Journal of Interdisciplinary Studies in Education
Vol. 4, No. 1, Spring 2025, 39-68
Journal Homepage: http://ise.cfu.ac.ir
ISSN:2981-1902

Appropriate Method and Components of the Nature of Science in Physics Education

Jalal Abdollahi[1]*, Iraj Nikseresht[2]
1. PhD student in History of Science, University of Tehran, Iran; (**Corresponding Author**).
jalaljalal13721372@gmail.com
2. Associate Professor of History and philosophy of Science, Institute for the History of Science, University of Tehran, Tehran, Iran. nikseresht@ut.ac.ir

Original Article

Abstract

Background and aim: Sciences, especially physics, are among the most significant achievements of humanity. However, few people are aware of the actual mechanisms of science and the way scientific activities are conducted. One reason for this lack of awareness is the insufficient attention to the "nature of science" in the curriculum and science education. This paper addresses the topic of the nature of science and the appropriate method for presenting and teaching it, particularly in physics lessons (in Iran).

Data and method: Presenting the nature of science through several components has become a standard approach known as the consensus approach. However, this approach has faced criticism and shortcomings. In response, the family resemblance approach has been proposed. Given these two important approaches, the question arises: What is the appropriate method for teaching the nature of science in physics? The article discusses the drawbacks and advantages of both the consensus and family resemblance approaches.

Findings: Despite the comprehensiveness of the family resemblance approach, its complexities make its implementation in high school challenging.

Conclusion: To achieve better and more coherent teaching of the nature of science in physics, the component-based approach should still be utilized. Suitable additional components should be added to address the shortcomings of the consensus approach and insights of the family resemblance approach. Furthermore, to better integrate these components into the educational content, a proposal titled "Each Chapter, Several Components" is suggested.

Keywords: Physics Education, Nature of Science, Consensus Approaches, Family Resemblance Approach, Philosophy of Science, History of Science

Key Message: Emphasizing the nature of science is essential for improving physics education in high school.

Received: 17/03/2025 Accepted: 10/06/2025

Citation: Abdollahi, J., Nikseresht, I. (2025), Appropriate Method and Components of the Nature of Science in Physics Education, *Journal of Social Continuity and Change, 4(1), 39-68.*
DOI: https://doi.org/10.22034/ise.2025.18053.1182

E-ISSN: 2981-1902 / © 2025 Published by Yazd Farhangian University
This is an open access article under the CC BY 4.0 License
(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).
DOI: https://doi.org/10.22034/ise.2025.18053.1182

Extended Abstract

Introduction

Teaching the nature of science (NOS) as a cornerstone of understanding scientific processes faces significant challenges in Iran's educational system. The emphasis on rote memorization and the neglect of dynamic aspects of science-such as reasoning methods, the history of science, and the role of the scientific community-have led to a fragmented and unrealistic perception of scientific activities among students. This article aims to identify appropriate approaches and components for teaching NOS in high school physics by analyzing two prevalent frameworks: the Consensus Approach (component-based) and the Family Resemblance Approach (FRA). The Consensus Approach standardizes NOS through fixed components (e.g., the tentativeness of scientific knowledge, theory-laden observation, and the role of creativity) but faces criticism for overlooking interdisciplinary differences and the dynamic nature of science. In contrast, the FRA, inspired by Wittgenstein's philosophy, emphasizes family resemblances between scientific disciplines and distinguishes between the cognitive-epistemic (methods, goals, rules, knowledge) and social-institutional (scientific interactions, ethical norms) dimensions of science. By evaluating the strengths and weaknesses of both approaches, this study seeks to determine how to effectively integrate NOS into high school physics curricula (in Iran).

Method

This research employs a library-based analytical method. By reviewing domestic and international literature on NOS, philosophy of science, and physics education, the Consensus and Family Resemblance Approaches were critically examined. Content analysis of high school physics textbooks and prior studies on NOS representation informed the practical evaluation of these frameworks. The primary goal was to propose actionable revisions for curricular content based on theoretical insights and implementation constraints.

Findings

In the consensus (or component-based) approach, the nature of science is presented through a set of components agreed upon by experts, where each component aims to represent an aspect or part of scientific activity. This approach focuses on the common and stable characteristics of the sciences and seeks to teach these characteristics through a set of components that are relevant across various scientific disciplines. To this end, different researchers propose their selected components based on their priorities. The following list is introduced as components of the nature of science: empirical basis, tentativeness of scientific knowledge, creativity in science, the myth of the scientific method, theory-laden observation and scientific knowledge, social and cultural influences, and the distinction between theories and laws.

A key aspect of the consensus approach is presenting the nature of science through a fixed set of agreed-upon components, which is recognized as a general and standardized framework known as the consensus approach. However, this approach has faced criticism. Critiques can generally be categorized into two types: first, those that reject the component-based approach altogether, and second, those that target the selection of specific components. The first category critiques the very foundation of the component-based approach and its underlying assumptions rather than the chosen components-that is, critics argue that regardless of which components are selected, the component-

based approach is not suitable for representing the nature of science. The main objections raised here include: the demarcation problem, ignoring interdisciplinary differences, and overlooking the dynamic and evolving nature of science.

In response to these criticisms of the consensus approach, the family resemblance approach has been proposed. The family resemblance approach, inspired by Wittgenstein's views, defines science not based on a fixed set of essential characteristics but rather on a network of overlapping similarities among various scientific activities. In this approach, there is no single component shared by all sciences, but each scientific field shares certain features with others, and these relative similarities place them within the same "family." This perspective offers a flexible, context-sensitive, and realistic view of science, better suited to explaining the diversity of disciplines, historical variations in criteria, and the dynamic nature of scientific structures. The family resemblance approach treats science as having two equally important dimensions: the cognitive-epistemic and the social-institutional. These dimensions operate continuously and complementarily, and understanding the nature of science is impossible without considering both.

While the Family Resemblance Approach emphasizes distinguishing between cognitive and social aspects of science, in practice, it differs little from the consensus approach, as it ultimately reduces to teaching specific selected components. This approach carries significant theoretical complexities that make its implementation in high school classrooms—particularly in physics—highly challenging. The core issue lies in the impracticality of incorporating all its philosophical nuances into secondary curricula, which would require exceptional teacher expertise and an overwhelming volume of instructional content.

Nevertheless, the valuable insights in this approach—such as its attention to interdisciplinary distinctions and the historical evolution of scientific criteria—cannot be dismissed. A practical solution is to adapt its framework by separately analyzing the components unique to each discipline and developing tailored teaching methods. This strategy fosters students' understanding of science's dynamic and diverse nature without burdening them with unnecessary philosophical intricacies. Examples like the transformation of atomic theory or shifting perspectives on gravitational force vividly illustrate these historical shifts in scientific thinking.

Conclusion and Discussion

Considering these challenges and insights, we conclude that due to the practical limitations of the Family Resemblance Approach, we must adopt the Consensus Approach in practice. However, the insights from the Family Resemblance Approach should not be overlooked.

Now, it is time to address the second category of critiques against the Consensus Approach. The core argument of this critique is that the selected components have flaws: some components conflict with one another (e.g., the tension between the *theory-laden observation* component and the *objectivity* component), while other important components have been neglected. To address these issues, we propose a set of suitable components, focusing on high school physics textbooks. These components include: Objectified observation, Discourse in science, Idealization, Math, Tools and technology (e.g., the role of instruments) Scientific community (its gatekeeping and collaborative functions). In selecting these components, we prioritized their clear and tangible connection to the physics curriculum, and we have specified which sections of the textbooks they relate to. These components align with high school physics content and can be embedded through "Each Chapter, Several Components" strategy.

Implementation Recommendations:

1. **Reforming teacher education** by incorporating mandatory "History and Philosophy of

Science" courses (e.g., Philosophy of Physics) in university curricula to enable student-teachers to develop a deeper understanding of the nature of science.

2. **Optimizing limited classroom time** by integrating NOS (Nature of Science) topics into existing course according to my presented strategy

3. **Systemic coordination** between textbook revisions, university curriculum planning, and teacher training programs to transform science education into a dynamic and practical learning process.

Ultimately, transforming NOS education requires synchronizing curricular reforms, teacher empowerment, and societal engagement. Only through such synergy can students evolve from passive memorizers to critical thinkers capable of navigating science's evolving landscape.

Ethical Considerations

Compliance with Ethical Guidelines

We have adhered to ethical guidelines in conducting this research.

Acknowledgments

No issues to report

Funding

No issues to report

Authors' Contributions

Jalal Abdollahi: 70%

Iraj Nikseresht: 30%

Conflicts of Interest

No issues to report.

Author's ORCID

Jalal Abdollahi: https://orcid.org/0000-0002-9907-2076

Iraj Nikseresht: https://orcid.org/0000- 0003-3256-4399

فصلنامهٔ مطالعات بین رشته‌ای در آموزش
دورهٔ ۴، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۴، ۳۹-۶۸
Journal Homepage: http://ise.cfu.ac.ir
شمارهٔ شاپا: ۱۹۰۲-۲۹۸۱

رویکرد و مؤلفه‌های مناسب آموزش ماهیت علم در درس فیزیک

جلال عبداللهی[1*]، ایرج نیک‌سرشت[2]
۱. دانشجوی دکتری تاریخ و فلسفه علم دانشگاه تهران، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)؛ mansoor.dehghan@cfu.ac.ir
۲. دانشیار تاریخ و فلسفه علم، پژوهشکده تاریخ علم دانشگاه تهران، تهران، ایران؛ nazilashogh21@gmail.com

مقاله اصلی

چکیده:

زمینه و هدف: علوم تجربی، به‌ویژه فیزیک، از مهم‌ترین دستاوردهای بشری محسوب می‌شوند؛ اما آگاهی عمومی از سازوکار علمی و نحوه انجام فعالیت‌های علمی محدود است. یکی از دلایل این مسئله، غفلت از آموزش «ماهیت علم» در برنامه‌های درسی علوم است. این مقاله با هدف بررسی رویکردهای مختلف در آموزش ماهیت علم، به‌ویژه در درس فیزیک، و انتخاب رویکردی مناسب برای این منظور نگاشته شده است.

روش: روش پژوهش مبتنی بر مطالعهٔ کتابخانه‌ای و تحلیل محتوایی است که به بررسی و مقایسه دو رویکرد مطرح در آموزش ماهیت علم، یعنی رویکرد توافقی (مؤلفه‌ای) و رویکرد شباهت خانوادگی می‌پردازد.

یافته‌ها: تحلیل‌ها نشان می‌دهد که رویکرد توافقی با وجود کاستی‌هایی، ساختاری منسجم و قابل‌اجرا دارد. در مقابل، رویکرد شباهت خانوادگی از جامعیت نظری بیشتری برخوردار است اما به دلیل پیچیدگی‌های اجرایی، برای سطوح آموزشی همچون دبیرستان چندان مناسب نیست.

نتیجه‌گیری: با توجه به محدودیت‌های اجرایی رویکرد شباهت خانوادگی، استفاده از رویکرد توافقی برای آموزش ماهیت علم در فیزیک توصیه می‌شود. البته به‌منظور ارتقای این رویکرد، پیشنهاد می‌شود که مؤلفه‌های تکمیلی برگرفته از بینش‌های رویکرد شباهت خانوادگی به آن افزوده شوند. همچنین، برای گنجاندن این مؤلفه‌ها در محتوای درسی، طرحی با عنوان «هر فصل، چند مؤلفه» ارائه شده است.

واژگان کلیدی: آموزش فیزیک، تاریخ علم، فلسفه علم، ماهیت علم، رویکرد توافقی، رویکرد شباهت خانوادگی .

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۷ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۰**

استناد به این مقاله: عبداللهی، جلال؛ نیک سرشت، ایرج. (۱۴۰۴). رویکرد و مؤلفه‌های مناسب آموزش ماهیت علم در درس فیزیک. مطالعات بین رشته‌ای در آموزش. ۴(۱)، ص۳۹-۶۸

https://doi.org/10.22034/ISE.2025.18053.1182

E-ISSN: 2981-1902 / © 2025 Published by Yazd Farhangian University
This is an open access article under the CC BY 4.0 License
(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).
DOI: https://doi.org/10.22034/ise.2025.18053.1182

مقدمه

بی‌شک علم یکی از مهم‌ترین دستاوردهای بشر است. بااین‌حال، شمار اندکی از افراد جامعه از سازوکار واقعی علم و نیز نحوهٔ انجام فعالیت‌های علمی آگاهی دارند. اغلب مردم، فهمی بسیار خام و غیرواقعی از فعالیت‌های علمی دارند که با آنچه واقعاً در فعالیت‌های علمی انجام می‌شود، هیچ قرابتی ندارد (عبدالملکی و همکاران، ۱۳۹۴). بخش زیادی از این بدفهمی، از سیستم آموزشی نشئت می‌گیرد (فتحی و عروجی، ۱۴۰۲). متأسفانه عمده هدفی که غالباً و عملاً در مدارس پیگیری می‌شود، حفظ کردن مطالب (حافظه‌محوری) است (نجاتی حسینی، ۱۳۹۶). «در آموزشگاه‌های ما آموزش خوب با یادگرفتن خوب توأم تلقی می‌شود. یادگرفتن هم مترادف است با حفظ کردن نوشته‌ها، از جمله حفظ کردن صورت مفهوم‌ها و شاید کاربرد آن‌ها.» (منصوری، ۱۳۹۷ ب: ۱۹) با اینکه اندیشمندان حوزهٔ آموزش مدت‌هاست از این مشکل آگاه شده‌اند و برای حل آن اقداماتی انجام داده‌اند، ولی این اقدامات در عمل نتوانسته‌اند تغییری جدی را ایجاد کنند. به همین دلیل در نظام‌های آموزشی همچنان حافظه‌محوری، به‌عنوان یکی از ارکان آموزش، نقش‌آفرینی جدی دارد (نجاتی حسینی، ۱۳۹۶). واضح است که با حفظ کردن صرفِ مطالب علمی آشنایی چندانی با نحوهٔ انجام فعالیت علمی حاصل نمی‌گردد (McComas, 2020). همین امر، موجب شده است که علی‌رغم گذراندن دروس و واحدهای درسی فراوان، درک صحیحی از آموخته‌ها و قواعد مناسب اندیشیدن و تفکر در فراگیران حاصل نگردد (Paul, 2020: 166).

شاید گفته شود که برای درک بهتر فعالیت علمی، کافی است که مشکل حافظه‌محوری را کنار بزنیم. ولی با نگاهی به متون درسی متوجه می‌شویم که متأسفانه در متون درسی هم محتوای چندان مناسبی گنجانده نشده به‌گونه‌ای که زمینه را برای درک بهتر فعالیت علمی مهیا سازد. توجه به کتب آموزشِ فیزیک دبیرستان، روشن می‌سازد که ارائه بیشتر مطالب در بهترین حالت، از دو الگوی خاص، پیروی می‌کند: حالت اول، ابتدا یک نظریه (فرضیه یا قانون یا مدل) مطرح می‌شود، سپس یک یا چند مثال سادهٔ تجربی در تأیید نظریه مورد توجه قرار می‌گیرد؛ حالت دیگر، مورد توجه قرار دادن یک پدیدهٔ تجربی و سپس ارائهٔ نظریه برای تبیین پدیده است. نهایتاً مطلب کتاب با ارائه چند مثال فنّاورانه در توضیح کاربرد آن نظریه به پایان می‌رسد.

تمرکز صرف بر رابطهٔ میان شواهد تجربی و نظریه، بدون لحاظ کردن پیچیدگی‌های ذاتی فعالیت علمی، می‌تواند به تفسیر نادرستی از علم فیزیک منجر شود. برداشت‌های تقلیل‌گرایانه‌ای که دستیابی به نظریات علمی را تنها بر مبنای مشاهدات تجربی به‌مثابهٔ داده‌های عینی ممکن می‌داند (Smith, 2013)، دیدگاهی ساده‌انگارانه تلقی می‌شود که با انتقادهای بنیادین از سوی فیلسوفان علم مواجه شده است (Chalmers, 2013). درک عمیق‌تر از علم و فرایند علمی مستلزم فراروی از صرف فهم دانش علمی و رابطهٔ نظریه و شواهد است؛ امری که خود نیز فراتر از حفظ مفاهیم علمی و به‌مراتب بنیادی‌تر است.

آموزش علوم، به‌ویژه فیزیک، نیازمند توجه به شیوه‌های تفکر انسانی است که علم فیزیک بر بستر آن شکل گرفته است.

تأکید صرف بر خروجی‌های دانشی این فرایند، یعنی نظریات علمی، ناکافی است؛ بلکه باید به نوع تفکری پرداخته شود که منشأ جهش شناختی و آگاهی در انسان خردمند بوده و همچنان مسیر پیشرفت علمی را هدایت می‌کند (منصوری، ۱۳۹۷ الف).

از این‌رو، آموزش علوم باید ناظر بر فرایند تفکر علمی باشد؛ فرایندی که بنیان‌گذار اکتشافات و تولید نظریه‌های علمی است. این رویکرد نیازمند آموزش فراگیرتری است که در آن مؤلفه‌هایی چون اعتبار معرفتی علم، روش‌شناسی علمی، جایگاه تاریخ علم و شیوه‌های استنتاج ناظر به پدیده‌های غیرقابل مشاهده لحاظ شوند (Matthews, 2000).

در این چارچوب، مفهوم «ماهیت علم»[1] در ادبیات آموزش علوم جایگاهی محوری یافته است. این مفهوم ناظر بر شناسایی ارزش‌ها، پیش‌فرض‌ها و ابعاد معرفت‌شناسانه و جامعه‌شناسانهٔ موجود در فرایند تولید علم و تفکر علمی است (Chiappetta et al., 1998). پژوهشگران حوزهٔ آموزش علم بر این باورند که آشنایی با ماهیت علم برای دستیابی دانش‌آموزان به درکی واقع‌بینانه و عمیق از علم و فعالیت‌های علمی، ضرورتی انکارناپذیر دارد (McComas, 2020: 32). این مقاله به بررسی رویکردهای مؤثر در آموزش ماهیت علم در زمینه آموزش فیزیک و چالش‌های مترتب بر آن می‌پردازد.

پیشینهٔ پژوهش

مطالعات نظری در حوزهٔ فلسفه علم و آموزش آن، بیانگر اهمیت بنیادی ماهیت علم در فرایند یاددهی – یادگیری علوم هستند. شیخر ضایی و ابراهیمی تیرتاش (۱۳۹۶) با تحلیل رویکردهای فلسفی مختلف، ابعاد گوناگون ماهیت علم را تبیین کرده‌اند. در همین راستا، سجادی (۱۴۰۰) تأکید دارد که علم‌شناسی و تاریخ و فلسفهٔ علم می‌توانند در سه سطح نگرشی، دانشی و مهارتی، نقش مؤثری در ارتقای آموزش علوم ایفا کنند و آموزش نظام‌مند آن را در سطوح مختلف تحصیلی ضروری می‌داند. اربابی‌فر و ناظر دیلمی (۱۴۰۰) در پژوهشی تجربی نشان داده‌اند که تدریس با رویکردهای مبتنی بر ماهیت علم، منجر به افزایش دانش علمی و تغییر در جهان‌بینی شاگردان می‌شود. همچنین، کافی (۱۴۰۲) با تأکید بر پیوستاری بودن علم، محدودسازی آن به صرف علوم تجربی را مورد نقد قرار داده است.

محمدی و همکاران (۱۴۰۰) با بررسی محتوای کتاب فیزیک ۲ دورهٔ متوسطه با رویکرد (مؤلفه‌های) ماهیت علم، نشان داده‌اند مؤلفه‌های موقتی بودن، خلاقیت و تفکیک نظریه از قانون در کتاب حضور دارد و مؤلفهٔ خلاقیت بیشتر از دو مؤلفهٔ دیگر نقش‌آفرینی دارد. با این‌حال، به‌نظر می‌رسد اغلب مؤلفه‌های مورد بررسی، نقش‌آفرینیِ صریحی در متن کتاب ندارند و بازنمایی آن‌ها نامحسوس و ضمنی است. شاید به همین دلیل باشد که نتایجِ دیگر تحقیقات تحلیل محتوای کتب در سی حاکی از آن است که بازنمایی مؤلفه‌های ماهیت علم در این منابع با **کاستی‌هایی جدی** مواجه است. رجبی و همکاران (۱۴۰۱) در بررسی محتوای کتب علوم دورهٔ ابتدایی به توزیع نامتوازن مؤلفه‌های ماهیت علم اشاره کرده‌اند، در حالی‌که کریمی و همکاران (۱۳۹۷) در تحلیل کتاب‌های راهنمای معلمان فیزیک، به غلبهٔ نگاه موقتی به علم و فقدان تبیین مؤلفه‌های کلیدی همچون نظریه‌پردازی و قانون‌گرایی اشاره می‌کنند. فتحی و عروجی (۱۴۰۲) نیز نشان داده‌اند که در کتاب‌های درسی فیزیک، مؤلفه‌های ماهیت علم غالباً به‌صورت ضمنی و ناکامل گنجانده شده‌اند.

1. Nature of Science

بر اساس مطالعات میدانی، سطح درک دبیران و دانشجویان علوم نسبت به ماهیت علم در سطح مطلوبی قرار ندارد. پژوهش‌های مولا و همکاران (۱۳۹۵) و عبدالملکی و همکاران (۱۳۹۴) حاکی از آن است که این گروه‌ها اغلب فاقد درک دقیق از مفاهیم بنیادین مربوط به ماهیت علم‌اند. این مسئله تا حد زیادی به ضعف منابع در سی باز می‌گردد که نتوانسته‌اند بازنمایی دقیق، جامع و روشنی از ماهیت علم ارائه دهند (فتحی و عروجی، ۱۴۰۲؛ کریمی و همکاران، ۱۳۸۶؛ رجبی و همکاران، ۱۴۰۱). درمجموع، شواهد پژوهشی نشان می‌دهند که خلأ مفهومی در زمینهٔ آموزش ماهیت علم در منابع رسمی و درک فراگیران به‌طور هم‌زمان وجود دارد و نیازمند بازنگری اساسی است.

با توجه به نتایج پژوهش‌های بالا، این نیاز بیش از پیش احساس می‌شود که در محتوای کتب درسی اصلاحاتی در نسبت با آموزش ماهیت علم انجام گیرد تا به دنبال آن، بستر مناسب‌تری برای دستیابی به درکی صحیح‌تر از ماهیت علم در شاگردان و فراگیران فراهم گردد. پژوهش ما در جهت پر کردن این خلأ است و به دنبال جست‌وجوی رویکرد و مؤلفه‌های مناسب ارائه ماهیت علم در کتب فیزیک دبیرستان است. بدین‌ترتیب، اکنون هدف ما به شکل بهتری قابل درک است: در این مقاله سعی داریم که بر ماهیت علم در رشتهٔ خاص فیزیک تمرکز کنیم و با توجه به ادبیات تخصصی داخلی و بین‌المللی، رویکرد و مؤلفه‌های مناسب آموزش فیزیک را بیابیم. همچنین، سعی داریم که نتایج پژوهش حاضر را به محتوای کتب فیزیک پیوند دهیم تا مقدمات لازم برای اصلاح محتوای این کتب را هموارتر سازیم.

روش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی است و به روش کتابخانه‌ای و تحلیلی تألیف شده است. ضمن مرور برخی از منابع دست اول و معتبر داخلی و بین‌المللی، به تحلیل موضوع ماهیت علم، رویکرد و مؤلفه‌های مناسب ارائه و آموزش ماهیت علم در درس فیزیک می‌پردازیم.

یافته‌ها

ماهیت علم معمولاً از طریق مجموعه‌ای از مؤلفه‌های توافق‌شده ارائه می‌شود که هر یک ناظر بر جنبه‌ای از فعالیت علمی هستند. این چارچوب مفهومی که به «رویکرد توافقی»[1] شهرت دارد، با وجود کاربرد گسترده، با انتقادات نظری و عملی مواجه شده است. در واکنش به این کاستی‌ها، رویکردهای جایگزینی پیشنهاد شده‌اند که مهم‌ترین آن‌ها، رویکرد «شباهت خانوادگی» است که با الهام از فلسفهٔ ویتگنشتاین، تلاش دارد تا تصویری انعطاف‌پذیرتر و جامع‌تر از ماهیت علم ارائه دهد.

در پژوهش حاضر، با تمرکز بر تحلیل انتقادی این دو رویکرد، تلاش شده تا چارچوبی مناسب برای آموزش ماهیت علم، به‌ویژه در آموزش فیزیک در سطح متوسطه، پیشنهاد شود. ابتدا ساختار و چالش‌های رویکرد توافقی بررسی می‌شود، سپس رویکرد شباهت خانوادگی معرفی و تحلیل می‌گردد. ارزیابی نهایی نشان می‌دهد که اگرچه رویکرد شباهت خانوادگی در سطح مفهومی غنی‌تر و از منظر فلسفی جامع‌تر است؛ اما محدودیت‌های اجرایی آن در محیط‌های آموزشی دبیرستانی، کاربست عملی آن را دشوار می‌سازد.

بر این اساس، پیشنهاد می‌شود رویکرد توافقی همچنان به‌عنوان مبنایی برای آموزش ماهیت علم در آموزش متوسطه

1. Consensus

باقی بماند؛ اما با بهره‌گیری از بینش‌ها و دستاوردهای رویکرد شباهت خانوادگی، مورد بازنگری و اصلاح قرار گیرد. در پایان، مؤلفه‌های اصلاح‌شده‌ای برای آموزش ماهیت علم در درس فیزیک ارائه شده‌اند که می‌توانند موجب ارتقاء کیفیت آموزش و فهم عمیق‌تر از علم در میان دانش‌آموزان شوند.

۱. رویکرد توافقی یا (مؤلفه‌ای)

در رویکرد توافقی (یا مؤلفه‌ای)، ماهیت علم در قالب تعدادی مؤلفهٔ مورد توافق از سوی متخصصان ماهیت علم معرفی می‌شود. در این رویکرد هر مؤلفه سعی دارد وجه یا بخشی از فعالیت علمی را نمایان سازد. این رویکرد بر ویژگی‌های مشترک و ثابت علوم تمرکز دارد و به‌دنبال آن است که این ویژگی‌ها را در قالب مجموعه‌ای از مؤلفه‌ها آموزش دهد که در تمام شاخه‌های علوم مورد توجه هستند. بدین منظور، هر یک از پژوهشگران مؤلفه‌های منتخب خود را با توجه به اولویت‌های مدنظرشان، معرفی می‌کنند. برای مثال، لدرمن و همکاران، فهرستی از مؤلفه‌های زیر را به‌عنوان مؤلفه‌های ماهیت علم معرفی کرده‌اند (Lederman et al, 2002: 502): داشتن مبنای تجربی، موقتی بودن معرفت علمی، وجود خلاقیت در علم، افسانه بودن روش علمی، نظریه‌بار بودن مشاهده[1] و معرفت علمی، تأثیرات اجتماعی و فرهنگی، تمایز نظریه از قانون (برای توضیح بیشتر مؤلفه‌های این فهرست، نک. شیخ رضایی و ابراهیمی تیرتاش، ۱۳۹۶).

همان‌گونه که اشاره شد هر یک از پژوهشگران، برای ارائه و آموزش ماهیت علم مطابق رویکرد توافقی، مؤلفه‌هایی را معرفی می‌کنند، با این‌حال، بیشتر مؤلفه‌های بالا، در فهرست ارائه شده از سوی دیگر پژوهشگران هم دیده می شود. برای مثال، مؤلفهٔ نظریه‌بار بودن مشاهده در همهٔ آن‌ها دیده می‌شود (Osborne et al, 2003; Wong et al., 2009). البته تفاوت‌هایی نیز در بین آن‌ها وجود دارد. مثلاً در فهرست آزبورن و همکاران، به‌درستی، مؤلفهٔ تعاون و همکاری دانشمندان مورد توجه قرار گرفته که در دیگر فهرست‌ها وجود ندارد (Osborne et al., 2003).

نکتهٔ مهم در رویکرد توافقی، ارائهٔ ماهیت علم در قالب تعدادی مؤلفهٔ ثابتِ مورد توافق است که به صورت رویکرد کلی و استاندارد، با عنوان رویکرد توافقی شناخته شده است. با این‌حال، رویکرد توافقی با نقدهایی روبه‌رو است. نقدها اغلب به دو شکل قابل دسته‌بندی هستند: نخست، نقدهایی که اصل رویکرد مؤلفه‌ای را انکار می‌کنند و دوم نقدهایی که بر انتخاب و گزینش مؤلفه‌ها وارد می‌شوند. در دستهٔ نخست، اصلِ رویکرد مؤلفه‌ای و پیش‌فرض‌های موجود در این رویکرد نقد می‌شود نه مؤلفه‌های انتخابی؛ یعنی ناقدان ادعا می‌کنند رویکرد مؤلفه‌ای، صرف‌نظر از اینکه چه مؤلفه‌هایی انتخاب شده‌اند، رویکرد مناسبی برای ارائهٔ ماهیت علم نیست. در ادامه، به دسته‌ای از نقدها پرداخته می‌شود و در بخش پنجم با اصلاح رویکرد توافقی از طریق معرفی مؤلفه‌های مناسب برای ماهیت علم فیزیک، به این نقدها پاسخ داده خواهد شد.

۲. نقدهای وارد بر رویکرد توافقی

الف) مسئلهٔ مرزبندی علم از شبه‌علم:[2] نخستین مشکل رویکرد توافقی، پیش‌داوری در مورد مسئلهٔ مرزبندی علم از غیرعلم است. در رویکرد توافقی، فرض می‌شود که مؤلفه‌ها شرط لازم و کافی علم نامیدن هر مجموعه از معارف را مشخص می‌کنند: هر دسته‌ای از معارف که این مؤلفه‌ها را داشته باشد، علم به‌حساب می‌آید. با این‌حال، متیوس با ارجاع به

1. Theory-Ladenness
2. Demarcation

کارهای فیلسوفان علم، به‌درستی بر این نکته انگشت می‌گذارد که هنوز هم فیلسوفان علم، در این مسئله اجماعی ندارند که ملاک تحدید علم از غیرعلم چیست و تمامی تلاش‌ها در این زمینه، به شکست انجامیده است (Matthews, 2012: 8).

ب) نادیده گرفتن تفاوت بین رشته‌ها و برخی مؤلفه‌ها: وقتی ماهیت علم در قالب تعدادی مؤلفهٔ ثابت ارائه گردد، تفاوت‌های بین رشته‌های مختلف نادیده گرفته می‌شود؛ زیرا مؤلفه‌های هر رشتهٔ علمی با رشتهٔ دیگر متفاوت است (Duschl, 2012; van Dijk, 2012). مقایسهٔ زیست شناسی و فیزیک نشان می‌دهد که قوانین علمی در زیست شناسی اغلب غیرقطعی و استثناپذیر هستند، در حالی‌که در فیزیک، قوانین از انسجام و شمول‌پذیری بیشتری برخوردارند.

برای مثال، «قانون گرانش» یا «قانون جاذبهٔ نیوتن» که مطابق آن نیروی بین دو جسم (F) با مربع فاصلهٔ بین آن‌ها (r) نسبت وارون دارد، به‌صورت یکسان بر تمامی اجسام جهان حاکم است ($F \propto \frac{1}{r^2}$)؛ در زیست‌شناسی، پاسخ سیستم ایمنی به ویروس‌ها تحت تأثیر عواملی مانند ژنتیک، سابقه بیماری و شرایط محیطی فرد متفاوت است. از این‌رو، فیزیک به‌دنبال کشف قوانین قطعی و جهان‌شمول است، در حالی‌که زیست‌شناسی بر شناسایی مکانیسم‌های زیستی تمرکز دارد که به‌سبب پیچیدگی موجودات زنده، ماهیتی غیرقطعی و عمدتاً آماری دارند.

در واکنش به چنین تفاوت‌هایی در رشته‌های علمی مختلف، عده‌ای پیشنهاد داده‌اند که باید از اصطلاح «ماهیت علوم» به جای ماهیت علم استفاده کنیم؛ زیرا ویژگی‌ها و نحوه عملکرد علم در رشته‌های مختلف، متفاوت است (Schizas et al, 2016). در همین راستا ارزیک و نولا معتقدند که جمع کردن تمامی حوزه‌ها و رشته‌های علمی، زیر چتر یک مجموعهٔ ثابت از مؤلفه‌ها، غیرممکن است (Irzik & Nola, 2014)؛ با این‌حال، رویکرد توافقی فرض کرده که شرایط لازم و کافی برای علم نامیدن تمامی رشته‌های علمی را می‌توان در قالب تعدادی مؤلفهٔ ثابتِ موردِ توافق ارائه داد که درواقع چنین نیست.

رویکرد توافقی با این فرض که مؤلفه‌های ثابتی میان تمامی علوم مشترکند، قابل نقد است. برای مثال، هرچند استنتاج در علوم کاربرد دارد، صرف استنتاج‌گرایی، مانند داوری قضات، مصداق فعالیت علمی نیست. همچنین، مشاهدهٔ آزمایشگاهی گرچه در فیزیک و شیمی رایج است، در علومی مانند نجوم یا زلزله‌شناسی امکان‌پذیر نیست. از سوی دیگر، پیش‌بینی‌پذیری نیز همگانی نیست؛ به‌عنوان نمونه، نظریهٔ داروین یا زلزله شناسی امکان پیش‌بینی دقیق رویدادها را ندارند. این موارد نشان می‌دهند که تعمیم مؤلفه‌های واحد به همهٔ رشته‌های علمی، نادقیق و محدود کننده است.

ارزیک و نولا به‌درستی معتقدند که تمرکز بر تعدادی مؤلفه‌های مشترک، برای تعریف و تحدید علم کافی نیست (Irzik & Nola, 2014: 1012) و لازم است مؤلفه‌های دیگری را نیز به این مؤلفه‌های مشترک افزود که ممکن است در برخی از رشته‌ها باشند یا نباشند (Irzik & Nola, 2014: 1012). ارزیک و نولا بر این نکته تأکید دارند که طیف متنوعی از علوم – از باستان شناسی تا جانورشناسی – با وجود تفاوت‌های بنیادین، همگی علمی تلقی می شوند؛ در حالی که هیچ مجموعهٔ ثابتی از مؤلفه‌ها میان آن‌ها مشترک نیست؛ بنابراین، رویکرد توافقی با تأکید بر مؤلفه‌های مشترک، تنوع رشته‌های علمی را نادیده می‌گیرد و تصویری تقلیل‌گرایانه از ماهیت علم ارائه می‌دهد.

ج) نادیده گرفتن پویایی[1]علم: یکی از نقدهای اساسی وارد بر رویکرد توافقی، نادیده گرفتن پویایی علم و ارائه تصویری ایستا از آن است (Irzik & Nola, 2014). تاریخ علم نشان می‌دهد که مؤلفه‌ها و هنجارهای علمی در گذر زمان دستخوش تحول شده‌اند؛ برای مثال، حذف «تبیین غایی» از فیزیک در قرن هفدهم یا پذیرش آزمایش دوسوکور[2]در پزشکی از اوایل قرن بیستم. این تحولات نشان می‌دهند که ماهیت علم در رشته‌های مختلف پویاست، اما رویکرد توافقی فاقد ظرفیت لازم برای بازتاب این تغییرات است. از این‌رو، ارزیابی رویکردهای جایگزین برای آموزش ماهیت علم، به‌ویژه در کلاس فیزیک، ضروری به‌نظر می‌رسد؛ موضوعی که در بخش بعد بررسی خواهد شد.

۳. رویکرد شباهت خانوادگی

ارزیک و نولا رویکرد شباهت خانوادگی[3]را برای آموزش ماهیت علم معرفی می‌کنند. ایدهٔ شباهت خانوادگی را ویتگنشتاین برای نخستین بار طرح کرد. مطابق این ایده، زمانی که مفهومی کلی مانند «علم» بر نمونه‌های مختلفی مانند رشته‌های گوناگون علمی اطلاق می‌گردد، این تصور را القا می‌کند که حتماً امر کلی و وجه مشترکی میان همه تمامی نمونه‌ها (و در اینجا رشته‌های مختلف علمی) وجود دارد که ما را قادر می‌کند تا این لفظ را برای همه نمونه‌ها به کار بگیریم. به همین دلیل تلاش می‌شود که ویژگی خاصی را برای این مفهوم کلی (علم) بیابیم که در میان تمام نمونه‌ها و مصادیقش مشترک است. در صورتی‌که ازنظر ویتگنشتاین، هر یک از این نمونه‌ها دارای ویژگی‌هایی هستند که وقتی این ویژگی‌ها را در کنار یکدیگر می‌گذاریم، در نقاطی شاهد همپوشانی و تقاطع خواهیم بود. برای مثال، وقتی مفهوم «بازی» های مختلف را برر سی می‌کنیم، نمی‌توانیم یک ویژگی خاص را بیابیم که بین همهٔ بازی‌ها مشترک با شد. درعوض، چیزی که با نگریستن به همهٔ نمونه‌های بازی حاصل می‌گردد، تعداد زیادی همانندی‌ها و پیوستگی‌ها بین نمونه‌های مختلف است.

در واقع، شباهت خانوادگی را می‌توان به صورت زیر بیان کرد: بین نمونه‌ها (مصادیق) مختلف هر مفهومی کلی، صرفاً شباهتی خانوادگی وجود دارد. لازم نیست همهٔ نمونه‌ها صرفاً اشتراک خاصی داشته باشند. بلکه، نمونه‌ها مانند اعضای خانواده دارای شباهت‌ها و تفاوت‌هایی هستند که به روش‌های پیچیده‌ای همپوشانی دارند یا در کنار هم قرار می‌گیرند. ویتگنشتاین این‌گونه شباهت‌ها و همپوشانی‌ها بین نمونه‌های مختلف یک مفهوم کلی را «شباهت خانوادگی» می‌نامد.

مطابق رویکرد شباهت خانوادگی در مورد ماهیت علم، پرسش از اینکه *بین رشته‌های مختلفی که علم نامیده می شوند، چه چیز مشترکی وجود دارد؟* اشتباه است و به جای آن باید پرسید که *علم به چه شبیه است و به چه شبیه نیست؟* چنانچه رشته‌های مختلف علمی را دوبه‌دو مورد بررسی قرار دهیم، متوجه خواهیم شد که در هر جفت رشتهٔ علمی، برخی مؤلفه‌های مشابه و نیز برخی مؤلفه‌های متفاوت وجود دارند. وجود تفاوت‌ها امکان تعریف علم، براساس تعدادی مؤلفهٔ ثابت و مشخص را منتفی می سازد؛ اما رویکرد پیشنهادی ارزیک و نولا قادر است با درنظرگرفتن تعدادی از شباهت‌ها و همپوشانی‌هایی که میان جفت‌رشته‌های مختلف وجود دارد، آن‌ها را در زیر چتری به نام علم گرد هم‌آورد.

این رویکرد می‌تواند هم تفاوت‌های میان رشته‌های علمی و هم شباهت‌های آن‌ها را توضیح دهد. همین شباهت‌ها،

1. Dynamic
2. Double-Blind
3. Family Resemblance

بدون نیاز به مجموعه‌ای ثابت از مؤلفه‌ها، دلیل آن است که همه این رشته‌ها – از باستان شناسی تا جانورشناسی – علمی نامیده می‌شوند (Irzik & Nola, 2014:1012). آزمایش می‌تواند ویژگی مشترک بین شیمی و زیست‌شناسی باشد ولی در نجوم معمولاً آزمایشی انجام نمی‌گیرد. با این‌حال، در رویکرد شباهت خانوادگی، آزمایش همچنان می‌تواند یکی از مقوله‌های ماهیت علم باشد؛ زیرا در این رویکرد لازم نیست یک ویژگی خاص علم، در همهٔ رشته‌های علمی تعمیم یابد. در عوض، این رویکرد مجموعه‌ای از ویژگی‌ها را ارائه می‌کند که منعکس‌کنندهٔ ویژگی‌های حوزهٔ خاص و حوزهٔ عمومی علم است؛ و بین همهٔ این ویژگی‌ها، شباهتی خانوادگی دیده می‌شود که باعث می‌شود همهٔ رشته‌ها را در ذیل یک مقولهٔ کلی به نام علم قرار دهیم.

رویکرد شباهت خانوادگی بر آن است تا با وجود تفاوت‌های میان رشته‌های مختلف، همهٔ آن‌ها را ذیل مفهوم واحد «علم» قرار دهد (شیخ رضایی و ابراهیمی تیرتاش، ۱۳۹۶). با این‌حال، این رویکرد به غیر از در نظر گرفتن مبنایی لازم برای حل مشکل تفاوت‌های بین رشته‌های علمی، مبانی دیگری را هم مد نظر دارد که ارزیک و نولا در مقالهٔ متأخرشان بر آن تأکید داشتند.

مبنای دیگر این رویکرد، تمایز دو جنبه از علم است: «علم به‌عنوان یک سیستم شناختی–معرفتی»[1] و «علم به‌عنوان یک نهاد اجتماعی».[2] تمایز این دو جنبه با اینکه قابل درک هستند ولی درعمل تفکیک‌ناپذیر است. هنگام آموزش ماهیت علم، باید هم به تمایز نقش‌های هر جنبه و هم به پیوند ضروری میان آن‌ها توجه شود.

الف) در رویکرد علم به‌عنوان نظام شناختی – معرفتی، می‌توان چهار مؤلفه اصلی را شناسایی کرد: روش‌ها، اهداف، قواعد و دانش. روش‌های علمی شامل فعالیت‌هایی نظیر مشاهده، آزمایش، فرضیه‌سازی، نظریه‌پردازی و آزمون تجربی هستند. اهداف علم مانند تبیین، پیش‌بینی و کشف واقعیت، نه‌تنها جهت‌گیری تحقیقات علمی را تعیین می‌کنند، بلکه به‌عنوان معیارهایی برای ارزیابی نظریه‌ها نیز به‌کار می‌روند. دانشمندان معمولاً نظریه‌هایی را ترجیح می‌دهند که از ویژگی‌هایی چون سادگی، انسجام و قدرت تبیینی بالاتر برخوردار باشند.

قواعد و هنجارهای علمی نیز بخش مهمی از این نظام را تشکیل می‌دهند؛ از جمله الزام به آزمون‌پذیری فرضیه‌ها، پرهیز از استناد به گزاره‌های متافیزیکی، اجتناب از تناقض و پایبندی به انسجام منطقی. این قواعد بر ارزش‌هایی همچون سادگی، دقت کمّی و قابلیت آزمون تجربی تکیه دارند. خروجی نهایی این فرایند، همان دانش علمی است که شامل نظریه‌ها، قوانین، داده‌ها و گزارش‌های تجربی می شود. با این‌حال، تقلیل علم به صرفاً محصول نهایی آن، رویکردی ناقص است؛ زیرا علم، فرآیندی پویا و نظام‌مند است که در تعامل این مؤلفه‌ها شکل می‌گیرد.

تعامل هدفمند میان روش‌ها و قواعد، پژوهش‌های علمی را به سوی تولید دانشی هدایت می‌کند که هرچند قطعی نیست؛ اما از اعتبار بالایی برخوردار است. سازوکارهایی مانند آزمون‌پذیری، تکرارپذیری، داوری همتایان، و اجتناب از خطاهای منطقی، نقشی معادل سیستم‌های کنترل کیفیت در تولید دانش دارند. افزون‌براین، ساختارهای نهادی و همکاری اجتماعی در

1. Cognitive-Epistemic System
2. Social Institution

میان جامعه علمی، نقشی اساسی در تضمین اعتبار و انسجام معرفتی علم ایفا می‌کنند؛ به‌گونه‌ای که بدون این تعامل اجتماعی، اعتبار گسترده دانش علمی قابل تحقق نبود.

ب) علم به‌عنوان یک نهاد اجتماعی بر تعاملات میان دانشمندان، هنجارهای اخلاقی و فرآیندهای اجتماعی تولید دانش استوار است. در این دیدگاه، به‌جای آنکه فردِ دانشمند واحد تحلیل باشد، جامعهٔ علمی تحلیل می شود. اعضای این جامعه فعالیت‌هایی نظیر ارائهٔ مقالات، بازبینی همتایان و انتشاریافته‌های پژوهشی را انجام می‌دهند. این فعالیت‌ها با هنجارهای اخلاقی مانند صداقت، شفافیت و پذیرش انتقاد هدایت می شوند که به‌نوعی امکان نزدیک شدن به حقیقت را افزایش دهند. علاوه بر هنجارهای اخلاقی، علم به ارزش‌های اجتماعی نیز وابسته است. این ارزش‌ها شامل بهبود کیفیت زندگی و پیشرفت است. هرچند که همهٔ پژوهش‌ها الزامی برای کاربرد عملی ندارند؛ ولی در درازمدت این پژوهش‌های غیرکاربردی هم تأثیرات کاربردی و اجتماعی مهمی دارند. در این راستا، فرآیند ارزیابی دانش علمی از طریق داوری همتایان و پس از آن، پذیرش نهایی توسط جامعهٔ علمی نقشی کلیدی ایفا می‌کند. همچنین، علم به ساختارهای سازمانی و اقتصادی وابسته است. دانشمندان در دانشگاه‌ها، آزمایشگاه‌ها و مؤسسات پژوهشی فعالیت می‌کنند که هرکدام ساختارهای قدرت و تأمین مالی خاص خود را دارند. این ساختارها بر جهت‌گیری پژوهش و تولید دانش تأثیر می‌گذارند، به‌ویژه از طریق تأمین منابع مالی که برای پژوهش‌های مدرن ضروری هستند (Irzik & Nola, 2023).

ارتباط بین علم به‌عنوان یک سیستم شناختی – معرفتی و علم به‌عنوان یک نهاد اجتماعی در تعامل و وابستگی متقابل این دو نهفته است. سیستم شناختی – معرفتی بر فرآیندهای تولید دانش، مانند مشاهده، آزمایش و ارزیابی نظریه‌ها تمرکز دارد، درحالی‌که نهاد اجتماعی علم به چارچوب‌ها، هنجارها و ارزش‌های اجتماعی و اخلاقی‌ای می‌پردازد که توسعه و تداوم فرآیندهای شناختی را هم ممکن می‌سازند و هم هدایت می‌کنند.

ازیک‌سو، سیستم اجتماعی علم محیطی را فراهم می‌کند که در آن فرآیندهای شناختی – معرفتی می‌توانند با دقت و کارآمدی اجرا شوند. به‌عنوان مثال، هنجارهای اخلاقی مانند صداقت علمی، فرآیند تولید دانش را از تقلب و خطا محافظت می‌کنند. همچنین، ساختارهای اجتماعی مانند داوری همتایان و جامعهٔ علمی، نقش مهمی در تضمین کیفیت و قابلیت اعتماد دانش علمی دارند. از سوی دیگر، نتایج فرآیندهای شناختی – معرفتی تأثیر مستقیمی بر سیستم اجتماعی علم و نگرش‌های جامعه نسبت به علم دارند. دانش تولید شده از طریق فرآیندهای علمی نه‌تنها بر توسعهٔ فناوری و پیشرفت جامعه تأثیر می‌گذارد، بلکه می‌تواند ساختارهای قدرت، منابع مالی و سیاست‌های علمی را نیز تحت تأثیر قرار دهد. به این ترتیب، علم به‌عنوان نهاد اجتماعی و سیستم شناختی ـ معرفتی در تعامل و وابستگی مداوم هستند و یکدیگر را تقویت می‌کنند.

اکنون پرسش اصلی آن است که رویکرد شباهت خانوادگی چه راهکاری برای آموزش ماهیت علم، به‌ویژه در فیزیک، ارائه می‌دهد؟ پیشنهاد ارزیک و نولا (۲۰۱۴) در این زمینه تمرکز بر نقش فعال معلم در کلاس درس است. آن‌ها توصیه می‌کنند که معلم دانش‌آموزان را با مقولات کلیدی علم و روابط میان آن‌ها آشنا کند و از طریق طرح پرسش‌های مفهومی، تفکر علمی را در آن‌ها پرورش دهد.

نمونه‌هایی از این پرسش‌ها عبارت‌انداز: آیا مشاهده امری صرفاً انفعالی[1] است؟ تفاوت میان مشاهده و آزمایش چیست؟ آیا تفسیرهای مختلفی از نتایج علمی وجود دارد؟ و چگونه نظریه‌ها شواهد را تبیین می‌کنند؟ پاسخ به چنین پرسش‌هایی می‌تواند به دانش‌آموزان نشان دهد که تولید شواهد علمی صرفاً با مشاهده منفعلانه حاصل نمی‌شود، بلکه نیازمند طراحی دقیق، کنترل متغیرها و اعمال داوری نقادانه است. برای مثال، آزمایش‌های الکتریسیته در محیط مرطوب موفقیت‌آمیز نیستند، مگر آنکه شرایط محیطی به‌درستی تنظیم شوند.

درنهایت، معلم باید ضمن پرداختن به این مباحث، مفاهیم کلیدی مانند نظریه، قانون، مدل، آزمون و آزمایش را نیز به‌صورت روشن و کاربردی آموزش دهد تا دانش‌آموزان درک دقیق‌تری از ماهیت علم و سازوکارهای آن کسب کنند (Irzik & Nola, 2014: 1016).

۴. ارزیابی رویکرد شباهت خانوادگی

رویکرد شباهت خانوادگی از جنبه‌های مختلف قابل بررسی است، اما به‌نظر می‌رسد پیشنهاد ارزیک و نولا برای آموزش ماهیت علم، عمدتاً بر نقش معلم و نحوه تدریس در کلاس متمرکز است. این پیشنهادها، در عمل تفاوت چندانی با توصیه‌های رویکرد توافقی ندارند؛ چرا که آن‌ها نیز در نهایت به معرفی مؤلفه‌های منتخب خود بازمی‌گردند.

درواقع، راهکارهای ارائه‌شده از سوی ایشان بیشتر به شیوه تبیین مؤلفه‌های ماهیت علم مربوط می‌شود تا ارائه رویکردی بنیادین متفاوت با هدف اصلی شان، یعنی دربرگرفتن تمامی رشته‌های علمی تحت یک تعریف واحد از علم. به‌نظر می‌رسد که تحقق این هدف در زمینه آموزش ماهیت علم در رشته‌ای خاص مانند فیزیک، از منظر اجرایی امکان‌پذیر نیست.

بااین‌حال، ما معتقدیم که نمی‌توان منکر برخی اصالت‌های رویکرد شباهت خانوادگی بود. از نظر ما، امر بسیار ارزشمندی که در پژوهش‌های ارزیک و نولا ارائه می‌گردد، توجه به تفکیک مفهومی دو جنبهٔ شناختی و اجتماعی علم است. شاید این تفکیک مفهومی در فلسفهٔ علم تازه نباشد؛ اما وارد کردن این تمایز در مباحث آموزش ماهیت علم، یکی از نوآوری‌های رویکرد شباهت خانوادگی است. با توجه به این تمایز، ما چارچوب نظری مناسب و جامعی برای انتخاب محتواهای متناسب با ماهیت علم را در اختیار داریم.

چارچوب نظری مخصوصاً از این نظر مهم است که می‌تواند نسبت به رویکردها و جریان‌های فکری کلان در فلسفه و تاریخ علم همانند مناقشهٔ رئالیسم و آنتی رئالیسم (Hodson and Wong, 2014: 2645) یا نسبی‌انگاری یا عینی‌انگاری در علم شناور بماند و دست مؤلفان کتب درسی (و معلمان) نسبت به جهت‌گیری به نفع یکی از این جریان‌ها را باز می‌گذارد تا متناسب با اسناد بالادستی سیاست‌گذاران و منتخبان مردمی محتوای مناسب برای ماهیت علم را آموزش دهند.

با وجود این نوآوری و مزیت‌ها، رویکرد شباهت خانوادگی بیش از حد پیچیده، فلسفی و نظری است و در عملی کردن آموزش برای معلمان و دانش‌آموزان پیچیدگی زیادی دارد. در همین راستا عدم غفلت از این نکته هم ضروری است که وجود مناقشات فلسفی مرتبط با ماهیت علم، یکی از بزرگ‌ترین موانع پیش‌روی تدریس ماهیت علم در مدارس است. عده‌ای بر وجود اختلافات و مناقشات بین فیلسوفان علم بر موضوعات فلسفی مرتبط با علم دست می‌گذارند و مدعی‌اند

1. Passive

باید به این مناقشات توجه جدی شود (Kötter and Hammann,2017:451).

شاید رویکرد شباهت خانوادگی واکنشی در برابر این مشکل به حساب آید که تلاش کرده مناقشات فلسفی را مورد توجه قرار دهد و دید گسترده‌تری نسبت به جنبه‌های مختلف علم فراهم سازد. ولی توجه به مناقشات فلسفی در رویکرد شباهت خانوادگی هزینه‌هایی به دنبال داشته که مهم‌ترینش پیچیده شدن بیش‌ازحد آموزش ماهیت علم است. توجه به بخش چهارم از آخرین مقالهٔ ارزیک و نولا در مورد رویکرد شباهت خانوادگی، نقد مد نظر ما را تأیید می‌کند. آن‌ها در این مقاله یکی دیگر از مقولات جنبهٔ اجتماعی علم را توضیح دادند که مربوط به نظریهٔ مرتون در رابطه با سیستم پاداش در علم است (Irzik & Nola, 2023: sec4).

مرتون توضیح می‌دهد که چگونه سیستم پاداش دانشمندان را تحریک می‌کند تا پروژه‌های تحقیقاتی را دنبال کنند و دانش قابل اعتمادی بیآفرینند. اضافه کردن مقولات مختلف جنبه‌های مختلف علم این مطلب را تأیید می‌کند که رویکرد شباهت خانوادگی سعی دارد تمامی جزئیات مربوط به فلسفهٔ علم را در ماهیت علم بگنجاند؛ اما سؤال این است که آیا می‌توان تمامی مقولات و جزئیات مدنظر رویکرد شباهت خانوادگی را در برنامهٔ درسی دبیرستان گنجاند؟ آیا واقعاً برنامهٔ درسی دبیرستان ظرفیت در برگرفتن تمامی این پیچیدگی‌های فلسفی را دارد؟ درنظرگرفتن تمامی جزئیات، اگرچه بسیار خوب است؛ اما از این نظر مشکل‌آفرین است که روند آموزش را پیچیده می‌کند: معلمان باید در حد متخصصان فلسفهٔ علم اطلاعات داشته باشند، محتوای کتب آموزشی باید بسیار مفصل و حجیم شود، دوره‌های آموزشی طولانی شوند و درک محتوا برای دانش‌آموز دشوار خواهد شد.

در اینجا ما بر سر یک دو راهی هستیم: در یک طرف، رویکرد شباهت خانوادگی جامع است و به جنبه‌ها و پیچیدگی‌های مختلف علم توجه دارد، ولی در عمل و هنگام اجرایی کردن آموزش با پیچیدگی‌های فراوانی روبه‌رو می‌شود. از طرفی دیگر، رویکرد توافقی تا حدودی نسبت به این مناقشات و پیچیدگی‌ها (مثلاً در رابطه با مسئله تحدید) بی‌تفاوت است ولی این بی‌تفاوتی منجر به این شده که در عمل و هنگام اجرایی کردن آموزش ماهیت علم این پیچیدگی‌ها را نتوانیم در نظر بگیریم.

مک‌کوماس در دفاع از رویکرد توافقی معتقد است که هدف اولیه در آموزش ماهیت علم، آشنایی دانش‌آموز با موضوعاتی است که جنبهٔ عمومی دارند (McComas, 2020)؛ به این معنی که لازم نیست تمامی جزئیات و مناقشات مربوط به فلسفه در ماهیت علم گنجانده شود.

مک‌کوماس و کُپُنن بر این باورند که راه حل پیشنهادی رویکرد شباهت خانوادگی، در *عمل* و هنگام اجرایی کردن آموزش ماهیت علم دوباره به رویکرد توافقی فروکاسته می‌شود (McComas, 2020: 31; Koponen, 2021: 4)؛ پیش از این کوشیدیم با اشاره به پیچیده شدن آموزش ماهیت علم مطابق رویکرد شباهت خانوادگی، تبیین مناسبی برای این ادعای مک‌کوماس و کُپُنن فراهم سازیم.

ما موافق این ادعا هستیم که در عمل و هنگام اجرایی کردن آموزش ماهیت علم، مجبوریم از رویکرد توافقی (البته با اعمال اصلاحات لازم) استفاده می‌کنیم؛ اما نمی‌توان منکر برخی وجوه روشنگر این رویکرد شباهت خانوادگی بود. این نظر

مخالفان، ازجمله مک‌کوماس را که رویکرد شباهت خانوادگی ارزیک و نولا هیچ نوآوری مهمی برای آموزش ماهیت علم به ارمغان نیاورده است (McComas, 2020 as cited in Cheung & Erduran, 2023: 1640)، می‌توان با تکیه بر چشم‌اندازهایی که این رویکرد ترسیم کرده، به‌راحتی نفی کرد. از نظر ما، این رویکرد چشم‌اندازهای روشنی با خود به همراه آورده که به برخی از آن‌ها (در همین نوشتار حاضر) اشاره شده و نمی‌توان به‌راحتی منکر اهمیت این‌ها بود.

سخن اصلی این است که *عملی* نبودن آموزش ماهیت علم مطابق رویکرد شباهت خانوادگی، منکر جامعیت چارچوب مفهومی این رویکرد از لحاظ *نظری* نیست؛ یعنی از لحاظ نظری برتری رویکرد شباهت خانوادگی، به‌وا سطهٔ بصیرت‌ها و مزیت‌هایی که دارد، انکارناپذیر است. در ارائهٔ ماهیت علم باید به بصیرت‌ها و مزیت‌های رویکرد شباهت خانوادگی توجه کرد.

با توجه به اینکه وجود *تفاوت در مؤلفه‌های رشته‌های متفاوت علمی انکارناپذیر* است و اینکه رویکرد شباهت خانوادگی در عمل (و هنگام تدریس) به *رویکرد توافقی* منتهی می‌شود، می‌توان نتیجهٔ پژوهش ارزیک و نولا را چنین بیان کرد: باید مؤلفه‌های هر رشتهٔ علمی را جداگانه بررسی کنیم و سپس روش‌هایی را برای ارائهٔ ثمربخش‌تر این مؤلفه‌ها، در کلاس همان رشتهٔ علمی، پیشنهاد کنیم. تأکید بر تفاوت بین مؤلفه‌های رشته‌های مختلف از همدیگر و توضیح آن با تکیه بر ایدهٔ شباهت خانوادگی ویتگنشتاین، یکی از دستاوردهای پژوهش ارزیک و نولا است.

در ارتباط با این دستاورد، باید ضمن آموزش مؤلفه‌های مختص هر رشتهٔ علمی، خاطرنشان کنیم که این مؤلفه‌ها، تنها در این رشتهٔ خاص، کارآمدی و اعتبار دارند و چنین نیست که لزوماً در دیگر رشته‌ها، مورد استفاده قرار گیرند یا معتبر باشند. مثلاً کسی نمی‌تواند برخی نظریات زیست‌شناسی را به این بهانه که امکان ارائهٔ پیش‌بینی در آن وجود ندارد، از فهرست رشته‌های علمی خارج کند؛ یا کسی نمی‌تواند وجود تبیین‌های غایی در زیست‌شناسی و بی‌اهمیتی این نوع تبیین در فیزیک مدرن را دستاویزی برای علمی نبودن رشته زیست شناسی قرار دهد: «تبیین‌های غایی نقشی ضروری در بیان کارکردها، طرح‌ها و اهداف موجودات زنده دارند درحالی‌که در تبیین پدیده‌های مربوط به موجودات غیرزنده [مثلاً علوم فیزیکی]، تبیین‌های غایی نه ضروری‌اند و نه مناسب.» (صمدی، ۱۳۸۳: ۳۰)

با گوشزد کردن این مطلب، مانع طرح و اشاعهٔ رویکردهای افراطی می شویم که علم را تنها در یک رشته یا چند مؤلفهٔ خاص خلاصه می‌کنند. درواقع، توجه به این مطلب منجر به درک محدودیت رشته‌های علمی می‌شود و شاگردان را به استفاده از تفکر کل‌نگرانه ترغیب می‌کند.

با در نظر گرفتن رویکرد شباهت خانوادگی، درک این نکتهٔ مهم ممکن می‌گردد که چرا و چگونه می‌توانیم دو رشته را که مؤلفه‌های متفاوتی دارند در ذیل مفهومی کلی به نام علم قرار دهیم. توضیح این است که بین مؤلفه‌های متفاوت این دو رشته، *شباهت‌هایی خانوادگی* وجود دارد و وجود همین شباهت‌ها، این اجازه را به ما می‌دهد که دو رشتهٔ متفاوت را زیر چتر علم قرار دهیم.

همچنین با توجه به رویکرد شباهت خانوادگی، باید نکات و بصیرت‌های زیر را نیز در نظر داشته باشیم. به دانش‌آموزان بفهمانیم که هنوز ملاک و معیار مشخصی برای تفکیک علم از غیرعلم شناسایی نشده است. به‌علاوه، علم و ویژگی‌های

علم، پیوسته در معرض تغییر و تحول قرار دارند. مثلاً، هر ایدهٔ متافیزیکی یا سنتی‌ای ممکن است در دوره‌ای غیرعلمی باشد و در دوره‌ای دیگر علمی به‌حساب آید – بستگی به این دارد که ایده از مؤلفه‌های ماهیت علم در آن رشتهٔ خاص برخوردار است یا خیر.

مثلاً، نظریهٔ تشکیل مواد از ذرات ریزتری به نام اتم (اتم‌گرایی یا ذره‌گرایی)، در دورهٔ تاریخی خاصی در عصر یونان باستان و دوران رواج مکتب اتمیستی نزد هراکلیتوس و پارمنیدس، بیشتر باوری *فلسفی یا متافیزیکی* به حساب می‌آمد تا علمی؛ ولی امروزه، یکی از ساده‌ترین بدیهیات *علمی در حوزه‌های* فیزیک و شیمی است.

مثال دیگر، تغییر در معیارهای علم است: تا پیش از نیوتون، تصور می‌شد که هر تبیین از هر نظریه، باید با اصول بدیهی سازگار باشند. بدیهی بود که تأثیر دو جسم بر یکدیگر صرفاً از طریق *تماس فیزیکی* ممکن می‌گردد؛ اما تبیین نیوتون از نیروی گرانش که در آن اثر نیروی گرانش از راه *دور* بدون هرگونه تماس فیزیکی بین دو جسم اعمال می‌شد (ایدهٔ کنش از راه دور)، به‌هیچ‌وجه بدیهی نبود. نیوتون خود در نامه‌ای به یکی از معاصرانش چنین گفت: «اینکه جسم بتواند از راه دور و از میان خلأ، بدون واسطهٔ چیزی دیگر، بر جسمی دیگر تأثیر بگذارد، برای من چنان *پوچ* به نظر می‌رسد که باور دارم هرکس که دارای توانایی فکری کافی در مسائل فلسفی باشد، هرگز نمی‌تواند آن را بپذیرد» (Newton, 1693: 302-303). با این‌حال، چون نظریهٔ نیوتون موفقیت‌های چشمگیری در ستاره شناسی و فیزیک زمینی به همراه داشت، اعضای جامعهٔ علمی آن دوره، مجبور شدند معیار خود در مورد بدیهی بودن تبیین‌های علمی را تغییر دهند و تبیین به‌واسطهٔ نیروهای غیرتماسی و ایدهٔ کنش از راه دور را قبول کنند. (Chalmers, 2013).

۵. انتخاب بهتر مؤلفه‌های ماهیت علم در آموزش فیزیک

ما تاکنون رویکرد مناسب ارائه و آموزش ماهیت علم را مورد بحث قرار دادیم. ضمن بررسی و ارزیابی رویکردهای توافقی و شباهت خانوادگی، روشن ساختیم که درعمل همچنان بهتر است از رویکرد توافقی استفاده کنیم. حال لازم است به منظور تقویت آموزش ماهیت علم مطابق رویکرد مؤلفه‌ای به موضوع انتخاب (گزینش) *مؤلفه‌های مناسب* بپردازیم. باید تأکید شود که با توجه به آنچه در بخش قبل گفتیم، اکنون تنها روی یک رشتهٔ خاص (فیزیک) متمرکز می‌شویم و مؤلفه‌های مناسب را در نسبت با همین رشتهٔ فیزیک، انتخاب می‌کنیم. معمولاً بر *انتخاب (گزینش) مؤلفه‌های* ماهیت علم دو نقد وارد می‌شوند:

۵-۱. عدم انسجام مؤلفه‌ها

یکی از نقدهایی که بر انتخاب مؤلفه‌ها وارد می‌شود، عدم انسجام بین مؤلفه‌هاست. در فهرست مؤلفه‌های فهرست تعداد زیادی از پژوهشگران، مؤلفهٔ نظریه‌باری مشاهده، دیده می‌شود که مطابق مفاد آن، مشاهده متأثر از عوامل درونی[1] و پس‌زمینه‌های فکری و اجتماعی مشاهده‌گر است (Chalmers, 2013: sec3). با فرض پذیرش نظریه‌بار بودن مشاهدات، عینیت[2] و اعتبار علوم تجربی (که یکی از مبناهایش مشاهده است) زیر سؤال می‌رود. برای مثال، لدرمن همچنان معرفت

۱. منظور از عوامل درونی، عواملی هستند که از ویژگی‌های شیء فیزیکی مورد مشاهده (آزمایش) فراتر می‌روند و شامل ذهنیت، انتظارات، پس‌زمینه‌ها، چارچوب‌های فکری، نظری و تاریخی می‌شوند که بر درک مشاهده‌گر از مشاهده تأثیر می‌گذارند.

۲. اصطلاح Objectivity، را به عینیت، آفاقیت و برون‌آختگی ترجمه کردند. ما در این نوشتار از آفاقیت و عینیت استفاده کرده‌ایم.

علمی را معتبر می‌داند؛ اما معتبر دانستن معرفت علمی، با وجود مؤلفه‌های نظریه‌باری مشاهدات و همچنین تأثیرات اجتماعی که در فهرست وی دیده می‌شوند، نامنجسم و مبهم می‌نمایاند. این عدم انسجام، مختص فهرست لدرمن نیست و در فهرست دیگر پژوهشگران نیز دیده می‌شود (Matthews, 2012; Osborne et al, 2003).

از آنجا که نه نظریه‌باری مشاهدات را می‌توانیم انکار کنیم و نه اعتبار و عینیت نسبتاً بالای علم را، پیشنهاد این است که مؤلفه‌های دیگری را به مؤلفه‌های ماهیت علم اضافه کنیم تا به‌نوعی این عدم انسجام را رفع کند. به باور ما، در فهرست لدرمن و تعدادی دیگر از پژوهشگران برخی از مؤلفه‌های مهم نادیده گرفته شده‌اند که در آموزش فیزیک بهتر است به آن‌ها توجه شود. در ادامه این مطلب را توضیح می‌دهیم.

۵-۲. نادیده گرفتن برخی از مؤلفه‌های مهم

در فهرست پژوهشگرانی که در بخش دوم این نوشتار نام برده شد، برخی از مؤلفه‌های مهم ماهیت علم، نادیده گرفته شده‌اند. در واقع، نادیده گرفتن مؤلفه‌ای نظیر مشاهدات آفاقی شده[1] مجال طرح ایراد عدم انسجام مؤلفه‌ها را فراهم کرده است. در ادامه به توضیح برخی از مؤلفه‌های مهم علم فیزیک پرداخته می‌شود. چیزی که در اینجا بسیار مهم است، توجه به ارتباط مؤلفه‌های پیشنهادی با علم و محتوای کتاب درسی فیزیک دورهٔ دبیرستان است. از آنجا که مؤلفه‌های ماهیت علم بیشتر در مباحث فلسفهٔ علم مورد طرح می‌شوند، ممکن است وارد کردن مؤلفه‌ها به آموزش فیزیک (یا علوم) این مشکل را به همراه آورد که در آن تنها روی جنبه‌های فلسفی و انتزاعی تمرکز شود و ارتباطشان با مسائل واقعی علم (و مهمتر از آن کتب درسی فیزیک) نادیده گرفته شود (Fjelland, 2022). در طرح و معرفی مؤلفه‌های ماهیت علم، ارتباط با علم، بیش از هر چیز دیگری، واجد اهمیت است؛ یعنی باید در انتخاب و معرفی مؤلفه‌ها به‌گونه‌ای اقدام شود که ارتباطشان به علم کاملاً ملموس و درک‌شدنی باشد و مؤلفه‌ها در فضایی انتزاعی و صرفاً فلسفی طرح نشوند. در معرفی مؤلفه‌های زیر، سعی کردیم این نکته را در نظر بگیریم.

۵-۲-۱. آفاقی‌سازی مشاهده

در رابطه با ناسازگاری نظریه‌باری مشاهدات و اعتبار علم، ارزیک و نولا به وجود نقد و انتقاد اشاره کرده‌اند و گفته‌اند که با وجود داوری و باز بودن درهای انتقاد، می‌توانیم عینیت یا آفاقیت علم را از خطر نظریه‌باری مشاهده رها سازیم (Irzik & Nola, 2014). آن‌ها همچنین با وابسته‌سازی جنبه‌های شناختی و اجتماعی علم به همدیگر، به‌نوعی معتبر بودن نظریات علمی را توضیح داده‌اند. اگر علم شناخت معتبری فراهم نسازد، جایگاه خویش را از دست می‌دهد. پس جنبهٔ اجتماعی علم، باید سازوکاری فراهم سازد که معتبر بودن جنبهٔ شناختی علم را تضمین کند. در تکمیل ایدهٔ ارزیک و نولا، نگارندگان بر روی مفهوم مشاهدهٔ آفاقی شده تأکید می‌کنند. باید تفاوت بین مشاهدهٔ صرف با مشاهدهٔ آفاقی شده را درک کرد. در مشاهدهٔ آفاقی شده که در واقع مشاهدهٔ جاافتاده در علم پس از قرن هفدهم است، دانشمند در خلال طراحی آزمایش و مشاهده، باید سازوکاری را مهیا سازد که در نتیجهٔ آن سازوکار، بستر برای این مهیا شود که *جهان* خود

---

۱ عبارت Objectified Observation را مصطفی تقوی در ترجمه کتاب علم و تولید آن به «مشاهدهٔ آفاقی شده» ترجمه کرده است و بعدها در مقالات فلسفی مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است. اکنون این معادل (مشاهدهٔ آفاقی شده) در ادبیات فلسفی جا افتاده است. به همین دلیل ترجیح دادیم از همین اصطلاح استفاده کنیم.

پاسخگوی نتیجهٔ آزمایش و مشاهده باشد.

استفاده از رویه‌های استاندارد شده‌ای مانند قرائت شاخص‌ها، روشن و خاموش‌شدن شمارنده‌ها شرایط را به‌گونه‌ای مهیا می‌سازند که جهان خود نتیجهٔ آزمایش یا مشاهده را از طریق داده‌های (تا حد ممکن) کمّی و قابل اندازه‌گیری و نه کیفی، به نمایش بگذارد. از آنجا که پاسخ جهان در شرایط یکسان تغییر نمی‌کند، هر کسی در هر زمانی می‌تواند با طراحی همان سازوکار، آن پاسخی را از جهان بگیرد که قبلاً افراد دیگر گرفته بودند (Chalmers, 1990: 68).

مثلاً، می‌توان به استفاده از شاخص‌های قابل اندازه‌گیری برای از بین بردن «خطای دید بزرگ دیدن ماه»[1] اشاره کرد. در خطای دید بزرگ دیده شدن ماه، قطر ماه در نزدیکی افق بزرگ‌تر از آنچه در واقع هست، به نظر می‌رسد. این پدیده یک خطای ادراکی است زیرا قطر ماه در تمام نقاط آسمان ثابت است. به عبارت دیگر، در اینجا اندازه واقعی ماه در آسمان تغییر نمی‌کند، اما نحوه درک ما از اندازه آن تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد؛ اما با مشاهده از طریق شاخص‌ها (آفاقی شده)، روشن می‌شود که فاصلهٔ شاخص‌ها در هنگام اندازه‌گیری قطر ماه (ماه چه در نزدیکی افق باشد و چه در ارتفاع) ثابت می‌ماند؛ یعنی به‌کارگیری شاخص، به ما کمک می‌کند تا تأثیر عوامل درونی توهم‌برانگیزِ ادراکی به حداقل برسد. بدین ترتیب، مشاهدهٔ آفاقی شده، مجال این را به افراد شکاک نمی‌دهد که با اتکا به نظریه‌باری مشاهده و تأثیرگذاری عوامل درونی، اعتبار نظریات علمی را به‌صورت کامل زیر سؤال ببرند. البته واضح است که طراحی رویه‌های آفاقی‌سازی مشاهده، وابسته به نظریه است. این وابستگی، می‌تواند به خطاپذیری[2] (Sankey, 2023: 7) یا موقتی بودن علم (همان مؤلفهٔ دوم فهرست لدرمن در بخش‌های قبلی) مرتبط باشد که کسی نمی‌تواند انکارش کند.

خطاپذیری در فلسفهٔ علم بدین معناست که هیچ یک از نظریه‌های کنونی ما به‌طور مطلق و قطعی درست نیستند و همواره این امکان وجود دارد که در آینده با شواهد جدید یا استدلال‌های بهتر، خطا یا نقص در نظریات کنونی کشف شود؛ به‌عبارت دیگر، خطاپذیری بیان می‌کند که دانش انسان همیشه موقتی و قابل بازنگری است و هیچ‌گاه نمی‌توان ادعا کرد که به حقیقت نهایی دست یافته‌ایم، ولی خطاپذیری مشاهده نمی‌تواند لطمهٔ جدی و بزرگی به اعتبار علم بزند؛ زیرا حفظ عینیت و آفاقیت علم، نیازمند این است که «رویه‌های مشترک و استانداردی وجود داشته باشد تا رویه‌ها امکان این را فراهم سازند که دانشمندان به نتایج واحدی برسند» (Sankey, 2023: 7) که از طریق مشاهدهٔ آفاقی شده این مهم به‌دست می‌آید.

ما در بسیاری از شاخه‌های فیزیک محکوم به آزمایش و مشاهده هستیم و اگر آزمایش و مشاهده به‌گونه‌ای طراحی شود که جهان پاسخگو باشد – مشاهدهٔ آفاقی شده – تا حد زیادی وابستگی مشاهده به نظریه و عوامل درونی مرتفع می‌گردد. اساساً اهمیت و ضرورت آزمایشگری در این است که ورای امور ذهنی انسان‌ها، چیزی در ذات واقعیت عینیِ مستقل از ذهن وجود دارد که ما به‌دنبال شناخت آن هستیم؛ چیزی که مستقل از ما و پیش‌فرض‌های ما ست و مشاهدهٔ آفاقی شده بهترین راهی است که می‌تواند ما را به این شناخت نزدیک گرداند. لذا *بهتر است، به جای تأکید بر صرف تجربه، بر مشاهدهٔ آفاقی شده تأکید شود تا به‌نوعی بتوان (کم و بیش) اعتبار علم را هم بدون تعارض حفظ کرد.*

1. Moon Illusion
2. Fallibilism

بدین‌ترتیب، چیزی که در واقع مبنای فیزیک مدرن است، نه مشاهدهٔ صرف، بلکه مشاهده آفاقی شده است و ارتباط آن با فیزیک امری است انکارناپذیر. بااین‌حال، در بخش بعدی نشان می‌دهیم که چگونه می‌توان این مؤلفه را به محتوای فیزیک دبیرستان ربط داد.

۵-۲-۲. دیالکتیک و گفت‌وگو در علم

صفحات آغازین کتاب درسی فیزیک دهم، تأکید درست و صریحی بر اصلاح نظریه‌های علمی (به‌عنوان نقطهٔ قوّت دانش فیزیک) دارد. با این‌حال وقتی روایت و شیوهٔ بیان نظریات علمی را در فصل‌های بعدی می‌خوانیم متوجه می‌شویم که به جز مورد توضیح مدل اتمی در کتاب درسی فیزیک پایهٔ دوازدهم، بر اصلاح (یا تغییر) نظریه‌ها در دیگر بخش‌های کتاب اشاره و تأکید مناسبی نشده است. در تبیین بسیاری از پدیده‌های طبیعی، نظریهٔ طرح‌شده در کتاب درسی، تنها نظریهٔ تاریخ علم نیست. قبل از طرح نظریه‌ای که کتاب درسی معرفی می‌کند، نظریات دیگری هم وجود داشته‌اند. درک ماهیت علم، مستلزم آگاهی از نحوهٔ تحولات نظریات علمی در بستر تاریخی است. نباید این تصویر القا شود که در تاریخ هیچ کسی به این پدیده‌ها توجه نکرده و یا طرفداران نظریات قدیمی در مواجهه با نظریات جدید، به تجربه توجهی نداشته‌اند یا صرفاً تعصب ورزیده‌اند.

برای مثال، استدلال طرفداران زمین‌مرکزی برای دفاع از سکون زمین، استدلال‌هایی قوی و بسیار شهودی بود. طرفداران نظریهٔ خورشیدمرکزی، ازجمله گالیله مدعیات غیرشهودی‌تر طرح می‌کردند. باید به استدلال‌ها و دفاعیاتی که طرفداران نظریاتی قدیم ارائه می‌دادند، توجه شود. گفت‌وگوی میان دانشمندانِ طرفدار نظریات قدیم و جدید، به‌ویژه در جریان تحولات علمی، نه‌تنها به تقویت تفکر انتقادی کمک می‌کند، بلکه فهم ما از زمینهٔ تاریخی دگرگونی نظریات و ماهیت علم را نیز عمیق‌تر می‌سازد.

۵-۲-۳. ایدئال‌سازی

ایدئال‌سازیْ ساده‌سازی پدیده‌های پیچیده است، به‌منظور درک بهتر آن (McMullin, 1985). بسیاری از قوانین و مدعیات علمی، با اتکا بر ایدئال سازی و انتزاع برخی از جنبه‌های پدیده‌های طبیعی حاصل شده‌اند. برای نمونه، می‌توان به قانون اول حرکت‌شناسی نیوتون یا حرکت آونگ گالیله اشاره کرد. واضح است که چنین حرکت‌هایی هیچ‌گاه دیده نمی‌شوند، ولی با اتکا به ایدئال‌سازی و انتزاع، ادعا می‌شود که اگر موانع حذف شوند، چنین حرکت‌هایی اتفاق خواهند افتاد (Matthews, 2012:11).

در منظومهٔ شمسی هم سیارات کاملاً کروی نیستند و توزیع جرم همگنی ندارند و علاوه بر خورشید با سایر سیارات برهم‌کنش دارند. ولی در ایدئال سازی برای درک بهتر می‌توان این پیچیدگی‌ها را نادیده گرفت و درعین‌حال، با دقت خوبی، سازوکار منظومهٔ شمسی را درک کرد. از دیدگاه تاریخی نیز ایدئال‌سازی سرآغاز علم مدرن است. با اینکه ریشه‌های ایدئال سازی به کارهای علمی ارشمیدس و یونانیان باستان برمی‌گردد، ولی گالیله به صورت مشخص از ایدئال سازی برای بیان قانون انرسی مستدیر (دایره‌ای) و صورت‌بندی کردن سقوط آزاد استفاده کرد که هم‌اکنون نیز در علم و پیشبرد علم نقش‌آفرینی جدی دارند. این مؤلفه در فصل اول و سوم کتاب فیزیک پایهٔ دهم و فصل دوم فیزیک پایهٔ دوازدهم، صریحاً،

مورد توجه قرار گرفته است ولی همچنان جای کار دارد.

۵-۲-۴. ریاضیات

ریاضیات در توسعهٔ فیزیک نقشی بنیادی دارد و به‌عنوان ابزاری برای ایدئال سازی و مدل سازی پدیده‌های طبیعی عمل می‌کند. برخلاف تصور سنتی که علم را صرفاً مبتنی بر مشاهده و آزمایش می‌داند، ریاضیات به علم مدرن امکان داده است تا به عمق قوانین طبیعت نفوذ کند و پدیده‌ها را به‌صورت کمّی تحلیل کند. همان‌طور که الکساندر کویره اشاره می‌کند (Koyré, 1978)، علم مدرن بیشتر از مشاهدهٔ صِرف، بر انتزاع ریاضی و اندازه‌گیری‌هایی متکی است که غالباً، حاصل مشاهدات آفاقی شده هستند.

امروزه، پیشبرد علم، به‌خصوص فیزیک، بدون به‌کارگیری ریاضیات تقریباً غیرممکن است. ریاضیات زبان علم به‌حساب می‌آید و بستر مناسبی برای تفکر بسیار پیچیده‌تر را فراهم می‌سازد. صورت‌بندی فیزیک نیوتونی و تعریف برخی از مفاهیم آن (مانند شتاب) بدون به‌کارگیری حساب دیفرانسیل و انتگرال ممکن نبود. مثال دیگر، وابستگی زایایی نظریهٔ نسبیت خاص به بیان جدید این نظریه در زبان جدیدی بود (دو سال پس از طرح این نظریه در بیان ساده و متداول) که آن را هندسهٔ مینکوفسکی[1] می‌نامیم. علیرضا منصوری تأکید می‌کند که زبان ریاضیاتی جدید مینکوفسکی نقش مهمی در پیشرفت فیزیک داشته و می‌نویسد: «نسبیت عام، مکانیک کوانتومی نسبیتی و نظریهٔ میدان‌ها تماماً مدیون زبان جدیدی هستند که مینکوفسکی ابداع کرد» (منصوری، ۱۳۹۴: ۳).

۵-۲-۵. ابزار و فناوری

فناوری‌ها شرایط مناسبی برای انجام آزمودن ایده‌ها را مهیا می‌سازند؛ با ساخته شدن فناوری‌های جدید می‌توان چیزهایی را مشاهده کرد که قبلاً مشاهده نمی شدند. مثلاً با اختراع تلسکوپ، پدیده‌هایی مشاهده شد که بدون استفاده از آن، قابل مشاهده نبود: قمرهای مشتری، ناهمواری‌های سطح ماه و اهلّهٔ زهره. بدین ترتیب، تلسکوپ، به‌عنوان یک فناوری، زمینه را برای تغییر نظریات نجومی و کیهان شناسی مهیا ساخت. مثال دیگر، نظریهٔ موجی نور بود که به‌رغم تأکید هوینگس در قرن هفدهم، مدت‌ها نادیده گرفته شد؛ زیرا ابزار و فنّاوری مناسب برای آزمودن و تأیید تجربی این نظریه تا حدود ۱۲۰ سال (آزمایش دو شکاف یانگ)، در دست نبود.

در کتاب درسی فیزیک، بخش‌هایی به کاربرد علم و فناوری اختصاص دارد که در آن مثال‌های فناورانه از کاربرد فرضیات علمی ارائه می‌گردد. ارائهٔ این مثال‌ها، چنین تصویری را القا می‌کند که تنها با در دست داشتن علم، می‌توان به فناوری رسید؛ یعنی انگار رابطهٔ بین علم و فناوری *رابطه خطیِ علّیِ یک‌طرفه‌ای* است *از علم به سمت فناوری*: علم علت تامه برای ساخت فنّاوری است. تعریف کتاب علوم پایهٔ هفتم و فیزیک پایهٔ دهم، به‌وضوح گویای این مطلب است که فنّاوری را کاربرد علم در عمل می‌نامد؛ اما چنین تعریف و تصویری از فنّاوری، بی‌اشکال نیست. مطالعهٔ تاریخ علم و فناوری، مثال‌های نقض زیادی را پیش می‌کشد. فناوری‌هایی مانند هواپیما و ماشین بخار، مثال‌های نقض مشهوری در این زمینه هستند که به محتوای کتاب درسی هم مربوط می شوند. در فصل دوم فیزیک پایهٔ دهم، این نگرش به صورت ضمنی

1. Minkowski

القا می‌شود که هواپیما با *اتکا بر دانش* به اصل برنولی و... طراحی شده است. ولی شواهد تاریخی نشان می‌دهد که ماجرای طراحی نخستین هواپیما، مقدم بر کشف اصل برنولی است و در اینجا فناوری هواپیما بر علم به سازوکار هواپیما تقدم دارد. دُن آیدی،[1] فیلسوف علم و فناوری معاصر می‌گوید علم بیشتر مدیون فناوری ماشین بخار است تا اینکه ماشین بخار مدیون علم باشد، زیرا که آنچه موجب کشف قوانین ترمودینامیک شد، مسائل مربوط به اتلاف انرژی در ماشین بخار (به‌عنوان فناوری) بود نه مشاهدات تجربی (چاپرک و حاج حسینی، ۱۳۹۵).

با ارائه تصویر یک‌جانبه و یک‌طرفه از رابطهٔ علم و فنّاوری در کتاب درسی، *نقش ابزار و تکنولوژی در پیشرفت علم* نادیده گرفته می شود و تنها بر *نقش علم در پیشرفت فناوری* تأکید می شود. همچنین، باید به این نکته نیز توجه کرد که در دست داشتن علم و دانش تجربیِ فراوان برای ظهور فنّاوری، اگرچه لازم است ولی به‌هیچ وجه *کافی* نیست. شاهد مهمی در تأیید این مدعا، می‌تواند نگارش متعدد مقالات نویسندگان ایرانی در مجلات بین‌المللی باشد که (احتمالاً) نشان از پیشرفت علمی دارد، ولی متأسفانه، این پیشرفت علمی، نتوانسته است پیشرفت و توسعهٔ فناورانه چشم‌گیری در کشور به همراه بیاورد. واقعیت این است که ظهور فناوری، علاوه بر دردست‌داشتن علم، نیازمند بسترسازی‌های متعدد اقتصادی، حقوقی و اجتماعی است که به آنها توجه چندانی نشده است.[2]

۵-۲-۶. اجتماع علمی

امروزه در رشته‌های مختلف علم، اجتماع علمی به وجود آمده است. می‌دانیم که گاهی در مورد مدعیات علمی مناقشات و بحث‌های فراوانی به وجود می‌آید؛ و مدعیات علمی باید داوری و ارزیابی شوند. درواقع، اجتماع علمی تمامی مدعیات را کنترل می‌کند و به‌نوعی، اعتبار و درست بودن مدعیات علمی، نشئت‌گرفته از کنترل و داوری اجتماع علمی است که بر اساس تعدادی معیار و مؤلفه (ازجمله آزمایش، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین معیارها) انجام می‌گیرد (منصوری، ۱۳۹۷ ب: ۸۱). هر کسی آزاد است آن طور که می‌خواهد فکر خلاّق داشته باشد، یک فرضیه (قانون، نظریه یا مدل) ابداع کند؛ اما آن فرضیه تنها زمانی به یک نظر علمی تبدیل می‌گردد که بتواند اجتماع علمی آن رشته را متقاعد کند؛ وگرنه طرد می‌شود.

اجتماع علمی نه‌تنها مدعیات علمی را کنترل می‌کند، بلکه تحولات و تغییرات معیارهای علمی را نیز کنترل می‌کند. همان‌طور که در بخش‌های قبلی اشاره شد، علم ماهیتی پویا و متغیر دارد. نقش دیگر این اجتماع، نظارت (توافق) بر تغییراتی است که احتمالاً بر این معیارها جریان دارد. مک‌کوماس، از مدافعان رویکرد توافقی در پاسخ به ایرادی که دربارهٔ ثابت نماندن مؤلفه‌های علم بر او وارد شده، می‌گوید که باید مؤلفه‌های ماهیت علم را با گذر زمان اصلاح کنیم (McComas, 2020). ما ضمن موافقت با این پاسخ مک‌کوماس، این پیشنهاد را طرح می‌کنیم که اصل پویایی و تغییرات در علم را به‌عنوان یک مؤلفه از ماهیت علم در محتوای درسی بگنجانیم.

۶. ارائه پیشنهاد

در این بخش، برای ارائهٔ بهتر رویکرد توافقی ماهیت علم پیشنهادهایی را طرح می‌کنیم. در متن مقاله، به پیشنهاد ارزیک

1. Done Ihde

۲. البته فهرست مؤلفه‌های پیشنهادی در اینجا کامل نیست و همچنان می‌توان مؤلفه‌های مناسب دیگری را پیشنهاد داد. مؤلفه‌های پیشنهادی ما صرفاً آغاز بحث است و لازم است که با مشارکت پژوهشگران دیگر تکمیل شود.

و نولا برای تدریس ماهیت علم اشـاره شـد. در این پیشـنهاد، تأکید بیشـتر بر نقش‌آفرینی معلم بود. ولی تأکید بر یادگیری ماهیت علم، صرفاً با اتکا بر توانمندی و اشراف دبیر بر ماهیت علم و بدون قرار گرفتن این موضوع در محتوای رسمی کتب آموزشـی، چندان کارآمد نیسـت. گفته می‌شـود که معلمان تمایل چندانی ندارند تا به ماهیت علم در آموزش توجه کنند (Haagen-Schützenhöfer & Joham, 2018). شـاید یکی از دلایل این بی‌توجهی و بی‌رغبتی دبیران، نبودن محتوای متناسب با ماهیت علم در کتب درسی و همچنین ضعف سیستم آموزش عالی باشد که نتوانسته آموزش‌های مرتبط با ماهیت علم در محتواهای آموز شی دبیران بگنجاند. نگاهی به کتب آموز شی فیزیک دبیر ستان، رو شن می سازد که ماهیت علم در محتوای کتب آموز شی نقش‌آفرینی پررنگی ندارد و تنها روی صرفِ تجربه و در برخی از مواقع مدل سازی و ساده سازی تمرکز شـده اسـت. بنابراین، در راسـتای پیشـبرد پیشـنهادی که در مقاله شـیخ‌رضـایی و ابراهیمی مبنی بر «انتخاب محتوای متنا سب با دلالت‌های ضمنی فل سفهٔ علم معا صر» (شیخ‌ر ضایی و ابراهیمی تیرتاش، ۱۳۹۶: ۱۵۷) طرح شده ا ست، در اینجا پیشنهاد می‌کنیم که مؤلفان کتاب‌های درسی با اتکا بر رویکرد توافقی، ماهیت علم را به‌صورت جدی‌تری در محتوای رسمی کتاب بگنجانند تا کار دبیران برای تدریس ماهیت علم فیزیک آسان‌تر شود.

با توجه به اینکه گنجاندن تمام مؤلفه‌ها در هر یک از فصول کتاب در سی – به دلیل محدودیت حجم کتاب – سخت به نظر می‌رسد، در رابطه با تزریق محتوای مرتبط با ماهیت علم می‌توان ایدهٔ «هر فصل، چند مؤلفه» را پیشنهاد کرد. منظور این است که در هر فصل، میزان قرابت محتوا با هر یک از مؤلفه‌ها بررسی شود. سپس از میان مؤلفه‌ها، موردی انتخاب شود که بهترین بستر را برای ارائه در آن فصل داشته باشد. در گام بعدی مؤلف کتاب درسی می‌تواند تنها روی همان مؤلفه‌ها متمرکز شود و نقش آن مؤلفه‌ها را به‌صورت کامل‌تری در محتوای رسمی آن فصل، بیان کند. برای مثال، محتوای فصل پنجم فیزیک پایهٔ دهم رشتهٔ ریاضی، محل مناسبی برای متبلور ساختن، «تقدم فنّاوری بر علم» و نیز برجسته کردن نقش مسائل برآمده از فنّاوری ماشین بخار در پیشرفت علم ترمودینامیک است.

فصل دوم کتاب فیزیک پایهٔ دوازدهم، بستر منا سبی برای ا شاره به «گفت‌وگو» در علم ا ست. مناقشهٔ پیشینیانِ گالیله با گالیله، می‌تواند نمونهٔ بسیار خوبی از گفت‌وگو در علم را فراهم سازد. کتاب صرفاً در حد دو سطر، این مو ضوع را مورد بحث قرار داده و مستقیماً به قانون اول نیوتون می‌پردازد. با توجه به نظریات شهودی و دقیقی که پیشینیان گالیله داشتند، جا دارد که به نظر آن‌ها توجه بی شتری شود. در همین بخش می‌توان نقش‌آفرینی مؤلفهٔ «ایدئال سازی» را برج سته کرد تا زمینه برای درک بهتر قانون اول نیوتون فراهم گردد.

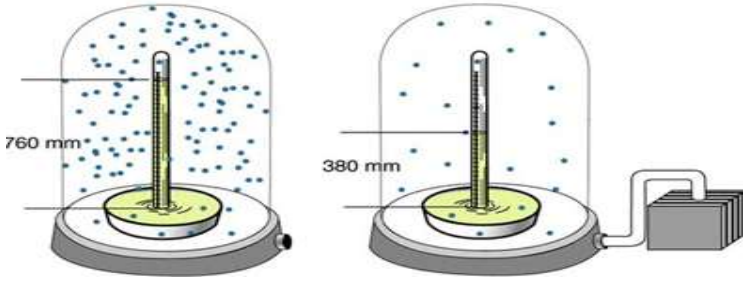
در فصل نخست کتاب فیزیک پایهٔ یازدهم، معرفی اولیه مفهوم «میدان الکتریکی» فرصت مناسبی برای پرداختن به تحول مفهومی در علم فیزیک، به‌ویژه در رابطه با ایدهٔ «کنش از راه دور» ا ست. این بخش از کتاب با هدف تبیین نیروهای جاذبه و دافعه میان ذرات باردار بدون تماس فیزیکی، مفهوم میدان را مطرح می‌کند. پیشـنهاد می‌شـود پیش از آن، به تفاوت میان نیروهای تما سی[1] و غیرتما سی[2] پرداخته شود. در حالی که درک نیروهای تما سی بدیهی ا ست، نیروهای غیرتما سی از منظر

1. Contact Forces
2. Non-Contact Forces

تاریخی، مفهومی غیربدیهی تلقی می‌شـــدند. تا پیش از نیوتون، بداهت تبیین‌های علمی از الزامات پذیرش آن‌ها بود؛ اما با پذیرش تجربی نظریه‌های مبتنی بر کنش از راه دور، جامعهٔ علمی معیارهای خود را بازبینی کرد. در این زمینه، مفهوم «میدان» به‌منزلهٔ پاســـخی مفهومی به چالش‌های تبیینیِ نیروهای غیرتماســـی معرفی شـــد. گنجاندن این پیش‌زمینهٔ تاریخی در ابتدای بحث میدان الکتریکی می‌تواند درک عمیق‌تری از تحول مفاهیم علمی برای دانش‌آموزان فراهم آورد.

همچنین، در بخش پایانی کتاب فیزیک دوازدهم که به فیزیک هسته‌ای می‌پردازد، اشاره‌ای گذرا به نقش عوامل اجتماعی در رشد علم می‌تواند مفید باشد. نمونهٔ بارز این موضوع، تأثیر جنگ جهانی دوم بر توسعهٔ فناوری‌های هسته‌ای است. پروژهٔ منهتن،[1] که در پاسخ به نیازهای جنگی آغاز شد، نه‌تنها منجر به ساخت بمب هسته‌ای شد، بلکه پیشرفت‌های قابل‌توجهی در دانش شکافت هسته‌ای و کنترل واکنش‌های زنجیره‌ای را در پی داشت. افزودن چنین نکته‌ای در متن درسی، می‌تواند موجب درک بهتر رابطهٔ متقابل علم و جامعه گردد.

فصل دوم فیزیک دهم، بستر مناسبی برای برجسته سازی مؤلفهٔ «گفت‌وگو در علم» و ایدهٔ «بیزاری طبیعت از خلأ» در نظریهٔ ارسـطویی اسـت. پیشـنهاد می‌شـود که در اینجا کتاب درسـی بالا رفتن مایع از لوله‌ها را ابتدا با توجه به ایدهٔ بیزاری طبیعت از خلأ توضیح دهد. سپس کتاب دیدگاه متأخر و استاندارد مبتنی بر فشار مولکول‌های هوا در باب «فشار» را توضیح دهد که از آزمایش توریچلی و پمپ خلأ بویل ســـرچشـــمه گرفت. اشـــاره به نقش پمپ خلأ بویل، می‌تواند زمینه را برای آشنایی شاگرد با مؤلفهٔ «نقش ابزار و تکنولوژی» فراهم سازد. پمپ خلأ بویل توانست با خالی‌کردن مولکول‌های هوا، امکان «مشاهدهٔ آفاقی» کاهش ارتفاع ستون جیوه را مهیا سازد؛ و بدین ترتیب، بویل با استفاده از مشاهدهٔ آفاقی شده حاصل از به‌کارگیری پمپ خلأ، توانست ضعف نظریهٔ ارسطویی را نسبت به نظریهٔ مبتنی بر فشار مولکول‌های هوا، نشان دهد.



شکل ۱: استفاده از پمپ خلأ برای نشان دادن آفاقی کاهش ارتفاع ستون جیوه

شکل سمت چپ: ستون جیوه در حضور مولکول‌های هوا – در حالت عادی – ارتفاع زیادی دارد.

شکل سمت راست: بعد از خارج کردن مولکول‌های هوا توسط پمپ، ارتفاع ستون جیوه کاهش پیدا کرده است، زیرا تعداد مولکول‌های هوا و نتیجتاً فشار هوا کاهش یافته است.

علاوه بر اصلاح محتوای کتاب‌های درسی، تحول در آموزش ماهیت علم مستلزم بازنگری ساختاری در نظام آموزش عالی است. بی‌توجهی دبیران به ماهیت علم، ریشه در نارسایی‌های نظام دانشگاهی دارد، چرا که آن‌ها خود محصول این نظام‌اند. از این‌رو، گنجاندن دروس اجباری نظیر «تاریخ و فلســـفهٔ علم» متناســـب با رشـــته‌هایی مانند فیزیک، در برنامه‌های

1. Manhattan Project

تربیت دبیران و دوره‌های دانشگاهی، ضرورتی بنیادین دارد.

یکی از چالش‌های عملی در این مسیر، محدودیت زمانی کلاس‌های درسی است که می‌توان با ادغام تدریجی مباحث ماهیت علم در محتوای موجود و استفاده از منابع دیجیتال تعاملی، آن را مدیریت کرد. همچنین، محیط های یادگیری غیررسمی نظیر موزه‌های علم و سازه‌ها و عناصر معرف ماهیت علم در اماکن عمومی، نقش مهمی در تقویت فهم عمومی از ماهیت علم ایفا می‌کنند. این فضاها با ایجاد تجربه‌های ملموس و برانگیختن کنجکاوی، مفاهیم علمی را به زبان ساده به مخاطبان منتقل می‌سازند و به دموکراتیزه کردن علم کمک می‌کنند.

نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی روش مناسب ارائهٔ ماهیت علم در درس فیزیک پرداختیم. پس از توضیح ماهیت علم، رویکردهای مختلف آموزش ماهیت علم (رویکرد توافقی، شباهت خانوادگی) را معرفی کردیم و مورد بحث قرار دادیم. اکنون روشن است که اگر متناسب با بصیرت‌های حاصل از پژوهش‌های متأخر ماهیت علم، اصلاحاتی را در رویکرد توافقی (مؤلفه‌ای) اعمال کنیم، کماکان می‌توان در آموزش ماهیت علم فیزیک از رویکرد توافقی استفاده کرد.

به منظور تسهیل اجرای آموزش ماهیت علم درس فیزیک پیشنهادهایی را طرح کردیم. مهم‌ترین پیشنهاد ما مرتبط با گنجاندن محتوای متناسب با ماهیت علم بود. ما این پیشنهاد را تحت عنوان «هر فصل، چند مؤلفه» طرح کردیم و با توجه به مطالب فصل‌های کتاب درسی، مؤلفه‌های مناسبی از ماهیت علم را معرفی کردیم که گنجاندن آن‌ها در محتوای کتاب‌های درسی، با اعمال کمترین تغییرات در کتب درسی قابل اجرا بودند.

این مطلب را هم نباید نادیده گرفت که تحول مؤثر در آموزش ماهیت علم نیازمند هم‌افزایی میان اصلاح برنامه‌های درسی مدارس، بازطراحی آموزش دانشگاهی، توانمندسازی دبیران و توسعهٔ فضاهای آموزشی غیررسمی است تا ماهیت علم به شیوهٔ مناسبی به دانش‌آموزان، و به صورت کلی‌تر عموم جامعه، معرفی شود.

منابع و مآخذ

- اربابی‌فر، فاطمه و ناظر دیلمی، سمیه. (۱۴۰۰). «تدریس درس فیزیک جدید به دانشجویان با رویکرد مبتنی بر استفاده از ماهیت علم». **پژوهش در آموزش علوم تجربی**. ۱(۱)، ۲۷-۳۴.
- چالمرز، آلن. (۱۳۹۴)، علم و تولید آن، ترجمه مصطفی تقوی، قم: پژوهشگاه حوزه و دانشگاه.
- چاپرک، علی و حاجی‌حسینی، حجت‌الله. (۱۳۹۵). «رابطه علم و فنّاوری از منظر سیاست‌گذاری، آموزش مهندسی و حوزه عمومی». **فصلنامه علمی پژوهشی راهبرد فرهنگ**. ۹(۳۴)، ۴۵-۶۱.
- رجبی، زهرا، سلطانی، ا صغر و علی‌نژاد، مهرانگیز. (۱۴۰۱). «تحلیل کتاب‌های در سی علوم دوره ابتدایی برا ساس بازنمایی مؤلفه‌های ماهیت علم با کاربست معادلات آنتروپی شانون». **پژوهش در برنامه‌ریزی در سی (دانش و پژوهش در علوم تربیتی ـ برنامه‌ریزی درسی)**. ۱۹(۴۶)، ۱۸۱-۱۹۴.
- سجادی، سیدهدایت. (۱۴۰۰). «علم‌شناسی و آموزش علوم: چارچوبی نظری در به‌کارگیری تاریخ و فلسفه علم در آموزش علوم تجربی». **فصلنامه علمی - پژوهشی تعلیم و تربیت**. ۳۷ (۲): ۷-۲۶.
- شیخ رضایی، حسین؛ ابراهیمی تیرتاش، فهیمه. (۱۳۹۶). «نقد و بررسی مؤلفه‌های ماهیت علم در آموزش علم». **روش‌شناسی علوم انسانی**. ۲۳(۹۳)، ۱۳۵-۱۶۰.
- صمدی، هادی. (۱۳۸۳). «مروری بر فلسفه زیست‌شناسی». **ذهن**. ۵(۱۹): ۷۵-۹۶
- عبدالملکی، صابر؛ درانی، کمال؛ کرمدوست، نوروزعلی و صدرالاشرفی، مسعود. (۱۳۹۴). «ماهیت علم: مطالعه موردی نگرش دانشجویان کارشناسی دانشگاه تهران» **دو فصلنامهٔ نظریه و عمل در برنامه درسی**. ۳ (۵): ۱۵۲-۱۳۳
- فتحی، محمدرضا و عروجی، زهره. (۱۴۰۲). «تحلیل محتوای کتاب فیزیک پایه یازدهم رشته ریاضی- فیزیک بر اساس رویکرد ماهیت علم». **پژوهش در آموزش علوم تجربی**. ۲(۷)، ۲۴-۳۶.
- کافی، مجید (۱۴۰۲). «ماهیت پیوستاری علوم». **تاریخ علم**. ۲۱ (۱)، ۵۱-۷۵
- کریمی، محمدحسن، مزیدی، محمد و مهرمحمدی، محمود. (۱۳۸۶). «نقد و بررسی کتاب علوم پایه اول راهنمایی تحصیلی از منظر فلسفه علم». **علوم اجتماعی و انسانی دانشگاه شیراز**. ۲۶(۳)، ۱۱۱-۱۳۶.
- کریمی، محمدحسن، کیانی، فرحناز و شمشیری، بابک. (۱۳۹۷). «تحلیل محتوای کتاب‌های راهنمای معلم فیزیک دورهٔ متوسطه براساس رویکرد به ماهیت علم ـ پژوهش کیفی». **پژوهش‌های برنامه درسی**. ۸(۲)، ۷۰-۹۷.
- محمدی‌پور، ناصر، ضرغامی، سعید و داوودپناه، محمد. (۱۴۰۰). «تحلیل محتوای کتاب فیزیک ۲ دورهٔ متوسطه با رویکرد ماهیت علم». **پژوهش در آموزش علوم تجربی**. ۱(۲)، ۳۸-۵۴.
- منصوری، رضا. (۱۳۹۴). «تفکر کلامی تفکر ریاضیاتی». سمینار علوم ریاضی و چالش‌ها. منتشرشده در https://newsite.kashanu.ac.ir/Files/02(4).pdf
- منصوری، رضا. (۱۳۹۷ الف). «فیزیک فقط فیزیک نیست». همایش سالانه آموزش فیزیک، منتشرشده در وبگاه http://rmansouri.ir/%d9%81%db%8c%d8%b2%db%8c%da%a9-%d9%81%d9%82%d8%b7-/%d9%81%db%8c%d8%b2%db%8c%da%a9-%d9%86%db%8c%d8%b3%d8%aa
- منصوری، رضا. (۱۳۹۷ ب). **مبانی تفکر در علوم فیزیکی**. تهران. منتشرشده در وبگاه http://rmansouri.ir
- مولا، سمیه، فتحی آذر، اسکندر و ادیب، یوسف. (۱۳۹۵). «تجارب دبیران علوم دوره دبیرستان از ماهیت علم: یک مطالعه پدیدار شناسی». **پژوهش در برنامه‌ریزی در سی (دانش و پژوهش در علوم تربیتی - برنامه‌ریزی در سی)**. ۱۳(۲۴)، ۳۸-۵۳.

- نجاتی حسینی، سیدمحمود. (۱۳۹۶). **تبار شناسی کلاس درس در ایران: تجربه‌های تاریخی و تجربه‌های زیسته**. تهران: مؤسسه مطالعات فرهنگی و اجتماعی.

– Abdolmaleki, S., Dorrani, K., Karamdost, N., & Sadrolashrafi, M. (2015). The nature of science: Case study of University of Tehran undergraduate students' attitude. *Journal of Theory and Practice in Curriculum, 3*(5), 133-156. [In Persian] https://sid.ir/paper/241882/en
– Arbabifar, F. and Nazerdeylami, S. (2021). Teaching Modern Physics Based on Nature of Science Approach. *Research in Experimental Science Education*, *1*(1), 27-34. [In Persian] https://jrese.cfu.ac.ir/article_1935.html?lang=en
– Chalmers, A, F. (1990). *Science and its Fabrication*. Open University Press.
– Chalmers, A. (2015). *Science and its fabrication.* (M. Taghavi, Trans.). Iran's Research Institute of Hawzah & University, Qom, Iran
– Chalmers, A. F. (2013). *What is this thing called science?*. Hackett Publishing
– Chaparak, Ali, & Hajihosseini, Hojjatollah. (2016). Relationship between Science and Technology from the Perspective of Policymaking, Engineering Education and Public Sphere. *STRATEGY FOR CULTURE*, 9(34), 45-61. [In Persian] https://sid.ir/paper/149244/en
– Cheung, K.K.C., Erduran, S. (2023). "A Systematic Review of Research on Family Resemblance Approach to Nature of Science in Science Education". *Sci & Educ* 32, 1637–1673. https://doi.org/10.1007/s11191-022-00379-3
– Chiappetta, E., Koballa, T., & Collette, A. (1998). *Science instruction in the middle and secondary schools (4th ed.)* Upper Saddle River, NJ: Merrill.
– Duschl, R. A., & Grandy, R. (2012). "Two views about explicitly teaching nature of science". Science & Education, 22, 2109–2139. https://doi.org/10.1007/s11191-012-9539-4
– Fjelland, R. (2022). "Teaching Philosophy of Science to Science Students: An Alternative Approach". *Stud Philos Educ* 41, 243–258. https://doi.org/10.1007/s11217-021-09802-8
– Haagen-Schützenhöfer, C., & Joham, B. (2018). "Professionalising physics teachers in doing
– Haagen-Schützenhöfer, C., & Joham, B. (2018). "Professionalising physics teachers in doing experimental work". Center for Educational Policy Studies Journal, 8(1), 9–34. https://doi.org/10.26529/cepsj.333
– Hodson, D., & Wong, S. L. (2014). "From the horse's mouth: Why scientists' views are crucial to nature of science understanding". *International Journal of Science Education*, 36, 2639–2665. https://doi.org/10.1080/09500693.2014.927936
– Irzik, G., & Nola, R. (2014). "New Directions for Nature of Science Research". In M. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, (pp. 999–1021). https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8_30
– Irzik, G., Nola, R. (2023). "Revisiting the Foundations of the Family Resemblance Approach to Nature of Science: Some New Ideas". *Sci & Educ* 32, 1227–1245. https://doi.org/10.1007/s11191-022-00375-7
– **Karimi, M. H., Mazidi, M., & Mehrmohammadi, M. (2007).** Critique and analysis of the first-grade middle school science textbook from a philosophy of science perspective. *Journal of Social Sciences and Humanities of Shiraz University*, 26(3), 111–136. [In Persian] http://noo.rs/Udyc6

- Koponen, I. T. (2021). “Nature of science (NOS) being acquainted with science of science (SoS): Providing a panoramic picture of sciences to embody NOS for preservice teachers”. *Education Sciences, 11*(3), 107. https://doi.org/10.3390/educsci11030107
- Kötter, M., Hammann, M. (2017). “Controversy as a blind spot in teaching nature of science”. *Science & Education, 26*, 451-482. https://doi.org/10.1007/s11191-017-9913-3
- Koyré, A. (1978). *Galileo Studies (1939)*. London: Harvester.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F. S., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). “Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid And Meaningful Assessment of Learners’ Conceptions Nature of Science”, *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497–521. https://doi.org/10.1002/tea.10034
- Mansouri, R. (2015). Theological thinking vs. mathematical thinking [Paper presentation]. *Seminar on Mathematical Sciences and Challenges,* Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. [In Persian]
- Mansouri, R. (2018a). Physics is not just physics [Conference presentation]. *Annual Conference on Physics Education.* **.** [In Persian]
- Mansouri, R. (2018b). *Foundations of thinking in physical sciences* [Published online]. [In Persian]
- Matthews, M. (2000). “Foreword and introduction”, The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies. Ed by William F., McComas. London: Kluwer academic publishers.
- Matthews, M. (2012). “Changing The Focus: Nature of Sience (NOS) to Features of Science (FOS) ”. In *Advances in Nature of Science Research*, Foreword by Richard K. Coll. (pp. 3-26) https://doi.org/10.1007/978-94-007-2457-0_1
- McComas, W. F. (2020). “Considering a consensus view of nature of science content for school science purposes”. In *Nature of science in science instruction* (pp. 23–34). https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6_2
- McMullin, E. (1985). “Galilean idealization”. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 16(3), 247-273. https://doi.org/10.1016/0039-3681(85)90003-2
- Mohammadipour, N. (2022). Content Analysis of the physics 2 textbook of the high school based on the approach to the Nature of Science. *Research in Experimental Science Education*, *1*(2), 38-54. [In Persian] https://jrese.cfu.ac.ir/article_2292.html
- Mola Ghalghachi, S., Fathiazar, E., & Adib, Y. (2017). Investigating the experience of high school science teachers from the nature of science. *Research in Curriculum Planning*, *13*(51), 38-58. [In Persian] https://sanad.iau.ir/en/Article/899343
- Najatihosseini, S. M. (2017). *Genealogy of the classroom in Iran: Historical experiences and lived experiences*. Tehran: Institute for Social and Cultural Studies.
- Newton, I. (1693). “LETTERS FROM NEWTON TO BENTLEY: II”. In *ISAAC NEWTON' S Papers & Letters On Natural Philosophy* B. Cohen (Ed.), (pp. 300–309). Harvard University Press. http://strangebeautiful.com/other-texts/newton-papers-letter-nat-phil-cohen-ed.pdf
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R. & Duschl, R. (2003). “What “Ideas-about-Science” Should Be Taught in School Science? A Delphi Study of the Expert Community”. *Journal of Research in Science Education* 40: 692–720. https://doi.org/10.1002/tea.10105
- Paul, R. (2020). “Critical thinking, moral integrity, and citizenship: teaching for the intellectual virtue”. In Guy Axtell (ed.), Knowledge, Belief, and Character: Readings in Virtue Epistemology. Rowman & Littlefield Publishers. pp. 163-175. https://doi.org/10.1002/sce.21216

- RAJABI, ZAHRA, SOLTANI, ASGHAR, & ALINEJAD, MEHRANGIZ. (2022). Analysis of elementary school science textbooks based on representation of components of the nature of science using Shannon entropy equations. *CURRICULUM PLANNING KNOWLEDGE & RESEARCH IN EDUCATIONAL SCIENCES*, 19(46 (73)), 181-194. [In Persian] https://journals.iau.ir/article_694307.html
- Sajadi, S H. (2021). Science-o-logy and Science Education: A Theoretical Framework for Using History and Philosophy of Science in Science Education. *Journal of Education,* 2021; 37 (2): 7-26. [In Persian] http://qjoe.ir/article-1-3121-en.html
- Samadi, H. (2004). A Review of the Philosophy of Biology. *Zihn*. 5(19): 75-96. [In Persian] https://zehn.iict.ac.ir/article_16068.html?lang=en
- Sankey, H. (2023). "The Objectivity of Science". Journal of Philosophical Investigations, 17(45), 1-10. https://doi.org/10.22034/jpiut.2023.17473
- Schizas, D., Psillos, D., & Stamou, G. (2016). "Nature of science or nature of the sciences?". Science Education, 100, 706–733. https://doi.org/10.1002/sce.21216
- Sheikh Rezaei, H, and Ebrahimi Tirtaş, F. (2017). Criticism and analysis of the components of the nature of science. *Methodology of Social Sciences and Humanities*, *23*(93), 135-160. [In Persian] doi: 10.30471/mssh.2017.1398
- Smith, S, E. (2017). "Why Philosophy Is So Important in Science Education". *Aeon*, 13 November
- Subrena E. Smith. 2017 "Why Philosophy Is So Important in Science Education". *Aeon*, 13 November
- van Dijk, E. M. (2012). "Relevant features of science: Values in conservation biology". Science & Education, 22, 2141–2156. https://doi.org/10.1007/s11191-012-9496-y
- Wong, S. L., Kwan, J., Hodson, D., & Yung, B. H. W. (2009). "Turning crisis into opportunity: Nature of science and scientific inquiry as illustrated in the scientific research on severe acuterespiratory syndrome". *Science & Education* 18: 95–118. https://doi.org/10.1080/09500690701528808