مجلهٔ مطالعات آموزش و یادگیری
دورهٔ چهاردهم، شمارهٔ دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، شماره پیاپی ۸۳، صفحه‌های ۱۲۵- ۱۰۵
(مجلهٔ علوم اجتماعی و انسانی سابق)

واکاوی شایستگی‌های مدل‌سازی علمی در دانش‌آموزان دوره دوم متوسطه

مجتبی جهانی‌فر*، فاطمه دهقانی**

چکیده

مدل از مفاهیم مهم در فلسفه علم و مدل‌سازی مهارتی اساسی در آموزش علوم است. این پژوهش به کاوش شایستگی‌های مدل‌سازی در دانش‌آموزان دوره دوم متوسطه در آموزش علوم (فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی) پرداخته است. در این پژوهش کیفی به‌کمک مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته میزان وابستگی دانش فرامدل‌سازی به دانش محتوایی و همچنین سطح یادگیری دانش فرامدل‌سازی (شایستگی مدل‌سازی) در ۱۰ دانش‌آموز دوره دوم متوسطه رشته تجربی واکاوی شد. با وجود اینکه در برنامه درسی رسمی ایران در مورد مهارت‌های مدل‌سازی علمی محتوای چندانی وجود ندارد، همهٔ مصاحبه‌شوندگان این مهارت را البته در سطوح پایین داشتند. شایستگی‌های مدل‌سازی دانش‌آموزان ارتباطی به دانش محتوایی و موضوع درسی نداشت، اما نحوه استفاده از مدل‌ها، و هدف از به‌کارگیری آن‌ها به دانش محتوایی وابسته بود. یافته‌ها نشان داد که برنامه‌ریزان از نقش مدل برای آموزش علوم غفلت کرده‌اند و دانش مدل و مهارت‌های فرامدل‌سازی به‌ندرت در اهداف یادگیری دروس علوم قرار گرفته است، به‌طوری که شاگردان با وجود استفاده ناقص و ناآگاهانه از مدل‌ها برای توصیف، فرضیه‌سازی، استدلال و پیش‌بینی رویدادها هنوز در مورد مدل‌ها دانش زیادی ندارند. با ایجاد حمایت مناسب از شاگردان، خلق فرصت‌های یادگیری برای مدل‌سازی، آموزش معلمان برای توجه بیشتر به نقش مدل‌ها در یادگیری علوم و توجه به مدل‌سازی در برنامهٔ درسی علوم، می‌توان ضمن افزایش شایستگی مدل‌سازی، شاهد رشد مهارت‌هایی همچون استدلال علمی، پیش‌بینی رویدادها و توان حل مسئله بود.

واژه‌های کلیدی: آموزش علوم، دانش فرامدل‌سازی، شایستگی مدل‌سازی، مدل‌سازی

پرتال جامع علوم انسانی

* استادیار گروه علوم تربیتی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. (نویسنده مسئول) m.jahanifar@scu.ac.ir
** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته تحقیقات آموزشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. f-dehghani@stu.scu.ac.ir
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۵/۲۱ تاریخ دریافت مقاله نهایی: ۱۴۰۱/۸/۲۴ تاریخ پذیرش : ۱۴۰۱/۹/۲

مقدمه

در فرآیند یادگیری علوم، که به روش دانشمندان شباهت زیادی دارد، دانش‌آموزان از آنچه در دنیای واقعی می‌بینند مدل‌هایی در ذهن خود تشکیل می‌دهند و شروع به ساختن فرضیه می‌کنند، آن‌ها آنچه در مورد دنیای اطراف می‌دانند یا تصور می‌کنند درست است را به کار می‌برند و سپس به‌کمک شواهدی که در دست دارند مدل ذهنی ایجادشده را تغییر داده و یا آن را دقیق‌تر و منطقی‌تر می‌کنند. این فرآیند به چرخه یادگیری[1] شبیه است که اولین بار توسط رابرت کارپولوس[2] در سال ۱۹۷۹ وارد ادبیات آموزش علوم گردید (Karplus, 1980). این رویکرد آموزشی مبتنی بر کاوشگری علمی دارای سه مرحله مجزاست: (۱) مرحلهٔ کاوش، که تجربیات دست‌اولی را در مورد پدیده‌های علمی به دانش‌آموزان ارائه می‌دهد (۲) تعریف مفهوم، که به دانش‌آموزان اجازه می‌دهد تا از طریق تعامل با همسالان، استفاده از محتوا و حمایت معلمان، درک درستی از مفاهیم علمی ایجاد کنند و (۳) کاربرد مفهوم، که دانش‌آموزان را ملزم می‌کند تا درک خود را در موقعیت‌ها و مسائل تازه به کار ببرند (Riffert, Hagenauer, Kriegseisen, & Strahl, 2021). در این چرخهٔ سه مرحله‌ای فعالیت‌هایی برای دانش‌آموزان و معلمان طراحی شده است که به‌کمک آن‌ها فرصت‌هایی برای یادگیری علوم ایجاد می‌شود، که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از استفاده از مهارت‌های شناختی و فراشناختی مانند: کاوش به‌کمک منابع، تشخیص و طبقه‌بندی مفاهیم، استدلال و پیش‌بینی، راستی‌آزمایی و از همه مهم‌تر مدل‌سازی مفهومی (علمی). در میان این مهارت‌ها، مدل‌سازی نقش پررنگ‌تری را ایفا می‌کند. مدل‌سازی را می‌توان به‌عنوان یک فرآیند مداوم ایجاد، آزمایش، اصلاح و بهبود مدل‌ها به‌منظور توصیف دنیای مادی، و انتقال ادراک ما از این دنیای مادی، تعریف کرد (Kang, Thompson, & Windschitl, 2014). علاقه به مدل‌ها و مدل‌سازی در آموزش علوم در چند سال گذشته افزایش چشمگیری داشته است (Lehrer & Schauble, 2015). در این پژوهش هر جا از علوم نام برده شده است، منظور دروس فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی دورهٔ دوم متوسطه است.

مدل‌سازی از جهان واقعی، همان بازی بزرگ علم است و هر نظریه علمی، مجموعه‌ای از قواعد را برای انجام این بازی تعیین می‌کند. هدف این بازی ساختن مدل‌هایی از طبیعت و فرآیندهای جهان واقعی است، مدل‌ها هسته اصلی دانش علمی را تشکیل می‌دهند و درک علوم همان شناخت چگونگی ساخت و اعتباربخشی به مدل‌های علمی است، بنابراین [شاید] هدف اصلی آموزش علوم باید آموزش بازی مدل‌سازی باشد (Hestenes, 1992, 2008). به‌طور کلی، مدل‌ها بازنمایی‌های نظام‌مند از جهان واقعی هستند که برای توصیف، بازنمایی و توضیح پدیده‌ها استفاده می‌شوند. مدل‌ها

---

[1]. learning cycle
[2]. Robert Karplus

می‌توانند ذهنی و مفهومی[1] (علمی) باشند. مدل‌های ذهنی همان الگوهای خصوصی افراد هستند که نمایانگر درک افراد از پدیده‌های واقعی است. مدل‌های ذهنی راهکارهای معناداری را برای یادگیری علوم فراهم می‌آورند و می‌توانند با انتزاع و شبیه‌سازی‌های ذهنی، مفهومی را در ذهن ایجاد کنند. مدل‌های ذهنی به‌سبب تعامل یادگیرنده با رخدادها، همواره در حال تغییر و توسعه هستند و البته نقش اساسی در توسعه مدل‌های مفهومی (علمی) دارند. مدل‌های مفهومی بازنمایی مدل‌های ذهنی هستند که به‌صورت شکل‌ها، نمودارها، روابط ریاضی، نقشه‌ها، مدل‌های شبیه‌سازی و غیره ارائه می‌شوند، مدل‌های مفهومی محصول استفاده از ابزارهای شناختی و فراشناختی همچون پرسشگری، بازخوردهای فردی و بازبینی هستند (Wade-Jaimes, Demir, & Qureshi, 2018).

در حالی که فعل «مدل‌سازی» را می‌توان به‌عنوان یک فرآیند علمی درک کرد، اسم «مدل» را می‌توان به‌عنوان فرآورده یک فرآیند علمی تلقی کرد. فرآیند مدل‌سازی می‌تواند شامل مراحل الف) ایجاد مدل‌ها با تجسم جنبه‌های کلیدی نظریه و داده‌ها در یک فرآیند علمی، ب) ارزیابی مدل‌ها، ج) بازنگری در مدل‌ها برای انطباق ایده‌های نظری با یافته‌های تجربی جدید، و د) استفاده از مدل‌ها برای پیش‌بینی و توضیح جهان باشد (Nielsen & Nielsen, 2021). با نگاهی به این مراحل درمی‌یابیم که فرآیند مدل‌سازی شامل چرخه‌های مکرر توسعه (ایجاد)، بازنمایی و آزمایش است، که شبیه دانستن آن به چرخه یادگیری بی‌راه به نظر نمی‌رسد و بنابراین می‌توان چنین استدلال کرد که مدل‌سازی نقش بسزایی در کاوشگری علمی و البته یادگیری علوم خواهد داشت و همین طور علم به‌عنوان فرآیندی برای تولید دانش می‌تواند به‌صورت فرآیندی برای تولید مدل نیز تعبیر و تفسیر شود. نقش مدل‌سازی در کنار مهارت‌های مهم دیگر همچون کاوشگری علمی، فرضیه‌سازی، حل مسئله و استدلال علّی می‌تواند به یادگیری بهتر علوم تجربی کمک کند. اهمیت و علاقه به این نقش در آموزش علوم طی چند سال گذشته افزایش یافته است. درگیر کردن دانش‌آموزان با مدل‌سازی باعث می‌شود که دانش معرفت شناختی آن‌ها از علم و همچنین مهارت آن‌ها در ارزیابی دانش علمی تقویت شود (Lehrer & Schauble, 2015).

آن‌گونه که پیش از این گفته شد، علم را می‌توان فرآیند ساخت، توصیف و توضیح مدل‌های مفهومی دانست و به‌کمک مدل‌ها پیش‌بینی پدیده‌های طبیعی دقیق‌تر و آسان‌تر خواهد بود. در طول فرآیند مدل‌سازی، دانشمندان و به پیروی از آن‌ها دانش‌آموزان توانایی و مهارت‌های تفکر و حل مسئله خود را در ساخت، ارزیابی، و اصلاح مدل‌های علمی به کار می‌گیرند. ساخت و بازنگری مدل‌های مفهومی در آموزش علوم رویکرد تازه‌ای را تحت‌عنوان شایستگی دانش‌آموزان در درک مدل‌ها و دانش مدل‌سازی (شایستگی مدل‌سازی[2]) به وجود آورده است و پرورش دادن این

---

[1]. mental and conceptual models
[2]. modeling competence

شایستگی‌ها هم مورد تاکید استانداردهای آموزش علوم تجربی در دنیاست و هم در برنامه‌های درسی علوم کشورهای مختلف اهمیت ویژه‌ای دارد و تجربه‌های ویژه‌ای برای استفاده از مهارت‌های مدل‌سازی در جهت بهبود سواد علمی شاگردان وجود دارد، به‌گونه‌ای که توسعه شایستگی مدل‌سازی برای سواد علمی شهروندان قرن بیست‌ویکم ضروری به نظر می‌رسد (Chiu & Lin, 2019). در مدارس خارج از ایران، شایستگی مدل‌سازی به‌عنوان بخش جدایی‌ناپذیر سواد علمی در نظر گرفته می‌شود (John Gilbert & Justi, 2016). پنج ویژگی مهم برای شایستگی مدل‌سازی عبارت‌اند از :

(۱) **خلق مدل:** توانایی ساخت مدل‌هایی که با شواهد اولیه، و نظریه‌ها سازگار بوده و بتوانند رویدادها را تشریح کنند.

(۲) **کاربرد مدل:** توانایی استفاده از مدل‌ها به‌منظور استدلال و پیش‌بینی بهتر رخدادها.

(۳) **ارزیابی مدل:** توانایی مقایسه و ارزیابی ویژگی‌های مدل‌های مختلف به‌منظور نمایش شفاف و پیش‌بینی دقیق رخدادها.

(٤) **بازنگری مدل:** توانایی استفاده از شواهد و دانش موجود برای بازبینی و بازنگری مدل‌ها به‌گونه‌ای که قدرت پیش‌بینی افزایش یافته و استدلال مبتنی بر آن‌ها منطقی‌تر باشد.

(۵) **روایی مدل:** توانایی درک این موضوع که برای یک پدیده مشخص می‌توان بیش از یک مدل مفهومی ایجاد کرد (Fortus, Shwartz, & Rosenfeld, 2016; Schwarz et al., 2009).

مدل شایستگی مدل‌سازی[1] پنج مؤلفه اساسی شایستگی مدل‌سازی را در سه سطح یادگیری ارائه می‌کند. در مدل شایستگی مدل‌سازی برای هر مؤلفه سطوح مختلف یادگیری تعریف شده که البته با افزایش سطح، شایستگی مدل‌سازی هم افزایش یافته و دانش فرامدل‌سازی تبدیل به فرآیندی پیچیده‌تر خواهد شد (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010). در این طبقه‌بندی 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) مورد تحلیل قرار می‌گیرند. شکل ۱ مؤلفه‌های مدل شایستگی مدل‌سازی به همراه سطوح مختلف یادگیری دانش مدل‌سازی را نمایش می‌دهد.

افزایش سطح شایستگی مدل ←

مؤلفه‌های شایستگی مدل		سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
	ماهیت مدل ها	تکرار(کپی) پدیده	بازنمایی ایده آل از پدیده	بازسازی نظری پدیده
	مدل های چندگانه	استفاده از اجزای مختلف برای مدل سازی یک پدیده	رویکردهای متفاوت مدل سازی برای یک پدیده	دانستن فرضیه های متفاوت در مورد یک پدیده
	هدف مدل ها	توصیف پدیده	توضیح و تبیین پدیده	پیش بینی پدیده ها
	ارزیابی مدل ها	ارزیابی اجزای مدل	مقایسه مدل با پدیده	فرض آزمایی با مدل
	تغییر مدل ها	اصلاح نقص های اجزای مدل	بازنگری به منظور رسیدن به بینش تازه	بازنگری به منظور راستی آزمایی فرضیه ها

شکل ۱. مدل شایستگی مدل‌سازی و سطوح آن (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010)

[1]. model of model competence

برخی دانش‌آموزان دبیرستانی و راهنمایی می‌توانند مدل‌های بسیار دقیقی را بسازند یا بازطراحی کنند که شامل مکانیسم‌های توصیفی قدرتمندی هستند، همچنین این دانش‌آموزان می‌توانند از این مدل‌ها برای پیش‌بینی پدیده‌ها استفاده کنند و البته در کنار این نتایج دلگرم‌کننده، بسیاری از آن‌ها در سطوح پایین شایستگی مدل‌سازی قرار داشته و یا مدل را نمی‌دانند و به کار نمی‌برند، و یا اینکه با وجود ناآگاهی از مدل و ویژگی‌های آن، به‌طور ناقص آن را در فرآیند یادگیری خود به کار می‌برند (Chiu & Lin, 2019; Fortus et al., 2016; Schwarz et al., 2009). با پشتیبانی مناسب، دانش‌آموزان می‌توانند در امتداد سطوح روند یادگیری مدل، از ساخت مدل‌های مقیاس کوچک (ماکت‌ها) به‌طرف مدل‌های توصیفی و نظری رفته، و از کاربرد مدل‌ها برای توصیف و تشریح پدیده‌ها به‌سمت توانایی استدلال، پیش‌بینی و حل مسئله به‌کمک مدل‌ها پیش بروند و دست به بازنگری و اصلاح مدل‌ها برای موقعیت‌های تازه بزنند (افزایش تدریجی سطوح یادگیری دانش مدل‌سازی و فرامدل‌سازی). مطالعاتی وجود دارد که نشان می‌دهد دانش‌آموزان محتوای علمی را در برنامه‌های درسی مبتنی بر مدل‌سازی می‌آموزند و مدل‌سازی نقش موثری در یادگیری دانش محتوایی دارد (Stewart, Cartier, & Passmore, 2005). با این حال پژوهشگران مطالعاتی که نشان دهد دانش‌آموزان در سایر برنامه‌های درسی بدون تأکید بر دانش مدل‌سازی، درک عمیق‌تری از دروس علوم (فیزیک، شیمی یا زیست‌شناسی) دارند نیافتند. توجه بسیار کم برنامه درسی علوم ایران به شایستگی‌های مدل‌سازی، نداشتن شناخت کافی از شایستگی مدل‌سازی دانش‌آموزان ایرانی و اهمیت دانش مدل‌سازی و فرامدل‌سازی در یادگیری علوم پژوهشگران را بر آن داشت تا با انجام این پژوهش ضمن تحلیل مختصر محتوای کتاب‌های درسی علوم برای یافتن دانش مدل‌سازی و فرامدل‌سازی، برای سوال‌های زیر به‌دنبال پاسخی دقیق برای شناخت بهتر شایستگی‌های مدل‌سازی در دانش‌آموزان ایرانی باشند: (الف) دانش‌آموزان ایرانی با وجود اینکه در برنامه درسی مدرسه محتوایی با موضوع مدل‌سازی علمی ندارند، از مدل‌سازی و دانش فرامدل‌سازی چه می‌دانند و از مدل‌های مفهومی با چه هدف و کاربردی استفاده می‌کنند؟ (ب) تا چه حد شایستگی‌های مدل‌سازی به دانش محتوایی وابسته است؟ به‌طور مثال، اگر دانش‌آموزی با مدل‌سازی در موضوع حرکت‌شناسی آشنا باشد، آیا می‌تواند از این دانش در زمینه‌های محتوایی مختلف مانند فتوسنتز گیاهان و یا ترکیب‌های شیمیایی نیز استفاده کند؟

روش پژوهش

در این پژوهش کاربردی، که به‌لحاظ روش در دسته پژوهش‌های کیفی قرار می‌گیرد، سعی شد به واکاوی دانش مدل‌سازی و فرامدل‌سازی شاگردان از طریق مصاحبه عمیق با آن‌ها پرداخته شود. در ادامه ضمن معرفی مشارکت‌کنندگان و ویژگی‌های آن‌ها، ابزارها و تحلیل‌های مورد استفاده در پژوهش نیز تشریح خواهد شد.

شرکت‌کنندگان پژوهش

در این پژوهش ۱۰ نفر دانش‌آموز پایه یازدهم رشته تجربی به‌صورت هدفمند از دبیرستان‌های متوسطه دوم شهر اهواز برای مصاحبه انتخاب شدند. سن این دانش‌آموزان ۱۵ تا ۱۶ سال بود. ٦ نفر از شرکت‌کنندگان دختر و ٤ نفر از آن‌ها پسر بودند. هیچ‌کدام از دانش‌آموزان به‌لحاظ تحصیلی سرآمد نبوده و با کمک معلمان آن‌ها به‌عنوان دانش‌آموز با بیان خوب و با سطح دانش متوسط انتخاب شدند. از آنجایی که این پژوهش به‌دنبال رابطه بین دانش محتوایی و دانش فرامدل‌سازی بود، سعی کردیم به‌دنبال دانش‌آموزانی باشیم که بین دانش محتوایی آن‌ها در زمینه‌های مختلف علمی تنوع وجود داشته باشد، با همین هدف تنها دست به انتخاب در رشته تجربی زده شد که تنوع موضوعات درسی علوم در آن بیشتر است[1]. دانش‌آموزان پایه دهم و دوازدهم، انتخاب نشدند، زیرا در پایه دهم، دانش‌آموزان به‌تازگی با دروسی مثل فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی آشنا شده‌اند و هنوز تفکیک مناسبی بین این دروس و دانش محتوایی آن‌ها برایشان ایجاد نشده است. در پایه دوازدهم نیز به‌دلیل آمادگی برای آزمون سراسری، و شرایط خاص روانی و تحصیلی آن‌ها، و اینکه کمتر در دسترس پژوهشگران قرار داشتند، انتخابی صورت نگرفت.

چگونگی گردآوری داده‌ها

به‌منظور واکاوی شایستگی‌های مدل‌سازی دانش‌آموزان، هر کدام از ۱۰ مصاحبه‌شونده، سه بار در مصاحبه شرکت کرده و درمجموع ۳۰ مصاحبه انجام گرفت. در هر بار مصاحبه یکی از دروس فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی مورد سوال قرار می‌گرفت. هر مصاحبه حدود ٤٥ دقیقه به طول انجامید و ضبط شد. مصاحبه با شاگردان در این پژوهش دو ویژگی عمده داشت: اول اینکه مصاحبه‌ها در مورد مدل‌ها و مدل‌سازی به‌صورت کاملا انتزاعی نبود و همواره پرسش‌های مصاحبه با مصادیقی همراه بود که در محتوای علمی کتاب‌های دوره دوم متوسطه گنجانده شده بودند، مانند موضوع فشار آب کف دریاچه روی غواص، برج تقطیر نفت و یا نقش قلب در خون‌رسانی. در این مصاحبه‌ها، محتوای علمی گاه برای دانش‌آموزان شناخته شده بود و گاه ناشناس و مثلا پدیده‌ها از اکتشافات بزرگ تاریخ علم استخراج شده بودند که البته محتوای علمی آن در کتاب وجود داشت. اگر دانش‌آموزی از محتوای علمی زیربنای یک پدیده بی‌اطلاع بود، مصاحبه‌کننده یک مرور مختصر از آن مبحث را ارائه می‌کرد تا ادامهٔ مصاحبه با او راحت‌تر باشد. دومین ویژگی مهم مصاحبه‌ها این بود که، روند مصاحبه باعث شد که دانش‌آموزان در حالی که از آن‌ها سؤالاتی در مورد دانش مدل‌سازی پرسیده می‌شد، درگیر طراحی (رسم) مدل‌ها شوند و یا در مورد آن توضیح دهند. در این

---

۱. در برنامه درسی رشته تجربی دوره دوم متوسطه، فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی و زمین‌شناسی از مهم‌ترین موضوعات علوم هستند. در برنامه درسی رشته ریاضی تنها فیزیک و شیمی از موضوعات علوم هستند.

مصاحبه هدف **رسیدن به پاسخ** سوال‌های انتزاعی از قبیل: «با شنیدن کلمه «مدل» چه چیزی به ذهنتان می‌رسد؟ آیا مدل‌های مختلفی وجود دارد؟ مدل برای چیست؟ آیا می‌توانید از مدل‌ها در علم استفاده کنید؟ هنگام ساخت یک مدل باید به چه چیزی فکر کنید؟ آیا فکر می‌کنید دانشمندان تابه‌حال بیش از یک مدل برای یک چیز داشته‌اند؟ آیا ممکن است یک دانشمند مدلی را تغییر دهد؟» مصاحبه‌کننده سعی می‌کرد به‌کمک مثال‌ها و شرح دادن، دانش‌آموزان را برای پاسخ به این سوالات انتزاعی آماده کند.

مصاحبه‌ها، رویدادهای تعاملی بودند و به شرکت‌کنندگان اجازه دادیم تا شیوه‌های تفکر خود در مورد مدل‌سازی را آشکار کنند. هرچند ما پروتکل‌های مصاحبه را پیش از مصاحبه نوشته بودیم، اما انعطاف‌پذیری را در طول مصاحبه مدنظر داشتیم، مانند تلاش برای تکرار یا تصحیح توضیحات دانش‌آموزان و پرسشگری به‌منظور تایید فرضیه مصاحبه‌شونده. دانش‌آموزان همچنین می‌توانستند سؤالاتی برای شفاف‌سازی بپرسند. در حالی که همواره سعی می‌شد دستورالعمل صریحی اجرا شود اما زمانی که مصاحبه‌شونده در زمینه‌های تاریخ علم و یا محتوای خارج از کتاب‌ها، آگاهی نداشت یک کاغذ و مداد روی میز گذاشته شد و به دانش‌آموزان گفته شد که می‌توانند در هر زمان از آن‌ها برای توضیح ایده‌های خود استفاده کنند. برخی از دانش‌آموزان تصمیم گرفتند مدل‌هایی را ترسیم کنند و در مدل‌های خود یا مدل‌های ترسیم‌شده‌ای که در طول مصاحبه برایشان ارائه شده، تغییراتی ایجاد کنند. در این میان امکان داشت که دانش‌آموزان، دانش را به‌عنوان پاسخی به یک سوال خاص از مصاحبه‌گر ساخته باشند یا با تکرار چیزی که مصاحبه‌گر گفته است، موقعیتی را درک کرده باشند. در این پژوهش سه پروتکل جداگانه برای مصاحبه به وجود آمد، برای هر کدام از درس‌های فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی این پروتکل متفاوت بود. هر مصاحبه با این پرسش از دانش‌آموزان شروع می‌شد که آیا درباره مدل‌ها و مدل‌سازی چیزی می‌دانند؟ و آیا قبلاً این اصطلاحات را شنیده‌اند یا خیر؟ سپس دانش آن‌ها در رابطه با میزان دانسته‌های قبلی در مورد مثلا جریان الکتریکی (پروتکل فیزیک)، رفتار گازها (پروتکل شیمی)، و فتوسنتز گیاهان (پروتکل زیست‌شناسی) مورد بررسی قرار گرفت. هر سه مصاحبه برای سنجش دانش مدل و فرامدل‌سازی به‌صورت یکسان طراحی شدند و سعی بر آن بود که شایستگی‌های مدل‌سازی که در مقدمه به آن‌ها اشاره شد در اینجا مورد مصاحبه قرار بگیرد، شایستگی‌هایی مانند چیستی مدل‌های علمی، کاربرد مدل‌های چندگانه، استفاده از مدل‌ها برای تبیین و توصیف پدیده‌ها، ارزیابی مدل‌ها و تعیین محدودیت‌ها و مزایا. نمونه‌ای از پروتکل مصاحبهٔ اجراشده برای درس فیزیک در ادامه آورده شده است:

دانش قبلی از محتوای علمی: مدار الکتریسیته ساده چیست؟ اجزای آن را نام ببرید و نقش هر کدام را شرح دهید.

دانش قبلی از مدل‌سازی: لطفا مدل‌هایی که برای مدارالکتریسیته ساده به کار می‌رود را توصیف کنید و رابطهٔ هرکدام از اجزا را به‌کمک مدل شرح دهید.

مؤلفه (الف) شایستگی مدل‌سازی – مدل‌های چندگانه، استفاده از چندین مدل برای توضیح یک پدیده: آیا می‌توانید از این مدل‌ها برای توضیح دلیل روشن شدن لامپ و یا کاهش نور لامپ استفاده کنید؟

مؤلفه (ب) شایستگی مدل‌سازی – مدل‌های چندگانه، استفاده از یک مدل برای توضیح چندین پدیده: نور دو لامپ مشابه چه موقع بیشتر است؟ اگر آن‌ها را متوالی به یک باتری ببندیم یا اینکه به‌طور موازی به همان باتری ببندیم چطور؟

مؤلفه (ج) شایستگی مدل‌سازی – بازنگری مدل‌ها و نقش شواهد، یک مدل چگونه ارزیابی می‌شود؟: مدل مشابهت‌سازی جریان آب و جریان الکتریسیته، و مدل حرکت الکترون‌ها در مدار را با هم مقایسه کنید. چگونه دانشمندان تشخیص می‌دهند که یک مدل خوب است؟ به نظر شما فیزیک‌دانان از چه نوع شواهدی برای نشان دادن خوبی یا بدی این مدل‌ها استفاده کردند؟

مؤلفه (د) شایستگی مدل‌سازی – ماهیت مدل، چه رابطه‌ای بین پدیده‌های واقعی و مدل‌ها وجود دارد؟ (الف) آیا فیزیک‌دانان واقعاً می‌توانند بااطمینان بدانند که درون مدار الکتریکی چه اتفاقاتی در حال رخ دادن است؟ به نظر شما کدام مدل بازنمایی بهتری از واقعیت مدارهای الکتریکی دارد؟ آیا پذیرفتن یک مدل توسط دانشمندان و یا استفاده از آن در کلاس درس به معنای این است که آن مدل صحیح‌ترین مدل است؟

چگونگی تحلیل داده‌ها

برای تحلیل داده‌های حاصل از مصاحبه، صداهای ضبط‌شده به متن تبدیل شدند و سپس تحلیل محتوای هدایت‌شده اجرا شد. تحلیل محتوای قیاسی یا هدایت‌شده هنگامی مورد استفاده قرار می‌گیرد که ساختار تحلیل داده‌ها بر اساس دانش قبلی تشکیل شده باشد (Croucher & Cronn-Mills, 2021). این تحلیل دارای سه مرحلهٔ آماده‌سازی، سازمان‌دهی و گزارش‌دهی است (Elo & Kyngäs, 2008). متن نوشتاری مصاحبه‌ها به بخش‌هایی تقسیم شدند. منظور از بخش، هر واحد گسسته، با معنای خاصی است که در جریان گفتار دانش‌آموزان قابل‌شناسایی باشد. واحد تجزیه‌وتحلیل قسمتی بود که بر یک جنبه از دانش مدل‌سازی متمرکز بود (به‌عبارت دیگر زمانی که تمرکز مصاحبه به جنبه دیگری از مدل‌سازی تغییر می‌کرد، یک بخش پایان می‌یافت و بخش دیگری شروع می‌شد)، اگرچه گاهی اوقات دانش‌آموزان چندین جنبه از مدل‌سازی را به‌طور همزمان ذکر می‌کردند، که در این صورت یک بخش چندین کد دریافت می‌کرد. برای شناسایی و معرفی کدها از یک نماد دو حرفی استفاده گردید که شامل: مولفه‌های شایستگی مدل‌سازی (الف، ب، ج، د) و

سطح شایستگی مدل‌سازی (سطح ۱، سطح۲، و سطح ۳) است. به‌عنوان مثال، کد ب-۳ کد سطح ۳ در مولفه ب در شایستگی مدل‌سازی است. نمونه‌هایی از گفته‌های دانش‌آموزان و کدگذاری آن‌ها در بخش یافته‌ها ارائه شده است. برای اطمینان از اعتبارِ ارزیابی، ۱۲ مورد از ۳۰ مصاحبهٔ انجام‌شده به‌طور مستقل توسط دو پژوهشگر مستقل دیگر کدگذاری شدند. درصد اولیه توافق ۹۱ درصد بود. همه اختلاف‌نظرها مورد بحث‌وبررسی قرار گرفته و برای رسیدن به توافق ۱۰۰ درصدی حل‌وفصل شدند.

در این پژوهش دانش قبلی دانش‌آموزان در موضوعات فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی نیز مورد واکاوی قرار گرفت. بدین ترتیب که پاسخ دانش‌آموزان به سؤالاتی که از آن‌ها می‌خواستند به‌طور مثال جریان و مدارهای الکتریکی، یک گاز در سطح میکروسکوپی و فوتوسنتز گیاهان را با کلمات و با یک مدل توصیف کنند، مورد تحلیل قرار می‌گرفت و مشخص می‌شد که شامل این اطلاعات هست یا نیست: (الف) جریان مدارهای الکتریکی شامل: مفهوم مصرف‌کننده‌ها و تولیدکننده، مفهوم جریان، مفهوم مقاومت. (ب) مفهوم گاز شامل: گازها ساخته شده از ذرات بسیار کوچکی هستند که به‌طور تصادفی حرکت می‌کنند با فضاهای نسبتاً بزرگ بین آن‌ها که گهگاه به یکدیگر برخورد می‌کنند و یکدیگر را بسیار ضعیف جذب می‌کنند و (ج) فوتوسنتز گیاهان: گیاهان از انرژی نور برای تبدیل دی‌اکسیدکربن و آب به گلوکز و اکسیژن استفاده می‌کنند.

یافته‌ها

با هدف ارائه منظم و تشریح بهتر یافته‌ها، این بخش در چهار قسمت تنظیم شده است. در ابتدا یافته‌های حاصل از تحلیل محتوای کتب دوره دوم متوسطه با موضوع مدل ارائه شده است، سپس پیش‌دانسته‌های دانش‌آموزان (دانش محتوایی) و نوع تعامل آن‌ها هنگام مصاحبه گزارش گردیده است. در پایان نیز دانش مدل‌سازی و فرامدل‌سازی دانش‌آموزان که از طریق مصاحبه استخراج گردید گزارش شده است.

دانش مدل‌سازی در محتوای درسی علوم دوره دوم متوسطه

پژوهشگران به‌دنبال شواهدی بودند که نشان دهند، در محتوای درسی علوم دوره دوم متوسطه ایران به‌طور آشکار به مدل‌سازی و دانش فرامدل‌سازی اشاره شده باشد. به همین دلیل محتوای رسمی هر سه درس فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی پایه یازدهم بررسی شد. این محتوا توسط سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی درسی وابسته به وزارت آموزش‌وپرورش ارائه می‌شود و دفتر تالیف کتاب‌های درسی آن را تدوین می کند. این جستجو شامل بسته‌های آموزش رسمی مانند کتاب درسی و راهنمای معلم و دانش‌آموز است. نمونه‌هایی را جستجو کردیم که در آن‌ها به عبارات «مدل»، «تئوری/

نظریه»، «نمایش/ ارائه» و« دانش مدل‌سازی» و «فرامدل‌سازی» اشاره شده است. البته برای دروس علوم، استاندارد ملی در ایران وجود ندارد و جستجو تنها در محتوای کتب درسی و راهنمای معلم انجام گرفت. نتایج بررسی به ما نشان داد که مدل‌سازی کمترین اهمیت را در مهارت‌های مربوط به آموزش علوم در ایران دارد. درواقع، ایدهٔ ساخت، استفاده، نقد و بازنگری مدل‌ها در برنامه درسی علوم دوره دوم متوسطه به‌جز موارد اندک که در ادامه به آن‌ها اشاره خواهیم کرد، مورد دیگری یافت نشد. با مراجعه به فهرست مطالب کتاب‌های فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی پایه‌های دهم تا دوازدهم مطلب یا سرعنوانی تحت‌عنوان دانش مدل‌سازی و یا آموزش مهارت‌های مدل‌سازی و فرامدل‌سازی به‌جز یک مورد در کتاب فیزیک دهم در جای دیگر محتوای درسی علوم دوره دوم متوسطه دیده نشد. در کتاب فیزیک پایه دهم عنوان "***مدل‌سازی در فیزیک***" در کتاب وجود دارد، که به‌طور مختصر سعی کرده است به هدف و کاربرد مدل‌ها در فیزیک اشاره کند، و البته به همین دلیل هم در کتاب درسی فیزیک پایه‌های دهم، یازدهم و دوازدهم و با استناد به همین مطلب مختصر دائما از واژه مدل‌سازی استفاده شده است. در فهرست مطالب کتاب‌های شیمی و زیست‌شناسی پایه‌های یازدهم و دوازدهم هیچ اشاره‌ای به دانش مدل‌سازی نشده است، که نشان می‌دهد مولفان این محتوا و برنامه‌ریزان درسی توجهی به آموزش دانش مدل‌سازی در این دو درس نداشته‌اند. شکل ۲ محتوای فیزیک پایه دهم دوره متوسطه با عنوان مدل‌سازی در فیزیک را نمایش می‌دهد.

شکل۲. بخش‌هایی از کتاب فیزیک پایه دهم دوره دوم متوسطه با موضوع دانش مدل‌سازی

هر چند که پژوهشگران این مقاله با توجه به این بررسی‌ها بعید می‌دانند که دانش‌آموزان دبیرستانی که در این مطالعه شرکت کردند در معرض دانش مدل‌سازی علمی و مهارت‌های مدل‌سازی به‌عنوان بخشی از آموزش رسمی خود قرار گرفته باشند، اما شاگردان دوره دوم متوسطه ایران با واژه «مدل» ناآشنا نیستند. در مورد درس شیمی، باید گفت که آن‌ها با مدل‌های ساختاری مولکول‌ها در نمایش‌های مختلف مانند مدل‌های پرکنندهٔ فضا یا مدل‌های توپ و میله آشنا هستند و

به‌طور مرتب از آن‌ها استفاده می‌کنند. با این حال، آن‌ها در مورد تمرین مدل‌سازی یا دانش فرامدل‌سازی بحث و گفتگو نمی‌کنند و یا آموختن مهارت مدل‌سازی را گوشه‌ای از مطالب درسی خود نمی‌دانند. بیشترین فراوانی استفاده از واژه مدل در محتوای درسی علوم ایران، جاهایی است که بحث درباره مدل‌های اتمی رادرفورد و بور در فیزیک و بحث درباره مدل گاز ایده‌آل در شیمی است. در هر دو مورد، از اصطلاح «مدل» استفاده می‌شود، اما هیچ توضیحی در مورد این اصطلاح یا توجیهی برای مناسب بودن این اصطلاح ارائه نشده است، و دانش‌آموزان در برنامه درسی علوم و مشخصا در محتوای کتب درسی یاد نمی‌گیرند که « چرا از مدل استفاده می‌کنند و کاربرد آن چیست»، و از همه مهم‌تر اینکه این مدل‌ها چگونه ساخته می‌شوند، تغییر می‌یابند، ارزیابی می‌شوند و چگونه از آن‌ها برای حل مسئله، استدلال و یا پیش‌بینی می‌توان استفاده کرد.

پیش‌دانسته‌های دانش‌آموزان درباره علوم (دانش محتوایی)

همه شرکت‌کنندگان با توجه به محتوای مصاحبه نسبت به موضوعی که قرار است یاد بگیرند و یا درباره آن به مصاحبه بپردازند درک درست داشتند. جریان و مدارهای الکتریکی (درس فیزیک)، یک گاز در سطح میکروسکوپی (درس شیمی) و فوتوسنتز گیاهان (درس زیست‌شناسی) موضوعاتی بود که از هرکدام از مصاحبه‌شونده‌ها درخواست شد در مورد آن توضیح دهند. در طول انجام مصاحبه ادعای این شاگردان («بلدم») مبنی بر داشتن دانش در مورد این موضوعات مورد تایید قرار گرفت. اغلب آن‌ها می‌دانستند که فوتوسنتز با جذب نور خورشید توسط گیاهان ارتباط دارد، و مکانیزم انجام فوتوسنتز را بیان می‌کردند، آن‌ها می‌دانستند گیاهان این عمل را به چه خاطر انجام می‌دهند. دانش‌آموزان در مورد جریان الکتریکی در مدار، مقاومت الکتریکی و اختلاف پتانسیل در قسمت‌های مختلف مدار اطلاع کافی داشتند و می‌دانستند کار قسمت‌های مختلف یک مدار الکتریکی چیست. آن‌ها از اینکه یک گاز از ذرات ساخته شده است اطلاعات کافی داشتند و در مورد برهم‌کنش (یا عدم‌وجود آن برهم‌کنش) بین این ذرات یا فضاهای بزرگ بین ذرات در مقایسه با اندازه ذرات اطلاعات خوبی داشتند. این سطح از دانش برای شروع مصاحبه در مورد دانش مدل‌سازی و یا فرامدل‌سازی (مرتبط با موضوعات ذکرشده) کافی به نظر می‌رسید.

واکنش شاگردان در هنگام انجام مصاحبه

مصاحبه‌ها، رویدادهای تعاملی هستند که در آن دانش‌آموزان در هنگام تعامل با مصاحبه‌کننده به حس و مفهوم مشترک می‌رسند. در این پژوهش طی انجام مصاحبه‌ها، به‌منظور رسیدن به معنا و مفهوم مشترک، تعامل‌های زیادی بین شاگردان و مصاحبه‌کننده صورت گرفته است. جدول ۱ نمونه‌ای از این تعاملات را هنگام مصاحبه نمایش می‌دهد.

جدول ۱. نمونه‌ای از کنش و واکنش‌های صورت‌گرفته حین انجام مصاحبه

گزیده‌ای از کنش و واکنش مصاحبه‌کننده و دانش‌آموز	نوع تعامل
مصاحبه‌کننده: «اول، مایلم دیدگاه خود را درباره مدارهای ساده الکتریکی شرح دهید. می‌توانید آن را در اینجا بکشید یا آن را با کلمات یا هر روش دیگری که دوست دارید توصیف کنید.» دانش‌آموز: «دانش‌آموز شروع به کشیدن می‌کند.» مصاحبه‌کننده: «در مورد فتوسنتز گیاهان چی میدونی؟.» دانش‌آموز: «در گیاه سلول‌های خاصی وجود دارد که نور خورشید را جذب می‌کند و همراه با آب و فکر می‌کنم شکر... من مطمئن نیستم ... اکسیژن تولید می‌شود ... نه، نه، اکسیدکربن تولید می‌شود و اکسیژن به محیط آزاد می‌شود.»	تعامل برای بررسی دانش محتوایی (پیش‌دانسته‌های علمی دانش‌آموزان)
دانش‌آموز: «آیا باید مدارها را ترسیم کنم؟» مصاحبه‌کننده: «هرچی میخوای بکش.» دانش‌آموز: «دانش‌آموز به کشیدن نقاشی ادامه می‌دهد»	دانش‌آموز یک سوال شفاف می‌پرسد، اما از آنجایی که این یک نوع تصمیم مدل‌سازی است که باید گرفته شود، مصاحبه‌کننده به‌طور کلی پاسخ می‌دهد تا از هدایت دانش‌آموز جلوگیری کند.
مصاحبه‌کننده: «حالا نقاشی خود را با کلمات توصیف کنید.» دانش‌آموز: «دانش‌آموز مدل را توضیح می‌دهد» مصاحبه‌کننده: «پس، در نقاشی شما باتری و سیم‌ها به هم متصل هستند، و کلید قطع است و جریان عبور نمی‌کند؟» دانش‌آموز: «بله»	مصاحبه‌کننده مطمئن می‌شود که نقاشی و توضیح دانش‌آموزان را درک کرده است.
مصاحبه‌کننده: «می‌توانی آن را به روشی ساده بنویسی؟ واکنش‌دهنده‌ها و محصولات.» دانش‌آموز: « اینکه چه چیزی وارد و چه چیزی خارج می‌شود؟» مصاحبه‌کننده: «بله.» دانش‌آموز: «دانش‌آموز یک گیاه، خورشید و فلش‌هایی را ترسیم می‌کند که نشان دهندهٔ آن چیزی است که وارد و خارج می‌شود »	تعامل مفهوم‌ساز. دانش‌آموز متوجه نشد که مصاحبه‌کننده با اصطلاحات واکنش‌دهنده‌ها و محصولات چه قصدی دارد. مصاحبه‌کننده قصد داشت که دانش‌آموز معادله‌ای بنویسد، اما در عوض او نموداری را ترسیم کرد.

دانش مدل‌سازی و فرامدل‌سازی دانش‌آموزان

پس از پیاده‌سازی متن مصاحبه‌ها، و تحلیل محتوای آن‌ها، چهار جنبه اساسی دانش مدل‌سازی **(الف)** شناخت ماهیت مدل‌ها شامل: چیستی مدل‌ها، اختصاصی بودن مدل‌ها در مقابل عمومی بودن آن‌ها، **(ب)** هدف از ساختن مدل‌ها و ویژگی آن‌ها شامل: مدل‌ها برای چه کسی و یا چه موضوعی ساخته می‌شوند؟ آیا برای یک موضوع می‌توان چند مدل داشت؟ **(ج)** توجیه و ارزیابی مدل‌ها شامل: آیا این مدل به‌اندازه کافی نمایشگر واقعیت هست؟ آیا با پدیده قابل‌مقایسه است یا نه؟ **(د)** استفاده و کاربرد مدل‌ها در علوم. این جنبه‌ها در سه سطح ۱ و ۲ و۳ مورد توجه قرار گرفت، و سعی بر آن شد تا معانی و مفاهیم مرتبط با این مدل از مصاحبه‌ها استخراج شود. جنبه‌های "الف تا د" برای دانش مدل‌سازی بر اساس **"مدل شایستگی مدل"** تعریف و سپس از متن مصاحبه‌ها استخراج شده است (تحلیل محتوای هدایت‌شده).

در حالی که سطح ۱ نشان دهندهٔ دانش فرامدل‌سازی بسیار اولیه و ساده دانش‌آموزان بود، ویژگی اصلی اظهارات دانش‌آموزان که ما را متقاعد می‌کرد بین سطح ۲ و ۳ یادگیری آن‌ها از موضوع

مدل‌سازی در مصاحبه‌ها تمایز قائل شویم، این بود که با توجه به ماهیت انتزاعی مدل، همان طور که دانش‌آموزان می‌توانستند از مدل‌ها برای نشان دادن بیش از یک پدیده استفاده کنند، می‌توانستند از مدل‌های مختلف برای توصیف یک پدیده نیز بهره ببرند. با همین رویکرد اگر دانش‌آموزی می‌توانست دامنهٔ بیشتری از پدیده‌ها را به‌کمک یک مدل، در طول مصاحبه نشان دهد، او را در سطح ۲ قرار می‌دادیم. دانش‌آموزان در طول انجام مصاحبه زمانی در سطح ۳ قرار می‌گرفتند که بتوانند این ایده را پیش ببرند که نه‌تنها یک مدل می‌تواند برای نمایش چندین پدیدهٔ شناخته‌شده استفاده شود، بلکه بر این باور هستند که این مدل‌ها می‌توانند پدیده‌های ناشناخته را نیز نمایش داده و وجود پدیده‌های کشف‌نشده را پیش‌بینی کنند. ادراک سطح ۳ دانش مدل‌سازی که البته در این پژوهش و هنگام انجام مصاحبه‌ها به‌ندرت با آن روبرو بودیم، آن بود که دانش‌آموز بتواند به پیش‌بینیِ وجود یک پدیده جدید ناشناخته بپردازد و یا از مدل‌ها برای حل مسائلی استفاده کند که برایش آشنا نباشند، استدلال مبتنی بر مدل‌ها نیز در طی مصاحبه‌ها به‌ندرت دیده شد. جدول ۲ فراوانی گفته‌های حاصل از مصاحبه و محتوای آن از دانش مدل‌سازی در جنبه الف را نشان می‌دهد که دانش‌آموز در تعامل و گفتگو با مصاحبه‌کننده به آن تکیه می‌کرده است. همان طور که پیش از این گفته شد کدها به‌صورت دو قسمتی حرف و عدد تعریف شده‌اند، حرف جنبه‌ای از شایستگی مدل‌سازی را نمایش می‌دهد و عدد سطح آن را نشان می‌دهد.

جدول۲. فراوانی مفاهیم استفاده‌شدهٔ شاگردان در مصاحبه از جنبه الف شایستگی مدل‌سازی

شرکت‌کننده	کد مشاهده‌شده در مصاحبه			شرکت‌کننده	کد مشاهده‌شده در مصاحبه		
	الف۱	الف۲	الف۳		الف۱	الف۲	الف۳
۱	۵	۲	۰	۸	۲	۲	۱
۲	٤	۲	۰	۹	۳	۲	۲
۳	۳	۲	۲	۱۰	۲	۲	۳
٤	۸	٤	۱	مجموع برای فیزیک	۱۱	۱۲	٦
۵	۷	٤	۰	مجموع برای شیمی	۱٤	۷	۳
٦	۳	۱	۰	مجموع برای زیست	۱٦	٤	۰
۷	٤	۲	۰	همه شرکت‌کنندگان	٤۱	۲۳	۹

واضح است که، بیشتر دانش‌آموزان در جنبه الف تقریباً در سطح ۱ قرار دارند، بیشتر دانش‌آموزان مدل‌ها را به‌صورت کپی و ماکتی از پدیده اصلی می‌بینند، هم در درس فیزیک، هم شیمی و هم زیست‌شناسی این‌گونه است، البته سهم درس زیست‌شناسی از بقیه بیشتر است. میزان فراوانی اشاره‌شده به مفاهیم سطح دوم ماهیت مدل‌ها نیز کمتر از سطح اول است، نشان می‌دهد که شاگردان کمتر به این موضوع فکر می‌کنند که مدل‌ها می‌توانند بازنمایی نظری از یک پدیده واقعی باشند.

کمترین فراوانی برای ماهیت مدل مربوط به سطح سوم است، دانش‌آموزان در این سطح می‌دانند که از مدل‌ها برای توصیف چندین پدیده مرتبط استفاده می‌شود و در صورت نیاز ارزیابی، مقایسه و تغییر در آن‌ها انجام می‌شود. در ادامه، مثالی از مصاحبه با یکی از دانش‌آموزان، که در آن به سطح سوم از جنبه الف مدل شایستگی مدل با موضوع منظومه شمسی اشاره می‌شود، آورده شده است:

> ***مصاحبه‌کننده:*** *بیایید به برخی از پدیده‌های نجومی رایج نگاه کنیم و ببینیم آیا می‌توان از این دو مدل برای پیش‌بینی آن‌ها استفاده کرد یا خیر.* ***دانش‌آموز:*** *باشد.* ***مصاحبه‌کننده:*** *به یک خورشیدگرفتگی فکر کنید. این پدیده زمانی ایجاد می‌شود که ماه جلوی خورشید را می‌گیرد. آیا می‌توانید آن را با استفاده از مدل بطلمیوس توضیح دهید؟* ***دانش‌آموز:*** *(مکث) بله.* ***مصاحبه‌کننده:*** *نشونم بده چطوری؟.* ***دانش‌آموز:*** *خوب، وقتی ماه و خورشید اینجا بودند، ماه جلوی خورشید را می‌گرفت. (با انگشتانش به مدل بطلمیوسی اشاره می‌کند تا نشان دهد خورشید و ماه باید در کجا قرار گیرند)* ***مصاحبه‌کننده:*** *آیا می‌توانید آن را با استفاده از مدل کوپرنیک توضیح دهید.* ***دانش‌آموز:*** *(مکث) بله، (با انگشتان خود به مدل کوپرنیک اشاره می‌کند تا نشان دهد ماه باید در کجا قرار گیرد). زمین، ماه و خورشید باید در یک خط مستقیم باشند.* ***مصاحبه‌کننده:*** *پس ما مشکل داریم. چگونه می‌توانیم تصمیم بگیریم و توجیه کنیم که کدام مدل صحیح است؟ معلوم شد که مدل کوپرنیک به‌اندازه مدل بطلمیوس پیچیده بود!* ***دانش‌آموز:*** *شما با استفاده از هر یک از این دو مدل می‌توانید محاسبه کنید که پیش‌بینی کنید، چه زمانی خورشیدگرفتگی رخ دهد و سپس تأیید کنید که کدام مدل درست است، به‌عبارت دیگر، زمان واقعی را اندازه‌گیری کنید و ببینید که آیا به چیزی نزدیک است یا خیر. توسط یکی از مدل‌ها پیش‌بینی شده است یا خیر؟. به این ترتیب متوجه می‌شوید که کدام مدل درست است، .... نه؟*

این دانش‌آموز بیان داشت که می‌توان از مدل‌های مختلف برای توضیح یک پدیده استفاده کرد و به‌طور خودبه‌خودی پیشنهاد کرد که از هر یک از مدل‌ها می‌توان برای توضیح یک پدیدهٔ دیگر هم استفاده کرد. این دانش‌آموز همچنین معیاری را برای انتخاب بین مدل‌ها بر مبنای مقایسهٔ دقتِ پیش‌بینیِ آن‌ها پیشنهاد می‌کند. مطابق با مدل شایستگی، مدل این دانش‌آموز در سطح سوم یادگیری دانش مدل‌سازی قرار می‌گیرد.

پس از بررسی جنبه الف به سراغ بررسی جنبه ب دانش مدل‌سازی می‌رویم. دستورالعمل‌های مصاحبه، چندان به سمت استخراج این جنبه نرفته بودند، بلکه به دلیل نیمه‌ساختار بودن مصاحبه‌ها، و بررسی‌های عمیق مصاحبه‌کننده، این جنبه از «مدل شایستگی مدل» استخراج گردید. جدول ۳ فراوانی اشاره مصاحبه‌شونده‌ها به سطوح مختلف دانش مدل‌سازی در جنبه ب را نمایش می‌دهد.

جدول۳. فراوانی مفاهیم استفاده‌شده توسط شاگردان در مصاحبه از جنبه ب شایستگی مدل‌سازی

شرکت‌کننده	کد مشاهده‌شده در مصاحبه			شرکت‌کننده	کد مشاهده‌شده در مصاحبه		
	ب۱	ب۲	ب۳		ب۱	ب۲	ب۳
۱	۳	۱	۰	۸	٤	٤	۱
۲	۳	۳	۰	۹	۳	۲	۱
۳	٤	٤	۲	۱۰	۳	٤	۳
٤	٦	٥	۲	مجموع برای فیزیک	۱۳	۱۱	۷
٥	٥	۳	۱	مجموع برای شیمی	۱٥	۹	۳
٦	٤	۲	۱	مجموع برای زیست	۱۲	۹	۱
۷	٥	۱	۰	همه شرکت‌کنندگان	٤۰	۲۹	۱۱

بنا بر گفته‌های دانش‌آموزان و الگوهایی که در مصاحبه آن‌ها شناسایی‌شده، به نظر می‌رسد که دانش‌آموزان در حال گذار بین سطح ۱ و ۲ هستند. دانش‌آموزان سطح ۲ می‌دانند که از مدل‌ها می‌توان برای انتقال ایده‌ها استفاده کرد و همچنین برای ساخت یک مدل می‌توان ایده‌های متفاوتی را امتحان کرد. مثالی از مصاحبه‌های انجام‌شده برای نشان دادن سطح ۲ برای جنبه ب دانش مدل‌سازی را در زیر آورده‌ایم:

> ***مصاحبه‌کننده:*** *پس ما دیدیم که می‌توانیم چندین مدل داشته باشیم که یک پدیده را نشان می‌دهند. چگونه شما می‌خواهید، تعیین کنید که کدام مدل بهترین است و یا فکر می‌کنید دانشمندان چگونه بهترین مدل را تعیین می‌کنند؟* ***دانش‌آموز:*** *خوب، یکی از پیشنهادهام اینه که ببیند با کدام مدل راحت‌تر می‌تونید چیزی را که فکر میکنید درسته را نشون بدید.*

از این بیان دانش‌آموز می‌توان دو نکته را درک کرد: اول اینکه مدل‌ها برای نشان دادن آنچه شما فکر می‌کنید هستند و دوم اینکه مدل‌ها باید به‌سادگی قابل‌درک باشند.

جنبه ج مدل شایستگی مدل که از میان مصاحبه‌ها استخراج شده است میزان توجیه‌پذیری مدل برای بازنمایی واقعیت را نشان می‌دهد. جدول ٤ فراوانی مفاهیم استفاده‌شده توسط دانش‌آموزان در ارتباط با جنبه ج مدل شایستگی مدل‌سازی را نمایش می‌دهد.

جدول٤. فراوانی مفاهیم استفاده‌شده توسط شاگردان در مصاحبه از جنبه ج شایستگی مدل‌سازی

شرکت‌کننده	کد مشاهده‌شده در مصاحبه			شرکت‌کننده	کد مشاهده‌شده در مصاحبه		
	ج۱	ج۲	ج۳		ج۱	ج۲	ج۳
۱	۱	۱	۰	۸	۳	٤	۰
۲	۱	۲	۰	۹	۳	۳	۱
۳	۲	۲	۱	۱۰	۲	۲	۲
٤	۲	۱	۰	مجموع برای فیزیک	۱۰	۱۲	٥
٥	۲	۲	۰	مجموع برای شیمی	۷	٦	۱
٦	۲	۳	۱	مجموع برای زیست	٤	٤	۰
۷	۳	۲	۱	همه شرکت‌کنندگان	۲۱	۲۲	٦

آنچه که مشهود است فراوانی بیشتر در سطح اول یادگیری دانش مدل‌سازی و فراوانی کمتر در سطح سوم مدل‌سازی است، آنچه از متن مصاحبه‌ها برمی‌آید این است که دانش‌آموزان به‌منظور توجیه و ارزیابی مدل‌های ساخته‌شده بیشتر به سراغ بررسی تک‌تک اعضای مدل می‌روند و یا در یک سطح بالاتر مدل ساخته‌شده را با پدیده مقایسه می‌کنند، به‌ندرت پیش می‌آید که شاگردان برای توجیه و ارزیابی مدل خود به سراغ فرض‌آزمایی به‌کمک مدل‌ها بروند. در ادامه، نمونه‌ای از مصاحبه انجام‌شده برای بررسی جنبه ج مدل شایستگی مدل را آورده‌ایم:

__مصاحبه‌کننده:__ خیلی خوب (مکث). حال بیایید در نظر بگیریم که چگونه دانشمندان از مدل‌های اولیه و قدیمی به مدل فوتوسنتز شما رسیدند. ایده‌ای داری؟ __دانش‌آموز:__ از طریق آزمایش‌های زیاد. __مصاحبه‌کننده:__ آزمایش روی....؟ __دانش‌آموز:__ آزمایش بر روی گیاهان و در مورد رابطه بین رشد گیاه و سایر عوامل. __مصاحبه‌کننده:__ عواملی مانند....؟ __دانش‌آموز:__ مانند آب. و نور خورشید. گیاهان بدون نور خورشید رشد نمی‌کنند. و دی‌اکسیدکربن. من نمی‌دانم چگونه دی‌اکسیدکربن را اندازه‌گیری می‌کنند. شاید آن‌ها اثر دی‌اکسیدکربن را بر رشد گیاه با نبود آن اندازه‌گیری کنند.

توزیع فراوانی گفته‌های دانش‌آموزان در رابطه با جنبه د یا همان استفاده از مدل‌ها در جدول ۵ نشان داده شده است. در این مورد هم اکثر دانش‌آموزان در سطح اول دانش مدل‌سازی قرار دارند و تعداد اندکی از آن‌ها به سطوح بالای یادگیری دانش مدل‌سازی رسیده‌اند. بیشتر شاگردان در درس‌های فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی، استفاده از مدل را تنها به توصیف و تبیین پدیده‌ها محدود می‌کنند و از اینکه به‌کمک مدل‌ها می‌توان استدلال کرد و یا دست به پیش‌بینی پدیده‌ها زد غافل هستند.

جدول۵. فراوانی مفاهیم استفاده‌شده توسط شاگردان در مصاحبه از جنبه د شایستگی مدل‌سازی

شرکت‌کننده	کد مشاهده‌شده در مصاحبه			شرکت‌کننده	کد مشاهده‌شده در مصاحبه		
	د۱	د۲	د۳		د۱	د۲	د۳
۱	٤	۲	۱	۸	٤	۳	۱
۲	٤	۳	۰	۹	٤	۳	۱
۳	۳	۳	۱	۱۰	۳	۳	۱
٤	۲	۲	۰	مجموع برای فیزیک	۱۹	۱۱	٦
٥	٥	۱	۰	مجموع برای شیمی	۱۲	۷	۱
٦	٥	۲	۲	مجموع برای زیست	۷	٥	۱
۷	٤	۱	۱	همه شرکت کنندگان	۳۸	۲۳	۸

یافتهٔ مهم دیگر این بود که دانش‌آموزان نمی‌توانستند از یک مدل برای توضیح یک پدیده مبتنی بر محتوایی ناآشنا استفاده کنند، به این معنا که آن‌ها به سطح سوم یادگیری دانش مدل‌سازی برای کاربرد مدل‌ها نرسیدند، به همین خاطر توانایی انتقال یادگیری و استفاده از چرخه یادگیری را نداشتند

و در برخورد با موقعیت‌های جدید خود را ناتوان می‌دیدند. در بیشتر موارد، معرفی سریع مفاهیم محوری و استفاده از مدل‌ها به‌عنوان ابزار آموزشی، این وضعیت را تغییر می‌داد و به آن‌ها اجازه می‌داد تا از مدل‌ها به‌عنوان کمک‌توضیحی استفاده کنند. به‌عنوان مثال، برخی از دانش‌آموزان دانش بسیار محدودی در مورد فوتوسنتز داشتند و در طول مصاحبه برخی تصورات نادرست را آشکار کردند. پس از ایجاد مدل‌های متفاوت برای فهم فوتوسنتز (مدل‌ها حاصل آزمایش‌های مختلف ارائه‌شده توسط مصاحبه‌شونده بودند) و بحث در مورد مدل واقعی فوتوسنتز، هشت نفر از ده نفر مصاحبه‌شونده توانستند از این مدل به‌طور صحیح استفاده کنند و تأثیر اثر گلخانه‌ای را به‌کمک آن پیش‌بینی‌کنند. در نهایت، همه دانش‌آموزان ایده استفاده از مدل‌سازی را به‌عنوان یک رویکرد آموزشی پسندیدند. آن‌ها فکر می‌کردند که مدل‌سازی محتوا را جالب، چالش‌انگیز و معتبر می‌کند. به‌عنوان مثال چنین بیان می‌کردند:

> *من فکر می‌کنم استفاده از مدل‌ها راه خوبی برای یادگیری است. این روش فقط نوشتن مباحث بر روی تخته سیاه نیست. همچنین در علوم، اگر بدانید یک فرمول چگونه ایجاد شده است، به شما کمک می‌کند بفهمید چه اتفاقی می‌افتد و چه چیزی روی چیزها تأثیر می‌گذارد. شما واقعاً می‌توانید درک کنید، و وقتی فهمیدید بهتر به یاد می‌آورید.*

بحث و نتیجه‌گیری

مدل‌سازی یک مهارت اصلی در یادگیری علوم است. مطالعهٔ حاضر به بررسی دانش فرامدل‌سازی دانش‌آموزان دورهٔ دوم متوسطه در درس‌های فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی پرداخته است. این دانش‌آموزان تا پیش از این با مدل‌سازی به‌عنوان بخشی از محتوای درسی خود روبرو نشده بودند. هدف، واکاوی ارتباط بین دانش محتوایی (دانش فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی) و دانش مدل‌سازی و فرامدل‌سازی آن‌ها و همچنین تعیین سطح دانش مدل‌سازی و فرامدل‌سازی آنان بود. طی مصاحبه عمیق و نیمه‌ساختاریافته با شاگردان، دانش فرامدل‌سازی آن‌ها مورد واکاوی قرار گرفت.

دانش‌آموزان دبیرستانی که در این مطالعه شرکت کردند سطوح دانش محتوایی و دانش مدل‌سازی یکسانی از خود به نمایش گذاشتند. همه شرکت‌کنندگان، در هر سه درس فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی، پس از اینکه درک اولیه‌ای از محتوای مربوطه پیدا می‌کردند، می‌توانستند از برخی مدل‌ها برای توصیف و به‌ندرت برای پدیده‌های مرتبط با یادگیری خود استفاده کنند، البته در موارد بسیار کمی آن‌ها می‌توانستند، مدل‌ها را برای موقعیت‌های جدید و اصیل نیز به کار بگیرند. همه دانش‌آموزان، چه در نتیجه فهم قبلی خودشان، چه در اثر رسیدن به مفهوم تازه به‌کمک مصاحبه، تقریباً سطح اول دانش فرامدل‌سازی را از خود نشان می‌دادند، البته این مفهوم‌سازی تازه صرف‌نظر

از آن بود که آیا دانش محتوایی که در آن موقعیت می‌آموختند تا پیش از این برای آن‌ها آشنا بود یا خیر. برای برخی از دانش‌آموزان، نشانه‌هایی از درک سطح سوم نیز در حال بروز بود، می‌توان چنین استدلال کرد که دست‌یابی شاگردان به سطوح بالای شایستگی مدل‌سازی، به‌دلیل ضرورت داشتن مهارت‌های بالاتر فراشناختی دشوارتر به نظر می‌رسید و مطابق نظر Schwarz et al. (2009) و Nielsen and Nielsen (2021) احتیاج به گذراندن دوره‌های میان‌مدت با موضوع مدل‌سازی دارد. گذراندن این دوره‌ها موجب تقویت مهارت‌های شناختی و فراشناختی و به تبع آن، تقویت شایستگی مدل‌سازی در دانش‌آموزان خواهد شد.

یکی از اهداف این پژوهش آن بود که میزان وابستگی دانش فرامدل‌سازی به دانش محتوایی کاوش شود. این موضوع طی انجام مصاحبه‌ها به‌خوبی قابل‌پیگیری بود. هرگاه که دانش‌آموزان در مورد موضوع علمی بحث می‌کردند، که پیش از انجام مصاحبه دانش محتوایی آن را می‌شناختند یا حتی زمانی که این دانش برای آن‌ها ناشناخته بود، مصاحبه‌کننده تنها تفاوت‌های جزئی را بین دانش فرامدل‌سازی شرکت‌کنندگان شناسایی می‌کرد. این‌گونه به نظر می‌رسد که که دانش فرامدل‌سازی دانش‌آموزان از دانش محتوایی مستقل بوده و دانش‌آموزان بتوانند بدون توجه به محتوای علمی یک موضوع، دانش و مهارت خود را در مدل‌سازی به موقعیت‌های تازه علمی و دروس دیگر به‌خوبی انتقال دهند، چرا که حین انجام مصاحبه‌ها و تنها پس از آشنایی اولیه با دانش محتوایی می‌توانستند آن را در موقعیت‌های ناآشنا و تازه به کار ببرند، هر چند سطح این به‌کارگیری همچنان در سطح اول بوده و به‌ندرت از مهارت‌های سطح بالای دانش مدل‌سازی استفاده می‌شد. دانش‌آموزان مهارت‌های مدل‌سازی را بدون توجه به زمینه و محتوا به کار می‌بردند، به‌طوری که قضاوت در مورد اینکه آن‌ها در کدام درس (فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی) مهارت را بهتر به کار می‌برند دشوار بود. این یافته مطابق نظر Wade-Jaimes et al. (2018) و Lehrer and Schauble (2015) است. به نظر می‌رسد این یک قاعدهٔ کلی است و دانش و مهارت مدل‌سازی در سطح مطلوب خودش به محتوا و زمینه علمی وابسته نیست و امکان اینکه دانش‌آموز بتواند از این دانش و مهارت در موقعیت‌های ناآشنا و تازه استفاده کند، بالا باشد. با توجه به اینکه بیشتر شاگردان در دانش مدل‌سازی در سطح اول (سطوح پایین مهارت‌های مدل‌سازی) قرار داشتند و به‌ندرت به سطح دوم یا سوم رسیده‌اند، و با توجه به ناوابستگی این سطح از دانش مدل‌سازی به محتوای دروس فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی، بازتعریف اهداف یادگیری برای همه دروس علوم در دوره دوم متوسطه، و توجه بیشتر به مدل‌سازی در تدوین محتوای درسی، و همچنین توسعه مهارت‌های معلمان در جهت آشنایی و کاربست دانش مدل‌سازی (به‌طور عام) ضروری به نظر می‌رسد.

یافته‌های مصاحبه در این پژوهش مطلب دیگری را نیز روشن کرد و آن این واقعیت که همهٔ مصاحبه‌شوندگان ظاهراً بدون دریافت آموزش صریح و رسمی در مورد مدل‌سازی، به سطوح اول،

دوم و به‌ندرت سوم از دانش فرامدل‌سازی دست پیدا کرده‌اند. بررسی ما نشان داد محتوای درس علوم به‌طور عمده، شامل دانش موضوعی است و نه دانش مهارت‌های شناختی و فراشناختی (از جمله مدل‌سازی)، البته این موضوع نتوانسته به‌طور کامل کسب مهارت مدل‌سازی توسط دانش‌آموزان را متوقف کند. این یافته با یافته‌های Schwarz et al. (2009) و Fortus et al. (2016) مطابقت دارد. هرچند در این پژوهش مصاحبه‌کننده سعی داشته است به‌کمک دانش‌آموز بیاید تا دست به مفهوم‌سازی تازه بزند اما این یافته نمی‌تواند به‌دلیل ماهیت مصاحبه‌ها باشد، زیرا بیشتر مصاحبه‌ها در پژوهش‌ها شامل نوعی مفهوم‌سازی مشارکتی هستند. شرکت‌کنندگان در این مطالعه نخبگان برگزیده‌ای نبودند، آن‌ها از مدارس برگزیده هم نبودند و توسط معلمانشان به‌عنوان افرادی که درک متوسطی از یک دانش خاص داشتند شناسایی شدند. دانش آن‌ها در مورد مباحث علوم پایه ضعیف نبود اما در مورد دانش محتوایی ارائه‌شده در مصاحبه احتیاج به کمک بیشتر داشتند. شاید درک شهودی از مدل‌ها و مدل‌سازی آن هم بدون آموزش رسمی در سال‌های پایانی دبیرستان ایجاد شود. در حالی که هیچ مدرکی برای پشتیبانی و تأیید این حدس وجود ندارد، پژوهشگران بر این باور هستند که این درک شهودی و حتی یادگیری از دانش مدل‌سازی می‌تواند به‌کمک آموزش‌های صریح و رسمی به سال‌های اولیه دوره دوم متوسطه و کمتر از آن سرایت کرده و دانش‌آموزان ایرانی این مهارت‌ها و دانش‌ها را پیش از ورود به دورهٔ متوسطه دوم فراگرفته و به کار ببرند.

پژوهشگران این مقاله محدودیت تعمیم یافته‌های یک نمونه ۱۰ نفره دانش‌آموزان را درک می‌کنند، اما با این حال بر این باور هستند که این مطالعه اولیه نشانه‌هایی را در اختیار تصمیم‌گیران و مجریان گذاشته است تا به ضرورت پرداختن به مدل‌سازی در برنامه درسی علوم دورهٔ دوم متوسطه و حتی دوره اول بیشتر بیندیشند، و گنجاندن دانش فرامدل‌سازی به‌عنوان یک هدف یادگیری در مدارس متوسطه دوم به‌عنوان یک توصیه مهم به سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان گوشزد شود. از سوی دیگر، این مطالعه شواهد اولیه‌ای را ارائه می‌دهد که سطح سوم دانش فرامدل‌سازی یک هدف قابل‌دستیابی برای آموزش در دوره دوم متوسطه است و شاید با توجه به آموزش‌ها و تجربیات مناسب (که شرکت‌کنندگان در این مطالعه فاقد آن بودند)، بتوان به سطح سوم یادگیری دانش فرامدل‌سازی نیز دست یافت.

سوال مهمی که ممکن است اینجا مطرح شود آن است که تا چه اندازه می‌توان از آموزش و یادگیری دانش مدل‌سازی و فرامدل‌سازی در مدارس ایران دفاع کرد؟ اصرار و توصیه به گنجاندن آن در برنامه درسی علوم دورهٔ دوم متوسطه ایران تا چه حد ضرروی است؟ پاسخ به این سوال با توجه به پیچیدگی‌ها و مشکلات سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی درسی در ایران، شیوه تربیت معلمان و تدوین محتواهای درسی کمی دشوار به نظر می‌رسد اما تمرکز بر دانش فرامدل‌سازی در صورتی مهم است که (الف) به دانش‌آموزان کمک کند درک عمیق‌تری از محتوا یا انگیزه مثبت‌تری برای

یادگیری علم پیدا کنند و (ب) بپذیریم صرف‌نظر از سهم دانش مدل‌سازی در یادگیری مطالب علمی، این دانش به خودی خود یک هدف یادگیری مهم است که به‌کمک آن می‌توان به توسعه مهارت‌های شناختی و فراشناختی پرداخت. همان طور که پیش از این هم یادآوری شد در ایران تا آنجا که بررسی شده، هنوز این موضوع نشان داده نشده است که تمرکز صریح بر دانش فرامدل‌سازی منجر به بهبود یادگیری محتوا یا افزایش انگیزه برای یادگیری علم خواهد شد. بررسی این موضوع را به پژوهشگران آینده توصیه می‌کنیم.

اینکه دانش‌آموزان دورهٔ دوم متوسطه شرکت‌کننده در این پژوهش در درس‌های فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی در سطوح پایین یادگیری دانش مدل‌سازی قرار دارند، همواره این سوال را مطرح می‌کند که چه عوامل آموزشی، فرهنگی، اجتماعی در این موضوع دخالت داشته‌اند و همچنین چه سطحی از دانش مدل‌سازی مطلوب دوره دوم متوسطه است که هنگام دانش‌آموختگی از دبیرستان بهتر است به آن سطح رسیده باشند؟ و آیا درک سطح اول و دوم کافی است یا باید انتظار بیشتری داشته باشیم؟ پاسخ به این سوال‌ها به‌ویژه برای دانش‌آموزانی که ممکن است قصد ادامه کار علمی در رشته‌های علوم پایه و یا مهندسی را داشته باشند مهم و ضروری به نظر می‌رسد. همهٔ این‌ها مسائلی هستند که می‌بایست مورد مطالعه بیشتر قرار بگیرند تا بتوان محتوا و اهداف مناسب‌تری برای آموزش مدل‌سازی در پایه‌های مختلف تحصیلی پیشنهاد کرد. یافته‌های این مطالعه هرچند به برخی سوال‌ها در زمینهٔ مدل‌سازی در دورهٔ دوم متوسطه ایران پاسخ داده است، اما همچنان چندین سوال از قبیل «گنجاندن مدل‌سازی در برنامه‌های درسی چه تأثیری بر درک مفهومی دانش‌آموزان از محتوای علوم دارد؟» و «آیا فرقی می‌کند که برنامه‌های درسی هم بر تمرین مدل‌سازی و هم بر دانش فرامدل‌سازی مرتبط با آن تأکید کنند یا باید فقط دانش‌آموزان را در ساخت، استفاده، نقد و بازنگری مدل‌ها بدون پرداختن صریح به دانش فرامدل‌سازی مشارکت دهند؟» بدون پاسخ باقی می‌مانند، که می‌توانند راهی را برای انجام پژوهش‌ها در حوزه مدل‌سازی علمی دانش‌آموزان در آینده باز کنند.

منابع

Chiu, M. H., & Lin, J. W. (2019). Modeling competence in science education. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, *1*(1), 1–11. https://doi.org/10.1186/s43031-019-0012-y

Croucher, S., & Cronn-Mills, D. (2021). *Understanding communication research methods: A theoretical and practical approach* (3rd Ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003109129

Elo, S., & Kyngäs, H. (2008). The qualitative content analysis process. *Journal of Advanced Nursing*, *62*(1), 107–115. https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2007.04569.x

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

Hestenes, D. (1992). Modeling games in the Newtonian world. *American Journal of Physics*, *60*(8), 732–748. https://doi.org/10.1119/1.17080

Hestenes, D. (2008). *Modeling methodology for physics teachers*. *April*, 935–958. https://doi.org/10.1063/1.53196

John Gilbert, K., & Justi, R. (2016). *Modelling-based teaching in science education* (Vol. 9). https://doi.org/10.1007/978-3-319-29039-3

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

Karplus, R. (1980). Teaching for the development of reasoning. *Research in Science Education*, *10*(1), 1-9. https://doi.org/10.1007/BF02356303

Lehrer, R., & Schauble, L. (2015). The development of scientific thinking. In L. S. Liben, U. Müller, & R. M. Lerner (Eds.), *Handbook of child psychology and developmental science: Cognitive processes* (pp. 671–714). John Wiley & Sons, Inc. https://doi.org/10.1002/9781118963418.childpsy216

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

Riffert, F., Hagenauer, G., Kriegseisen, J., & Strahl, A. (2021). On the impact of learning cycle teaching on Austrian high school students' emotions, academic self-concept, engagement, and achievement. *Research in Science Education*, *51*(6), 1481–1499. https://doi.org/10.1007/s11165-020-09918-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

Stewart, J., Cartier, J. L., & Passmore, C. M. (2005). Developing understanding through model-based inquiry. In *How Students Learn: Science in the Classroom* (pp. 515–565). https://doi.org/10.17226/11102

Upmeier zu Belzen, A., & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im biologieunterricht. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, *16*, 41–57. http://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/16_Upmeier.pdf

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

Studies in Learning & Instruction
Vol.14, No.2, 2023, Ser 83

English Abstract

Investigating Scientific Modeling Skills in Secondary High School Students

Mojtaba Jahanifar[*], Fatemeh Dehghani[**]

"Model" is one of the most important concepts in science, and modeling is an essential skill in science education. This qualitative research aimed to explore the modeling skills of secondary high school students in science, including physics, chemistry, and biology. Semi-structured and in-depth interviews were used to explore the relationship between meta-modeling knowledge, on the one hand, and content knowledge of physics, chemistry, and biology and the level of meta-modeling learning (modeling competence) in 10 secondary high school science students in Iran. Even though the official science curriculum in Iran does not include scientific modeling skills, all the interviewees showed low levels of modeling competencies. The level of modeling skills was not related to content knowledge and subject matter (i.e., physics, chemistry, and biology), but the way to use models and the purpose of using them depended on content knowledge. The findings showed that the role of scientific models in science education was neglected in the science curriculum. Despite the limited and implicit use of models by students to describe, hypothesize, argue, and predict phenomena, students had little knowledge about those models since meta-modeling skills were not included as part of the learning objectives in science courses (i.e., physics, chemistry, and biology). To improve students' modeling skills, it is recommended that students be supported in the classroom while employing models and be provided with more learning opportunities for modeling. Furthermore, teachers should be encouraged to pay more attention to the role of models in science learning and education. Also, science curriculum developers need to include modeling skills in the curriculum. Implementing the above recommendations can help students develop their modeling skills manifested in improved scientific reasoning, prediction, and problem-solving.

Keywords: meta-modeling knowledge, modeling, modeling competencies, modeling skills, science education

[*]Assistant Professor, Department of Education, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (Corresponding Author) (m.jahanifar@scu.ac.ir)
[**]MA Student in Educational Research, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (f-dehghani@stu.scu.ac.ir)