

بررسی تأثیر آموزش تاریخ علم فیزیک بر درک دانشجو - معلمان از فرایند مدل سازی در فیزیک

© دکتر فاطمه اربابی فرا

چکیده:

هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر آموزش تاریخ علم فیزیک بر درک دانشجو - معلمان از فرایند مدل سازی در فیزیک است. روش این پژوهش، کاربردی و شبه آزمایشی در طرح مقایسه گروههای ایستا با اجرای پس آزمون است. جامعه آماری پژوهش همه دانشجو - معلمان دختر سال آخر رشته آموزش فیزیک دانشگاه فرهنگیان کل کشور بودند. نمونه آماری پژوهش نیز دانشجو - معلمان سال آخر رشته آموزش فیزیک مرکز شرافت پردیس نسیمه دانشگاه فرهنگیان در استان تهران بودند. گروه آزمایش دانشجو - معلمانی بودند که به عنوان واحد انتخابی درس تاریخ علم فیزیک را انتخاب کرده اند، در حالی که دانشجو - معلمان گروه کنترل این درس را انتخاب نکرده اند. برای گردآوری داده ها به منظور سنجش درک دانشجو - معلمان از مدل سازی در فیزیک و سطح یادگیری شناختی آنها از پرسشنامه چهارگزینه ای در پس آزمون استفاده شده که سؤالات آن متناظر با سطوح مختلف یادگیری شناختی تنظیم شده است. برای تأیید روایی سؤالات پرسشنامه از نظرات اساتید آموزش فیزیک و تاریخ علم استفاده شده و برای تأیید پایایی آزمون نیز ضریب پایایی نهایی در پس آزمون در محدوده مورد تأیید قرار گرفته است. برای تجزیه و تحلیل آماری و آزمودن فرضیه ها نرم افزار SPSS و برای تحلیل داده ها با توجه به نرمال بودن داده ها و برقراری سایر شرایط، از آزمون دونمونه ای T مستقل استفاده شده است. نتیجه این آزمون نشان داده که فرضیه تحقیق مورد تأیید است و دانشجو - معلمانی که واحد درسی تاریخ علم فیزیک را با موفقیت گذرانده اند نسبت به دانشجو - معلمان مشابهی که این واحد درسی را نگذرانده اند، درکی بهتر از فرایند مدل سازی در روش علمی دارند.

کلید واژگان: تاریخ علم فیزیک، یادگیری شناختی، آموزش فیزیک، مدل سازی

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۹/۴

farbabifar@cfu.ac.ir

۱. استادیار گروه آموزش فیزیک، پردیس نسیمه، دانشگاه فرهنگیان.

مقدمه

سابقه بهره‌گیری از تاریخ و فلسفه علم در آموزش علوم برمی‌گردد به اواخر قرن نوزدهم میلادی، یعنی زمانی که ارنست ماخ در دانشگاه وین دیدگاه‌هایی جدید را در زمینه تاریخ و فلسفه علم مطرح کرد. ماخ اعتقاد داشت که بررسی تحولات مفاهیم علم در طول تاریخ، تأثیری مثبت بر فعالیتهای علمی معاصر خواهد گذاشت (هیبرت^۱، ۱۹۷۰). در نیمه دوم قرن بیستم موحی جدید از پروژه‌های جدید در این زمینه آغاز شد و در دهه شصت به نقطه اوج خود رسید که «طرح فیزیک هاروارد»^۲ بود (هولتون^۳، ۱۹۶۹). در این طرح با بیان تحولات و تکامل علم فیزیک در بستر تاریخ علم، دانش‌آموزان با فراز و فرود نظریه‌های علمی در فیزیک آشنا می‌شدند و زمینه برای فهم بهتر کاربرد فیزیک در زمینه‌های پژوهشی، اجتماعی، شغلی و ... میسر می‌شد. هولتون، رادرفورد و واتسون طراحان اصلی این پروژه بودند و با حمایت‌های چند مؤسسه معتبر و دانشگاه هاروارد این طرح را به انجام رساندند. با اینکه این قبیل اقدامات مدافعانی داشت، نقدهایی از طرف برخی از مورخان و فلاسفه علم بر آنها وارد شد و اغلب معلمان فیزیک به روش‌هایی دیگر تدریس می‌کردند. در چنین شرایطی نیاز فوری به بررسی تأثیر درک ماهیت علم، که شامل تاریخ و فلسفه علم است، در آموزش علوم به خصوص موضوعات مفهومی آن احساس می‌شد. در نتیجه در دهه‌های اخیر رویکردهایی متفاوت برای داخل کردن تاریخ علم در آموزش علوم از سوی پژوهشگران عرضه شد که مک‌کوماس^۴ (۲۰۱۰) آنها را به این شکل جمع‌بندی کرده است:

۱. تعامل و استفاده از پژوهش‌های اصیل و بدیع در حوزه تاریخ علم
 ۲. مطالعات موردی، داستانها و تصویرسازیهای تاریخ علم
 ۳. زندگی‌نامه و خودزندگی‌نامه‌های دانشمندان و کشفیات آنها
 ۴. ارائه مطالبی از جنبه‌های تاریخی علم در قالب‌های کتاب‌گونه (مباحثی همچون ژنتیک، تکامل، فیزیک کوانتومی و ...)
 ۵. ایفای نقش شخصیت‌های تاریخی و فعالیتهای نمایشی از این دست
 ۶. طرح تاریخ علم در کتابهای درسی
 ۷. بازسازی تجربی آزمایشها و سایر فعالیتهای دستی برای برقراری ارتباط با جنبه‌های تاریخی علم
- در همین زمینه انتشارات اسپرینگر کتاب راهنمای پژوهش در تاریخ، فلسفه و آموزش علوم را در سال ۲۰۱۴ با ویراستاری مایکل آر. متیوز^۵ منتشر کرده است که در آن ۷۶ فصل را ۱۲۵ پژوهشگر از

1. Hiebert

۲. کتابهای شش‌جلدی «طرح فیزیک هاروارد» ترجمه هوشنگ شریف‌زاده و احمد خواجه‌نصیر طوسی را انتشارات فاطمی در سال ۱۳۶۸ شمسی به چاپ رسانده و منتشر کرده است.

3. Holton

4. McComas

5. Matthews

۳۰ کشور تألیف و گردآوری کرده‌اند. این کتاب شامل مقالاتی در زمینه‌های کاربرد فلسفه و تاریخ علم در آموزش مباحثی در فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی، بوم‌شناسی، زمین‌شناسی، نجوم، کیهان‌شناسی و ریاضیات است.

در زمینه موضوعات مشابه پژوهش حاضر، یعنی بررسی کمی یا کیفی تأثیر آموزش تاریخ علم بر درک بهتر فراگیران از مدل‌سازی علمی، نیز پژوهشهایی در سه دهه اخیر صورت گرفته است. به‌عنوان نمونه گاریک^۱ و همکاران (۲۰۱۵) نزدیک به ده سال برای پیشرفت حرفه‌ای معلمان فیزیک، به آنها تاریخ و فلسفه علم آموزش دادند و فعالیت‌هایی برای درک بهتر آنها از تحولات تاریخی فیزیک ترتیب دادند که شامل مدل‌سازی علمی با استفاده از نظریه‌های قدیمی در فیزیک بود. اروین^۲ (۲۰۰۰) در پژوهش خود که روی دو گروه ۲۵ نفری دانش‌آموز دختر و پسر ۱۴ ساله انجام داده بود، نشان داد که دانش‌آموزان گروهی که تاریخ علم آموخته بودند درکی خوب از توسعه و تحول علم پیدا کرده بودند و مثلاً کاملاً متوجه بودند که منشأ مطرح شدن مدل اتمی، حل پدیده‌های معماگونه در آن زمان بوده است، اما میان دو گروه آزمایش و شاهد تفاوت چندانی در درک محتوای علمی که در مدرسه می‌آموختند، وجود نداشت. پژوهش قبلی اروین (۱۹۹۷) نشان داده بود که تصور دانش‌آموزان از علم به این صورت است که گویی «حقیقت» جایی وجود دارد و پیشرفت علمی یعنی پیدا کردن آن حقیقت. از این‌رو وی در پژوهش بعدی خود تاریخ علم را به برنامه درسی اضافه کرد تا دانش‌آموزان درک کنند که رشد دانش علمی با ایده‌پردازی، خلاقیت و مدل‌سازی روی داده‌های تجربی رخ می‌دهد و نه کشف حقیقتی لزوماً عینی. کپنیس^۳ (۱۹۹۸) نیز معتقد است که آشنایی با منشأ، پیشرفت، تصحیح و جایگزینی نظریه‌ها در طول تاریخ، درک دانش‌آموز از روش علمی را در هر دو جنبه عینی و ذهنی بالا می‌برد. وی در نظر گرفتن نظریه‌های فیزیک به‌صورت مدل را در این راه سودمند می‌داند و در پژوهش خود به بیان نمونه‌هایی از مدل‌سازی در تاریخ فیزیک در زمینه‌های الکتریسته و پراش می‌پردازد.

با توجه به نتایج پژوهشهای فوق و پژوهشهای مشابه به نظر می‌رسد که می‌توان از بستر تاریخ علم فیزیک برای بهبود شناخت و درک فراگیران از فرایند مدل‌سازی در فیزیک بهره‌برد. در واقع پاسخ به سؤالات معماگونه در تاریخ فیزیک به کمک انواع روشهای مدل‌سازی ارائه می‌شود که پلی است میان نظریه و آنچه در طبیعت رخ می‌دهد.

در این پژوهش، یادگیری شناختی دانشجو-معلمان از فرایند مدل‌سازی در فیزیک، پس از گذراندن درس تاریخ علم مورد بررسی کمی قرار گرفته است که در هیچ‌یک از پژوهشهای پیشین به‌طور خاص انجام نشده است.

1. Garik
2. Irwin
3. Kipnis

مبانی نظری پژوهش

با وجود اینکه مطالعه تاریخ علم نشان می‌دهد که هیچ‌یک از نظریه‌های علمی یک شبهه شکل نگرفته‌اند و حتی در برخی مواقع، قرن‌ها تلاش در شکل‌گیری آنها نقش داشته است، اما عموماً دانش‌آموزان و دانشجویان فیزیک درکی از فرایندی که در طول تاریخ برای ایجاد آنها طی شده است، ندارند و چنان تصور می‌کنند که هر نظریه یک‌باره به ذهن نظریه‌پرداز متبادر شده است؛ چرا که اغلب فرایندهای پژوهشی که به ارائه یک نظریه انجامیده است از کتابهای درسی فیزیک حذف شده و فقط برای چند نظریه محدود همچون نظریه ذره‌ای و موجی نور خلاصه‌ای از روش علمی که به آن منجر شده در کتابهای درسی آمده است (کوهن^۱، ۱۳۹۷)، یا همچون برخی منابع درسی دانشگاهی مانند کتاب اپتیک مدرن پدروتی فقط آنچه به علم صحیح منجر شده بررسی شده است و مسیرهای نادرست علمی که می‌توانند تأثیری بسیار مفید در درک روش علمی داشته باشند، نادیده گرفته شده‌اند (اربابی‌فر، ۱۳۹۷).

همچنین آزمایش‌های فیزیک در مدارس و دانشگاه‌ها هم‌زمان یا بعد از دروس حاوی مبانی نظری آن آزمایش‌ها ارائه می‌شوند و دانش‌آموز یا دانشجو آزمایش را به گونه‌ای انجام می‌دهد که به همان محتوای نظری موجود منجر شود. اما باید توجهی ویژه به این موضوع داشت که علوم تجربی، به‌ویژه فیزیک، براساس مدل‌سازی کار می‌کنند و آگاهی از تلاش‌های انجام شده در زمینه مدل‌سازی که در پس هر نظریه و قانون فیزیکی وجود دارد از ملزوماتی است که یک دانشجوی علاقه‌مند به آموزش و پژوهش در آینده باید بداند.

به‌طور کلی، مطابق با آنچه در دایرةالمعارف فلسفه روتلج^۲ (فریگ^۳، ۲۰۰۹) آمده است، مدل به نسخه ساده و تلطیف شده بخشی از جهان (به اصطلاح سیستم هدف) اشاره دارد که می‌خواهیم توصیفش کنیم. گاهی به نظریه‌ها نیز مدل گفته می‌شود؛ مثلاً در حوزه فیزیک ذرات بنیادین بهترین نظریه‌ای که در حال حاضر به شکل گسترده پذیرفته شده است و تمام ذرات بنیادین را در بر می‌گیرد، مدل استاندارد نامیده می‌شود. از دیدگاه کلی‌تر، می‌توان رابطه میان مدل و نظریه را با توجه به نوع نظریه دسته‌بندی کرد. در برخی موارد، معادلاتی که مدل را می‌سازند به سادگی با تخصیص برخی از پارامترها در معادله عمومی نظریه به‌دست آمده‌اند. همچون معادله مدار سیارات که با جایگذاری نیروی گرانش در معادله حرکت نیوتون و انتخاب X و m به‌عنوان موقعیت مکان و جرم سیاره به سادگی به‌دست می‌آید (مولر^۴، ۱۹۹۵). در بعضی موارد دیگر مدل و نظریه مستقل از هم هستند، مثل مدل ابررسانایی لاندن^۵ که معادله اصلی آن فقط از جنبه‌های پدیده‌شناسی و نه از نظریه‌ای مربوط به آن همچون الکترومغناطیس

1. Kuhn
2. Routledge encyclopedia of philosophy
3. Frigg
4. Muller
5. London

کلاسیک، به دست آمده است (مانگین و خان^۱، ۲۰۱۷). در این معنا به مدلها «عوامل مستقل» می‌گویند که واسطهٔ میان نظریه و پدیده‌های جهان هستند. برخی از نظریه‌ها در مرحله کاربرد بسیار پیچیده‌اند. در این حالت، یک مدل ساده‌شده و قابل حل می‌تواند پلی برای ارتباط نظریه و کاربرد ایجاد کند. مثلاً فیزیکدانان مدل‌های ساده‌شدهٔ کیف‌ام‌آی‌تی را برای توصیف ساختار هسته ساخته‌اند (هارتمن^۲، ۱۹۹۹). گونه‌ای از مدلها نیز در نبود نظریه ساخته می‌شوند، مثلاً مدل اتمی بوهر در اوایل قرن بیستم بدون هیچ پیش‌زمینه‌ای از نظریهٔ کوانتومی مطرح شد و حتی بعدها نقشی مهم در پیشرفت نظریهٔ کوانتومی ایفا کرد (لاکتاکیا و سالپتر^۳، ۱۹۹۶). بعضی دیگر از مدلها در فیزیک، هیچ سیستم هدفی ندارند و تنها هدفشان ارائهٔ یک آزمایشگاه برای آزمودن آن دسته از ابزارهای نظری است که می‌توانند بعدها نظریه‌ها یا مدل‌های توصیفی دیگری بسازند. این مدلها اغلب با عنوان «مدل‌های اسباب‌بازی بندزن» یا «مدل‌های کاوشگر» شناخته می‌شوند، مثل Φ^4 مدل برای توصیف شکست تقارن در نظریهٔ میدان‌های کوانتومی (هارتمن، ۱۹۹۵).

به‌طور کلی هنگامی که یک علم‌پیشه فرضیه‌های نظریهٔ خود را مطرح می‌کند، در واقع مشخص می‌کند که مدل و سیستم هدف در چه جنبه‌هایی و تا چه درجه‌ای مشابه‌اند. مهم‌ترین نوع شبیه‌سازی در فیزیک ایده‌آل‌سازی است که در آن یک مدل به شرطی که هدفش ایده‌آل در نظر گرفته شود، شبیه آن است. به زبان ساده‌تر ایده‌آل‌سازی همان ساده‌سازی سنجیدهٔ یک چیز پیچیده است تا بتوان تسلط بیشتری بر آن یافت. مثلاً سیارات کاملاً کروی نیستند و توزیع جرم همگن ندارند و علاوه بر خورشید با سایر سیارات هم برهم‌کنش دارند، اما این ایده‌آل‌سازی که به ایده‌آل‌سازی گالیله‌ای (مک‌مولین^۴، ۱۹۸۵) معروف است برای درک مکانیزم منظومه شمسی هنوز به‌کار می‌رود.

تاریخ فیزیک نشان می‌دهد که بسیاری از نظریه‌ها ابتدا صرفاً برای مدل کردن یک پدیده به‌وجود آمده‌اند و پس از تأیید با آزمایش‌های متنوع‌تر وارد فرایند نظریه‌پردازی شده‌اند. همچنین درحین آموزش تاریخ علم فیزیک فراگیر می‌آموزد که مدل‌های توصیف‌کنندهٔ یک پدیده می‌توانند تغییر کنند یا تصحیح شوند تا با داده‌های جدیدتر و دقیق‌تر آزمایشگاهی تطابق بهتری داشته باشند.

آموزش تاریخ تحول مدلها و نقش آنها در تاریخ فیزیک ممکن است توانایی دانشجو-معلم را در حل سؤالات امتحان پایان دوره تغییر ندهد، اما جنبه‌هایی چون درک علت فراگیر شدن برخی از قوانین بنیادین فیزیک، کاربرد و حدود روابط ریاضی و مدلها در فیزیک، درک صحیح از شکل و واقعیت خلاقیت علمی و پژوهشی، دلیل ماندگاری برخی از مدلها در برابر ابطال مدل‌های دیگر و توانایی درک فرایند پژوهش علمی با همهٔ شکستها و موفقیت‌هایش را در آنها تقویت می‌کند. لذا آشنایی با مدل‌سازی و انواع

1. Mangin & Khan
2. Hartmann
3. Lakhtakia & Salpeter
4. McMullin

آن در تاریخ فیزیک درک دانشجویان را از تلاش انجام گرفته در پس هر مدل فیزیکی بالا می‌برد و این راه را برای رسیدن به سطوح پیچیده‌تر یادگیری شناختی هموار می‌سازد. در طبقه‌بندی بلوم^۱ و همکاران (۱۹۵۶) شش سطح برای اهداف شناختی یادگیری در نظر گرفته می‌شود که به ترتیب عبارت‌اند از: دانش، فهم، کاربرد، تحلیل، ترکیب و ارزشیابی. در پژوهش حاضر، دانشجو پس از بازپس دادن و تشریح اطلاعاتی که در حیطه تاریخ علم و انواع مدل‌سازی علمی در طول تاریخ در اختیارش قرار گرفته است، به آسانی سطوح اولیه دانش و فهم را طی می‌کند. بررسی این سطوح از یادگیری موضوع بحث پژوهش حاضر نیست، اما یادگیری در سطح کاربرد و سطوح پس از آن را به این صورت در پژوهش حاضر مدنظر قرار می‌دهیم:

۱. در سطح کاربرد، فراگیر باید بتواند از مفاهیم انتزاعی در زمینه‌های عینی استفاده کند، یعنی دانشجو پس از آموزش تاریخ علم و فرایندهای تاریخی مدل‌سازی باید بتواند برای تبیین یا درک یک پدیده ساده، مدلی (هرچند نادرست) از آن ارائه دهد.
۲. در سطح تحلیل، فراگیر اطلاعات را به اجزای آن تقسیم می‌کند، به نحوی که روابط میان آن اجزا روشن شود. یعنی مثلاً دانشجو باید حداقل بتواند فرایندهای پیشبرد علم و روشهای علمی دانشمندان را در تاریخ علم توصیف کند.
۳. در سطح ترکیب، دانشجو باید دانش قبلی خود را با شکل‌های جدید آن ترکیب کند. به‌عنوان نمونه پس از گذراندن دوره آموزشی تاریخ علم، یادگرفته باشد که فرایند عرضه مدل‌های فیزیکی و افزایش دقت آنها در طول تاریخ را به فرایند طرح مدل و آزمایش در فیزیک معاصر تعمیم دهد.
۴. در سطح ارزشیابی از یادگیری شناختی، دانشجو باید تشخیص دهد در حال حاضر چه موضوعهایی در زمینه فیزیک، شایستگی پژوهش علمی دارند.

■ فرضیه تحقیق

فرضیه‌ای که در این پژوهش مورد آزمون قرار می‌گیرد از این قرار است:
دانشجو - معلمانی که واحد درسی تاریخ علم فیزیک را با موفقیت گذرانده‌اند، نسبت به دانشجو - معلمان مشابهی که این واحد درسی را نگذرانده‌اند، درکی بهتر از فرایند مدل‌سازی در روش علمی دارند.

■ روش تحقیق

روش این پژوهش از نظر هدف و ارائه راهکارهای عملی برای بهبود درک دانشجو - معلمان در پژوهش و آموزش، کاربردی و از نظر نحوه گردآوری داده‌ها، شبه‌آزمایشی در طرح مقایسه گروههای

1. Bloom

ایستا با اجرای پس‌آزمون است.

جامعه آماری این پژوهش همهٔ دانشجو-معلمان سال آخر رشته آموزش فیزیک در دانشگاه فرهنگیان در کل استانهای کشور در نیمسال دوم سال تحصیلی ۹۷-۱۳۹۶ بوده است و نمونه آماری، دانشجو-معلمان سال آخر رشته آموزش فیزیک مرکز شرافت پردیس نسیمیه دانشگاه فرهنگیان استان تهران بوده‌اند. با توجه با اینکه فقط ۴ مرکز دانشگاه فرهنگیان در تهران، شیراز، مشهد و تبریز دارای رشته آموزش فیزیک هستند و درس تاریخ علم (که درس انتخابی است و الزاماً نباید ارائه شود) در زمان پژوهش حاضر فقط در گروه فیزیک مرکز شرافت پردیس نسیمیه تهران ارائه شده است، لذا تنها نمونه غیر تصادفی در دسترس ۱۱ دانشجو-معلم بودند که درس تاریخ علم را در این مرکز اخذ کرده‌اند. گروه کنترل نیز از نظر تعداد، شرایط آموزشی و معدل میانگین، مشابه‌ترین نمونه در دسترس به گروه آزمایش در نظر گرفته شده‌اند. این گروه شامل ۱۲ دانشجو-معلم دیگر در همان سال آخر رشته آموزش فیزیک مرکز شرافت بودند که درس تاریخ علم را انتخاب نکرده بودند.

از آنجا که امکان انتساب آزمودنیها به گروه کنترل و آزمایش به‌صورت تصادفی مقدور نبود، بنابراین به‌منظور کنترل تأثیر متغیرهای مزاحم و مداخله‌گر تلاش شد تا آزمودنیها براساس چند متغیر مشخص گزینش شوند. به این صورت که همهٔ آزمودنیها از میان دانشجو-معلمان دختري انتخاب شدند که حداقل شش ترم تحصیلی را در دانشگاه گذرانده بودند و معدل میانگین هر دو کلاس نزدیک به هم بود. درس انتخابی «تاریخ علم فیزیک» به گروه آزمایش تدریس شد. منبع این درس کتاب سرگذشت فیزیک تالیف جورج گاموف ترجمه رضا اقصی بود (گاموف، ۱۳۶۵). این درس به گروه کنترل تدریس نشد. هر دو گروه، دروس پایه و بیشتر دروس اختصاصی رشته فیزیک را گذرانده بودند.

در درس «تاریخ علم فیزیک» که برای دانشجو-معلمان گروه آزمایش تدریس شده بود، در هر جلسه یکی از ادوار تاریخی (از دوران یونان باستان تا دوران معاصر) مورد بررسی قرار می‌گرفت و هر بار تلاشها و آزمون و خطاهای فیزیکدانان در ارائه فرضیه، نظریه و قانون از ابتدا تا انتها تدریس می‌شد. در ضمن تدریس تلاش شد تمرکز بر روابط و فرمولها نباشد، اما سیر تحول نظریه‌ها و مدل‌پردازیها و انتقاداتی که هر نسل از دانشمندان بر دانشمندان قبلی داشتند معرفی شود. دانشجو-معلمان چگونگی دقیق‌تر کردن مدلها یا تصحیح آنها از سوی فیزیکدانان طی مراحل مختلف و احتمال ارائه مدلهایی غیر از مدلهایی که امروزه مطرح است را به چالش کشیدند. در ضمن به سیر داستانی و فراز و نشیبهای زندگی علمی فیزیکدانان بزرگ تاریخ با توجه به موقعیت زمانی، فرهنگی، جغرافیایی آنان نیز اشاراتی می‌شد. خلاصه‌ای از مثالهای انواع مدل‌سازی در ادوار مختلف تاریخی که در کلاس در قالب تاریخ فیزیک مطرح شده در ضمیمه الف آمده است که می‌تواند برای معلمان و مدرسان فیزیک مفید باشد.

1. Gamow

پس از پایان این دوره درسی، برای سنجش درک دانشجو - معلمان هر دو گروه از فرایند مدل‌سازی در فیزیک و همچنین سنجش میزان یادگیری شناختی آنها در این زمینه، از یک پرسشنامه با ۶ سؤال چهارگزینه‌ای استفاده شد. در این پرسشنامه نمره یک یا صفر برای درستی یا نادرستی پاسخها منظور شد. پرسشها به صورت کاملاً استنباطی تنظیم شدند و ارتباطی مستقیم با دانش محتوای تاریخ علم یا دانش محتوای فیزیک دانشجو - معلمان نداشتند. در طراحی سؤالات از نظرات اساتید آموزش فیزیک و تاریخ علم بهره‌گیری شد و پس از انجام دادن برخی تغییرات روی پرسشها، روایی آزمون مورد تأیید قرار گرفت. به دلیل کم بودن تعداد سؤالات و حجم نمونه آماری، چند پیش‌آزمون از عده ای از دانشجو - معلمان نمونه آماری گرفته شد و همبستگی سؤالات و آلفای کرونباخ آنها بررسی و محاسبه شد. در نهایت برخی از سؤالات برای افزایش پایایی پرسشنامه حذف یا تصحیح شدند و ضریب پایایی در پس‌آزمون از طریق نرم‌افزار SPSS برابر با مقدار $0/786$ حاصل شد. این عدد نشان‌دهنده پایایی پرسشهای آزمون است. پرسشنامه نهایی دانشجو - معلمان را به ترتیب در موارد زیر می‌آزمود:

۱. ارائه یک مدل ساده از سوی دانشجو برای داده‌های فرضی ارائه شده از یک پدیده

۲. چيستی مدل‌سازی در روش علمی

۳. نقش دانشمندان در پیشبرد علم

۴. امکان وجود چند مدل برای یک پدیده

۵. چگونگی افزایش دقت در مدل‌سازی

۶. تشخیص و طراحی یک موضوع پژوهشی صحیح و روزآمد در مقاطع تحصیلی بالاتر

به این ترتیب دانشجو - معلمان از نظر یادگیری شناختی به ترتیب در سطح کاربردی (۱)، در سطح تحلیل (۲ و ۳)، در سطح ترکیب (۴ و ۵) و در سطح ارزشیابی (۶) ارزیابی می‌شدند.

● تحلیل محتوای آزمون از نظر یادگیری شناختی

سطوح یادگیری شناختی را می‌توان از طریق موارد بالا در پرسشها ردیابی کرد. مورد اول در سؤال اول (بنگرید به ضمیمه ب) آزموده می‌شود، به این ترتیب که داده‌های زمانی و مکانی یک جسم فضایی بر اساس مشاهدات نجومی به دانشجو - معلمان داده و از آنها خواسته شد دقیق‌ترین مدل ریاضی برای رابطه مکان و زمان آن جسم را انتخاب کنند. با وجود اینکه هیچ کدام از توابع ریاضی داده‌شده دقیقاً از نقاط داده‌ها نمی‌گذرند، دانشجو - معلم با به کار بستن آنچه در تاریخ فیزیک آموخته است، باید توانایی تشخیص نزدیک‌ترین تابع ریاضی به این نقاط را داشته باشد و بتواند با وجود کم بودن تعداد داده‌های در دسترس، بهترین مدل قابل ارائه را انتخاب کند.

مورد دوم در سؤال دوم بررسی می‌شود. به این صورت که پس از ارائه برخی مدل‌های مهم فیزیکی در تاریخ فیزیک، همچون مدل منظومه خورشید مرکز کوپرنیک، مدل اتمی رادرفورد و مدل گازهای کامل شارل-گیلوساک، از دانشجو - معلمان خواسته شد تا اصلی‌ترین نقش مشترک همه این مدل‌سازیه‌ها را انتخاب کنند. در این سطح دانشجو - معلمان باید اشتراک آنچه را در کل تاریخ مدل‌سازی در فیزیک آموخته‌اند، استخراج کنند که همان «ساده‌سازی و مرتب‌سازی بخشی از پدیده‌های جهان» است.

به همین ترتیب، مورد سوم نیز در سؤال سوم آزموده می‌شود. به این شکل که از مشغله اصلی و مشترک علم‌پیشگان تجربی در طول تاریخ علم پرسیده می‌شود تا در صورتی که فراگیران به سطح تحلیل از یادگیری شناختی رسیده باشند بتوانند «گردآوری داده‌های آزمایش، مدل‌سازی و پیش‌بینی نتایج آزمایش‌های مشابه» را از میان پاسخ‌ها انتخاب کنند.

به‌منظور سنجش مورد چهارم در سؤال چهارم از آنها خواسته شد تا حدس بزنند اگر ۱ لیتر آب در ظرفی نامعلوم درون یک جعبه سیاه ریخته شود و $0/75$ لیتر آب از جعبه سیاه خارج شود، چه اتفاقی درون جعبه سیاه با شرایط فیزیکی نامعلوم می‌تواند افتاده باشد. از چهار گزینه پیش‌رو، دو گزینه، دو مدل احتمالی برای اتفاق درون جعبه سیاه مطرح شد و در دو گزینه دیگر، صحیح بودن هر دو مدل و غلط بودن آنها به دلیل کم بودن اطلاعات. در پاسخ به این سؤال، دانشجو-معلم با در نظر گرفتن اینکه در طول تاریخ علم موارد بسیاری وجود داشته که یک پدیده با چند مدل توصیف می‌شده است، باید بتواند گزینه «صحیح بودن هر دو مدل» را انتخاب کند.

مورد پنجم نیز در سؤال پنجم آزموده شد. با اشاره به مدل سیاره‌های کپلر که کامل‌تر و دقیق‌تر از مدل کوپرنیک بود از دانشجو - معلمان خواسته شد تا با ترکیب دانش قبلی خود با مسائل علمی امروز، چگونگی افزایش دقت در مدل‌های اخترفیزیکی معاصر را انتخاب کنند. اگر دانشجو-معلم به سطح ترکیب از یادگیری شناختی رسیده باشد می‌تواند تشخیص دهد که هر سه گزینه پاسخ یعنی «گردآوری داده‌های رصدی بیشتر، انطباق داده‌های رصدی موجود با توابع ریاضی دقیق‌تر و آزمون و خطای بیشتر با تغییر شرایط در رصدهای مختلف» می‌توانند سبب افزایش دقت شوند.

در آخرین سؤال که به‌منظور سنجش سطح ارزشیابی در یادگیری دانشجو - معلمان مطرح شده بود، از آنها خواسته شد که یک موضوع پژوهشی مناسب را که مرتبط با مدل اتمی رادرفورد باشد برای پایان‌نامه تحصیلات تکمیلی رشته فیزیک انتخاب کنند و انتظار می‌رود که بتوانند گزینه «انجام آزمایشات جدیدتر و دقیق‌تر هسته‌ای و بسط و توسعه مدل اتمی رادرفورد» را که از میان گزینه‌ها بیشترین تطابق را با کار اصلی علم‌پیشگان در طول تاریخ علم دارد، انتخاب کنند. پرسشنامه آزمون در ضمیمه ب مقاله قابل مشاهده است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

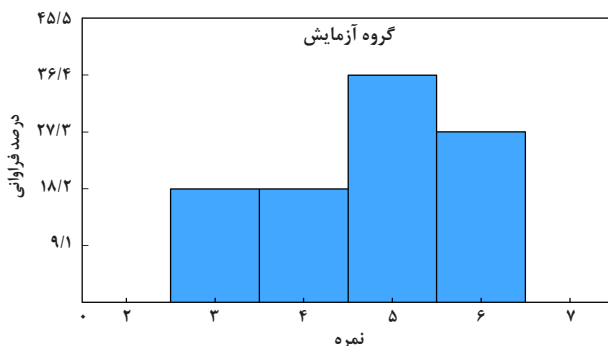
الف) آمار توصیفی

همانطور که اشاره شد این پژوهش شبه‌آزمایشی است که در طرح مقایسه‌ی گروه‌های ایستا با اجرای پس‌آزمون صورت گرفته است. یعنی در شرایطی که فقط گروه آزمایش در معرض متغیر مستقل یعنی آموزش درس «تاریخ علم فیزیک» قرار گرفته است، مقایسه‌ی میان دو گروه آزمایش و کنترل صورت می‌گیرد. همچنین انتخاب و جایگزینی آزمودنیها به صورت تصادفی انجام نمی‌شود و تعیین و ترکیب گروه آزمایش و کنترل پیش از انجام دادن پژوهش صورت گرفته است. تلاش شده است که این دو گروه تا حد ممکن شبیه در نظر گرفته شوند، یعنی هر دو گروه حداقل شش ترم تحصیلی را در دانشگاه گذرانده باشند و معدل میانگین هر دو کلاس نزدیک به هم باشد. در نهایت اندازه‌گیری تأثیر متغیر مستقل از طریق یک پس‌آزمون روی هر دو گروه به صورت همزمان انجام گرفت.

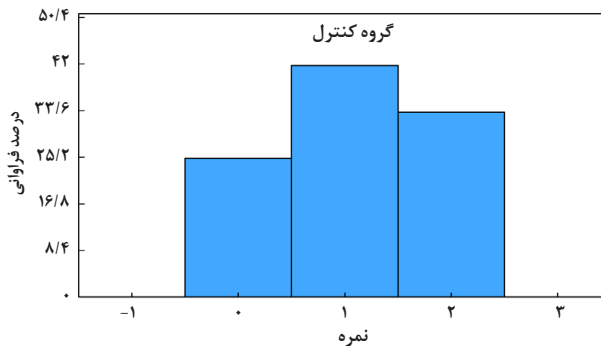
جدول ۱. شاخصهای آماری پس‌آزمون گروه آزمایش و گروه کنترل

گروه	نمونه	میانگین نمره	انحراف استاندارد	خطای استاندارد از میانگین	حداکثر نمره	حداقل نمره
گروه آزمایش	۱۱	۴/۷۲۷	۱/۱۰۳	۰/۳۳۲	۶	۳
گروه کنترل	۱۲	۱/۰۸۳	۰/۷۹۲	۰/۲۲۸	۲	۰

جدول ۱ شاخصهای آماری پس‌آزمون را برای دو گروه کنترل و گروه آزمایش نشان می‌دهد. همانطور که مشهود است میانگین نمره دانش‌آموزان گروه کنترل در پس‌آزمون ۱/۰۸۳ با حداقل نمره صفر و حداکثر ۲ است، اما در گروه آزمایش میانگین نمره ۴/۷۲۷ با حداقل نمره ۳ و حداکثر نمره ۶ است. این اختلاف در میانگین نشان می‌دهد که درس تاریخ علم تأثیری بسزا در پاسخگویی دانشجو - معلمان به پرسشنامه داشته است و یادگیری شناختی مدل‌سازی در دانشجو - معلمان که درس تاریخ علم را گذرانده‌اند مشهودتر است. توزیع نمونه‌ی گروه کنترل و آزمایش در پس‌آزمون نیز به صورت درصدی در نمودارهای ۱ و ۲ نمایش داده شده است.



نمودار ۱. توزیع نمونه پس‌آزمون گروه آزمایش



نمودار ۲. توزیع نمونه پس آزمون گروه کنترل

از نظر یادگیری شناختی عدۀ دانشجو - معلمان که در گروه آزمایش به سؤالات متناظر با سطوح مختلف یادگیری شناختی پاسخ صحیح داده‌اند در جدول ۲ آمده است. همانطور که دیده می‌شود، در گروه آزمایش تعداد پاسخهای صحیح در سطح کاربرد و در یکی از سؤالات سطح تحلیل، بیشتر است و در یکی از سؤالات سطح ترکیب از همه کمتر است. در گروه کنترل نیز با وجود اینکه هیچ‌گونه آموزش و یادگیری در زمینه تاریخ علم صورت نگرفته بود، تقریباً همین روند برقرار است؛ به‌علاوه اینکه تک سؤال سطح یادگیری آزمون مانند یکی از سؤالات سطح ترکیب هیچ پاسخ صحیحی نداشته است. این نتایج نشان می‌دهد که یادگیری شناختی دانشجو - معلمان گروه آزمایش در سطح کاربرد و تحلیل نسبتاً خوب بوده است و در سطوح بالاتر ترکیب و آزمون نیاز به توجه بیشتری دارد. تعداد کم پاسخهای صحیح نسبت به پاسخهای غلط گروه کنترل نیز بیانگر نقصان توانایی درک مدل سازی در فیزیک برای این گروه است.

جدول ۲. تعداد پاسخهای صحیح به سؤالات پس آزمون گروه آزمایش و گروه کنترل

	گروه کنترل		گروه آزمایش					
	تعداد پاسخهای نادرست	تعداد پاسخهای صحیح	تعداد پاسخهای نادرست	تعداد پاسخهای صحیح				
یک سؤال سطح کاربرد	۱۰	۲	۱	۱۰				
دو سؤال سطح تحلیل	۱۰	۱۱	۱	۲	۱۰	۹		
دو سؤال سطح ترکیب	۱۱	۱۲	۱	۰	۳	۲	۸	۹
یک سؤال سطح آزمون	۱۲	۰	۲	۰	۲	۰	۹	۰

ب) آمار استنباطی

ابتدا نرمال بودن چولگی و کشیدگی توزیع داده‌ها را بررسی می‌کنیم و در صورتی که مقدار آن در بازه (۲ و -۲) قرار داشته باشد، نرمال بودن داده‌ها را از طریق آزمون کولموگروف-اسمیرنوف می‌سنجیم. جدول ۳ مقادیر چولگی و خمیدگی نمرات گروه آزمایش و گروه کنترل را در پس‌آزمون نشان می‌دهد که به ترتیب دارای مقادیر ۰/۶۶۱ و ۰/۸۶۸- برای گروه آزمایش و ۰/۶۳۷ و ۱/۱۱۱- برای گروه کنترل است و نشان می‌دهد که داده‌ها به توزیع نرمال نزدیک اند.

جدول ۳. مقادیر چولگی و خمیدگی نمرات پس‌آزمون

گروه	میانگین نمره	انحراف استاندارد	چولگی	کشیدگی
آزمایش	۴/۷۲۷	۱/۱۰۳	۰/۶۶۱	-۰/۸۶۸
کنترل	۱/۰۸۳	۰/۷۹۲	۰/۶۳۷	-۱/۱۱۱

حال می‌توان برای سنجش نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده کرد. بر اساس جدول ۴، مقدار آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای پرسشنامه برابر ۰/۲۰۹ با سطح معناداری ۰/۱۵۳ است که چون از مقدار ۰/۰۵ بزرگ‌تر است، پس در این سطح معنادار نیست و می‌توان نتیجه گرفت توزیع داده‌های فرضیه تحقیق نرمال است و در نهایت مجازیم که از آزمون پارامتریک از نوع آزمون T دو متغیر مستقل استفاده کنیم.

جدول ۴. نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف

سطح معناداری	مقدار آزمون کولموگروف-اسمیرنوف	پس‌آزمون
۰/۱۵۳	۰/۲۰۹	

فرضیه تحقیق این بود که دانشجو - معلمانی که واحد درسی تاریخ علم فیزیک را با موفقیت گذرانده‌اند، نسبت به دانشجو - معلمان مشابهی که این واحد درسی را نگذرانده‌اند، درک بیشتری از فرایند مدل‌سازی در روش علمی دارند.

بر اساس جدول ۵ که در آن نتایج آزمون T آمده است، میان گروه کنترل و آزمایش در پس‌آزمون تفاوت معنادار $T = -۹/۱۵۴$ در سطح معناداری ۰/۰۰۰۶ وجود دارد که چون از سطح معناداری ۰/۰۵ کمتر است، نشان می‌دهد میان دانشجو - معلمان گروه کنترل و آزمایش تفاوت وجود دارد. با توجه به اینکه میانگین نمره آزمون گروه آزمایش بیشتر از گروه کنترل است پس می‌توان فرضیه پژوهش را

تأیید کرد. بنابراین می‌توان گفت دانشجو - معلمانی که واحد درسی «تاریخ علم فیزیک» را با موفقیت گذرانده‌اند، نسبت به دانشجو - معلمان مشابهی که این واحد درسی را نگذرانده‌اند، درک بیشتری از فرایند مدل‌سازی در روش علمی دارند.

جدول ۵. نتایج آزمون T دو نمونه‌ای مستقل فرضیه تحقیق

گروه	فراوانی	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین خطای استاندارد	مقدار T	معناداری سطح
آزمایش	۱۱	۴/۷۲۷	۱/۱۰۳	۰/۳۳۲	-۹/۱۵۴	۰/۰۰۰۶
کنترل	۱۲	۱/۰۸۳	۰/۷۹۲	۰/۲۲۸		

■ بحث و نتیجه‌گیری ■

بر اساس پژوهشهای دهه‌های اخیر، می‌توان نتیجه گرفت که بهره‌گیری از تاریخ علم در آموزش علوم روشی مؤثر است. بر همین اساس در این پژوهش تأثیر آموزش تاریخ علم فیزیک بر درک دانشجو - معلمان از منظر خاص «فرایند مدل‌سازی در فیزیک» بررسی می‌شود. گروه آزمایش در پژوهش حاضر دانشجو - معلمانی از نمونه آماری بودند که درس تاریخ علم فیزیک را به‌عنوان واحد انتخابی اخذ کرده بودند و گروه کنترل دانشجو - معلمانی از نمونه آماری هستند که این درس را انتخاب نکرده بودند. این دو گروه از نمونه آماری تا حد ممکن شبیه به هم در نظر گرفته شدند، یعنی هر دو گروه حداقل شش ترم تحصیلی را در دانشگاه گذرانده‌اند و معدل میانگین هر دو کلاس نزدیک به هم است. در هر جلسه از این درس یکی از ادوار تاریخی (از دوران یونان باستان تا دوران معاصر) برای گروه آزمایش مورد بررسی قرار می‌گرفت و هر بار تلاشها و آزمون و خطاهای فیزیکدانان در ارائه فرضیه، نظریه و قانون از ابتدا تا انتها تدریس می‌شد. البته محدود بودن ساعت تدریس «تاریخ علم فیزیک» (دو ساعت در هفته) سبب شده بخشهایی از سرفصلها در کلاس تدریس نشود. همچنین کم بودن تعداد دانشجو - معلمانی که در دانشگاه در ترمهای پایانی دروس انتخابی را اخذ می‌کنند، سبب شد حجم نمونه کم باشد، از این رو پایایی و روایی پس‌آزمون با تأکید بیشتری بررسی شد و مورد تأیید قرار گرفت. در نهایت اندازه‌گیری تأثیر متغیر مستقل از طریق یک پس‌آزمون روی هر دو گروه به‌صورت همزمان انجام گرفت که سؤالات آن متناظر با سطوح مختلف یادگیری شناختی تنظیم شده است. تجزیه و تحلیل آمار توصیفی نتایج نشان می‌دهد که یادگیری شناختی دانشجو - معلمان گروه آزمایش در سطح کاربرد و تحلیل نسبتاً خوب بوده و در سطوح بالاتر ترکیب و آزمون نیازمند توجه بیشتری است. در گروه کنترل

نیز نقصان توانایی درک مدل‌سازی در فیزیک به چشم می‌خورد. در نهایت نتایج آمار استنباطی از طریق آزمون دو نمونه‌ای T مستقل نشان می‌دهد که فرضیه تحقیق مورد تأیید است و دانشجو - معلمان که واحد درسی «تاریخ علم فیزیک» را با موفقیت گذرانده‌اند، نسبت به دانشجو - معلمان مشابهی که این واحد درسی را نگذرانده‌اند، درک بهتری از فرایند مدل‌سازی در روش علمی دارند.

شایان ذکر است که در این پژوهش نیز مانند پژوهش‌های دیگر، با وجود تلاش در از میان برداشتن متغیرهای مزاحم، نمی‌توان تأثیرات کشف شده را کاملاً علی فرض کرد و ممکن است این تأثیرات با متغیرهای دیگری هم ارتباط داشته باشند. به‌عنوان نمونه ممکن است برخی از دانشجو - معلمان گروه آزمایش که واحد درسی تاریخ علم را انتخاب کرده‌اند نسبت به دانشجو - معلمان گروه کنترل، علاقه بیشتری به تاریخ و فلسفه علم داشته و حتی در این زمینه مطالعات خارج از برنامه درسی نیز داشته باشند. لذا توصیه می‌شود چنین پژوهش‌هایی در شرایطی که این واحد درسی به‌صورت الزامی (و نه انتخابی) به دانشجو - معلمان ارائه می‌شود نیز محقق و با نتایج حاضر مقایسه شود. همچنین پیشنهاد می‌شود برای اطمینان از نتایج پژوهش و تأیید آن، پژوهش‌های سبکی به هر دو گروه از دانشجو - معلمان داده شود تا روش تحقیق، گردآوری داده و در نهایت مدل‌سازی را انجام دهند و توانایی عملی آنها در تکمیل این فرایند نیز مورد تحلیل، بررسی و مقایسه قرار گیرد. تحقق‌پذیری این فرایند به دلیل کوتاه بودن نیمسال تحصیلی و عدم دسترسی به دانشجویان پس از فراغت از تحصیل‌شان برای پژوهشگر امکان‌پذیر نبود.

پژوهش‌های دیگری نیز در زمینه به‌کارگیری تاریخ علم برای بهبود درک دانش‌آموزان و دانشجویان از روش علمی و مدل‌سازی صورت گرفته است که نتایج آنها با نتایج پژوهش حاضر سازگار است. مثلاً پژوهش‌گاریک و همکاران (۲۰۱۵) نشان می‌دهد که گذراندن دوره تاریخ علم فیزیک به معلمان کمک می‌کند که از این مباحث در کلاس بهره بگیرند و آموخته‌های دانش‌آموزان را بهتر درک کنند. وی به‌کارگیری مفهومی معلمان از تاریخ علم را یک روش منطقی برای بهبود کیفیت ارائه مباحث ناشی از مدل‌سازی در کلاس درس می‌داند. همچنین کینینیس (۱۹۹۸) دریافت که بیان منشأ، پیشرفت، تصحیح و جایگزینی مدلها در طول تاریخ، درک دانش‌آموز از روش علمی را در هر دو جنبه عینی و ذهنی بالا می‌برد. پژوهش هیند^۱ (۱۹۸۰) نیز همچون تحقیق حاضر تاریخ علم فیزیک را یک ابزار عالی برای کسب بینش نسبت به سرشت مدل‌سازی می‌داند، چرا که تاریخ فیزیک علاوه بر بیان پیشرفت، بازبینی، جایگزینی، رد و بستگی مدلها به شرایط تاریخی، به دانش‌آموز کمک می‌کند تا مدل‌های ارائه شده در فیزیک را در بستر تاریخ راحت‌تر نقد و بررسی کنند. از طرفی هادسون^۲ (۱۹۸۶) معتقد است که مواضع فلسفی افراطی واقع‌گرایانه یا ابزارگرایانه در زمینه علم، تصویر صحیحی از تاریخ علم ارائه نمی‌دهد

1. Hind
2. Hodson

و سبب سردرگمی در آموزش علوم می‌شود. بنابراین تأکید ما در این مقاله بر درک دانشجو از مدل‌سازی به کمک تاریخ علم، که به عقیده هادسون به نفع موضع ابزارگرایانه است، باید به نحوی تعدیل شود. شایان ذکر است که هیچ‌یک از پژوهش‌های فوق مانند پژوهش حاضر دارای تحلیل آماری نبوده و بیشتر به بررسی نحوه استفاده از این روش در کلاس پرداخته‌اند. در زمینه تحلیل آماری، پژوهش محبوبی و همکاران (۱۳۹۰) با تجزیه و تحلیل یافته‌های آماری نشان داده که آموزش تاریخ فیزیک تأثیری معنادار بر دانش و نگرش علمی دانش‌آموزان پایه دوم متوسطه دارد، اما در مورد درک دانش‌آموزان از مدل‌سازی در فیزیک نتیجه‌ای ارائه نکرده‌اند. همچنین تحقیق اروین (۲۰۰۰) نیز به روش کمی و کیفی نشان داده است که تاریخ فیزیک بر درک و نگرش دانش‌آموزان نسبت به ماهیت علم تأثیر دارد، اما دانش محتوای فیزیک دانش‌آموزان را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد که با نتایج ما که نشانگر تأثیر مثبت تاریخ فیزیک بر درک دانشجویان از مدل‌سازی است همراستاست (زیرا در پژوهش حاضر دانش محتوای فیزیک دانشجویان بررسی نشده و ادعایی نیز در مورد تأثیر آن صورت نگرفته است). کلاپفر و کولی (۱۹۶۱) نیز آموزش تاریخ علم را روی ۱۰۸ دانش‌آموز دبیرستانی در درس زیست‌شناسی، شیمی و فیزیک در مکانهای جغرافیایی مختلف انجام داده‌اند تا تأثیر آن را بر ادراک دانش‌آموزان از علم‌پیشگان و نقش علم به‌عنوان یک ارگان اجتماعی بررسی کنند. مطالعات کمی و کیفی آنها نیز نشان داده که روش آموزش تاریخ علم در افزایش درک دانش‌آموزان از علم و کار علم‌پیشگان تأثیری بسزا داشته است. با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر و پژوهش‌های مشابه، موضوع تأثیر آموزش تاریخ علم فیزیک بر جنبه‌های مختلف درک فراگیران از علم همچنان قابل تأمل است. موضوعاتی مانند تأثیر آموزش تاریخ علم، به‌ویژه در منطقه فرهنگی و جغرافیایی فراگیران بر درک آنها از پیشبرد علم، تأثیر آموزش تاریخ علم بر سواد علمی فراگیران و دانستن جایگاه علم در تصمیم‌گیریهای شخصی، امور شهروندی و فرهنگی و اقتصادی و همچنین تأثیر آموزش تاریخ علم بر انتخاب مناسب موضوعات پژوهش در مقاطع تحصیلی بالاتر از موارد نیازمند پژوهش و بررسی بیشتر است.

این نوع پژوهش‌ها به ما نشان می‌دهد که آموزش تاریخ علم بسیار باید بیشتر از یک واحد درسی دانشگاهی مورد توجه قرار گیرد. چنین توجه خاصی مستلزم اضافه کردن تعامل با پژوهش‌های بدیع در حوزه تاریخ علم، مطالعات موردی زندگینامه‌ها، داستانها و تصویرسازیهای تاریخ علم به‌صورت کتاب، نمایش، آزمایش و ... آموزش ضمنی تاریخ علم در خلال سایر واحدهای درسی در مدارس و دانشگاههاست. در این فرایند بلندمدت، درک فراگیران از تاریخ علم با تأمل و تعمق بیشتر و در کنار مبحث علمی مرتبط با همان درس صورت می‌گیرد و تأثیر آن به‌مراتب در درک علمی و سواد عمومی فعال‌تر، عمیق‌تر و ماندگارتر خواهد بود.

- اربابی‌فر، فاطمه. (۱۳۹۷). آموزش فیزیک با توجه به ماهیت علم. مقاله نامه همایش کشوری دانش آموزش محتوای فیزیک، دانشگاه فرهنگیان، شیراز.
- کوهن، تامس. (۱۳۹۷). *ساختار انقلاب‌های علمی*، ترجمه سعید زیباکلام. تهران: سمت.
- گاموف، جورج. (۱۳۷۲). سرگذشت فیزیک، ترجمه رضا اقصی. تهران: انتشارات و آموزش انقلاب اسلامی.
- محبوبی، خدیجه؛ وصالی، منصور و سعادت، مهدی. (۱۳۹۰). بررسی تأثیر آموزش تاریخ فیزیک بر دانش و نگرش شاگردان دختر پایه دوم دبیرستان. *نوآوری‌های آموزشی*، ۹ (۳۷)، ۵۳-۷۰.
- Bloom, B. S., Englehart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H., & Krathwohl, D. R. (1956). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals by a committee of college and university examiners (Handbook I: Cognitive domain)*. New York: McKay.
- Frigg, R. (2009). Models in physics. In E. Craig (Ed.), *Routledge encyclopedia of philosophy*. Routledge.
- Garik, P., Garbayo, L., Benétreau-Dupin, Y., Winrich, C. D., Duffy, A., Gross, N., & Jariwala, M. (2015). Teaching the conceptual history of physics to physics teachers. *Science & Education*, 24(4), 387-408.
- Hartmann, S. (1995). Models as a tool for theory construction: Some strategies of preliminary physics. In W. Herfel, W. Krajewski, I. Niiniluoto, & R. Wójcicki (Eds.), *Theories and models in scientific processes* (pp. 49-67). Amsterdam and Atlanta: Rodopi.
- _____. (1999). Models and stories in hadron physics. In M. Morgan, & M. Morrison (Eds.), *Models as mediators: Perspectives on natural and social science* (pp. 326-346). Cambridge University Press.
- Hiebert, E. N. (1970). Historical and philosophical perspectives of science. *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, 5, 184-203.
- Hind, G. (1980). Models in physics: Some pedagogical reflections based on the history of science. *European Journal of Science Education*, 2(1), 15-23.
- Hodson, D. (1986). Philosophy of science education. *Journal of Philosophy of Education*, 20(2), 215-225.
- Holton, G. (1969). Harvard Project Physics: A report on its aims and current status. *Physics Education*, 4(1), 19-25.
- Irwin, A. R. (1997). Theories of burning: A case study using a historical perspective. *School Science Review*, 78(285), 31-38.
- _____. (2000). Historical case studies: Teaching the nature of science in context. *Science Education*, 84(1), 5-26.
- Kipnis, N. (1998). Theories as models in teaching physics. *Science & Education*, 7(3), 245-260.
- Klopfer, L., & Cooley, W. (1961). *The use of case histories in the development of student understanding of science and scientists*. Unpublished manuscript, Harvard University, Cambridge, MA.
- Lakhtakia, A., & Salpeter, E. E. (1996). Models and modelers of Hydrogen. *American Journal of Physics*, 65(9), 933-934.
- Mangin, P., & Khan, R. (2017). London theory. In *Superconductivity* (pp. 13-48). Springer, Cham.
- Matthews, M. R. (Ed.). (2014). *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*. Dordrecht: Springer.
- McComas, W. (2010). The history of science and the future of science education: A typology of approaches to the history of science in science instruction. In P. V. Kokkotas, K. S. Malamitsa, & A. A. Rizaki (Eds.), *Adapting historical knowledge production to the classroom* (pp. 37-54). Rotterdam: Sense Publishers.
- McMullin, E. (1985). Galilean idealization. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 16(3), 247-273.
- Müller, M. (1995). Equation of time – Problem in astronomy. *Acta Physica Polonica*, A88 (suppl.), S-49.

ضمیمه الف

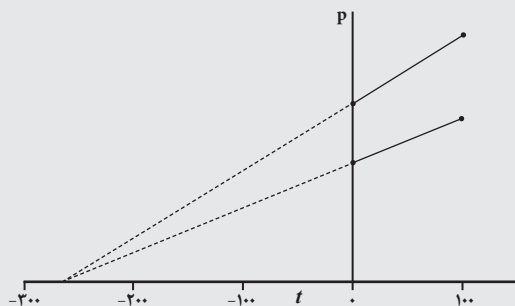
مدل‌سازی در دوران یونان باستان: در قرن چهارم قبل از میلاد فلاسفه یونانی به مدلی می‌اندیشیدند که به کمک آن بتوانند تغییرات دوره‌های پدیده‌های فلکی را توضیح دهند. یونانیان از نخستین اقوامی بودند که به جستجوی توضیحات منطقی و روشن برای پدیده‌های طبیعی برآمدند و تلاشهای آنها گامی پرارزش در راه علم بود. پس از مدل زمین‌مرکزی ارسطو، آریستارخوس پیشنهاد کرد که برای توضیح ساده‌تر پدیده‌های آسمانی باید خورشید در مرکز قرار گیرد و زمین و سایر ستارگان در اطراف آن در گردش باشند که این آرایش به منظومه خورشیدمرکزی معروف شد. اما به دلیل اینکه آریستارخوس به جزئیات این منظومه نپرداخت و کار او کاملاً کیفی و عمومی بود توجه‌ها را جلب نکرد. سرانجام در سال ۱۵۰ میلادی کلاودیوس بطلمیوس مدلی ارائه داد که با آن پیش‌بینی دقیق مواضع هر سیاره ممکن بود و در کتاب خود، به نام *مجسطی*، بر اساس مدل زمین‌مرکزی و به کمک افلاک کروی و سه شگرد هندسی (فلک خارج مرکز، فلک تدویر و نقطه معدل‌المسیر) مواضع سیارات را پیش‌بینی کرد. با این همه، به‌خلاف تصور رایج، به نظر می‌رسد که بطلمیوس باور داشت که مدل او نه تنها یک مدل پدیده‌شناختی ریاضی مناسب مانند یک معادله برای محاسبه مواضع است، بلکه در کتاب *اقتصاد احوال الكواکب*^۱ آن را یک مدل تبیینی واقعی برای جهان می‌دانست. مدل زمین‌مرکزی بطلمیوس در واقع مجموعه‌ای از مدل‌های هندسی پیچیده بود. هرچند این مدل‌ها امروزه منسوخ شده‌اند، اما در حدود ۱۵۰۰ سال مورد استفاده بوده‌اند، زیرا نه تنها با دقت کافی مواضع خورشید، ماه و سیاره‌ها را پیش‌بینی می‌کردند، بلکه با فلسفه ارسطویی رایج در یونان و قرون میانه نیز تا حدی هماهنگی داشتند.

این مثال تاریخی از مدل‌سازی نشان می‌دهد که چگونه عدم تدوین یک نظریه کامل ریاضی و تجربی از سوی آریستارخوس سبب شد که نظریه‌اش طرفداری پیدا نکند و نظریه بطلمیوس به دلیل کار تجربی و ریاضی بسیار دقیق به‌عنوان نظریه صحیح پذیرفته شود.

مدل‌سازی در دوران انقلاب علمی (رنسانس): گاز ایده‌آل در واقع یک مدل است که برای آسانی محاسبات گازها استفاده می‌شود. رفتار گاز ایده‌آل در معادلات گازها به‌خوبی صدق می‌کند و برهم‌کنش بین مولکولها در آن وجود ندارد. رابرت بویل در قرن ۱۷ میلادی در پی آزمایشهایی که برای اندازه‌گیری حجم گازها در فشارهای کم و زیاد داشت در نهایت توانست رابطه ریاضی بین حجم و فشار گاز را به‌دست آورد و به این نتیجه رسید که حجم گاز در دمای معین با فشاری که بر آن وارد می‌شود تناسب معکوس دارد. حدود یک قرن بعد گیلوساک رابطه دیگری را برای گازها معرفی کرد که بیان می‌کرد فشار هر گاز دارای حجم معین به ازای هر یک درجه سانتیگراد افزایش دما به اندازه $\frac{1}{273}$ مقدار اولیه‌اش افزایش می‌یابد. از این‌رو اگر مبدأ دما را صفر انتخاب کنیم و گاز را تا ۲۷۳ درجه سانتیگراد زیر آن سرد کنیم انتظار می‌رود که فشار گاز صفر شود (شکل ۱) و حجم گاز نیز تا صفر فشرده شود. نقطه فرضی که در اینجا روی می‌دهد به صفر مطلق معروف است، بدیهی است که هیچ گازی به

1. Planetary Hypothesis

نقطه حجم صفر نمی‌رسد و قبل از رسیدن به این نقطه به شکل مایع تراکم ناپذیری در می‌آید. با این همه این مدل برای گازهای ایده‌آل نقش مهمی در فیزیک حرارت و ترمودینامیک ایفا می‌کند و پایه بسیاری از نظریات بعدی است.



شکل ۱. نمودار فشار گاز بر حسب دما

مدل‌سازی در دوران فیزیک جدید: در قرن ۱۹ میلادی مدل اتمی رادرفورد به‌عنوان جایگزین مدل

اتمی هندوانه‌ای تامسون مطرح شد. در آن زمان رادرفورد مصمم بود با پرتاب انواع پرتابه‌های جدید پس از کشف رادیواکتیویته درون اتم را واریسی کند. وی پس از آزمایشات بسیار نشان داد که ذرات آلفای خارج شده از عناصر رادیواکتیو، که به ورقه‌های فلزات برخورد می‌کنند، پس از برخورد سرنوشت یکسانی ندارند؛ قسمت عمده‌ای از آنها در امتداد تابش اولیه حرکت خود را حفظ می‌کنند، تعدادی از آنها چند درجه منحرف شده و حتی مقداری از آنها کاملاً به عقب برمی‌گردند. این نتیجه با آنچه از مدل اتمی تامسون انتظار می‌رفت کاملاً ناسازگار بود، چرا که در آن جرم و بار مثبت یکنواخت در سراسر اتم توزیع شده است. تنها توضیح ممکن برای این پدیده این بود که بار مثبت و جرم یک اتم در ناحیه کوچکی که عملاً یک نقطه و در مرکز اتم است تمرکز یافته است. برای نشان دادن توافق این فرض با مشاهده لازم بود که فرمولی برای انحراف ذراتی که در فواصل مختلف از مرکز دافعه می‌گذرند ارائه شود. رادرفورد به کمک ریاضی‌دان جوانی به نام فاولر به یک مدل پدیده‌شناختی رسید که در قالب فرمولی ارائه داد که در آن تعداد ذرات آلفا که به اندازه زاویه θ از امتداد اولیه خود منحرف می‌شوند با معکوس توان چهارم $\sin^4 \frac{\theta}{2}$ متناسب است. این تناسب در حالت کلی که ذره‌ای با بار q_1 و انرژی جنبشی E به ذره ساکنی با بار q_2 برخورد کند بدین صورت خواهد بود:

$$D(\theta) = \left(\frac{q_1 q_2}{4E \sin(\theta/2)} \right)^2$$

که D همان سطح مقطع برخورد است. این رابطه با منحنیهای مشاهده شده از پراکندگیها کاملاً سازگار بود. این مدل پدیده‌شناختی راه را برای ایجاد مدل اتمی موردنظر باز کرد. مشخص شد که در آن یک هسته مرکزی کوچک اما سنگین و باردار در مرکز اتم است که گروهی از الکترونها تحت تأثیر جاذبه کولنی بر گرد آن می‌چرخند. این مدل کمابیش شبیه مدل منظومه شمسی است که در آن سیارات دور خورشید می‌گردند و به واسطه جاذبه نیوتنی روی مدارش نگه داشته می‌شوند.

ضمیمه ب

۱. مشاهدات نجومی نشان داده است که یک جسم فضایی در زمانهای ۵ و ۸ و ۱۰ ثانیه به ترتیب در فواصل ۷ و ۱۹ و ۲۸ (واحد مکان) از مبدأ اندازه‌گیری مکان قرار گرفته است. دقیق‌ترین مدل ریاضی که مکان این جسم را برحسب زمان نشان می‌دهد کدام است؟

الف) داده‌ها کافی و دقیق نیست.

ب) $x = 1/4 t^2 + 3$

ج) $x = 1/4 t^2 + 3t$

د) $x = at^2 + b$

۲. همان‌طور که می‌دانید مدل منظومه خورشید مرکز کوپرنیک، مدل اتمی رادرفورد و مدل گازهای کامل شارل-گیلواساک مدل‌های مهمی در فیزیک هستند. به نظر شما این مدل‌ها در اصل چه نقشی ایفا می‌کنند؟

الف) ساده‌سازی و مرتب‌سازی بخشی از پدیده‌های جهان

ب) یک فرمول ریاضی خیلی ساده برای توصیف یک پدیده پیچیده

ج) پیش‌بینی پدیده‌های آینده از روی مطالعات گذشتگان

د) شبیه‌سازی یک پدیده در آزمایشگاه

۳. یک علم‌پیشه تجربی همچون یک فیزیکدان، شیمی‌دان یا زیست‌شناس که مشغول به پژوهش در راه پیشبرد علم است در واقع است.

الف) مشغول مطالعه بسیار در رشته تخصصی خودش و تصحیح اشتباهات قبلی

ب) مشغول به مدل‌سازی و نظریه‌پردازی ناشی از عقل و تفکر

ج) مشغول به جمع‌آوری داده‌های آزمایش و تلاش در توصیف نتایج آن

د) مشغول به جمع‌آوری داده‌های آزمایش، مدل‌سازی و پیش‌بینی نتایج آزمایش‌های مشابه

۴. جعبه سیاهی حاوی ظرفی با شکل و شرایط فیزیکی نامعلوم وجود دارد. ۱ لیتر آب در ظرف درون جعبه سیاه ریخته شده و ۰/۷۵ لیتر آب از جعبه سیاه خارج می‌شود. به نظر شما ظرف درون جعبه سیاه کدام ویژگی را دارد؟

الف) ظرف سوراخ است و ۰/۲۵ لیتر آب از ظرف به فضای درون جعبه ریخته است.

ب) چون اطلاعات کافی نیست هیچ حدسی نمی‌توان زد.

ج) دمای بخشی از ظرف آنقدر زیاد است که ۰/۲۵ لیتر آب تبخیر شده است.

د) گزینه الف و ج هر دو می‌توانند صحیح باشند.

۵. در مدل سیاره‌ای کوپرنیک، مدار سیارات دایره در نظر گرفته شده بود و کمتر از یک قرن بعد کپلر مدار حرکت سیارات را بیضی معرفی کرد. به نظر شما یک اخترفیزیکدان معاصر چگونه می‌تواند مدل‌های سیاره‌ای را دقیق‌تر کند؟

الف) گردآوری داده‌های رصدی بیشتر

ب) انطباق داده‌های رصدی موجود با توابع ریاضی دقیق‌تر

ج) آزمون و خطای بیشتر با تغییر شرایط در رصدهای مختلف

د) همه موارد

۶. کدام یک از موارد زیر می‌تواند یک موضوع خوب برای پایان‌نامه کارشناسی ارشد یا دکتری یک دانشجوی رشته فیزیک باشد؟

الف) بررسی درستی رابطه آزمایش و فرمول ریاضی در مدل اتمی رادرفورد

ب) طراحی یک آزمایش برای نقض مدل اتمی رادرفورد

ج) انجام آزمایشات جدیدتر و دقیق‌تر هسته‌ای و بسط و توسعه مدل اتمی رادرفورد

د) ارائه یک نظریه ذهنی برای یک مدل اتمی جدید