوهش‌های علمی درگیر می‌کنند (استانداردهای علوم نسل آینده[۱]، ۲۰۱۳)، یکی از این تمرین‌های برجسته، توسعه و استفاده از مدل‌های علمی توسط دانش‌آموزان است (لازنبی و بکر[۲]، ۲۰۲۰). کاوشگری علمی در کنار مدل‌سازی می‌تواند علاقه دانش‌آموزان را به علم تقویت کند و مهارت‌های تفکر علمی آنها را توسعه دهد (اینکینن[۳] و همکاران، ۲۰۲۰). استفاده، ارزیابی و بازنگری مدل‌های علمی (مدل‌سازی)؛ بیان ایده‌ها و جستجوی شواهدی که پدیده‌های علمی مشاهده‌شده را توجیه می‌کند (کاوشگری)؛ یافتن عناصری برای توجیه رویدادها و بحث در مورد پدیده‌های علمی (استدلال) همگی از اقدامات ضروری در کلاس درس علوم هستند (جیمنزلیزو[۴] و همکاران، ۲۰۲۱، ۲۰۲۲). مدل‌سازی یک فعالیت علمی است که استدلال بهتر دانش‌آموزان را موجب می‌شود، کاوشگری علمی را تشویق کرده و به مفهوم‌سازی مشارکتی[۵] کمک می‌کند (بولگر[۶] و همکاران، ۲۰۲۱). در این میان رایانه‌ها ابزار قدرتمندی هستند که هم می‌توانند مهارت‌های کاوشگری را بهبود ببخشند و هم به توسعه، بازبینی و ارزیابی مدل‌های علمی بپردازند. مدل‌های رایانه‌ای می‌توانند توانایی تفکر و استدلال را بهبود ببخشند، مهارت‌های حل مسئله را تقویت کنند و حتی یک تجربه یادگیری انگیزشی و چالش‌برانگیز ارائه دهند، به‌طوری‌که به رشد درک علمی دانش‌آموزان کمک کنند؛ علاوه بر این، کار با یک مدل رایانه‌ای در طول یک فعالیت علمی، دانش‌آموزان را قادر می‌سازد تا محتوای آموخته‌شده را پردازش کنند و مفاهیم علمی را به‌تنهایی کشف کنند (سیمون و لوی[۷]، ۲۰۲۱). مدل‌سازی رایانه‌ای می‌تواند تفکر سیستمی دانش‌آموزان را با برجسته کردن پدیده‌های اصلی یک رخداد تقویت‌کرده (جردن[۸] و همکاران، ۲۰۱۸) و استدلال دانش‌آموزان در مورد مکانیسم‌هایی که در طبیعت و دنیای واقعی رخ می‌دهد را بهبود ببخشد (روزنبرگ و لاوسون[۹]، ۲۰۱۹). ابزارهای رایانه‌ای مانند شبیه‌سازی، ابزارهای گرافیکی، بازی و مدل‌سازی می‌توانند با تغییر تجارب و فرصت‌ها بر یادگیری تأثیر بگذارند. استفاده از ابزارهای رایانه‌ای در کلاس درس همیشه با دو فرصت جدید همراه است، اول اینکه دانش‌آموزان را به سمت یادگیری مشارکتی و رویکردهای مبتنی بر کاوشگری علمی سوق می‌دهد (سان[۱۰] و همکاران، ۲۰۱۴) و دوم اینکه توجه معلمان را به استدلال و ایده‌های تازه دانش‌آموزان جلب می‌کند (کیم[۱۱] و همکاران، ۲۰۰۷).

مدل‌های ذهنی همان مدل‌های خصوصی هستند که دانش‌آموزان برای فهم پدیده‌ها از آنها بهره می‌برند. مدل‌های ذهنی در مدل‌سازی نقش بنیادی دارند و برای ایجاد درک علمی از پدیده‌ها و توسعه مدل‌های مفهومی (علمی) ضروری هستند (ویدجیمز[۱۲] و همکاران، ۲۰۱۸). البته به دلیل ذهنی و انتزاعی بودن، دسترسی به آنها چندان آسان نیست. ایجاد یک مدل ذهنی مناسب اولین گام در درک دانش‌آموز از یک پدیده است، این گام برای درک و ساخت یک مدل مفهومی (علمی) از پدیده ضروری است. مدل مفهومی (علمی) یک نمایش خارج از ذهن برای مدل ذهنی است که در علم و آموزش علوم استفاده می‌شود، مدل مفهومی بازنمایی یک پدیده یا یک هدف از جهان واقعی و طبیعی است (نیلسن و نیلسن[۱۳]، ۲۰۲۱). مدل‌های مفهومی یا علمی ممکن است در اشکال مختلفی مانند نمادها، مدل‌های فیزیکی به‌صورت سه‌بعدی یا دوبعدی، روابط و ساختارهای ریاضی، پویانمایی‌ها، شبیه‌سازی‌های تعاملی، نقشه‌ها و نمودارها، گرافیک رایانه‌ای ظاهر شوند. مدل‌ها بازنمایی‌های توضیحی و تبیینی هستند که می‌توانند جنبه‌های مختلف یک مکانیسم را توصیف کنند (تایتلر[۱۴] و همکاران، ۲۰۲۰).

1. Next generation science standard
2. Lazenby and Becker
3. Inkinen
4. Jimenez-Liso
5. Collaborative sense-making
6. Bolger
7. Samon & levy
8. Jordan
9. Rosenberg & lawson
10. Sun
11. Kim
12. Wade-Jaimes
13. Nielsen
14. Hubber & Tytler

استدلال مبتنی بر مدل که شامل فرایندهای خلاقانه‌ای مانند انتزاع و تعمیم است، نقش مهمی در ساخت و ارزیابی مدل ایفا می‌کند و البته این سبک استدلال با «روش علمی» که معمولاً شناخته‌شده است تفاوت دارد (کیند و آزبورن[1]، ۲۰۱۷) توجه به این نکته مهم است که مدل‌سازی دیگر صرفاً محصول استدلال تلقی نمی‌شود و اکنون به‌عنوان بخش جدایی‌ناپذیر از خود فرایند استدلال تبدیل شده است (لهرل و شابل[2]، ۲۰۱۰). مهارت استدلال در دانش‌آموزان را می‌توان تقویت کرد و بهبود بخشید. رسم نمودار و نقاشی‌ها می‌توانند در توانمندسازی دانش‌آموزان برای استدلال در مورد مکانیسم‌ها و ترویج تعاملات سازنده بین دانش‌آموزان مفید باشند، این تعاملات می‌توانند به توضیح و تبیین بهتر رخدادهای دنیای واقعی کمک کنند (دی آندراده[3] و همکاران، ۲۰۲۲) علاوه بر نقاشی، صحبت‌کردن به‌صورت بحث کلاسی، نقش مهمی در توسعه مفهوم‌سازی و استدلال دانش‌آموزان دارد (اسگوبرگ[4] و همکاران، ۲۰۲۳). مدل‌سازی رایانه‌ای نیز می‌تواند تأثیر مثبتی بر مهارت‌های تفکر و استدلال دانش‌آموزان داشته باشد (ژیانگ[5]، ۲۰۱۵؛ روزنبرگ و لاوسون، ۲۰۱۹). مدل‌سازی رایانه‌ای توانایی دانش‌آموزان برای توضیح مفاهیم علمی و استدلال علّی را افزایش می‌دهد و البته موجب بهترشدن تفکر سیستمی خواهد شد (نگویان و سانتاگاتا[6]، ۲۰۲۱).

تلاش‌هایی برای مشارکت‌دادن دانش‌آموزان در مدل‌سازی علمی، صورت‌گرفته و پژوهشگران منابع آموزشی مبتنی بر مدل را در بیشتر شاخه‌های علمی توسعه داده‌اند (شوارتز و وایت[7]، ۲۰۰۵؛ بورگین[8] و همکاران، ۲۰۱۸؛ اسگوبرگ و همکاران، ۲۰۲۳). در کنار این تلاش‌ها و در راستای رشد درک دانش‌آموزان از ماهیت مدل‌های علمی و دانستن درباره عملکرد مدل‌ها نیز پژوهش‌هایی انجام‌گرفته است. بر اساس سند شورای ملی پژوهش[9]، (۲۰۱۲) درک چگونگی عملکرد علم همیشه ترکیبی از دانش محتوایی، دانش رویه‌ای و دانش معرفتی است، به‌طوری‌که مشارکت در مدل‌سازی علمی، دانش‌آموزان را دعوت و تشویق می‌کند تا در مورد وضعیت دانش خود و درکشان از نحوه عملکرد علم بیشتر تأمل کنند. دانش‌آموزانی که درک دقیقی از علم دارند می‌دانند که هم دانش علمی و هم مدل‌ها سازه‌های انسانی هستند که برای توضیح و پیش‌بینی بخش‌هایی از پدیده‌ها طراحی شده‌اند (شوارتز و وایت، ۲۰۰۵). درک مدل‌های علمی و فرایند مدل‌سازی نه‌تنها می‌تواند یادگیری محتوای علم را تسهیل کند، بلکه به توسعه این درک که علم پدیده‌ها را به تصویر می‌کشد و بررسی می‌کند نیز کمک می‌کند، به‌طورکلی درک دانش‌آموزان از علم زمانی افزایش می‌یابد که بتوانند آنچه را که در یک مدل به تصویر کشیده شده است تعریف کنند و بتوانند ارتباط مفهومی بین مدل و واقعیت ایجاد کنند (یانسن[10] و همکاران، ۲۰۱۹). مزایای درگیرکردن دانش‌آموزان در فعالیت‌های مدل‌سازی تنها زمانی به‌خوبی آشکار می‌شود که دانش‌آموزان ماهیت و هدف مدل‌ها در علم را درک کنند و همچنین درک کنند که مدل‌ها چگونه ساخته می‌شوند (سینس[11] و همکاران، ۲۰۰۹؛ یانسن و همکاران، ۲۰۱۹).

پژوهشگران این مطالعه با بررسی پیشینه موضوع دریافتند که داشتن درک از ماهیت مدل و مدل‌سازی ممکن است به دانش‌آموزان در استفاده و توسعه مدل‌ها کمک کند، زیرا درک معرفت‌شناختیِ دانش‌آموزان در مورد مدل‌ها و فرایند مدل‌سازی به نحوه برخورد آن‌ها با مطالب و در نهایت با آنچه می‌آموزند مرتبط است؛ به‌عنوان نمونه تریگوست[12] و همکاران (۲۰۰۲)؛ کرافورد و کولین[13] (۲۰۰۴)؛ و لازنبی و بکر (۲۰۲۰) نشان دادند که درک معرفت‌شناختی ضعیف ممکن است دانش‌آموزان را در استفاده و توسعه مدل‌های علمی محدود کند. از طرفی استفاده از مدل‌ها می‌تواند به توسعه بسیاری از مهارت‌های شناختی کمک کند؛ به‌طور ویژه هوفر[14] (۲۰۰۱)؛ سینس و همکاران (۲۰۰۹)؛ پرزنسکی[15] و همکاران (۲۰۱۷)؛ و جارسکی[16] و همکاران (۲۰۲۰)

1. Kind & Osborne
2. Lehrer & Schauble
3. De Andrade
4. Sjøberg
5. Xiang
6. Nguyen & Santagata
7. Schwarz and white
8. Burgin
9. National Research Council
10. Jansen
11. sins
12. Treagust
13. Crawford & Cullin
14. Hofer
15. Prezenski
16. Jarecki

افزایش درک معرفت‌شناختی دانش‌آموزان را بر پردازش شناختی بهتر آن‌ها در طول مدل‌سازی تأثیرگذار می‌دانند. یکی از مهم‌ترین پردازش‌های شناختی دانش‌آموزان مهارت تفکر آنان و البته قدرت استدلال کردن آنها است. هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی رابطه بین استدلال علّی دانش‌آموزان در طول انجام یک تکلیف مدل‌سازی با موضوع حرکت‌شناسی و درک آن‌ها از مدلی است که در حال ساخت آن هستند؛ و سؤال اصلی پژوهش این‌گونه مطرح می‌شود: *چه رابطه‌ای بین سطح درک دانش‌آموزان از مدل و فرایند مدل‌سازی و سطح استدلال علّی آنها در طول عمل مدل‌سازی وجود دارد؟*

۲. روش پژوهش

این پژوهش کمی با رویکرد توصیفی – همبستگی انجام شده است. در ادامه ضمن معرفی نمونه و نحوه گردآوری داده‌ها، به ابزارهای مورداستفاده در پژوهش، فعالیت‌های مربوط به مدل‌سازی و نحوه تحلیل داده‌ها اشاره خواهد شد.

۲-۱. نمونه و روش گردآوری داده‌ها

در این پژوهش ۸۵ دانش‌آموز دوره دوم متوسطه شهر اهواز که در سال تحصیلی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در پایه دوازدهم رشته‌های تجربی و ریاضی و در دسترس بودند انتخاب شدند. ۳۹ نفر (۴۶٪) از مشارکت‌کنندگان را دختران و ۴۶ نفر (۵۴٪) را پسران تشکیل می‌دادند. به‌منظور اطمینان از یکسان بودن تقریبی سواد خواندن و نوشتن دانش‌آموزان (برای نوشتن استدلال‌های علمی) و سواد علمی آنها (برای ساختن مدل مفهومی) همه مشارکت‌کنندگان از مدارس دولتی شهر اهواز انتخاب شده و بررسی کارنامه تحصیلی دو سال اول دوره متوسطه آنها نشان داد که میانگین نمرات درس ادبیات فارسی آنها ۱۷/۵۰ با انحراف استاندارد ۱/۲۳ و میانگین دروس ریاضی و فیزیک آنها به ترتیب ۱۴/۵ و ۱۵/۲۵ با انحراف استاندارد ۰/۷۴ و ۰/۹۱ بود. داده‌های مربوط به استدلال علّی مشارکت‌کنندگان به کمک آزمون چندگزینه‌ای (انتها-باز) و داده‌های مربوط به درک از مدل به کمک آزمون استاندارد گردآوری شد. جزئیات مربوط به این دو ابزار در ادامه تشریح خواهد شد.

۲-۲. ابزار پژوهش

پژوهشگران به‌منظور بررسی استدلال علّی دانش‌آموزان از آزمون "درک مفهومی حرکت‌شناسی پایه[1]" (bMCU) استفاده کردند، این آزمون توسط هوفر[2] و همکاران (۲۰۱۷) در دانشگاه صنعتی مونیخ طراحی و اعتباریابی شده است. به گفته سازندگان، آزمون bMCU به اندازه‌گیری منصفانه، کارآمد و دقیق درک مفهومی دانش‌آموزان دبیرستانی از مکانیک نیوتنی می‌پردازد و برای استفاده در کلاس درس فیزیک یا تحقیقات آموزشی مفید است (هوفر و همکاران، ۲۰۱۷). در این مطالعه از ۴ سؤال این آزمون با یک تغییر کوچک در متن سؤال‌ها استفاده شد. تغییر مربوط به اضافه‌کردن انتهای باز برای هر سؤال بود و از دانش‌آموزان خواسته شد که پس از پاسخ به یکی از گزینه‌ها، علت انتخاب آن پاسخ را نوشته و به استدلال در مورد آن بپردازند.

سنجش درک دانش‌آموزان از مدل به کمک پرسشنامه "درک دانش‌آموزان از مدل‌ها در علوم[3]" (SUMS) صورت گرفت. این ابزار که توسط تریگوست و همکاران (۲۰۰۲) طراحی و اعتباریابی شده است به شناسایی پنج موضوع در مورد درک دانش‌آموزان از مدل‌های علمی می‌پردازد که عبارت‌اند از: مدل‌های علمی به‌عنوان نمایش‌های چندگانه؛ مدل‌ها به‌عنوان کپی دقیق واقعیت؛ مدل‌ها به‌عنوان ابزار تبیینی؛ نحوه استفاده از مدل‌های علمی؛ و ماهیت در حال تغییر مدل‌های علمی. ابزار SUMS یک پرسشنامه ۲۷ سؤالی است که دانش‌آموزان در مقیاس پنج‌درجه‌ای لیکرت به سؤال‌های آن پاسخ دادند. کمترین پایایی (همسانی درونی) در بعد مدل به‌عنوان ابزار تبیینی با مقدار آلفای کرونباخ ۰/۸۳ و بیشترین پایایی (همسانی درونی) در بعد نمایش چندگانه مدل با مقدار آلفای کرونباخ ۰/۸۹ مشاهده شد. این مقادیر برای پژوهش تریگوست و همکاران (۲۰۰۲) که تنها برای دانش آموزان اجرا شده بود بین ۰/۷۳ تا ۰/۸۵ بوده است. در پژوهش مشهدی‌زاده (۱۴۰۲)، پرسشنامه تریگوست و همکاران ترجمه و روایی ظاهری و محتوایی آن تأیید شده است.

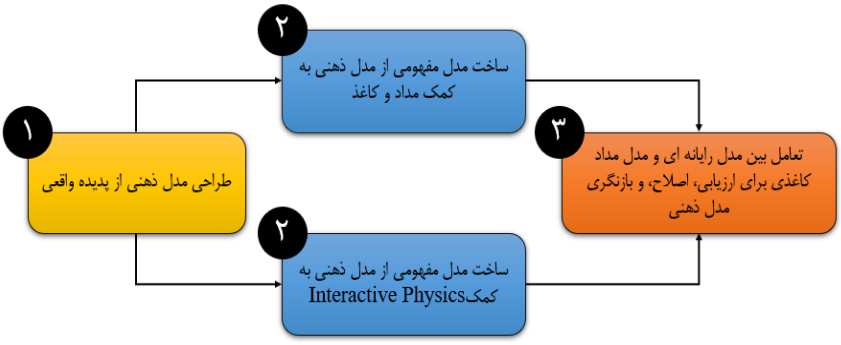
1. basic Mechanics Conceptual Understanding (bMCU)
2. Hofer
3. Students' Understanding of Models in Science (SUMS)

۳-۲. فعالیت مدل‌سازی با موضوع حرکت‌شناسی

برای هر دانش‌آموز چهار فعالیت مدل‌سازی طراحی شده بود. دستورالعمل طراحی مدل‌ها با سؤال‌های آزمون bMCU تناسب داشت، در واقع دانش‌آموزان به‌منظور پاسخگویی به سؤال‌های آزمون و نوشتن استدلال دست به مدل‌سازی می‌زدند. دانش‌آموزان در ابتدا با محیط مدل‌سازی رایانه‌ای آشنایی کمی داشتند، آنها تنها به گفته خودشان می‌توانستند با رایانه کار کنند و مهارت‌های پایه رایانه‌ای را داشتند و این برای شروع کافی بود. پژوهشگران پیش از اجرای آزمون bMCU طی چهار جلسه ۶۰ دقیقه‌ای دانش‌آموزان را با محیط نرم‌افزار اینتراکتیو فیزیکس[1] آشنا کردند و دانش‌آموزان نحوه کار با قسمت‌های مختلف نرم‌افزار و کارکردهای آن را آموختند. دانش‌آموزان می‌توانستند هم با گوشی تلفن همراه و هم به کمک رایانه‌های شخصی و به کمک نرم‌افزار اینتراکتیو فیزیکس مدل‌های دلخواه خود با موضوع حرکت‌شناسی را بسازند، بازنگری کنند، اصلاح کنند و به‌طور خلاقانه از آن برای توصیف، پیش‌بینی و یا تبیین رویدادهای واقعی استفاده کنند. شرکت DST که سازنده نرم‌افزار اینتراکتیو فیزیکس است در وب سایت خود[2] این نرم‌افزار را این‌گونه معرفی کرده است:

نرم‌افزاری است که در تمامی شاخه‌های علم حرکت‌شناسی کاربرد دارد. این نرم‌افزار برنده جایزه بهترین نرم‌افزار آموزشی می‌باشد که تجربه‌ای هیجان‌انگیز را برای مشاهده، بررسی و اکتشاف در دنیای فیزیک از طریق شبیه‌سازی آزمایشات و فرآیندهای آن خلق می‌کند. کاربر می‌تواند با استفاده از ویژگی‌های قدرتمند این برنامه به شبیه‌سازی و تصویرسازی وقایع فیزیکی و اندازه‌گیری پارامترهای مختلف از جمله گرانش، نیرو، سرعت، شتاب و ... بپردازد. رابط کاربری و استفاده از این نرم‌افزار بسیار ساده بوده و هر کس با کمترین دانش رایانه‌ای قادر به شبیه‌سازی، مدل‌سازی و اکتشاف در پدیده‌های فیزیک خواهد بود.

دانش‌آموزان عمل مدل‌سازی را مطابق چارچوب مدل‌سازی دوکانونی[3] انجام می‌دادند. چارچوب مدل‌سازی دوکانونی (BMF) یک رویکرد مبتنی بر کاوشگری برای آموزش علوم است که دانش‌آموزان را قادر می‌سازد تا ارتباطات بین آزمایش‌های دنیای واقعی، یا مدل‌های مفهومی با مدل‌های رایانه‌ای را سازمان‌دهی و ارزیابی کنند. اصطلاح "دوکانونی" برای توصیف تمرکز دوگانه بر روی مدل‌های دنیای واقعی و مجازی انتخاب شد (بلیکشتاین[4] و همکاران، ۲۰۱۶). مدل‌سازی دو کانونی از دو جهت متمایز با مدل‌سازی رایانه‌ای سنتی است. اولاً، این فرصت را برای دانش‌آموزان فراهم می‌کند که مدل‌ها و شبیه‌سازی‌های خود را ایجاد کنند و فرایند را از یک تعامل ساده ارتقا دهند. ثانیاً، داده‌های تجربی یا نظری آنی را در برمی‌گیرد، به این معنی که نقش مدل‌سازی رایانه‌ای صرفاً یک فرایند تأییدی نیست که پس از فعالیت‌های مدل‌سازی رخ دهد؛ بلکه در رویکرد BMF مقایسه مدل‌ها با داده‌های واقعی در واحد درسی ادغام می‌شود و امکان اصلاح مداوم مدل را فراهم می‌کند؛ همچنین مدل‌سازی دوکانونی، نوعی مدل‌سازی هیبریدی است که می‌تواند ترکیبی از هر دو نوع مدلی باشد (فوهرمان[5] و همکاران، ۲۰۱۸). در این پژوهش، مدل‌سازی دوکانونی به‌صورت ترکیبی از دو رویکرد مدل‌سازی مداد–کاغذی و رایانه‌ای است (شکل ۱).



شکل ۱. مراحل انجام مدل‌سازی دوکانونی به کمک نرم‌افزار اینتراکتیو فیزیکس در این پژوهش

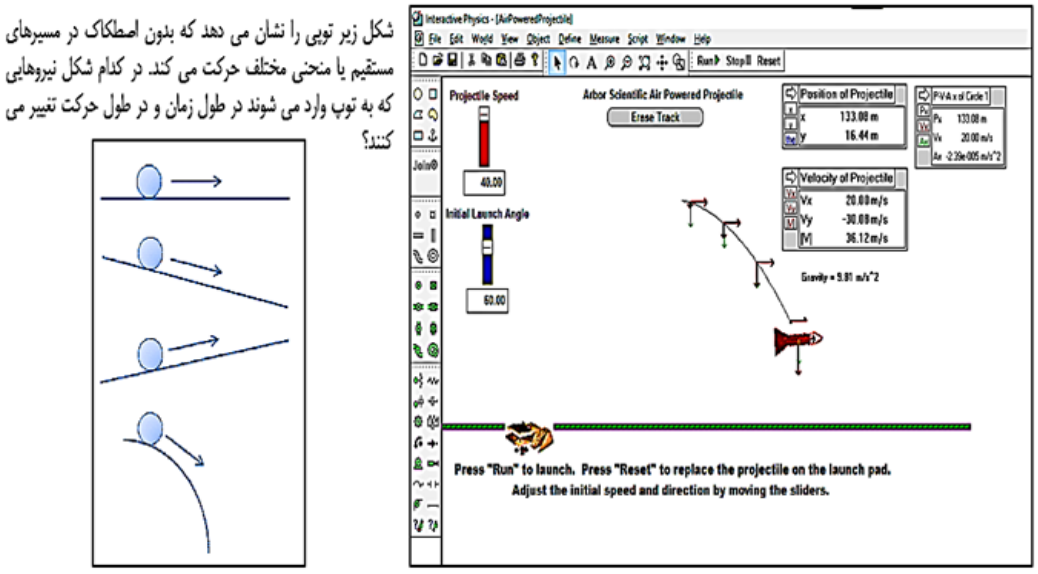
1. Interactive physics
2. https://www.design-simulation.com/IP/index.php
3. Bifocal Modeling Framework (BMF)
4. Blikstein
5. Fuhrmann

دانش‌آموزان پس از دریافت سؤال‌های آزمون bMCU طی مراحل زیر و با راهنمایی پژوهشگران اقدام به انجام فعالیت مدل‌سازی کردند:

(۱) طراحی (تشکیل) مدل ذهنی: برای موضوع حرکت‌شناسی (نیروها و مسیر حرکت اجسام) مطرح‌شده در آزمون، دانش‌آموزان سؤالاتی را که می‌خواهند درباره آن بحث کنند، طرح می‌کنند، با فرضیه‌ها، توضیحات و انتظارات پیش می‌روند و سپس یک مدل ذهنی برای موضوع طراحی می‌کنند. دانش‌آموزان اغلب عوامل ممکن را تعریف می‌کنند و اصول یا الگوریتم‌های را برای مدل‌سازی پدیده هدف مفهوم‌سازی می‌کنند.

(۲) ساخت مدل‌های مفهومی: برای تعیین ماهیت مدل حرکت‌شناسی مطرح‌شده، دانش‌آموزان یک مدل کاغذی–مدادی و مدل رایانه‌ای مربوطه را می‌سازند (مدل‌سازی به‌صورت تک‌نفری اما با موضوعی مشترک انجام‌شده است).

(۳) تعامل بین مدل‌های مفهومی: دانش‌آموزان با مدل مداد کاغذی خود از طریق توصیف یا استدلال تعامل دارند. به‌طور همزمان، آنها به کمک رایانه و با تغییر پارامترهای مدل، تغییر اجزای مدل، مشاهده نتایج به‌صورت تصویری و سپس تجدیدنظر در مدل مداد–کاغذی (تعامل بین مدل‌های مفهومی برای تصحیح و بازنگری مدل ذهنی) با مدل رایانه‌ای خود تعامل دارند. شکل ۲ مدل مطرح شده در آزمون bMCU و مدل همانند آن‌که به کمک نرم‌افزار اینتراکتیو طراحی شده است را نمایش داده است.



شکل ۲. مدل مطرح شده در سؤال آزمون bMCU و مدل طراحی‌شده به کمک نرم‌افزار اینتراکتیو فیزیکس

۲-۴ تحلیل و نمره‌گذاری برای استدلال علّی

چارچوب استدلال علّی شامل عنصر، شواهد (دلائل) و انسجام علّی[1] است. عنصر همان مؤلفه‌های سیستمی و فرایندی است که دانش‌آموزان می‌توانند برای انجام استدلال به شناسایی آنها بپردازند، عناصر توسط دانش‌آموز نامبرده می‌شوند یا فهرست می‌شوند؛ شواهد یا همان دلائل به واقعیت‌هایی اشاره دارد که دانش‌آموزان از داده‌ها استخراج می‌کنند. انسجام علّی، وضعیتی را توصیف می‌کند که تبیین‌های علّی، زنجیرهای منسجم و منطقی از استدلال‌های علمی را نشان می‌دهند که عناصر قابل‌مشاهده (حتی غیرقابل‌مشاهده) و ایده‌های علمی را به هم متصل می‌کنند (کانگ[2] و همکاران، ۲۰۱۴). به‌منظور سنجش استدلال علّی در سه بعد عنصر، شواهد (دلائل) و انسجام علّی، پاسخ‌های تشریحی دانش‌آموزان به سؤال‌های آزمون bMCU آن‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌کنید، کدگذاری شدند.

1. Elements, Evidence, Causal coherence
2. Kang

جدول ۱. طرح کدگذاری و نمره‌گذاری پاسخ‌های تشریحی به سؤال‌های آزمون bMCU

ابعاد استدلال	کدها (نشانگرها)	مقدار نمره برای هر کد		
		۰	۱	۲
عناصر استدلال	تعداد عناصر یک استدلال که دانش‌آموز در پاسخ خود از آنها استفاده کرده است. نیروها، انرژی‌ها، سرعت و یا جابه‌جایی	اگر بین ۰ تا ۱ عنصر شناسایی شود	بین ۲ تا ۴ عنصر شناسایی شود.	۵ یا بیش از ۵ عنصر شناسایی شود.
شواهد استدلال	میزان دلایل و شواهدی که دانش‌آموزان از طریق مشاهده مستقیم به دست می‌آورند یا داده‌هایی که در اثبات ادعاهایشان ارائه می‌کنند (حرکت یکنواخت یا شتاب‌دار جسم، تغییر مسیر جسم، حرکت تند شونده یا کند شونده جسم)	این‌طور فکر می‌کنم؛ چون به نظرم درسته. اظهارنظر بدون دلیل	ارائه دلایل و شواهد بدون ارتباط‌دادن آنها به توضیحات علی (تبیین ناقص)	ارائه دلایل و ارتباط‌دادن آنها به توضیحات علی (تبیین)
انسجام علّی استدلال	عمق و انسجام پیوندهایی که دانش‌آموزان بین عنصرها و سازوکارهای علّی کشف کرده و در پاسخ خود آورده‌اند (استفاده هم‌زمان از مفهوم سرعت و شتاب برای توجیه نوع حرکت و یا کاربست قوانین نیوتن برای توجیه حرکت یکنواخت)	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 غیرخطی[2]، توجه جامع به همه دلایل و ارتباط بین دلایل مختلف و ایجاد یک نظام علی

برای رسیدن به چارچوب عینی نمره‌گذاری، ابتدا از سه معلم درس فیزیک که سابقه بیش از ده سال تدریس داشتند خواسته شد تا ۲۰ پرسشنامه را به‌صورت تصادفی کدگذاری و سپس نمره‌گذاری کنند. نمره هر دانش‌آموز در استدلال علّی بر اساس تعداد کدهایی که در پاسخ آنها یافت می‌شد تعیین گردید. آماره کاپای کوهن برای بررسی توافق سه داور استفاده شد (ایسکی[3]، ۲۰۲۰). مقدار آماره کوهن برای توافق داوران بین کدهای هر سه قسمت استدلال علّی به ترتیب عبارت بودند از K=۰,۹۱، K=۰,۸۹ و K=۰,۹۴. مقادیر بالای آماره کوهن نشان از توافق بالای داوران (معلمان) در نمره‌گذاری است و اکنون می‌توان با اطمینان چارچوب کدگذاری و نمره‌گذاری جدول ۱ را که عینیت بیشتری یافته است را برای سایر دانش آموزان نیز به کار برد.

۲-۵ تحلیل آماری

نمره استدلال علّی دانش‌آموزان مطابق با طرح جدول ۱ قابل محاسبه است، هر دانش‌آموز در مورد چهار موقعیت متفاوت حرکت‌شناسی استدلال کرده و برای هر موقعیت می‌تواند نمره صفر تا ۶ را دریافت کند (از هر بعد استدلال حداکثر ۲ نمره). کمترین نمره استدلال علّی صفر و بیشترین آن ۲۴ است. نمره‌های بالاتر، نشان از مهارت بالاتر دانش‌آموزان در درک عناصر، بیان دلائل و انسجام بیشتر علّت‌هایی است که برای آن رخداد بیان می‌کند.

درک دانش‌آموزان از ماهیت مدل‌ها در مؤلفه‌های: مدل‌های علمی به‌عنوان نمایش‌های چندگانه؛ مدل‌ها به‌عنوان کپی دقیق واقعیت؛ مدل‌ها به‌عنوان ابزار تبیینی؛ نحوه استفاده از مدل‌های علمی؛ و ماهیت در حال تغییر مدل‌های علمی اندازه‌گیری شده و دانش‌آموزان بر اساس این پنج مؤلفه و با استفاده از تحلیل خوشه‌ای[4] دسته‌بندی شدند. این دسته‌بندی به کمک تحلیل خوشه‌ای K-mean صورت گرفت. K-means یک الگوریتم خوشه‌بندی است که برای تقسیم داده‌ها به تعداد معینی گروه مجزا (مثلاً K تا) طراحی شده است (سلبی[5] و همکاران، ۲۰۱۳؛ هوانگ و همکاران، ۲۰۲۱). به‌عبارت‌دیگر، K-means مواردی را پیدا می‌کند که ویژگی‌های مهم مشترکی دارند و آنها را با هم در خوشه‌ها طبقه‌بندی می‌کند (جاین[6]، ۲۰۱۰؛ ایکوتون[7]، ۲۰۲۳). پس از خوشه‌بندی دانش‌آموزان بر اساس میزان درک آنها از مدل‌ها، به کمک آزمون تفاوت بین دو میانگین مستقل، مهارت استدلال علّی آنها در خوشه‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شد.

برای بررسی رابطه بین استدلال دانش‌آموزان و درک آنها از مدل‌ها، از همبستگی کانونی[8] که نوعی همبستگی چندمتغیری است استفاده شده است. هرگاه نیاز به تحلیل رابطه بین دودسته متغیر باشد، استفاده از همبستگی کانونی (متعارف) شیوه مناسبی

1. Linear causal
2. Nonlinear/coherent causal
3. Iseki
4. Clustering Analysis
5. Celebi
6. Jain
7. Ikotun
8. Canonical

خواهد بود (پیتاچ و استیونس[1]، ۲۰۱۶) و پژوهشگران با پشتوانه نظری مناسب و طراحی تحقیق، ممکن است متغیرهای مرتبط را انتخاب و سپس دو مجموعه متغیر متعارف را تشکیل بدهند و میزان همبستگی بین آن دو دسته را محاسبه کنند (نیمون[2] و همکاران، ۲۰۱۰). در این پژوهش نیز با دو دسته متغیر روبرو هستیم، دسته اول سه بعد مربوط به استدلال علّی هستند و دسته دوم پنج مؤلفه مربوط به درک دانش‌آموزان از ماهیت مدل هستند. متغیرها در علوم رفتاری عموماً بسیط نیستند و بیشتر متغیرها دارای چند بعد هستند. تحلیل همبستگی متضمن افرازکردن مجموعه‌ای از متغیرها به دو مجموعه است. مثلاً مجموعه متغیرهای X و مجموعه متغیرهای Y را در رابطه (۱) در نظر بگیرید:

$$V = b_1 y_1 + b_2 y_2 + \ldots + b_q y_q \quad U = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \ldots + a_p x_p \qquad (۱)$$

هدف از این همبستگی به‌دست‌آوردن بهینه‌ترین ترکیب خطی از متغیرهای X و Y است، به صورتی که متغیرهای U و V دارای بیشترین همبستگی باشند. به U و V متغیرهای کانونی (متغیر مرکب) می‌گوییم. این فرایند به‌صورت گام‌به‌گام است و در مراحل بعدی مجموعه ترکیب‌هایی یافت می‌شوند که بیشترین همبستگی را با هم داشته باشند، اما الزاماً همه آن ترکیب‌ها تبیین‌کننده شاخص و معناداری نیستند (پیتاچ و استیونس، ۲۰۱۶).

۳. یافته‌های پژوهش

تحلیل خوشه‌ای به پژوهشگران کمک کرد تا دانش‌آموزان بر اساس درک از مدل و فرایند مدل‌سازی علمی، به دو خوشه مجزا طبقه‌بندی شوند، طبقه یک که *سطح مطلوب درک مدل* نام‌گذاری شد، مربوط به دانش‌آموزانی است که درک بالایی نسبت به ماهیت مدل‌ها دارند و درباره اهداف و کاربرد آنها نظر کارشناسی دارند؛ و در مقابل طبقه دوم که *سطح خام درک مدل* نام‌گذاری شد، مربوط به دانش‌آموزانی است که درکی خام و ابتدائی در مورد مدل‌ها داشتند. تحلیل خوشه‌ای ۲۹ نفر از دانش آموزان را در سطح مطلوب درک از مدل و ۵۶ نفر از آنان را در سطح خام درک از مدل قرار داد. جدول ۲ میانگین ابعاد استدلال علّی در دو سطح مطلوب و خام را با هم مقایسه کرده است.

جدول ۲. مقایسه میانگین استدلال علّی در سطوح متفاوت درک از مدل‌ها

ابعاد استدلال علّی	سطح درک از مدل	تعداد	میانگین	انحراف استاندارد	آماره تی	سطح معناداری (درجه آزادی)
شناسایی عناصر استدلال	سطح مطلوب	۲۹	۵/۱۴	۱/۶۸	۰/۷۵۰	۰/۴۵۵ (۸۳)
	سطح خام	۵۶	۴/۸۶	۱/۶۱		
آوردن شواهد و دلائل	سطح مطلوب	۲۹	۵/۵۹	۰/۹۴	۷/۴۳	۰/۰۰۰۱ (۸۳)
	سطح خام	۵۶	۳/۳۲	۱/۴۹		
انسجام بین شواهد و دلائل	سطح مطلوب	۲۹	۴/۲۸	۱/۴۶	۱۱/۲۵	۰/۰۰۰۱ (۸۳)
	سطح خام	۵۶	۱/۱۸	۱/۰۴		
نمره استدلال علّی*	سطح مطلوب	۲۹	۱۵	۲/۳۶	۱۰/۰۶	۰/۰۰۰۱ (۸۳)
	سطح خام	۵۶	۹/۳۶	۲/۴۶		

*یادداشت: این نمره از مجموع نمره سه بعد استدلال علّی محاسبه شده است.

دانش‌آموزانی که در سطح مطلوب درک از مدل‌ها قرار داشتند به‌طورکلی در انجام استدلال علّی برتری معناداری نسبت به دانش‌آموزانی داشتند که در سطح خام درک از مدل قرار دارند، این برتری در همه ابعاد استدلال علّی به‌جز بعد شناسایی عناصر استدلال نیز به چشم می‌خورد.

به‌منظور نشان‌دادن ارتباط بین متغیر مرکب استدلال علّی که شامل ابعاد: شناسایی عناصر؛ آوردن شواهد؛ و انسجام شواهد است و متغیر مرکب درک از مدل که شامل ابعاد: مدل‌های علمی به‌عنوان نمایش‌های چندگانه؛ مدل‌ها به‌عنوان کپی دقیق واقعیت؛ مدل‌ها به‌عنوان ابزار تبیینی؛ نحوه استفاده از مدل‌های علمی؛ و ماهیت در حال تغییر مدل‌های علمی می‌شود از تحلیل

1. Pituch & stevens
2. Nimon

همبستگی کانونی استفاده شد. آن‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌کنید سه ترکیب ممکن از متغیرها وجود دارد، به این معنی که متغیرهای تشکیل‌دهنده استدلال علّی به سه صورت مختلف می‌توانند با یکدیگر ترکیب شوند و متغیر کانونی استدلال علّی را به وجود بیاورند، همین شرایط نیز برای متغیر کانونی درک از مدل نیز وجود دارد.

جدول ۳. همبستگی کانونی بین استدلال علّی و درک از مدل (سه ترکیب متفاوت)

ترکیب خطی متغیرها	همبستگی کانونی	مقدار ویژه	آماره ویلکس	آماره F	درجه آزادی	سطح معناداری
ترکیب الف	۰/۸۲۱	۲/۰۶	۰/۲۸۰	۸/۳۱	۱۵ و ۲۱۲	۰/۰۰۰
ترکیب ب	۰/۳۴۴	۰/۱۳۴	۰/۸۶۰	۱/۵۳	۸ و ۱۵۶	۰/۱۵۰
ترکیب پ	۰/۱۵۸	۰/۰۲۶	۰/۹۷۵	۰/۶۷	۳ و ۷۹	۰/۵۷۱

آن‌گونه که در جدول ۳ می‌بینید، از سه ترکیب ممکن تنها ترکیب الف، معنادار است و همبستگی بین دو متغیر مرکب که مقدار آن ۰/۸۲۱ است، تفاوت معناداری با صفر دارد. در این حالت (ترکیب الف) درصد واریانس تبیین شده از متغیر مرکب استدلال علّی توسط متغیر مرکب درک از مدل برابر با ۰/۵۷۴ است که همبستگی مثبت و قوی بین آن دو را نشان می‌دهد.

وزن‌های کانونی تعیین‌کننده سهم هر یک از متغیرها در همبستگی کانونی است. در رابطه (۱) وزن‌های کانونی مشخص شده‌اند که تفسیر آنها شبیه ضرایب رگرسیون است. همچنین مقدار همبستگی ساده بین هر کدام از متغیرها و متغیر کانونی متناظر را همبستگی ساختاری یا بارکانونی می‌گویند (پیتاچ و استیونس، ۲۰۱۶). جدول ۴ وزن‌ها و بارهای کانونی را برای ترکیب الف نمایش می‌دهد.

جدول ۴. وزن‌ها و بارهای کانونی برای ترکیب خطی الف

متغیر کانونی	ابعاد	وزن کانونی	بار کانونی
استدلال علّی	شناسایی عناصر استدلال	۰/۰۱۶	۰/۶۸۲
	آوردن شواهد و دلائل	۰/۲۱۷	۰/۷۶۶
	انسجام شواهد و دلائل	۰/۳۹۶	۰/۸۹۳
درک از مدل	نمایش‌های چندگانه یک مدل	۰/۰۹۴	۰/۷۷۱
	مدل، کپی از واقعیت	۰/۱۱۲	۰/۸۹۶
	مدل، ابزاری برای تبیین	۰/۰۷۲	۰/۸۵۴
	استفاده از مدل	۰/۰۴۵	۰/۸۵۱
	ماهیت متغیر مدل‌ها	۰/۰۸۳	۰/۸۷۲

وزن‌های کانونی و بارهای متناظر با آنها در جدول ۴، به‌صورت استاندارد گزارش شده‌اند و قابل‌مقایسه هستند بنابراین بعد انسجام بین شواهد و دلائل مهمترین نقش را در ایجاد متغیر کانونی استدلال علّی داشته و از طرفی متغیر مدل‌ها به‌صورت کپی از واقعیت بیشترین نقش را در ایجاد متغیر کانونی درک از مدل داشته است.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی رابطه بین درک دانش‌آموزان دوره دوم متوسطه از مدل‌های مفهومی با موضوع حرکت‌شناسی و استدلال علّی پرداخته شد. پژوهشگران انتظار داشتند تا دانش‌آموزانی که درک عمیق‌تر و مطلوب‌تری از مدل و فرایند مدل‌سازی مفهومی دارند، از تفکر سطح بالاتری نیز برخوردار باشند. نشانه تفکر سطح بالا در این پژوهش انجام استدلال علّی در مورد یک رخداد طبیعی به‌صورت دقیق و شامل ابعاد عنصر استدلال، شواهد استدلال و انسجام علّی بود. یافته‌ها نشان داد که به‌طور متوسط، درک دانش‌آموزان از مدل و فرایند مدل‌سازی با یکدیگر متفاوت است، برخی از آنها به‌خوبی با ماهیت مدل‌ها آشنایی داشته و از ویژگی و کاربرد آنها مطلع بودند و برخی دیگر مفهوم مدل برایشان کم‌رنگ و دور از ذهن بوده است. دانش‌آموزان با سطح درک مطلوب و کارشناسانه نسبت به مدل، به‌گونه‌ای بهتر و باکیفیت‌تر دست به استدلال علّی می‌زدند و اصول تفکر سیستمی را به‌خوبی اجرا می‌کردند. در مقایسه با مطالعاتی که به‌صورت مشابه در مقدمه گزارش شده است به نظر می‌رسد این یافته با گزارش‌های تریگوست و همکاران (۲۰۰۲)، شوارتز، وایت (۲۰۰۵) و لازنبی و همکاران (۲۰۲۰) همسویی داشته باشد، این پژوهش‌ها در

چارچوب کلی و یا در قالب یک برنامه درسی علوم دست به ارزیابی درک از مدل زده‌اند، حال‌آنکه پژوهش حاضر به‌صورت خاص حوزه به موضوع حرکت‌شناسی پرداخته است. همچنین بین مهارت استدلال علّی دانش‌آموزان و درک آنها از مدل‌ها نیز همبستگی نسبتاً قوی و مثبتی مشاهده شد که البته این نتیجه قابل‌انتظار، با یافته‌های سینس و همکاران (۲۰۰۹) هم‌خوانی دارد، هر چند آن پژوهش بیشتر اثر درک معرفت‌شناختی از مدل‌های رایانه‌ای را روی پردازش شناختی و موضوع تفکر عمیق بررسی کرده و به‌طور ویژه به مهارت استدلال نپرداخته است.

یافته‌ها نشان داد که درک دانش‌آموزان از مدل و فرایند مدل‌سازی، چه به‌صورت کارشناسی و مطلوب و چه به‌صورت خام و سطحی تأثیری بر بعد شناسایی عناصر استدلال علّی نداشته است، به‌گونه‌ای که تفاوت فاحشی بین میانگین نمره استدلال علّی در این بعد در هر دو دسته دانش‌آموز دیده نشد. این موضوع از این منظر قابل‌توجیه است که شناسایی اجزای استدلال و عناصر لازم برای شروع استدلال به دانش امور واقعی و روندی دانش‌آموزان تکیه دارد به‌طوری‌که نام‌بردن، فهرست‌کردن، بازنمایی‌کردن و به یادآوردن عناصر و اجزای استدلال (به‌طور خاص مهم‌ترین عناصر استدلال در حرکت‌شناسی مثل سرعت، نیرو، شتاب و...) مطابق با طبقه‌بندی بازنگری شده بلوم برای آموزش و یادگیری (آندرسون و بلوم[1]، ۲۰۱۴) متعلق به سطوح پایین یادگیری است، به همین خاطر دانستن ماهیت مدل‌ها و یا ندانستن ماهیت آنها تأثیر چندانی روی این بعد از استدلال علّی نخواهد داشت؛ زیرا که در سطح دانش بوده و به مهارت‌های شناختی سطح بالاتر که ساختن و کاربرد مدل‌ها مستلزم داشتن آنها است، نیازی ندارد. پس نمی‌توان ارتباط معناداری بین آگاه بودن از مدل‌ها و شناسایی عناصر استدلال ایجاد کرد.

فرآیند مدل‌سازی شامل چرخه‌های مکرر توسعه (ایجاد)، بازنمایی و آزمایش است (نیلسن و نیلسن[2]، ۲۰۲۱)، بنابراین می‌توان چنین استدلال کرد که مدل‌سازی نقش به سزایی در کاوشگری علمی و البته یادگیری علوم خواهد داشت و همین‌طور علم به‌عنوان فرآیندی برای تولید دانش می‌تواند برای تولید مدل نیز تعبیر و تفسیر شود. از طرفی یکی از مهمترین شایستگی‌های مدل‌سازی، دانش فرا مدل‌سازی[3] است. فرامدل سازی مهارتی فراشناختی است که دانش‌آموز به کمک آن به بازبینی، اصلاح و ارزیابی مدل‌ها می‌پردازد (فورتوس[4] و همکاران، ۲۰۱۶). شوارتز و همکاران (۲۰۰۹)، کرل[5] و همکاران (۲۰۱۵)، چیو و لین[6] (۲۰۱۹) براین باور هستند که داشتن دانش فرامدل سازی بر آموزش و ارزیابی علوم تأثیر می‌گذارد. در مدل تریگوست و همکاران (۲۰۰۲) که برای بررسی درک دانش‌آموزان از مدل از آن در این پژوهش استفاده شد، دو بعد ماهیت متغیر مدل‌ها و استفاده از مدل به‌عنوان ابزاری برای تبیین بیشترین ارتباط را با دانش فرامدل‌سازی دانش‌آموزان دارند. از طرفی ایجاد ارتباط بین عناصر یک استدلال و منسجم کردن شواهد با هدف تبیین چیستی، چرایی و چگونگی یک پدیده طبیعی از مهمترین ابعاد استدلال علّی هستند (نگویان و همکاران، ۲۰۲۰) و مهارت داشتن در این دو بعد مستلزم داشتن مهارت‌های فراشناختی مثل قدرت پیش‌بینی، اصلاح و بازنگری مفاهیم دارد که مهارت‌های پایه کاوشگری و یادگیری علوم نیز هستند. پیوند بین مهارت‌های فراشناختی در کاوشگری علمی و استدلال علّی ازیک‌طرف؛ و دانش فرامدل‌سازی در ساختن مدل‌ها از طرف دیگر باعث می‌شود دانش‌آموزانی که درک و آگاهی بالاتری نسبت به اهداف و ویژگی مدل‌ها دارند و به اصلاح، بازنگری و ارزیابی مدل‌ها می‌پردازند، بتوانند اصولی‌تر و علمی‌تر استدلال کنند و حتی در سطح بهتری به کاوشگری علمی بپردازند. برای این دسته از دانش آموزان که در سطح مطلوب دانش فرامدل‌سازی قرار دارند؛ یافتن یک علّت و ارتباط‌دادن آن با دنیای واقعی و بیان چرایی و چگونگی یک رخداد به مراتب ساده‌تر است. از این منظر ارتباط مثبت و قوی بین استدلال علّی دانش‌آموزان و درک آنها از مدل توجیه‌پذیر است.

نتیجه مهم دیگر این پژوهش نقش مهم "انسجام علّی" در انجام استدلال علّی، است. بررسی همبستگی ساختاری و بارهای علّی متغیر کانونی استدلال علّی نشان داد که مهارت دانش‌آموزان در ایجاد پیوند مناسب بین اجزای استدلال علّی و دیدگاه کل‌نگر آنها به ساختار استدلال علّی، از اصلی‌ترین مؤلفه‌های انجام استدلال علّی است. هر چند هدف این پژوهش بررسی دقیق این ارتباط نیست؛ اما به نظر می‌رسد، مهارت‌های کاوشگری دانش‌آموزان مانند پرسشگری، مشاهده، استنتاج می‌توانند به تقویت

1. Anderson & Bloom
2. Nielsen
3. Meta-modeling
4. Fortus
5. Krell
6. Chiu & lin

این جنبه از تفکر و استدلال بپردازند. فعالیت‌های کاوشگری و مدل‌سازی ماهیت مشابهی دارند و فهم علم به هر دوی آنها وابسته است (اینکینن[1] و همکاران، ۲۰۲۰)؛ ازاین‌رو می‌توان نقش مهم درک از مدل و انجام عمل مدل‌سازی را بر تقویت مهارت‌های تفکر و استدلال دانش‌آموزان توجیه کرد.

نکته دیگری که باید به آن اشاره کرد بار کانونی و وزن بالایی است که مؤلفه "مدل به‌عنوان کپی از واقعیت" در درک دانش‌آموزان از مدل دارد. دانش‌آموزان در این پژوهش بیشتر اوقات مدل‌ها را به‌صورت کپی‌هایی از واقعیت می‌دیدند که تنها به کمک آنها می‌توان رخدادهای طبیعی را توصیف کرد و ویژگی‌های آنها را نمایش داد. بار کانونی بالای این مؤلفه نشان داد که دانش‌آموزان مدل را یک توصیف‌گر و نمایشگر می‌بینند، این در حالی است که ماهیت مدل فراتر از وصف و نمایش واقعیت است. مدل‌ها می‌توانند برای مهارت‌های بالاتر شناختی و فراشناختی نیز به کار روند (چیو و لین، ۲۰۱۹؛ نیلسن و نیلسن، ۲۰۲۱). دانش‌آموزان باید به این درک برسند که فعالیت مدل‌سازی به‌اندازه پرسشگری، مشاهده و فرضیه‌سازی، در فهم علم مؤثر است. البته این گفته احتیاج به بررسی دقیق‌تری دارد که پژوهشگران انجام آن را در آینده توصیه می‌کنند.

به‌عنوان محدودیت پژوهش، باید توجه داشت که پرسشنامه درک دانش‌آموزان از مدل، پس از انجام فعالیت مدل‌سازی در اختیار دانش آموزان قرار داده شد. هدف از این کار دستیابی به تصویر دقیق و ایده‌ای معتبر برای مدل‌سازی بود و اینکه دانش آموزان به مراحل مختلف مدل‌سازی آشنا شوند و سپس به پرسشنامه پاسخ دهند. عیب آشکار این رویکرد آن بود که همواره این مکان وجود داشت که درک دانش‌آموزان از مدل در نتیجه کار روی فعالیت مدل‌سازی تغییر کند. با این حال پژوهشگران امیدوارند مدت زمان کمی که به فعالیت مدل‌سازی اختصاص داده‌اند، به‌احتمال زیاد موجب تفاوت زیادی در درک دانش‌آموزان نشده است. پیشنهاد صریح ما برای پژوهش‌های آینده انجام کار آزمایشی و تغییر زمان ارائه پرسشنامه در مقاطع مختلف زمانی قبل و یا بعد از فعالیت مدل‌سازی است. محدودیت مهم دیگر پژوهش عدم توجه به تفاوت‌های فردی مانند جنسیت، نگرش نسبت به یادگیری علوم، خودپنداره تحصیلی و خودکارآمدی تحصیلی آنان بود. پژوهشگران این متغیرها را بر رابطه بین مهارت استدلال علّی و درک دانش آموزان از مدل تأثیرگذار می‌دانند و توصیه می‌کنند در پژوهش‌های آینده به نقش آن‌ها نیز توجه شود. تعمیم یافته‌های این پژوهش به دلیل روش نمونه‌گیری در دسترس و انتخاب دانش‌آموزان از مدارس دولتی شهر اهواز با حجم نمونه‌ای محدود باید با احتیاط صورت گیرد.

بر اساس فلسفه سازنده‌گرایی، یادگیری در علم به دانش‌آموزانی نیاز دارد که خودشان مالکیت یک ایده یا مفهوم را به عهده بگیرند و دست به بازسازی آن بزنند. سازنده‌گراها بر این باور هستند که علم باید توسط دانش‌آموزان درونی شود به‌طوری‌که بتواند به‌خوبی پدیده‌های طبیعی را تبیین کنند و به دیگران نیز منتقل کنند. در این میان مدل‌ها ابزار قدرتمندی برای کمک به یادگیری علم هستند. مطابق با یافته‌های این پژوهش می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که بسیاری از دانش‌آموزان به‌طور دقیق و واضح از ماهیت مدل‌ها، ویژگی مدل‌ها و کاربرد آنها آگاهی کافی ندارند و این درک پایین از مدل موجب رشد نیافتن یکی از مهم‌ترین مهارت‌های علمی که همان استدلال علّی باشد، شده است. دلیل این عدم آگاهی را می‌توان در کمبود فرصت یادگیری در کلاس‌های درس برای انجام فعالیت‌های مدل‌سازی دانست. عدم آگاهی معلمان از نقاط قوت و ضعف مدل‌ها، فرصت طلائی استفاده مؤثر از آنها در کلاس درس را نیز از بین خواهد برد. همچنین توجه کم برنامه درسی علوم در ایران به مدل و نقص در برنامه درسی تربیت‌معلم علوم می‌توانند عوامل مهمی باشند که موجب کاهش آگاهی نسبت مدل شده و افت سواد علمی دانش‌آموزان را در پی داشته باشد. هرچند این پژوهش تفاوت‌هایی را در درک دانش‌آموزان از مدل‌ها و مدل‌سازی در موضوع حرکت‌شناسی (درس فیزیک) و تأثیر آن روی استدلال علّی دانش‌آموزان نشان داد، اما پژوهشگران این مطالعه بر این باور هستند که این حوزه از آموزش نیازمند مطالعات کمی و کیفی بیشتری در مورد تجارب یادگیری و ارتباط آن با مدل‌ها در کلاس‌های درس نیز هست و شایسته است که این بررسی روی جنبه‌های دیگر یادگیری علوم (فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی) نیز مورد بررسی قرار بگیرد. تحلیل محتوای کتاب‌های درسی با محوریت مدل‌سازی و بررسی میزان توجه آنها به درک از مدل، همچنین ارائه برنامه‌های درسی علوم مبتنی بر مدل‌سازی و مطالعه اثربخشی آنها، مهم‌ترین پیشنهادهای این مطالعه برای آینده است.

1. Inkinen

تشکر و قدردانی

پژوهشگران از همه دانش‌آموزان و معلمانی که وقت و امکانات خود را برای انجام بهتر این مطالعه صرف کردند، تشکر می‌کنند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافعی ندارد.

References

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

Blikstein, P., Fuhrmann, T., & Salehi, S. (2016). Using the Bifocal Modeling Framework to Resolve "Discrepant Events" Between Physical Experiments and Virtual Models in Biology. *Journal of Science Education and Technology*, 25(4), 513-526. https://doi.org/10.1007/s10956-016-9623-7

Bolger, M. S., Osness, J. B., Gouvea, J. S., & Cooper, A. C. (2021). Supporting Scientific Practice through Model-Based Inquiry: A Students'-Eye View of Grappling with Data, Uncertainty, and Community in a Laboratory Experience. CBE—Life Sciences Education, 20(4), ar59. https://doi.org/10.1187/cbe.21-05-0128

Burgin, S. R., Oramous, J., Kaminski, M., Stocker, L., & Moradi, M. (2018). High school biology students use of visual molecular dynamics as an authentic tool for learning about modeling as a professional scientific practice. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 46(3), 230-236. https://doi.org/10.1002/bmb.21113

Celebi, M. E., Kingravi, H. A., & Vela, P. A. (2013). A comparative study of efficient initialization methods for the k-means clustering algorithm. *Expert Systems with Applications*, 40(1), 200-210. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.07.021

Chiu, M.-H., & Lin, J.-W. (2019). Modeling competence in science education. Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research, 1(1), 12. https://doi.org/10.1186/s43031-019-0012-y

Crawford, B. A., & Cullin, M. J. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1379-1401. https://doi.org/10.1080/09500690410001673775

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

Fortus, D., Shwartz, Y., & Rosenfeld, S. (2016). High School Students' Meta-Modeling Knowledge. *Research in Science Education*, 46(6), 787-810. https://doi.org/10.1007/s11165-015-9480-z

Fuhrmann, T., Schneider, B., & Blikstein, P. (2018). Should students design or interact with models? Using the Bifocal Modelling Framework to investigate model construction in high school science. *International Journal of Science Education*, 40(8), 867-893. https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1453175

Hofer, B. K. (2001). Personal Epistemology Research: Implications for Learning and Teaching. *Educational Psychology Review*, 13(4), 353-383. https://doi.org/10.1023/A:1011965830686

Hofer, S. I., Schumacher, R., & Rubin, H. (2017). The test of basic Mechanics Conceptual Understanding (bMCU): using Rasch analysis to develop and evaluate an efficient multiple choice test on Newton's mechanics. *International Journal of STEM Education*, 4(1), 18. https://doi.org/10.1186/s40594-017-0080-5

Huang, S., Kang, Z., Xu, Z., & Liu, Q. (2021). Robust deep k-means: An effective and simple method for data clustering. *Pattern Recognition*, 117, 107996. https://doi.org/10.1016/j.patcog.2021.107996

Ikotun, A. M., Ezugwu, A. E., Abualigah, L., Abuhaija, B., & Heming, J. (2023). K-means clustering algorithms: A comprehensive review, variants analysis, and advances in the era of big data. *Information Sciences*, 622, 178–210. https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.11.139

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

Jain, A. K. (2010). Data clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern Recognition Letters*, 31(8), 651-666. https://doi.org/10.1016/j.patrec.2009.09.011

Jansen, S., Knippels, M.-C. P. J., & van Joolingen, W. R. (2019). Assessing students' understanding of models of biological processes: a revised framework. *International Journal of Science Education*, 41(8), 981-994. https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1582821

Jarecki, J. B., Tan, J. H., & Jenny, M. A. (2020). A framework for building cognitive process models. *Psychonomic Bulletin & Review*, 27(6), 1218-1229. https://doi.org/10.3758/s13423-020-01747-2

Jimenez-Liso, M. R., Bellocchi, A., Martinez-Chico, M., & Lopez-Gay, R. (2022). A Model-Based Inquiry Sequence as a Heuristic to Evaluate Students' Emotional, Behavioural, and Cognitive Engagement. *Research in Science Education*, 52(4), 1313-1334. https://doi.org/10.1007/s11165-021-10010-0

Jimenez-Liso, M. R., Martinez-Chico, M., Avraamidou, L., & López-Gay Lucio-Villegas, R. (2021). Scientific practices in teacher education: the interplay of sense, sensors, and emotions. *Research in Science & Technological Education*, 39(1), 44-67. https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1647158

Jordan, R., Crall, A., Hmelo-Silver, C., Gray, S., Greg, N., & Sorensen, A. (2018). Developing Model-Building as a Scientific Practice in Collaborative Citizen Science. *Natural Sciences Education*, 47. https://doi.org/10.4195/nse2018.07.0013

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

Kim, M. C., Hannafin, M. J., & Bryan, L. A. (2007). Technology-enhanced inquiry tools in science education: An emerging pedagogical framework for classroom practice. *Science Education*, 91(6), 1010-1030. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/sce.20219

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

Krell, M., Reinisch, B., & Krüger, D. (2015). Analyzing Students' Understanding of Models and Modeling Referring to the Disciplines Biology, Chemistry, and Physics. *Research in Science Education*, 45(3), 367-393. https://doi.org/10.1007/s11165-014-9427-9

Krist, C., Schwarz, C. V, & Reiser, B. J. (2019). Identifying Essential Epistemic Heuristics for Guiding Mechanistic Reasoning in Science Learning. *Journal of the Learning Sciences*, 28(2), 160-205. https://doi.org/10.1080/10508406.2018.1510404

Lazenby, K., & Becker, N. M. (2021). Evaluation of the students' understanding of models in science (SUMS) for use in undergraduate chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*., 22(1), 62-76. https://doi.org/10.1039/D0RP00084A

Lehrer, R., & Schauble, L. (2015). The Development of Scientific Thinking. *In Handbook of Child Psychology and Developmental Science* (pp. 1–44). https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781118963418.childpsy216

Mashahizade, H. (2023) Assessment the level of elementary school teachers' model and modeling understanding in science education [Unpublished master's thesis]. Shahid chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

National Research Council. (2012). A framework for K–12 science education: Practices crosscutting concepts, and core ideas. National Academies Press.

NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. Washington, DC: National Academies Press.

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

Nielsen, S. S., & Nielsen, J. A. (2021). A Competence-Oriented Approach to Models and Modelling in Lower Secondary Science Education: Practices and Rationales Among Danish Teachers. *Research in Science Education*, 51(2), 565-593. https://doi.org/10.1007/s11165-019-09900-1

Nimon, K., Henson, R., & Gates, M. (2010). Revisiting Interpretation of Canonical Correlation Analysis: A Tutorial and Demonstration of Canonical Commonality Analysis. *Multivariate Behavioral Research - MULTIVARIATE BEHAV RES*, 45, 702-724. https://doi.org/10.1080/00273171.2010.498293

Pituch, K. A., & Stevens, J. (2016). *Applied multivariate statistics for the social sciences*. In TA - TT - (Sixth edit). Routledge. https://doi.org/LK-https://worldcat.org/title/952863240

Prezenski, S., Brechmann, A., Wolff, S., & Russwinkel, N. (2017). A Cognitive Modeling Approach to Strategy Formation in Dynamic Decision Making. *Frontiers in Psychology*, 8. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01335

Rosenberg, J., & Lawson, M. (2019). An Investigation of Students' Use of a Computational Science Simulation in an Online High School Physics Class. *Education Sciences*, 9(49), 1-19. https://doi.org/10.3390/educsci9010049

Samon, S., & Levy, S. T. (2021). The Role of Physical and Computer-Based Experiences in Learning Science Using a Complex Systems Approach. *Science & Education*, 30(3), 717-753. https://doi.org/10.1007/s11191-020-00184-w

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632–654. https://doi.org/10.1002/tea.20311

Schwarz, C. V, & White, B. Y. (2005). Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding of Scientific Modeling. *Cognition and Instruction*, 23((2)), 165. https://doi.org/10.1207/s1532690xci2302_1

Sins, P. H. M., Savelsbergh, E. R., van Joolingen, W. R., & van Hout-Wolters, B. H. A. M. (2009). The Relation between Students' Epistemological Understanding of Computer Models and their Cognitive Processing on a Modelling Task. *International Journal of Science Education*, 31(9), 1205–1229. https://doi.org/10.1080/09500690802192181

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

Sun, D., Looi, C.-K., & Wenting, X. (2014). Collaborative Inquiry with a Web-Based Science Learning Environment: When Teachers Enact It Differently. *Educational Technology & Society*, 14, 390-403.

Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368. https://doi.org/10.1080/09500690110066485

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

Wade-Jaimes, K., Demir, K., & Qureshi, A. (2018). Modeling strategies enhanced by metacognitive tools in high school physics to support student conceptual trajectories and understanding of electricity. *Science Education*, 102(4), 711–743. https://doi.org/10.1002/sce.21444

Xiang, L., & Passmore, C. (2015). A Framework for Model-Based Inquiry Through Agent-Based Programming. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2), 311-329. https://doi.org/10.1007/s10956-014-9534-4