Ministry of Education
Islamic Republic of IRAN

ISSN: 1235-1735

Quarterly Journal of
Educational Innovations

Organization for Educational Research and Planning

Abstract

Modeling and knowledge of meta-modeling: Assessing students' understanding of conceptual modeling in science learning

Mojtabā Jahānifar (PhD), Shahid Chamrān University of Ahvāz, Ahvāz, Iran[1]

Models are valuable tools for learning science, however, their utility would be restricted if students do not consider the nature of models, their purpose, and their implementation in the learning process. The focus of this research was to find out about the type of model and meta-modeling knowledge of second cycle high school students on physics, chemistry, and biology courses. The research sample consisted of 530 second cycle high school students who were selected through convenience sampling method to answer the modeling knowledge questionnaire. Partial credit question-answer model was used to analyze the data. Findings showed that students think primarily about objective and functional models, and abstract models (diagram or equation) are of secondary importance. Modeling knowledge and awareness of the function and objectives of models are not independent from the content area, and the type and application of models depend on the content and the course, in such a way that students use modeling in biology more to describe phenomena and in physics and chemistry for prediction and reasoning. It is suggested that in the science curriculum more attention should be paid to the model and modeling knowledge in the course's content, and the students' metacognitive skills should be developed to identify, apply, revise, and evaluate models. Science teachers should also be encouraged to consciously use modeling in the teaching process.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Keywords Science Education, Modeling Knowledge, Meta-modeling, Partial Credit Model

E-mail: 1. m.jahanifar@scu.ac.ir **(Corresponding Author)**

Serial No.85. 22(1): Spring. 2023
Quarterly Journal of Educational Innovations

Published by Tehran University of Medical Sciences

Copyright © The Authors.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۱۲۷-۱۴۶

مدل‌سازی و دانش فرامدل‌سازی: سنجش درک دانش‌آموزان از مدل‌سازی مفهومی در یادگیری علوم

مجتبی جهانی‌فر*

چکیده:

مدل‌ها ابزارهای تأثیرگذار در یادگیری علوم به‌شمار می‌روند و اگر شاگردان دربارهٔ ماهیت مدل‌ها، هدف از مدل‌سازی و کاربرد آن‌ها در فرایند یادگیری فکر نکنند، این اثربخشی محدود خواهد بود. این پژوهش درپی کاوش نوع و سطح درک شاگردان دورهٔ دوم متوسطه از مدل و دانش فرامدل‌سازی در دروس فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی است. در این پژوهش کمّی ــ توصیفی، نمونهٔ در دسترس ۵۳۰ نفر از دانش‌آموزان دورهٔ دوم متوسطه، به‌منظور پاسخ‌گویی به پرسش‌نامهٔ بررسی میزان دانش مدل‌سازی (مدل شایستگی مدل) انتخاب شدند. به‌منظور تحلیل داده‌ها از مدل سؤال ــ پاسخ امتیاز پاره‌ای استفاده شد. یافته‌ها نشان داد که شاگردان در درجهٔ اول، به مدل‌های عینی و عملکردی فکر می‌کنند و مدل‌های انتزاعی (نمودار یا معادله) در درجهٔ دوم اهمیت قرار دارند. دانش مدل‌سازی و آگاهی از کارکرد و اهداف مدل‌ها از حوزهٔ محتوایی مستقل نیست و به دنبال آن، نوع و کاربرد مدل‌ها به محتوا و درس بستگی دارد؛ به‌گونه‌ای که شاگردان از مدل‌سازی در زیست‌شناسی بیشتر به‌منظور توصیف پدیده‌ها و در فیزیک و شیمی به‌منظور پیش‌بینی و استدلال بهره می‌بردند. پیشنهاد می‌شود در برنامهٔ درسی علوم به مدل و دانش مدل‌سازی در محتوای درسی توجه بیشتر شود و مهارت‌های فراشناختی شاگردان برای تشخیص، کاربرد، بازبینی و ارزیابی مدل‌ها توسعه داده شود. همچنین معلمان علوم به استفادهٔ آگاهانه از مدل‌سازی در فرایند تدریس تشویق شوند.

کلید واژه‌ها: آموزش علوم، دانش مدل‌سازی، فرامدل‌سازی، مدل امتیاز پاره‌ای

▣ تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۴/۱۵ ▣ تاریخ شروع بررسی: ۱۴۰۱/۵/۱۰ ▣ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۵/۲۹

* استادیار گروه علوم تربیتی، دانشکدهٔ علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. E-mail: m.jahanifar@scu.ac.ir

مقدمه

خبر شیوع ویروس کرونا در سال ۲۰۱۹، دنیا را تکان داد و افزون‌بر تعطیل‌شدن بسیاری از مراکز آموزشی و تجاری، خسارت‌های مالی و جانی بسیاری درپی داشت. سه سال پیش از آن و در آستانهٔ برگزاری بازی‌های المپیک تابستانی ۲۰۱۶ در کشور برزیل، گروهی از دانشمندان سازمان جهانی بهداشت[1] طی نامه‌ای سرگشاده خواستار به‌تعویق‌افتادن بازی‌ها به دلیل شیوع ویروس زیکا شدند و آن را موجب به‌خطرافتادن سلامت عمومی دانستند (میلر[2]، ۲۰۱۶). در تمامی این سال‌ها و رویدادها، دانشمندان به‌کمک مدل‌های علمی شیوع، که بازنمایی‌های مفهومی از رویداد واقعی بودند، توانستند شیوع و کنترل این ویروس‌ها را پیش‌بینی کنند. آنچه دانشمندان سازمان جهانی بهداشت را به پیش‌بینی میزان شیوع این بیماری‌ها توانمند می‌کرد، مدل‌های ذهنی و مفهومی[3] بود که آن‌ها از این رخدادها می‌ساختند. گاگلین و کروگر[4] (۲۰۱۸) و همچنین اودنبو[5] (۲۰۰۵) بر این باورند که دانشمندان به‌کمک مدل‌های ذهنی و مفهومی می‌توانند سیستم‌های پیچیده را کاوش و تحلیل کنند، دنیاهای ناشناخته را کشف کنند، چارچوب‌های مفهومی را توسعه دهند، پیش‌بینی‌های دقیق انجام دهند، و توضیحات علّی را هنگام رخداد پدیده‌ها ارائه کنند. مدل ذهنی و مفهومی فقط برای استفادهٔ دانشمندان نیست، بلکه از مدل‌ها می‌توان در فرایند یادگیری و تدریس علوم نیز استفاده کرد. دانش‌آموزان می‌توانند از مدل‌ها به‌منظور کسب دانش نظری و مفهومی، مشارکت در فعالیت‌های علمی، و درک ویژگی‌های علم، به‌منزلهٔ بخشی از ماهیت علم، استفاده کنند (پاسمور[6] و همکاران، ۲۰۱۴). بنابراین، مدل‌ها می‌توانند یکی از اهداف یادگیری ضروری برای دانش‌آموزان در دروس فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی (علوم) ـ به‌منظور درک ماهیت علم، یادگیری و توسعهٔ علمی ـ تعریف شوند.

مدل‌های ذهنی همان مدل‌های خصوصی و شخصی هستند که افراد برای درک پدیده‌ها از آن‌ها استفاده می‌کنند. مدل‌های ذهنی در مدل‌سازی تأثیر بنیادی دارند؛ زیرا مبنایی برای درک علمی از پدیده‌ها و توسعهٔ مدل‌های مفهومی (یا علمی) گوناگون هستند. از مدل‌های ذهنی برای یادگیری معنادار علوم استفاده می‌شود. مدل‌های ذهنی منحصربه‌فرد یادگیرنده و دائماً در حال تغییر و بازنگری هستند. از این مدل‌ها برای شبیه‌سازی ذهنی، ایده‌پردازی و انتزاع استفاده می‌شود (ویدجیمز[7] و همکاران، ۲۰۱۸). البته به دلیل ذهنی و انتزاعی‌بودن، دسترسی به آن‌ها چندان آسان نیست. ساخت مدل ذهنی فعال اولین گام در درک دانش‌آموز از یک پدیده است. این گام برای درک و ساخت مدلی مفهومی (یا مدل علمی) از پدیده ضروری است. مدل مفهومی (یا علمی) نمایشی بیرونی از مدل ذهنی است که در علم و آموزش علوم استفاده می‌شود. مدل مفهومی بازنمایی یک پدیده یا هدف از جهان واقعی و طبیعی است (نیلسن و نیلسن[8]، ۲۰۲۱). مدل‌های مفهومی یا علمی ممکن است در اشکال گوناگون ظاهر شوند؛ ازجمله نمادها، مدل‌های

فیزیکی به‌صورت سه‌بعدی یا دوبعدی، روابط و ساختارهای ریاضی، پویانمایی‌ها، شبیه‌سازی‌های تعاملی، نقشه‌ها و نمودارها، و گرافیک رایانه‌ای.

مدل‌سازی در آموزش علوم، بر مدل‌هایی که دانش‌آموزان از رخدادهای علمی ساخته‌اند متکی است. دانش‌آموزان از این راه، برای درک بهتر جهان واقعی استفاده می‌کنند؛ بهتر است بگوییم دانش‌آموزان با مدل‌سازی از دانشمندان واقعی تقلید می‌کنند (زوییکل[9] و همکاران، ۲۰۱۳). دانش‌آموزان هنگام مدل‌سازی، درگیر تنظیم پارامترهای مدل، سازمان‌دهی اطلاعات، تولید پیش‌بین‌ها، ساختن استدلال‌ها و جست‌وجوی شواهد هستند. کرل[10] و همکاران (۲۰۱۵) هم بر لزوم آموزش دانش محتوایی (موضوع علمی) و هم بر چگونگی آموزش علوم و روش علمی تأکید دارند. برهمین‌اساس، دانستن دربارهٔ مدل‌ها و مدل‌سازی ضروری به نظر می‌رسد. البته واضح است که دانش‌آموزان مانند دانشمندان حرفه‌ای نیستند. برای درک، چگونگی ساخت و استفاده از مدل به آموزش، حمایت، و البته شناخت کافی از مدل و دانش فرامدل‌سازی[11] نیاز دارند.

از عبارت «درک مدل‌ها و مدل‌سازی در علم» برای توصیف درک دانش‌آموزان از ماهیت مدل‌ها و فرایند مدل‌سازی استفاده می‌شود. دانش درمورد مدل‌ها را می‌توان دانش فرامدل‌سازی نامید. به گفتهٔ شوارتز[12] و همکاران: «من از واژهٔ دانش فرامدل‌سازی استفاده می‌کنم تا درک دانش‌آموزان از ماهیت، سودمندی، ارزیابی مدل‌ها، و چگونگی استفاده از آن‌ها را دربر بگیرد» (شوارتز و همکاران، ۲۰۰۹، ص. ۴). دانش فرامدل‌سازی «نوعی از ماهیت درک علم» است که دانش درمورد نحوهٔ استفاده از مدل‌ها، چرایی استفاده از آن‌ها، و نقاط قوت و محدودیت‌های آن‌ها را شامل می‌شود (شوارتز و همکاران، ۲۰۱۲). دانش مدل‌سازی و فرامدل‌سازی یعنی این‌که مدل‌ها چه هستند؟ چگونه و کجا از مدل‌ها استفاده می‌شوند؟ علم چگونه از ویژگی‌های مدل برای تولید دانش استفاده می‌کند؟ گراس لایت[13] و همکاران (۱۹۹۱) ترگست[14] و همکاران (۲۰۰۲)، شوارتز و همکاران (۲۰۰۹)، و اپمایر[15] و کروگر (۲۰۱۰) هریک به‌طور جداگانه ابعاد مختلف دانش فرامدل‌سازی را بررسی کرده‌اند. همهٔ این پژوهش‌ها نقاط مشترک فراوانی دارند و می‌توان توافق کلی بین آن‌ها را روی ابعادی همچون ماهیت مدل‌ها و ابعاد آن‌ها، اهداف مدل‌سازی، تکثر مدل‌ها در ارتباط با یک پدیده، بازنگری و ارزیابی مدل‌ها، و فرایندهای مدل‌سازی مشاهده کرد. جدول ۱ مدل شایستگی مدل‌سازی[16] را، که اپمایر و کروگر (۲۰۱۰) پیشنهاد کرده‌اند، نمایش می‌دهد. این مدل شامل پنج جنبهٔ مهم دانش فرامدل‌سازی است که در سه سطح مختلف برای دانش‌آموزان ارائه شده است. همهٔ شاگردان در سطح یکسانی از این دانش قرار ندارند و سطوح گوناگونی از یادگیری و کاربرد مدل‌ها برای آن‌ها وجود دارد. با بالاتررفتن سطح یادگیری، دانش فرامدل‌سازی به فرایندی عمیق‌تر و پیچیده‌تر تبدیل خواهد شد.

جدول ۴. مدل شایستگی مدل‌سازی و سطوح آن از دیدگاه اپمایر و کروگر (۲۰۱۰)

	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
ماهیت مدل‌ها	تکرار(کپی) پدیده	بازنمایی ایدئال از پدیده	بازسازی نظری پدیده
مدل‌های چندگانه	استفاده از اجزای مختلف برای مدل‌سازی یک پدیده	رویکردهای متفاوت مدل‌سازی برای یک پدیده	داشتن فرضیه‌های متفاوت درمورد یک پدیده
هدف مدل‌ها	توصیف پدیده	توضیح و تبیین پدیده	پیش‌بینی پدیده‌ها
ارزیابی مدل‌ها	ارزیابی اجزای مدل	مقایسهٔ مدل با پدیده	فرض‌آزمایی با مدل
تغییر مدل‌ها	اصلاح نقص‌های اجزای مدل	بازنگری به‌منظور رسیدن به بینش تازه	بازنگری به‌منظور راستی‌آزمایی فرضیه‌ها

در طبقه‌بندی اپمایر و کروگر (۲۰۱۰)، دانش مدل و فرامدل‌سازی با سه پیش‌فرض فلسفی هستی‌شناسی (ماهیت مدل‌ها)، دانش‌شناسی (ارزش مدل‌ها و میزان معرف‌بودن آن‌ها از واقعیت)، و روش‌شناسی (عملکرد و هدف استفاده از مدل‌ها) بررسی می‌شود. مطالعات تجربی فراوانی در خارج از ایران، به‌منظور شناسایی درک دانش‌آموزان از مدل، هدف و کاربرد آن‌ها انجام شده است. از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به پژوهش‌های گراس لایت و همکاران (۱۹۹۱) ترگست و همکاران (۲۰۰۲)، کرل و همکاران (۲۰۱۵)، فورتوس[۱۷] و همکاران (۲۰۱۶)، و ویدجیمز و همکاران (۲۰۱۸) اشاره کرد. در سال‌های اخیر، پژوهشگران بیشتر بر اهمیت ارتقای درک دانش‌آموزان در زمینهٔ مدل‌سازی علمی تأکید کرده‌اند. در این رابطه، بیشتر پژوهش‌ها سعی داشته‌اند که به توصیف کلی درک دانش‌آموزان از دانش مدل‌سازی و فرامدل‌سازی بپردازند.

درک دانش‌آموزان از مدل‌ها به‌منزلهٔ بخشی از درک آن‌ها از طبیعت و ماهیت علم در نظر گرفته می‌شود که هدف اساسی آموزش علوم است (آکرسون[۱۸] و همکاران، ۲۰۱۱؛ گوبرت[۱۹] و همکاران، ۲۰۱۱). درک دقیق از فرایندهای علمی به دانش‌آموزان کمک می‌کند که از هنجارهای جامعهٔ علمی آگاه شوند و محتوای علمی را عمیق‌تر بیاموزند. دانش‌آموزانی که تأثیر مدل‌ها را در فرایند کاوشگری علمی درک می‌کنند می‌توانند این درک را به مدل‌سازی‌های ذهنی بعدی و یادگیری‌های آینده نیز انتقال دهند. درک از دانش فرامدل‌سازی موجب توسعهٔ توانایی‌های دانش‌آموزان برای استدلال،

تخمین، توضیح و پیش‌بینی پدیده‌های دنیای واقعی خواهد شد. گفتنی است مدل‌ها «ابزار آموزشی مؤثر» برای آموزش سواد علمی هستند. با وجود این، نادانی درمورد میزان سواد مدل‌سازی شاگردان در درس علوم (فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی)، بی‌توجهی به برنامه‌های درسی موجود به مدل‌ها و دانش فرامدل‌سازی، و تازه‌بودن این رویکرد در تدریس علوم، لزوم ایجاد زمینه‌ای تازه در برنامهٔ درسی علوم دوره‌های متوسطهٔ اول و دوم ایران با محوریت مدل‌سازی علمی و دانش فرامدل‌سازی را ضروری جلوه می‌دهد. برای شروع باید بدانیم در میان دانش‌آموزان ایرانی، مدل تا چه میزان شناخته‌شده است و دانش‌آموزان ایرانی در چه سطحی و با چه هدفی از مدل‌های مفهومی در فرایند یادگیری بهره می‌برند. برای رسیدن به این شناخت مهم، پژوهش حاضر قصد دارد به این سؤال‌ها پاسخ دهد:

۱) آیا درک دانش‌آموزان از مدل در دروس فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی با هم متفاوت است؟

۲) آیا انتخاب نوع مدل و هدف استفادهٔ آن در دروس گوناگون متفاوت است؟

۳) آیا بین سواد مدل‌سازی (دانش فرامدل‌سازی) دانش‌آموزان و پایهٔ تحصیلی آن‌ها ارتباطی وجود دارد؟

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش کمّی، دارای رویکرد توصیفی است. در این بخش، نخست جامعه و نمونهٔ مدنظر را معرفی خواهیم کرد و سپس ضمن اشاره به ابزار و روش‌های استفاده‌شده در روند اجرای پژوهش، تحلیل‌های آماری را، که به‌منظور پاسخ به سؤال‌های پژوهش به‌کار رفته است، تشریح خواهیم کرد.

انتخاب نمونه و نحوهٔ جمع‌آوری داده‌ها

آموزش غیرحضوری در مدارس ایران، به دلیل شیوع بیماری کرونا، پژوهشگران را مجبور کرد که نمونهٔ ۵۳۰ نفری را به‌صورت در دسترس و از میان دانش‌آموزان دورهٔ دوم متوسطه، رشته‌های تجربی و ریاضی، که در سال تحصیلی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در پایه‌های دهم، یازدهم و دوازدهم در حال تحصیل‌اند، انتخاب کنند. ۲۱۵ نفر (۴۰٪) از شرکت‌کنندگان را دختران و ۳۱۵ نفر (۶۰٪) را پسران تشکیل می‌دادند. ۱۲۷ نفر (۲۴٪) از آن‌ها در پایهٔ دهم، ۱۰۰ نفر (۱۹٪) در پایهٔ یازدهم و ۳۰۳ نفر (۵۷٪) دانش‌آموز پایهٔ دوازدهم بودند. میانگین سنی آن‌ها ۱۶/۵ سال با انحراف استاندارد ۱/۱۲ است. به کمک پرسش‌نامهٔ الکترونیک، که ازطریق شبکه‌های اجتماعی (شبکهٔ شاد مدارس ایران) و با همکاری معلمان برای آن‌ها ارسال شده بود، از شاگردان درخواست شد به سؤال‌های پرسش‌نامهٔ دانش مدل و فرامدل‌سازی پاسخ دهند.

ابزار پژوهش

پژوهشـــگران به‌منظور اندازه‌گیری ســـطح دانش مدل‌سازی و فرامدل‌ســـازی شاگردان از پرســـش‌نامه‌ای اســـتفاده کرده‌اند که در پژوهش‌های کرل و کروگر (۲۰۱۶) و کرل و همکاران (۲۰۱۵) به همین منظور استفاده شده بود. این پرسش‌نامه، که براساس «مدل شایستگی مدل» اپمایر و کروگر (۲۰۱۰) (جدول ۱) توسعه داده شده است، در قالب تکالیف رتبه‌بندی[۲۰] طراحی شـــده است. در این نوع پرسش‌نامه، شرکت‌کنندگان چند تکلیف را با موضوع مشخصی دریافت می‌کنند. هر تکلیف دارای سه گویه است. از دانش‌آموزان خواسته می‌شود که گویه‌ها را براساس بیشترین کاربرد، کاربرد متوسط و کمترین کاربرد مرتب کنند. در این پژوهش، سه درس فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی در پنج جنبهٔ مهم مدل‌سازی بررسی می‌شوند؛ بنابراین پرسش‌نامه شامل پانزده تکلیف اســـت که در هر تکلیف، شاگردان گویه‌ها را مرتب خواهند کرد. جدول ۲ تکلیف مربوط به درس فیزیک درمورد «هدف استفاده از مدل‌ها» را نمایش می‌دهد. این تکلیف (جدول ۲) برای درس‌های زیست‌شناسی و شیمی هم تکرار می‌شود.

جدول ۲. نمونه‌ای از تکالیف رتبه‌بندی استفاده شده در پژوهش برای درس فیزیک

گویه‌های زیر را بر حسب اینکه چقدر با آن موافق هستید، مرتب کنید. اگر به نظر شما، در میان گویه‌ها بیشترین همراهی را با نظر شما دارد جلوی آن حرف (الف)، اگر فکر می‌کنید همراهی متوسطی دارد جلوی آن حرف (ب) و در صورتی که از نظر شما کمترین همراهی را دارد حرف (ج) را یادداشت کنید.

هدف استفاده از مدل در درس فیزیک این است که:	
..... دقیقاً اصل یک پدیده یا همان دنیای واقعی را به نمایش بگذاریم.	
..... رابطهٔ بین قسمت‌های مختلف یک پدیده و یا دنیای واقعی را به نمایش بگذاریم.	
..... برای یک پدیده و یا دنیای واقعی به فرضیه‌هایی دست پیدا کنیم.	

در این پرســـش‌نامه، علاوه‌بر گردآوری داده‌های جمعیت‌شناختی دانش‌آموزان مانند جنسیت، سن و رشـــتهٔ تحصیلی، در هر مورد از تکالیف و برای هر موضوع درســـی از شاگردان درمورد نوع مدلی که برای توصیف یا استدلال استفاده می‌کردند گویه‌هایی قرار داده شد؛ ازجمله «من از مدل‌ها برای به‌تصویرکشیدن روندها و عملکردها استفاده می‌کنم، من از مدل‌ها برای توصیف و انتقال اطلاعات استفاده می‌کنم، من از مدل‌ها برای حل مسئله استفاده می‌کنم، من از مدل‌ها برای مقایسه و فهم بیشتر پدیده‌ها استفاده می‌کنم، من از مدل‌ها برای ساخت و آزمایش فرضیه‌ها استفاده می‌کنم».

روش تحلیل داده‌ها

به دلیل ماهیت تکالیف گنجانده‌شده در پرسش‌نامهٔ «مدل شایستگی مدل» و نحوهٔ پاسخ‌دهی دانش‌آموزان به تکالیف، مناسب‌ترین راه برای تحلیل گویه‌ها، مدل امتیاز پاره‌ای[۲۱] در نظریهٔ سؤال ـ پاسخ است. در پرسش‌نامه‌ای که براساس«مدل شایستگی مدل» طراحی شده است، پاسخ به تکلیف مستلزم طی‌کردن مراحلی است؛ به این معنا که امتیاز کل تکلیف به مراحل متعدد پاسخ‌دهی به گویه‌ها بستگی دارد. در مواردی که شاگردان نگرش، نظر یا پاسخ‌هایشان را درجه‌بندی (رتبه‌بندی) می‌کنند می‌توان از مدل امتیاز پاره‌ای برای تحلیل گویه‌ها و برآورد توانایی‌ها استفاده کرد (باک و گیبونز[۲۲]، ۲۰۲۱). این مدل، که نخست مسترز[۲۳] در سال ۱۹۸۲ توسعه داده، از مدل‌های چندارزشی[۲۴] نظریهٔ سؤال ـ پاسخ به‌شمار می‌رود. این‌گونه تصور کنید که تکلیف jام از پرسش‌نامه برای پاسخ‌گویی مشتمل بر m_j مرحله است که مراحل را به کمک پارامتر k به‌صورت نام‌گذاری شده است. منطق مدل امتیاز پاره‌ای مبتنی‌بر فرایند پاسخ‌دهی به تکلیف است. این مدل احتمال موفقیت و گذر از هر مرحله به مرحلهٔ بعد را با احتمال P_{jk} برآورد می‌کند. P_{jk} یعنی احتمال پیروزی (موفقیت) در مرحلهٔ kام و ورود به مرحلهٔ k+۱ است؛ به‌گونه‌ای که P_{jk} = ۱ است (باک و گیبونز، ۲۰۲۱). مدل احتمال مسترز (۱۹۸۲) و نیرینگ و اوستینی[۲۵] (۲۰۱۱) در قالب رابطهٔ ۱ تعریف می‌شود:

$$P_{jk}(\theta)=\frac{evp\sum_{l=1}^{k}(\theta-b_{jk})}{\sum_{l=1}^{m_j}\exp\left[\sum_{l=1}^{k}(\theta-b_{jk})\right]} \qquad (1)$$

در رابطهٔ (۱)، θ توانایی یا ویژگی شخص است که در این پژوهش یکی از جنبه‌ها (ابعاد) دانش مدل‌سازی شاگردان است. b_{ji} ضریب دشواری (البته اینجا ضریب آستانه) برای عبور از مرحله‌ای به مرحلهٔ بعد است، که در این پژوهش سه سطح توانایی در مدل‌سازی تعریف شده است و دو ضریب آستانه خواهیم داشت: ضریب آستانهٔ عبور از سطح اول مدل‌سازی به سطح دوم مدل‌سازی و ضریب آستانهٔ عبور از سطح دوم به سطح سوم. هرچه ضریب آستانهٔ مرحله‌ای بیشتر باشد، عبور از آن مرحله به‌نسبت سایر مراحل درون تکلیف دشوارتر است. در این پژوهش، برآورد ضریب دشواری مراحل (ضریب آستانه) و توانایی مدل‌سازی (دانش مدل‌سازی و فرامدل‌سازی) به کمک بستهٔ نرم‌افزاری ای.آر.ام[۲۶]، که یکی از بسته‌های رایگان نرم‌افزار آر[۲۷] است، انجام شد (دسجاردین و بولوت[۲۸]، ۲۰۲۰).

پیش از تفسیر پارامترهای مدل امتیاز پاره‌ای (توانایی فرد در مدل‌سازی و ضریب آستانه تکالیف)، لازم است برازش داده با مدل امتیاز پاره‌ای را بررسی کنیم. به‌منظور ارزیابی برازش مدل و داده‌های تجربی، از شاخص مجموع باقی‌مانده‌های استانداردشده مربع[۲۹] بهره خواهیم برد که مقدار مطلوب آن برای برازش بین ۰/۸ تا ۱/۲ است (بوند[۳۰] و همکاران، ۲۰۲۱). در این پژوهش، علاوه‌بر بررسی شاخص‌های برازش، شاخص پایایی شخص[۳۱] را هم بررسی کرده‌ایم. شاخص پایایی شخص نشان‌دهندهٔ میزان تکرارپذیری نمرات توانایی فرد است؛ البته درصورتی‌که به همین نمونه، مجموعهٔ دیگری از تکالیف را ارائه دهیم که همین ساختار را می‌سنجند یا به‌عبارت‌دیگر، اگر همین تکالیف را به نمونهٔ دیگری از افراد با سطوح توانایی مشابه بدهیم، باز هم نمرات تکرار شوند. میزان این تکرارپذیری را با شاخص پایایی فرد نمایش می‌دهند (بوند و همکاران، ۲۰۲۱).

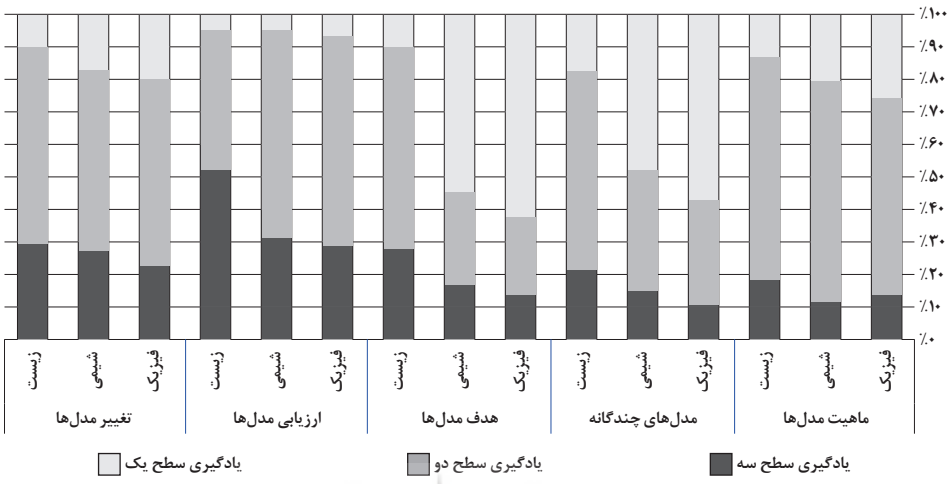
دانش مدل‌سازی و فرامدل‌سازی یک توانایی است که به کمک مدل امتیاز پاره‌ای در نظریهٔ سؤال ـ پاسخ این توانایی برآورد می‌شود. به‌منظور مقایسهٔ این توانایی در درس‌های گوناگون مربوط به علوم از آزمون تی مستقل دو گروهی استفاده خواهیم کرد و پس از آن، از اندازهٔ اثر g هیجز[۳۲] (فریتز[۳۳] و همکاران، ۲۰۱۲) برای تعیین میزان اثربخشی استفاده می‌کنیم. رابطهٔ (۲) نحوهٔ محاسبهٔ اندازهٔ اثر مدنظر را نمایش می‌دهد.

$$g = \frac{M_A - M_B}{s} \qquad (۲)$$

در رابطهٔ (۲)، M_A و M_B به‌ترتیب میانگین گروه اول و گروه دوم هستند و s انحراف استاندارد نمره‌های هر دو گروه است.

یافته‌های پژوهش

پاسخ دانش‌آموزان به پرسش‌های «مدل شایستگی مدل» سطح دانش آن‌ها را در مدل‌سازی نمایان کرد. به‌طور میانگین ۵۳ درصد از دانش‌آموزان در همهٔ جنبه‌های دانش فرامدل‌سازی در سطح دوم، ۲۲ درصد در سطح اول و ۲۵ درصد در سطح سوم قرار دارند (بدون توجه به درس). در درس‌های فیزیک و شیمی به‌ترتیب ۳۴ درصد و ۳۲ درصد دانش‌آموزان توانستند به سطح سوم دانش فرامدل‌سازی برسند و این رقم برای درس زیست‌شناسی فقط ۱۱ درصد است. در درس زیست‌شناسی بیشترین فراوانی دانش‌آموزان در سطح دوم بوده است. بیشترین فراوانی دانش‌آموزان در سطح سوم یادگیری برای جنبه‌های «هدف مدل‌ها» با ۴۳ درصد و «مدل‌های چندگانه» با ۴۱ درصد بود و کمترین فراوانی در سطح سوم یادگیری مربوط به «ارزیابی مدل‌ها» با ۵ درصد است. نمودار ۱ سطح یادگیری برای همهٔ جنبه‌های دانش فرامدل‌سازی را نمایش می‌دهد.



نمودار ۱. فراوانی نسبی سطوح یادگیری دانش فرامدل‌سازی در دروس فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی

برای بررسی توانایی دانش‌آموزان در دانش مدل‌سازی از مدل امتیاز پاره‌ای استفاده شد. مدل‌های سؤال ـ پاسخ بر کل آزمون تأکید ندارند، بلکه بر هریک از گویه‌ها تأکید می‌کنند. به‌همین‌منظور، برازش داده‌های مربوط به هر گویه، با مدل امتیاز پاره‌ای بررسی شد. تمامی پانزده تکلیف پرسش‌نامهٔ «مدل شایستگی مدل» در شاخص مجموع باقی‌مانده‌های استانداردشدهٔ مربع (MNSQ) مقادیر بین ۱ تا ۱/۱ را دارند. مقدار مطلوب برای برازش بین ۰/۸ تا ۱/۲ است (بوند و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین شاخص پایایی گویه‌های تکالیف به مقدار قابل‌قبول ۰/۸ تا ۰/۹ نزدیک بودند (پنفیلد[۳۴]، ۲۰۰۴) که نشان‌دهندهٔ پایایی مطلوب گویه‌هاست. همچنین ضریب پایایی شخص نیز مقادیر بالای ۰/۷ را نشان می‌داد که نشان‌دهندهٔ قدرت تفکیک سؤال‌ها بین توانایی اشخاص در دروس فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی بود. جدول ۳ همبستگی و واریانس هریک از ابعاد پرسش‌نامهٔ «مدل شایستگی مدل» را نمایش می‌دهد. داشتن همبستگی‌های متوسط بین ابعاد نشان‌دهندهٔ تفکیک‌پذیری این ابعاد است. مقادیر درون پرانتز پراکندگی (واریانس) توانایی دانش مدل‌سازی است.

جدول ۳. همبستگی بین توانایی دانش مدل‌سازی فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی

	الف	ب	ج
دانش مدل‌سازی فیزیک (الف)	(۰/۵۱)	۰/۴۹	۰/۵۳
دانش مدل‌سازی شیمی (ب)		(۰/۶۱)	۰/۴۴
دانش مدل‌سازی زیست‌شناسی (ج)			(۰/۵۸)

مـــدل امتیاز پاره‌ای برای هریک از دانش‌آموزان توانایی دانش مدل‌ســـازی و فرامدل‌ســـازی را برآورد کرده اســـت. به‌منظور مقایســـهٔ توانایی دانش مدل‌سازی و فرامدل‌ســـازی در سه درس فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی از آزمون تی گروه‌های مستقل استفاده شد. جدول ۴ نتایج آزمون تی برای مقایسهٔ دو به دوی توانایی‌ها را نمایش می‌دهد. برای بررسی اندازهٔ اثر از شاخص g بهره برده شد (فریتز و همکاران، ۲۰۱۲). مقادیر درون پرانتز اندازهٔ اثر g را نمایش می‌دهد.

جدول ۴. مقادیر آمارهٔ تی برای مقایسهٔ دانش مدل‌سازی به همراه مقادیر اندازهٔ اثر g

توانایی دانش مدل‌سازی	میانگین (انحراف استاندارد)	مقدار آمارهٔ t و g در مقایسه با ...	
		ب	ج
دانش مدل‌سازی فیزیک (الف)	۰/۴۱(۰/۳۱)	۴/۱۶ (۰/۰۹)	۱۵/۳۱ (۰/۷۱)
دانش مدل‌سازی شیمی (ب)	۰/۳۶(۰/۳۲)		۱۷/۴۴(۰/۶۸)
دانش مدل‌سازی زیست‌شناسی (ج)	۰/۱۴ (۰/۲۹)		

نتایج جدول ۴ بیانگر تفاوت معنادار بین میانگین دانش مدل‌سازی و فرامدل‌سازی در دروس فیزیک، شیمی و زیست در سطح $p < ۰/۰۰۱$ است. تفاوت میانگین دانش مدل‌سازی بین فیزیک و شیمی ۰/۰۵ است، اما همین تفاوت بین فیزیک و زیست‌شناسی ۰/۲۷ و بین شیمی و زیست‌شناسی ۰/۲۲ است. اندازهٔ اثر g در مقایســـهٔ بین فیزیک و شیمی تفاوت چندانی را نشان نمی‌دهد (اندازهٔ اثر کوچک و برابر با ۰/۰۹ است)، اما در مقایسهٔ بین فیزیک و زیست‌شناسی و همچنین شیمی و زیست‌شناسی، شاهد اندازهٔ اثرهای بزرگ‌تری هستیم.

در این پژوهش، از دانش‌آموزان پرسیده شد که آیا مدل خاصی را در نظر دارند یا خیر. درصورت پاسخ مثبت، از آن‌ها خواســـته شـــد که بنویسند به چه مدلی فکر می‌کنند. در درس فیزیک، فقط ۳۴ درصد از شاگردان هنگام پاسخ‌گویی به مدل خاصی فکر می‌کردند. این میزان برای درس شیمی ۴۳ درصد و برای درس زیست‌شناسی ۶۴ درصد است. در جدول ۵، مدل‌هایی که دانش‌آموزان در ارتباط با درس‌های فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی مشخص کرده‌اند مشاهده می‌شود. مدل‌های پیشنهادی این پژوهش به دانش‌آموزان براساس تقسیم‌بندی هریسون[۳۵] و ترگســـت (۲۰۰۰) انجام شده است. در جدول ۵، برخی اظهارنظرهای دانش‌آموزان، که در پرسش‌نامه و در کادر مربوط به ملاحظات نوشته شده، به همراه فراوانی دانش‌آموزان، که به آن‌ها اشاره کرده‌اند، مشاهده می‌شود.

جدول ۵. مدل‌ها و فراوانی دانش‌آموزانی که به آن‌ها اشاره کرده‌اند

درس	مدل‌های اشاره‌شده	فراوانی (درصد)	برخی اظهارنظر دانش‌آموزان
فیزیک	مدل‌های مقیاس کوچک	۵۴ (۱۰٪)	مدل خودروها، توپ‌ها، قرقره‌ها و طناب‌ها
	مدل‌های مشابهت‌سازی	۴۰ (۸٪)	مدل اتمی هندوانه‌ای و کیک کشمشی
	مدل‌های نظری	۱۱ (۲٪)	نوسانگر وزنه و فنر، حرکت دایره‌ای و نیروی جانب مرکز
	نمودارها	۷۵ (۱۴٪)	نمودارهای شتاب ـ زمان و جابه‌جایی ـ زمان
شیمی	مدل‌های مشابهت‌سازی	۱۱۹ (۲۳٪)	مدل‌های اتم‌ها و مولکول‌ها
	نمودارها	۱۰۸ (۲۰٪)	نمودار واکنش‌های شیمیایی
زیست	مدل‌های مقیاس کوچک	۲۱۱ (۴۰٪)	ماکت‌های زیست‌شناسی مثل اسکلت، ماهیچه‌ها
	مدل‌های عملکرد	۵۹ (۱۱٪)	مدل ریه‌ها که باز و بسته می‌شوند
	مدل‌های ارگانیسم	۷۰ (۱۳٪)	جسد حیوان مرده مثل زنبور یا قلب و رودهٔ گوسفندان

طبق یافته‌ها، در درس زیست‌شناسی بیشتر دانش‌آموزان ابتدا مدل‌های خاصی از انسان یا حیوانات یا بخشی از اندام آن‌ها را نام می‌برند. هریسون و ترگست (۲۰۰۰) این مدل‌ها را مقیاس[۳۶] نام‌گذاری کردند و ما در اینجا به آن‌ها مدل‌های مقیاس کوچک می‌گوییم؛ زیرا شکل و ساختار اصلی را در مقیاس کوچک‌تر بازنمایی می‌کنند. علاوه‌براین، دانش‌آموزان به عملکرد برخی اندام‌ها اشاره کردند که به مدل‌های عملکردی[۳۷] شهرت دارند؛ مانند مدل تپش قلب یا ریهٔ انسان. این‌گونه مدل‌ها بیشتر به عملکرد تکیه دارند تا به ظاهر. درنهایت دانش‌آموزان موجودات زنده را برای مدل انتخاب کردند که در برنامهٔ درسی زیست‌شناسی فراوان‌اند و با عنوان تشریح اجزای بدن حیوانات (مثل کلیه و قلب گوسفند) ارائه می‌شوند. در درس شیمی، تقریباً همهٔ دانش‌آموزانی که اظهار داشتند مدل خاصی را مدنظر دارند به ساختار اتم‌ها، مولکول‌ها یا ذرات اشاره کردند. چنین مدل‌هایی را می‌توان مدل‌های مشابهت‌سازی[۳۸] نامید؛ زیرا اغلب از مشابهت برای نشان‌دادن مفروضات درمورد اتم‌ها، مولکول‌ها یا ذرات استفاده می‌کنند (مثل مدل توپ و چوب مولکول‌ها) (هریسون و ترگست، ۲۰۰۰). در درس فیزیک، دانش‌آموزان باز هم به سراغ مدل‌های مشابهت‌سازی اتم‌ها و ذرات و همچنین نمودارها رفتند. علاوه‌براین، دانش‌آموزان به برخی از مدل‌های مقیاس کوچک مانند خودرو، هواپیما، قرقره‌ها، و طناب‌ها نیز اشاره کردند. تعدادی از دانش‌آموزان در درس فیزیک، به مدل‌هایی از مفاهیم انتزاعی مانند نور، نیرو یا نوسانگر اشاره کردند. چنین مدل‌هایی را می‌توان مدل‌های نظری (کول و لاجیوم[۳۹]، ۲۰۱۱) نامید؛ زیرا آن‌ها پدیده‌های انتزاعی را بدون بیان گزاره‌های هستی‌شناختی مشخص نشان می‌دهند.

در این پژوهش، همچنین توانایی دانش‌آموزان در دانش مدل‌سازی و فرامدل‌سازی برای پایه‌های گوناگون نیز بررسی شد. میانگین دانش مدل‌سازی و فرامدل‌سازی دانش‌آموزان در سه پایهٔ دهم، یازدهم و دوازدهم نیز به کمک آزمون مقایسهٔ دو میانگین مستقل و اندازهٔ اثر g در جدول ۶ با هم مقایسه شده‌اند.

جدول ۶. نتایج مقایسهٔ میانگین دانش مدل‌سازی و فرامدل‌سازی بین پایه‌های دهم، یازدهم و دوازدهم

دانش مدل‌سازی در ..	مقایسه بین پایه ...	میانگین (انحراف استاندارد)	t (df)	p	g
فیزیک	دهم و یازدهم	۰/۳۴ (۰/۴۱) و ۰/۳۹ (۰/۴۰)	۱/۸۱ (۲۲۵)	۰/۰۱	۰/۸
	دهم و دوازدهم	۰/۳۴ (۰/۴۱) و ۰/۵۱ (۰/۳۶)	۱/۶۳ (۴۲۸)	۰/۰۱	۰/۱۵
	یازدهم و دوازدهم	۰/۳۹ (۰/۴۰) و ۰/۵۱ (۰/۳۶)	۲/۱ (۴۰۱)	۰/۰۱	۰/۱۳
	دهم و یازدهم	۰/۳۱ (۰/۳۲) و ۰/۳۶ (۰/۳۹)	۲/۱۵ (۲۲۵)	۰/۰۱	۰/۱۶
شیمی	دهم و دوازدهم	۰/۳۱ (۰/۳۲) و ۰/۴۳ (۰/۳۷)	۲/۶۴ (۴۲۸)	۰/۰۱	۰/۱۸
	یازدهم و دوازدهم	۰/۳۶ (۰/۳۹) و ۰/۴۳ (۰/۳۷)	۲/۲۸ (۴۰۱)	۰/۰۱	۰/۱۵
زیست	دهم و یازدهم	۰/۱۱ (۰/۴۲) و ۰/۱۴ (۰/۳۸)	۱/۴۲ (۲۲۵)	۰/۰۹	۰/۷
	دهم و دوازدهم	۰/۱۱ (۰/۴۲) و ۰/۱۷ (۰/۳۹)	۱/۸۸ (۴۲۸)	۰/۱۶	۰/۹
	یازدهم و دوازدهم	۰/۱۴ (۰/۳۸) و ۰/۱۷ (۰/۳۹)	۲/۰۱ (۴۰۱)	۰/۲۱	۰/۷

مقایسهٔ میانگین دانش مدل‌سازی و فرامدل‌سازی برای دروس فیزیک و شیمی در پایه‌های مختلف نشان داد که بین پایه‌ها و میزان این دانش ارتباط معناداری وجود دارد؛ به‌طوری‌که با افزایش پایهٔ تفاوت معناداری در دانش مدل‌سازی دانش‌آموزان به وجود می‌آید؛ هرچند اندازهٔ اثر کوچکی برای مقایسهٔ پایه‌به‌پایه مشاهده شد (مقادیر ۰/۸ یا ۰/۱۵ مقادیر اندازهٔ اثر کوچکی به‌شمار می‌آیند). در درس زیست‌شناسی موضوع متفاوت است و تفاوت معناداری در دانش مدل‌سازی یا فرامدل‌سازی بین پایه‌های دهم، یازدهم و دوازدهم دیده نشده است و البته همچنان اندازهٔ اثر کوچکی مشاهده می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیری

شناسایی میزان و نوع درک دانش‌آموزان دورهٔ دوم متوسطه در درس‌های فیزیک، شیمی، و زیست‌شناسی از مدل‌های مفهومی مهم‌ترین هدف این پژوهش بود. به‌همین‌منظور، به کمک پرسش‌نامهٔ «مدل شایستگی مدل» میزان و نوع این درک را بررسی کردیم. در این پژوهش سعی شد به سه سؤال مهم پاسخ داده شود:

اول اینکه آیا میزان درک دانش‌آموزان از مدل به محتوای درس وابسته است یا خیر؟ دوم اینکه آیا محتوا و موضوع درسی در انتخاب نوع مدل دانش‌آموزان مؤثر خواهد بود؟ و درنهایت اینکه سن (بهتر است بگوییم پایهٔ تحصیلی) در میزان این درک تا چه میزان مؤثر است؟

یافته‌ها نشان‌دهندهٔ تفاوت میزان دانش مدل و فرامدل‌سازی برای سه شاخهٔ مختلف علوم یعنی فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی، بدون توجه به تفکیک ابعاد متعدد این دانش، است. میزان این تفاوت دانش بین دروس فیزیک و شیمی کمتر، اما بین فیزیک و زیست و یا شیمی و زیست بیشتر دیده شد. در سطح‌بندی دانش مدل‌سازی نیز این تفاوت دیده می‌شود؛ به‌گونه‌ای که بیش از نیمی از شاگردان به لحاظ ماهیت، مدل را بیشتر بازنمایی ایدئال از پدیده‌ای واقعی (سطح دوم) می‌دانستند و فقط نسبت کمی از آن‌ها با ماهیت مدل به‌منزلهٔ ابزاری برای بازسازی نظری یک پدیده به‌منظور پیش‌بینی یا استدلال آشنایی داشتند. دانش سطح‌بندی‌شده برای دروس گوناگون نیز متفاوت است و برای مثال در درس زیست‌شناسی بیشتر شاگردان در سطح اول قرار داشته و هدف مدل‌سازی را فقط در توصیف پدیده‌ای واقعی می‌دانستند یا حتی ماهیت مدل‌ها را فقط تکرار یک واقعیت می‌دانستند. این درحالی است که در دروس فیزیک و شیمی شاگردان بیشتری در سطح دوم و سوم قرار داشتند؛ به‌گونه‌ای که آن‌ها هدف مدل را علاوه‌بر توصیف پدیده‌ها، تبیین و پیش‌بینی نیز در نظر می‌گرفتند و افزون‌برآن، از مدل برای استدلال و یا فرض‌آزمایی نیز استفاده می‌کردند. شوارتز و همکاران (۲۰۰۹) نیز درمورد ماهیت دانش فرامدل‌سازی و وابستگی آن، به زمینه و موضوع تحصیلی تکیه دارند. همچنین کرل و همکاران (۲۰۱۵) نیز ضمن تأیید این وابستگی، بر این باورند که ماهیت درک از مدل و فرامدل‌سازی در آموزش و ارزیابی این سازه تأثیر می‌گذارد. به‌طورکلی می‌توان چنین بیان کرد که شاگردان در هر سه درس فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی به‌گونه‌ای متفاوت در مدل‌سازی شناخت دارند و البته هدف از مدل‌سازی را به اشکال متفاوتی تفسیر می‌کنند و مدل را به‌کار می‌برند. اکثر دانش‌آموزان شرکت‌کننده، مدل‌ها و مدل‌سازی را در سطح دوم «مدل شایستگی مدل» درک کرده‌اند و نسبت کمی از شاگردان به سطح سوم یادگیری مدل و فرامدل‌سازی رسیده‌اند. می‌شود این‌گونه استدلال کرد که درک دانش‌آموزان از مدل‌ها و مدل‌سازی به‌شدت تحت تأثیر تجربیات دانش‌آموزان، فرصت‌های یادگیری فراهم‌شده برای آن‌ها و محتوای تدریس‌شده در مدرسه است. شاگردان دوست

دارنـــد دانش را در بافتی واقعی‌تر توصیف کنند و البته این ســـطح پایین یادگیری، در حـــد دانش امور واقعی یا روندی اســـت؛ حال آنکه آنـــان به کمک این مدل‌های واقعی، مثل ماکت یا توپ، به ســـطوح بالاتر یادگیری مانند استدلال، پیش‌بینی یا ارزیابی نخواهند رسید. گرایش دانش‌آموزان به استفاده از مدل فقط با هدف توصیف رویدادها، تا حد زیادی به سواد کم آن‌ها دربارۀ مدل و فرامدل‌سازی برمی‌گردد. در برنامۀ درســـی، محتوای کتاب‌ها و روش‌های تدریس معلمان باید جایی برای اشاره به دانش مدل و فرامدل‌ســـازی پیش‌بینی شود تا دانش‌آموزان آگاهانه و با استفاده از مهارت‌های شـــناختی و فراشناختی به مدل‌سازی و یادگیری ازطریق مدل دست بزنند و به‌عبارت‌ســـاده‌تر، پا در راه دانشـــمندان بگذارند و به کمک مدل‌های علمی بیاموزند و پس از آموختن، استدلال، پیش‌بینی، و کاوشگری کنند و به حل مسائل در دنیای واقعی بپردازند.

در بین دســـته‌های متعددی که هریسون و ترگســـت (۲۰۰۰) برای مدل‌های مفهومی تعریف کرده‌اند، شـــرکت‌کنندگان در این پژوهش بیشـــترین اشـــاره را به مدل‌های مقیاس کوچک و مدل‌های مشابهت‌ســـازی داشتند. این موضوع با میزان دانش آن‌ها از مدل و فرامدل‌سازی مرتبط است. بیشتر شرکت‌کنندگان در پژوهش در هر ســـه درس فیزیک، شیمی، و زیست‌شناسی هدف مدل‌ها را توصیف پدیده‌ها می‌دانستند و از نظر پژوهشگر طبیعی هم به‌نظر می‌رسد هنگامی که از آن‌ها سؤال پرســـیده شود که بیشـــتر از کدام مدل‌ها اســـتفاده می‌کنید، در پاسخ به مدل‌های مقیاس کوچک (ماکت‌ها، قرقره‌ها، یا گلوله و میله‌ها) اشـــاره کنند. همچنین نسبت کمتری از شاگردان به استفاده از مدل‌های نظری و نمودارها و نقشه‌ها اشاره داشتند. آن‌گونه که می‌دانیم، مدل‌های نظری یا نمودارها بیشتر به‌منظور پیش‌بینی رخدادها یا فرضیه‌آزمایی یا اســـتدلال در علوم به‌کار می‌روند. شاگردانی که مدل‌ها را بیشتر به‌منظور توصیف بـــه‌کار می‌برند و نه برای پیش‌بینی یا مدل‌هـــا را به‌منزلۀ ابزاری برای بازنمایی واقعیت می‌دانند و نه برای ســـاخت نظریه‌ها، واضح اســـت که کمتر به‌سراغ مدل‌های نظری و نمودارها رفته باشند؛ بلکه مدل‌ها را بیشتر به‌صورت ماکت و نمونه‌های کوچک‌شـــده از واقعیت تصور می‌کنند. در کلاس‌های زیست‌شناســـی، مدل‌های مقیاس کوچک به‌منزلۀ ابزاری برای تشریح استفاده می‌شوند. این موضوع ممکن است به تســـلط مدل‌های مقیاس و عملکردی در کلاس‌های زیست‌شناسی منجر شـــود، اما نباید از مدل‌های انتزاعی‌تر در کلاس‌های شـــیمی و فیزیک غافل شـــد. برای ایـــن کار، معلمان باید بر ماهیت پیش‌بین مدل‌هـــا نیز تمرکز کنند. در

اینجا می‌توان با آموزش معلمان، تشـــویق آن‌ها برای به‌کارگیری مدل‌ها در تدریس، تهیهٔ محتوای مناســـب، و خلق فرصت‌های یادگیری متناســـب با دانش مدل‌سازی مانند شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای، استفاده از اشکال، نگاره‌ها، و طرح‌های گرافیکی سایر مدل‌های مفهومی را آموزش داد و شایستگی‌های مدل‌سازی را در شاگردان تقویت کرد.

با تغییر پایه‌های تحصیلی (سن) میزان دانش مدل‌سازی در شاگردان در دروس فیزیک و شیمی رو به افزایش است. این روند برای درس زیست‌شناسی نه افزایشی است و نه کاهشـــی. درواقع در دانش مدل‌سازی شاگردان، در درس زیست‌شناسی، طی ســـه پایهٔ دهم، یازدهم، و دوازدهم تفاوت فاحشـــی دیده نشد. به‌نظر می‌رسد به‌طور متوسط با پیچیده‌ترشدن موضوعات درسی و اهداف یادگیری، طی پایه‌های دهـــم و یازدهم، دانش مدل‌ســـازی در همهٔ ابعاد برای شـــاگردان در درس فیزیک و شـــیمی رشد چشـــمگیری یافته اســـت. هرچند که انجام مطالعهٔ طولی متناسب با شـــرایط تحصیلی در ایران برای تأیید بیشـــتر این گفته لازم است، اما تفاوت در فرصت‌های یادگیری، روش‌های تدریس، رویکردهای برنامهٔ درسی در دروس فیزیک، شیمی در ایران از یک‌سو و درس زیست‌شناسی از سوی دیگر می‌تواند این تفاوت‌ها یا تفاوت‌نداشتن‌ها را توجیه کند. آن‌گونه که در نتایج دیدیم، بیشتر درک شاگردان در درس زیست‌شناســـی از مدل، همان ماکت‌های کوچک از اعضای بدن اســـت و کمتر ماهیت مدل‌ها را در سطوح بالاتر مدل‌سازی مثل فرضیه‌سازی یا حل مسئله می‌بینند. البته این دانش اندک مدل‌سازی در طول پایه‌های دهم تا دوازدهم تغییر چندانی نکرده است. این تغییرنکردن در دانش مدل‌سازی، گذشته از محتوای درسی ارائه‌شـــده و ماهیت درس زیست‌شناســـی، می‌تواند به فرصت‌های یادگیری در این درس مرتبط باشد. به‌نظر می‌رسد فرصت‌های یادگیری برای ارتقای دانش مدل‌سازی در درس زیست‌شناســـی، فقط به آموزش با مدل‌های مقیاس کوچک، عملکردی، و مشابهت‌سازی‌ها محدود شده است. فرصت‌های یادگیری متنوع‌تر و فراتر از نمایش ماکت‌ها شاگردان را به سطوح بالاتر یادگیری دانش مدل‌ها سوق می‌دهند. نمودارها، نقشه‌ها، شبیه‌ســـازی یارانه‌ای، نگاره‌ها و بسیاری از مدل‌های ذهنی دیگر به کمک شاگردان می‌آیند تا بتوانند فراتر از توصیف‌کردن و نمایش‌دادن (دانش امور واقعی و دانش روندی) رویدادها را استدلال و پیش‌بینی و موقعیت را ارزیابی کنند و به حل مسئله بپردازند.

اگر شاگردان به‌وضوح به این موضوع نیندیشند که مدل‌ها چرا ساخته می‌شوند،

با چه هدفی توسعه می‌یابند و ارزیابی می‌شوند یا حتی برای حل مسئلهٔ خاصی به‌کار می‌روند و نمی‌توانند پیوند محکمی بین این مدل‌ها و دنیای واقعی برقرار کنند. شناخت‌نداشتن باعث می‌شود بسیاری از جنبه‌های مطلوب استفاده از مدل در تدریس و یادگیری آشکار نشود. آیا بهتر نیست دانش‌آموزان در دروس فیزیک، شیمی، و زیست‌شناسی، که شاید سال‌هاست به کمک مدل‌های مفهومی در حال پیش‌بینی و استدلال‌اند، با دانش مدل‌سازی آشنا باشند و مهارت‌های فراشناختی خود را برای کاربرد یا اصلاح مدل‌ها به‌کار ببرند؟ پیشنهاد پژوهشگر این است که هم در برنامهٔ درسی علوم مدارس (دبستان و متوسطه) و هم در برنامهٔ درسی پرورش معلمان علوم، به این مهم توجه شود و تدریس و یادگیری به کمک مدل‌های مفهومی از موارد جدایی‌ناپذیر برنامهٔ درسی آموزش علوم (فیزیک، شیمی، و زیست‌شناسی) مدارس ایران قرار بگیرد.

بنابر نظر ویدجیمز و همکاران (۲۰۱۹) یکی از شایستگی‌های مهم در دانش مدل‌سازی و فرامدل‌سازی، داشتن مهارت بازنگری و ارزیابی مدل‌هاست. این مهارت کمک می‌کند که شاگردان بتوانند هنگام رویارویی با موقعیت‌ها و مسائل تازه از خودِ مدل‌های مفهومی یا نسخه‌های بازنگری‌شدهٔ آن‌ها برای حل مسائل و واکنش مناسب به موقعیت‌ها استفاده کنند. این همان داشتن مهارت‌های فراشناختی است. در فراشناخت، شاگردان مدل‌ها را وارسی، بازبینی، و کنترل هدفمند می‌کنند. این موضوع ضرورت توجه به مهارت‌های فراشناختی را دوچندان می‌کند. البته برای استفادهٔ درست از مهارت‌های فراشناختی در مدل‌سازی، لازم است معلم آن‌ها را به شکل ضمنی تدریس کند. با توجه به اینکه بیشتر دانش‌آموزان شرکت‌کننده در پژوهش، در سطوح پایین دانش مدل‌سازی و فرامدل‌سازی قرار داشتند، توسعهٔ مهارت‌های فراشناختی و البته استفاده از راهبردهای فراشناختی، همچون نقشه‌های مفهومی، سازمان‌دهنده‌ها، سنجش کج‌فهمی‌ها، و پرسشگری، ضمن اینکه به افزایش دانش مدل‌سازی به شاگردان کمک می‌کند، می‌تواند به شاگردان در شناسایی خطاها هنگام ساختن و استفاده از مدل‌های مفهومی کمک کند و موجب افزایش آگاهی آن‌ها از پدیده‌های علمی با استفاده از مدل‌سازی شود.

به کمک مدل‌های مفهومی دانش‌آموزان می‌توانند پدیده‌های علمی را شناسایی و در حد دانش خود آن‌ها را پیش‌بینی کنند. این همان راه و روش دانشمندان در انجام فرایندهای علمی است. یافته‌های این پژوهش نشان داد که شاگردان در بسیاری از مؤلفه‌های دانش مدل و فرامدل‌سازی دچار ضعف‌اند و در سطوح پایین

یادگیری مدل قرار دارند. معلم چگونه می‌تواند میزان فهم شـــاگردان از یک مدل را بسنجد؟ یا حتی به این موضوع پی ببرد که شاگردش چه میزان مهارت‌های بازبینی، اصلاح و بهبود مدل‌های مفهومی را فراگرفته و به‌کار می‌بندد؟ پیشـــنهاد پژوهشگر برای این سؤال استفاده از رویکردهای متنوعی است که در حوزۀ سنجش تکوینی در اختیار معلمان علوم قرار گرفته است. استفاده از سنجش تکوینی در فرایند تدریس معلمان علوم (فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی) به شناخت بیشتر معلم از دانش مدل و فرامدل‌سازی شاگردانش کمک می‌کند. این شناخت، که در حین فرایند تدریس صورت می‌گیرد، می‌تواند به شـــاگردان برای بازبینی و بهبود مدل‌های مفهومی‌شان کمک فراوانی بکند.

حمایـــت از دانش روبه‌رشـــد دانش‌آمـــوزان در حوزۀ مدل و فرامدل‌ســـازی در کلاس‌های علوم ضروری به‌نظر می‌رســـد. به این دلیل کـــه دانش‌آموزان باید برای یادگیری عمیق موضوعات علمی مطابق با نظریۀ سازنده‌گرایی خود، دانش مستدلی درمورد علم و فرایندهای علمی ایجاد کنند. دانستن مدل‌سازی و شناخت جنبه‌های مختلف آن، ازجمله ماهیت و هدف اســـتفاده از مدل‌ها، به ایجاد و تقویت این دانش مســـتدل کمک شایانی می‌کند؛ ضمن اینکه بســـیاری از پژوهش‌ها ازجمله گوبرت و پالانت[۴۰] (۲۰۰۴) و شـــوارتز و وایت[۴۱] (۲۰۰۵) بر تأثیر مثبت دانش مدل‌ســـازی پیچیـــده در یادگیری و درک دانش محتوای علمی تأکید می‌کنند. این اســـتدلال، عـــلاوه بر اینکه اســـتفاده از مدل بـــرای تدریس علوم و گنجانـــدن آن در محتوای کتاب‌های درسی را ضروری جلوه می‌دهد، افزایش دانش معلمان دربارۀ مدل‌سازی و ایجاد رویکردهای تازه در برنامۀ درســـی علوم و حتی اصلاح آن‌ها را الزامی کرده است. اسوبودا و پاسمور[۴۲] (۲۰۱۳) بر این باورند که مدل‌سازی و دانش مرتبط با آن به حوزه و زمینۀ بررسی وابسته است. آن‌ها چنین بیان می‌کنند که توجه به زمینه و موضوع بسیار مهم است. نهم و ها[۴۳] (۲۰۱۱) نیز نقش زمینۀ کاری و موضوع درسی در ســـنجش مهارت‌ها و شایستگی‌های مدل‌ســـازی را مؤثر می‌دانند. این اظهارات خاص ـ حوزه بودن دانش مدل‌ســـازی و فرامدل‌ســـازی را نشـــان می‌دهد؛ بنابراین می‌توان چنین گفت که این دانش نه‌فقط بین شاخه‌های گوناگون علوم مثل فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی متفاوت است، بلکه درون هریک از این شاخه‌ها نیز می‌تواند دانش مدل‌سازی متفاوتی نهفته باشـــد. به همین علت نیاز است درک شاگردان از مدل‌های خاص فیزیک، شیمی، و زیست‌شناسی بیشتر بررسی شود. این کار موجب درک عمیق‌تر از فهم شاگردان از مدل می‌شود.

این مطالعه تفاوت‌هایی را در درک شاگردان از مدل‌ها و مدل‌سازی در درس‌های زیست‌شناسی، شـــیمی و فیزیک نشـــان داد. بااین‌حال، باید پژوهش‌های بیشتری درمورد فرصت‌های یادگیری و ارتباط آن با مدل‌ها در کلاس‌های زیست‌شناســـی، شـــیمی و فیزیک، تحلیل محتوای کتاب‌های درســـی با محوریت مدل‌سازی، ارائهٔ برنامه‌های درسی علوم مبتنی‌بر مدل‌سازی و مطالعهٔ اثربخشی آن‌ها در ایران انجام شود. در پایان، نباید از تأثیر بسزای معلمان شاخه‌های مختلف علوم و نظریات آنان به‌منظور واکاوی بهتر دانش مدل‌ســـازی در شـــاگردان غافل شد؛ هرچند پیشنهاد واکاوی میزان درک معلمان علوم از شایستگی‌های مدل‌سازی نیز می‌تواند به درک عمیق‌تر این موضوع کمک کند. همچنین با اســـتفاده از ابزارهای سنجش مختص مدل‌ســـازی در هریک از شـــاخه‌های علوم و همچنین انجام مصاحبه‌های عمیق با شـــاگردان، می‌توان از دانش مدل‌سازی و فرامدل‌سازی در شاگردان شناخت بهتری پیدا کرد. بررســـی اثر زمینهٔ تحصیلی شاگردان، بررسی دانش مدل‌سازی در مقاطع پایین‌تر تحصیلی، و تفاوت‌های جنسیتی در میزان و نوع دانش آن‌ها در این پژوهش بررسی نشده که پیشنهاد می‌شود در آینده بررسی شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع
REFERENCES

- Akerson, V.L., White, O., Colak, H., Pongsanon, K. (2011). Relationships Between Elementary Teachers' Conceptions of Scientific Modeling and the Nature of Science. In M. Khine, and I. Saleh, (eds) *Models and Modeling: Cognitive Tools for Scientific Enquiry* (vol 6, pp. 221-237). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0449-7_10.
- Bock, R.D., & Gibbons, R.D. (2021). *Item Response Theory*. John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/9781119716723.
- Bond, T. G., Yan, Z., & Heene, M. (2021). *Applying the rasch model: fundamental measurement in the human sciences* (Fourth). Routledge. https://www.taylorfrancis.com/books/9780429030499.
- Coll, R. K., & Lajium, D. (2011). Modeling and the Future of Science Learning. In M. Khine, and I. Saleh, (eds) *Models and Modeling: Cognitive Tools for Scientific Enquiry* (vol 6, pp. 3-21). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0449-7_1
- Desjardins, C. D., & Bulut, O. (2020). *Handbook of Educational Measurement and Psychometrics Using R*. Taylor & Francis. https://doi.org/10.1201/b20498
- Fortus, D., Shwartz, Y., & Rosenfeld, S. (2016). High school students' meta-modeling knowledge. *Research in Science Education, 46*, 787-810. https://doi.org/10.1007/s11165-015-9480-z
- Fritz, C. O., Morris, P. E., & Richler, J. J. (2012). Effect size estimates: Current use, calculations, and interpretation. *Journal of Experimental Psychology: General, 141*(1), 2–18. https://doi.org/10.1037/a0024338
- Gobert, J. D., O'Dwyer, L., Horwitz, P., Buckley, B. C., Levy, S. T., & Wilensky, U. (2011). Examining the relationship between students' understanding of the nature of models and conceptual learning in biology, physics, and chemistry. *International Journal of Science Education, 33*(5), 653-684. https://doi.org/10.1080/09500691003720671
- Gobert, J. D., & Pallant, A. (2004). Fostering Students' Epistemologies of Models via Authentic Model-Based Tasks. *Journal of Science Education and Technology, 13*, 7–22. https://doi.org/10.1023/b:jost.0000019635.70068.6f
- Gogolin, S., & Krüger, D. (2018). Students' understanding of the nature and purpose of models. *Journal of Research in Science Teaching, 55*(9), 1313–1338. https://doi.org/10.1002/tea.21453
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching, 28*(9), 799–822. https://doi.org/10.1002/tea.3660280907
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education, 22*(9), 1011–1026. https://doi.org/10.1080/095006900416884
- 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
- Krell, M., & Krüger, D. (2016). Testing Models: A Key Aspect to Promote Teaching Activities Related to Models and Modelling in Biology Lessons? *Journal of Biological Education, 50*(2), 160–173. https://doi.org/10.1080/00219266.2015.1028570
- Masters, G. N. (1982). A Rasch model for partial credit scoring. *Psychometrika, 47*(2), 149–174. https://doi.org/10.1007/BF02296272
- Miller, S. G. (2016, 15 July). *Why the Olympics Actually Won't Cause Zika to Spread Everywhere Four countries are at risk, however, according to a new U.S. Centers for Disease Control and Prevention report. Scientific American.* https://www.scientificamerican.com/article/why-the-olympics-actually-won-t-cause-zika-to-spread-everywhere
- Nehm, R. H., & Ha, M. (2011). Item feature effects in evolution assessment. *Journal of Research in Science Teaching, 48*(3), 237–256. https://doi.org/10.1002/tea.20400
- Nering, M. L., & Ostini, R. (Eds.). (2011). *Handbook of polytomous item response theory models*. Taylor & Francis. https://doi.org/10.4324/9780203861264
- Nielsen, S. S., & Nielsen, J. A. (2021). A Competence-Oriented Approach to Models and Modeling in Lower Secondary Science Education: Practices and Rationales Among Danish Teachers. *Research in Science Education,*

51, 565–593. https://doi.org/10.1007/s11165-019-09900-1

- Odenbaugh, J. (2005). Idealized, inaccurate but successful: A pragmatic approach to evaluating models in theoretical ecology. *Biology and Philosophy, 20*(2–3), 231–255. https://doi.org/10.1007/s10539-004-0478-6
- Passmore, C., Gouvea, J., & Giere, R. (2014). Models in science and learning science: Focusing scientific practice on sense-making. In Matthews, M. (eds), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 1171–1202). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8_36
- Penfield, R. D. (2004). The Impact of Model Misfit on Partial Credit Model Parameter Estimates. *Journal of Applied Measurement, 5*(2), 115–128.
- Schwarz, C., Reiser, B. J., Acher, A., Kenyon, L., & Fortus, D. (2012). MoDeLS. In A. C. Alonzo & A. W. Gotwals (Eds.), *Learning Progressions in Science: Current Challenges and Future Directions* (pp. 101–137). Sense Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6091-824-7_6
- 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), 165–205. https://doi.org/10.1207/s1532690xci2302_1
- Svoboda, J., & Passmore, C. (2013). The Strategies of Modeling in Biology Education. *Science and Education, 22*(1), 119–142. https://doi.org/10.1007/s11191-011-9425-5
- 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
- Upmeier zu Belzen, A., & Kruger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht [Model competence in biology lessons]. *Zeitschrift fu¨ r Didaktik der Naturwissenschaften [Journal of science education], 16*, 41 – 57.
- 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
- Zwickl, B. M., Finkelstein, N., & Lewandowski, H. J. (2013). The process of transforming an advanced lab course: Goals, curriculum, and assessments. *American Journal of Physics, 81*(1), 63–70. https://doi.org/10.1119/1.4768890

پی‌نوشت‌ها

1. World Health Organization (WHO)
2. Miller
3. Mental and Conceptual Models
4. Gogolin and Krüger
5. Odenbaugh
6. Passmore
7. Wade-Jaimes
8. Nielsen
9. Zwickl
10. Krell
11. Meta-Modeling
12. Schwarz
13. Gross lighth
14. Treagust
15. Upmeier and Krüger
16. Model of Model Competence
17. Fortus
18. Akerson
19. Gobert
20. Ranking Tasks
21. Partial Credit Model (PCM)
22. Bock and Gibbons
23. Masters
24. Polytomous
25. Nering and Ostini
26. ERM
27. R
28. Desjardins and Bulut
29. Sum of Squared Standardized Residuals (MNSQ)
30. Bond
31. Person Reliability Index
32. Hedges' g
33. Fritz
34. Penfield
35. Harrison
36. Scale Model
37. Functional Model
38. Analogical Model
39. Coll and Lajium
40. Gobert and Pallant
41. White
42. Svoboda and Passmore
43. Nehm and Ha
44. specific-domain