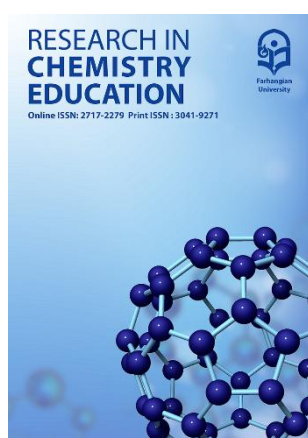


Phenomenological analysis of perceptions and descriptions by physics and chemistry teacher students on the evolution of atomic theories

1. Fahimeh Karami Garehgeshlaji : Department of Physics Education, Farhangian University, P.O. Box 14665-889, Tehran, Iran
2. Maryam Marandi Heydarloo : Department of Educational Sciences, Farhangian University, P.O. Box 14665-889, Tehran, Iran

*Corresponding Author's Email Address: m.marandi@cfu.ac.ir



Abstract:

Background and Objective: A comprehensive mastery of atomic theories among educators has significant positive impacts on deepening science education. This study aims to assess the conceptual understanding of atomic theories as well as their distinctive characteristics, origins, and limitations among student-teachers in physics and chemistry education programs, who represent future educators in the educational system.

Materials and Methods: This qualitative study adopts an interpretive phenomenological approach. The research population consisted of first-year student-teachers in physics and chemistry education programs at Farhangian University of Tabriz during the 2023-2024 academic year. Using purposive sampling, 25 participants were selected, with theoretical saturation determining the conclusion of sampling. Data were collected through semi-structured interviews, and the recorded interviews were analyzed using the Strauss and Carpenter method.

Findings: Analysis of participants' understanding of concepts, historical context, and the evolutionary progression of atomic theories—from Dalton's theory to Schrödinger's wave theory—revealed four main themes: misconceptions regarding atomic models, lack of historical knowledge about atomic theories, the need for curriculum content revision, and strategies for enhancing theoretical knowledge of atomic models. Additionally, 22 sub-themes were identified

Conclusion: The results indicate that most participants' understanding of atomic structure aligns with Bohr's atomic theory, demonstrating a reasonable grasp of the nucleus (protons and neutrons) and electron orbits based on this model. However, a significant deficiency was observed in their comprehension of Schrödinger's atomic theory. Most participants lacked a coherent understanding of key quantum mechanical concepts, including the electron cloud model, wave-particle duality of electrons, and its distinction from Bohr's simplified orbital model. Therefore, revising curricula and implementing scientifically grounded strategies could effectively address these misconceptions and deficiencies.

Keywords: Atomic Theories, Interpretative Phenomenological Analysis, Conceptual Profiles, Atomic Structure, History of Science

RESEARCH ARTICLE

How to Cite: Karami Garehgeshlaji, F., & Marandi Heydarloo, M. (2026). Phenomenological analysis of perceptions and descriptions by physics and chemistry teacher students on the evolution of atomic theories. *Research in Chemistry Education*, 8(3), 109-129.

DOI: [10.48310/chemedu.2025.20287.1356](https://doi.org/10.48310/chemedu.2025.20287.1356)



© 2026 the authors. Published by Farhangian University. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

Extended Abstract

Introduction

Understanding atomic structure and the historical progression of atomic theories constitutes one of the most fundamental scientific concepts with applications across numerous fields of science and technology. From the early theories of ancient Greek philosophers like Democritus to more advanced models—such as Dalton's atomic theory, Thomson's and Rutherford's models, Bohr's atomic model, and ultimately the quantum atomic model and Schrödinger's wave equation—each represents humanity's enduring effort to deepen its understanding of the nature of matter. The proper teaching of these theories plays a decisive role in shaping students' scientific attitudes. Since teachers are the primary agents in transmitting these concepts, it is essential that student-teachers themselves possess a profound understanding of these theories (Johnstone et al., 2018). Teachers' beliefs and conceptions—encompassing their mental frameworks and imagery of scientific concepts (Thompson, 1992)—can induce lasting changes in students' perspectives. A critical aspect of the teaching process is guiding learning objectives so that students can construct understanding based on their learning experiences (Fouzia et al., 2022). This ability stems from teachers' comprehension and communication of concepts, as the success of any educational system depends more on teachers' professional knowledge and skills than on any other factor (Babaei et al., 2024). Although students' conceptions of the nature of matter have received considerable attention, little information exists regarding teachers' conceptions, particularly in Iran. While teachers' pedagogical content knowledge (PCK) may develop over time through repeated teaching (Winer et al., 2020), this does not negate the influence of their pre-service knowledge. The concept of atom serves as a prime example of the conceptual profile theory (Eduardo Mortimer, 2014), which explains how individuals employ diverse ways of thinking and understanding a single concept in different contexts. Human thinking about concepts is not static or one-dimensional, but dynamic and multilayered. Examining the evolution of atomic theories is not merely a historical account but a reflection of scientists' intellectual endeavors across centuries. Such an exploration can lead to a better understanding of the nature of science and the process of theory formation. Integrating a scientific perspective with a historical approach will enrich our comprehension of atomic science.

Methodology

Phenomenology as a qualitative research methodology investigates the structures of lived experiences and individuals' subjective perceptions. Utilizing Interpretative Phenomenological Analysis (IPA), this study offers an in-depth understanding of student-teachers' theoretical knowledge of atomic theories. The research sample comprised 25 physics and chemistry teacher-trainees from Farhangian University of Tabriz, selected through purposive sampling. Data were collected via semi-structured interviews and analyzed following established qualitative validation protocols. The findings were organized into 4 core themes and 22 sub-themes, revealing the multifaceted nature of participants' comprehension of atomic theories.

Results and Discussion

Given the demographic homogeneity of the study participants, a thorough analysis of the recorded interviews yielded 4 core themes and 22 sub-themes.

1. Common Misconceptions in Atomic Models:

- Solar system-like atomic representations with poor understanding of quantum models
- Two-dimensional (rather than three-dimensional) conceptions of atomic structure
- Misinterpretations of orbitals, uncertainty principle, and wave-particle duality
- Naive beliefs about atomic scale and observability

2. Historical shortcomings and deficiencies in theoretical education:

- Neglect of evolutionary progression and historical scientific controversies
- Over-attribution to individual scientists while ignoring collective contributions
- Failure to connect scientific advances with technological and social developments

3. Curricular Content Shortcomings:

- Overemphasis on obsolete models with inadequate coverage of modern findings
- Counterproductive simplifications and unrealistic atomic representations
- Disconnected teaching of concepts across physics and chemistry courses
- Ineffective assessment methods favoring rote memorization

4. Proposed Improvement Strategies:

- Implementation of active learning methods and multidimensional media
- Development of digital simulations and 3D modeling tools
- Contextualizing theoretical concepts with practical applications and modern technologies
- Reforming teacher education programs and promoting student research
- Replacing memorization-based tests with qualitative analytical assessment systems

Conclusions

The results of this study demonstrate that student-teachers' understanding of atomic theories remains predominantly superficial and rooted in traditional teaching approaches, with significant deficiencies observed in their comprehension of abstract modern physics concepts such as Schrödinger's wave theory, electron wave-particle duality, Heisenberg's uncertainty principle, and the electron cloud model. Most participants continue to view electrons as particles moving in fixed orbits resembling a solar system model, lacking any appreciation of the probabilistic nature of electron distribution within orbitals. This likely stems from an overemphasis on the Bohr model in current educational practices. Particularly concerning is the finding that some participants initially conceptualized atoms as solid, spherical entities, similar to Dalton's model—a problematic misconception for future science educators. Furthermore, the persistent belief in electrons following defined trajectories reveals a fundamental misunderstanding of wave-particle behavior. While participants displayed adequate awareness of the historical development of atomic theories, their understanding of the theoretical foundations and comparative limitations of different models requires substantial improvement. The study also documented occasional severe misconceptions, including inappropriate comparisons of atomic dimensions to biological cells and anthropomorphic attributions to atomic behavior. To address these deficiencies, comprehensive reforms appear necessary, including revisions to teaching methodologies, updates to educational content, and restructuring of basic science curricula. These findings corroborate those of Qasemi et al. (2021), who emphasized the importance of addressing individual differences, implementing collaborative learning strategies, employing integrated teaching models, adopting context-based approaches, establishing competency-based objectives, and promoting active learning. Practical solutions should include the implementation of interactive teaching methods, development of multimedia resources, explicit connections between theoretical concepts and practical applications, in-service teacher training programs, and encouragement of student research initiatives. Additional recommendations involve active teacher participation in curriculum development processes, creation of professional learning communities for experience sharing, and systematic review of physics and chemistry education research. Finally, conducting longitudinal assessment studies across grade levels could effectively monitor educational outcomes, inform curriculum improvements, and foster the development of lifelong learning skills, enhanced problem-solving abilities, and critical thinking capacities among students.

تحلیل پدیدار شناسانه ادراکات و توصیفات دانشجو معلمان آموزش فیزیک و شیمی از روند تکامل نظریه‌های اتمی

۱. فهیمه کرمی قره قشلاقی *؛ گروه آموزش فیزیک، دانشگاه فرهنگیان، صندوق پستی ۱۸۸۹-۱۴۶۶۵، تهران، ایران

۲. مریم مرنندی حیدرلو؛ گروه آموزش علوم تربیتی، دانشگاه فرهنگیان، صندوق پستی ۱۸۸۹-۱۴۶۶۵، تهران، ایران

*پست الکترونیک نویسنده مسئول: m.marandi@cfu.ac.ir

چکیده

پیشینه و اهداف: تسلط کامل آموزشگر بر نظریه‌های اتمی، تأثیرات مثبتی بر عمق بخشی به آموزش علوم پایه خواهد داشت. هدف از این پژوهش، سنجش درک مفهومی نظریه‌های اتمی و خصوصیات بارز آنها، علت پیدایش و ناتوانی هر نظریه توسط دانشجومعلمان رشته آموزش فیزیک و شیمی به عنوان مدرسين آینده‌ی نظام آموزشی است.

روش‌ها: پژوهش حاضر، کیفی، از نوع پدیدارشناسی تفسیری است. جامعه پژوهش دانشجومعلمان سال اول رشته آموزش فیزیک و شیمی دانشگاه فرهنگیان تبریز در سال تحصیلی ۱۴۰۳-۱۴۰۴ بودند که با استفاده از روش نمونه‌گیری مبتنی بر هدف، تعداد ۲۵ نفر؛ نمونه‌ی پژوهش را تشکیل دادند. تصمیم‌گیری برای پایان نمونه‌گیری، مبتنی بر اشباع ایده‌ی نظری است. ابزارگردآوری داده‌ها مصاحبه نیمه‌ساختاریافته بوده که مصاحبه‌های ضبط شده به روش استرابت و کارپیتتر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند.

یافته‌ها: با تحلیل دانسته‌های شرکت‌کنندگان از مفاهیم، تاریخچه و روند تکامل نظریه‌های اتمی از نظریه دالتون تا نظریه موجی شرودینگر، ۴ مضمون اصلی شامل کج‌فهمی در باب مدل‌های اتمی، فقدان یا نقص دانش تاریخی از نظریه‌های اتمی، لزوم بازنگری محتوای درسی و راهبردهای ارتقای دانش نظری مدل اتمی و ۲۲ مضمون فرعی استخراج گردید. **نتیجه‌گیری:** نتایج، گویای آن است که درک بیشتر شرکت‌کنندگان از اتم به صورت نظریه اتمی بور بوده و درک نسبتاً مناسبی از هسته شامل پروتون و نوترون و مدارهای الکترونی بر پایه این نظریه دارند. علی‌رغم این موضوع ضعف عمده در درک نظریه اتمی شرودینگر مشهود است. اکثر شرکت‌کنندگان، هیچ ذهنیت منسجمی از ابرالکترونی نظریه کوانتومی، خاصیت دوگانه موجی- ذره‌ای الکترون‌ها و تفاوت آن با مدارهای ساده اتمی بور نداشتند. بنابراین می‌توان با بازنگری در برنامه‌های درسی مقطع متوسطه و دانشگاه و ارائه راهبردهای علمی و عملی گام‌های مؤثری در برطرف کردن این کج‌فهمی‌ها و ضعف‌ها برداشت.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

نحوه استناددهی: کرمی قره قشلاقی، فهیمه، و مرنندی حیدرلو، مریم. (۱۴۰۵). تحلیل پدیدار شناسانه ادراکات و توصیفات دانشجو معلمان آموزش فیزیک و شیمی از روند تکامل نظریه‌های اتمی. پژوهش در آموزش شیمی، ۸(۳)، ۱۲۹-۱۰۹.

DOI:

10.48310/chemedu.2025.20287.1356

کلیدواژگان: نظریه‌های اتمی، تحلیل پدیدارشناسی تفسیری، ساختار اتمی، تاریخ علم



مقدمه

درک ساختار اتم و سیر تکامل نظریه‌های اتمی، یکی از پایه‌ای‌ترین مفاهیم علمی است که نه تنها در شیمی و فیزیک، بلکه در بسیاری از حوزه‌های دیگر علوم و فناوری نیز کاربرد دارد. از نظریه‌های ابتدایی فلاسفه یونان باستان مانند دموکریت که اتم را به عنوان کوچکترین جزء تجزیه‌ناپذیر ماده معرفی کرد، تا مدل‌های پیشرفته‌تر مانند مدل اتمی دالتون، مدل تامسون، مدل رادرفورد، مدل بور و در نهایت مدل کوانتومی اتم و خاصیت دوگانه الکترون و معادله موج شرودینگر، هر یک از این نظریه‌ها نشان‌دهنده تلاش بشر برای درک عمیق‌تر ماهیت ماده است. آموزش صحیح این نظریه‌ها به دانش‌آموزان، نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری نگرش علمی آنان دارد. از آنجا که معلمان اصلی‌ترین نقش را در انتقال این مفاهیم به نسل آینده دارند، ضروری است که دانشجومعلمان (به عنوان معلمان آینده) خود از درک عمیق و دقیقی از این نظریه‌ها برخوردار باشند. دانش معلمان از مدل‌های اتمی مختلف و رابطه بین آنها برای معرفی موفقیت‌آمیز ماهیت بنیادی ماده در کلاس درس امری حیاتی است. باورها و تصورات معلمان که یک ساختار ذهنی کلی شامل باورها، معانی، مفاهیم، گزاره‌ها، قوانین، تصاویر ذهنی، ترجیحات و موارد مشابه است (تامپسون^۱، ۱۹۹۲، ص ۱۳۰)، می‌تواند تغییرات پایداری در نگرش دانش‌آموزان بر ساختار اتم داشته‌باشد. مهم‌ترین نکته در فرآیند تدریس و یادگیری، جهت‌دهی اهداف یادگیری است، به طوری که دانش‌آموزان بتوانند، بر اساس تجربه یادگیری خود چیزی را درک کنند. توانایی درک مطالب، نکته اساسی است که انتظار می‌رود، بتواند، دانش مفهومی را بسازد (فوزیه^۲ و همکارانش، ۲۰۲۲). این توانایی حاصل درک و انتقال مفاهیم توسط معلمین است. چرا که در سراسر جهان، موفقیت هر نظام آموزشی بیش از هر عامل دیگر به دانش و مهارت‌های حرفه‌ای معلمان آن نظام بستگی دارد. در حالی که برداشت‌های دانش‌آموزان از ماهیت بنیادی ماده و اتم توجه روزافزونی را از سوی جامعه تحقیقاتی آموزش علوم به خود جلب کرده است، با این حال، نگاه به متون علمی، مبین آن است که اطلاعات کمی به طور خاص در مورد برداشت‌های معلمان از مدل‌های اتمی علی‌الخصوص در ایران وجود دارد. گرچه محتمل است که برداشت‌ها و دانش آموزش محتوای (PCK) معلمان به عنوان مجموعه‌ای از ابزارهای آموزشی در کلاس به مرور زمان از طریق تدریس مکرر یک موضوع خاص (همچون ساختار اتم) توسعه یافته و در حالت ایده‌آل بهبود یابد (واینر^۳ و همکارانش، ۲۰۲۰)، ولی این امر نمی‌تواند، منکر تأثیر میزان دانسته‌های پیش از خدمت معلمان در آن موضوع بر موفقیت عملکرد شغلی آن‌ها داشته‌باشد. از طرف دیگر مفهوم اتم مثال بارز و بی‌نقصی از نظریه پروفایل مفهومی است. طبق این نظریه که توسط مورتیمر^۴ (۲۰۱۴) بیان شده‌است، افراد چیزی را که می‌بینند و یاد می‌گیرند، به روش‌های مختلف بیان می‌کنند و همچنین در شرایط مختلف به صورت متفاوت مورد استفاده قرار می‌دهند. این نظریه توضیح می‌دهد که افراد چگونه از طیفی از شیوه‌های متفاوت تفکر و درک یک مفهوم واحد همچون انرژی، نیرو، ماده و ساختار اتم در موقعیت‌های مختلف استفاده می‌کنند. بسته به شرایط، ادراک افراد درباره یک مفهوم واحد خاص می‌تواند، از دیدگاه روزمره، علمی، شهودی و فلسفی باهم فرق داشته و حتی در مواردی متناقض به نظر رسند. وقتی اکثریت قریب به اتفاق معلمان در مواجهه با پرسش ترسیم یک اتم، مدل اتمی بور را ترسیم می‌کنند، نمی‌توان قطع به یقین نتیجه گرفت که این افراد در دیگر نظریه‌های اتمی ضعف داشته‌باشند. زیرا تفکر انسان درباره مفاهیم، ثابت و یک‌بعدی نبوده، بلکه

¹ Thompson

² Fauziah

³ Wiener

⁴ Mortimer

پویا و چندلایه است. علاوه بر اهمیت علمی نظریه‌های اتمی در پیشبرد درک و فهم ما از ساختار ماده، بررسی سیر تکاملی و تاریخچه این نظریه‌ها نیز حائز اهمیت است. مطالعه تحول این نظریه‌ها تنها یک گزارش تاریخی نیست، بلکه نشان‌دهنده تلاش‌های فکری دانشمندان در طول اعصار به منظور تعامل پیچیده بین مشاهده، آزمایش و تفکر نظری در علم است. این بررسی تاریخی می‌تواند، به درک بهتری از ماهیت علم، چگونگی شکل‌گیری نظریه‌ها و رد آن‌ها و حتی درس‌هایی برای پژوهش‌های آینده منجر شود. علاوه بر این، آگاهی از مسیر پرچالش توسعه نظریه‌های اتمی، ارزش تلاش‌های دانشمندانی مانند دالتون، تامسون، رادرفورد، بور و هایزنبرگ را آشکار می‌سازد و نشان می‌دهد که پیشرفت علمی همواره فرآیندی تدریجی و انباشتی بوده است. بنابراین تلفیق نگاه علمی با رویکرد تاریخی غنای بیشتری به درک ما از علم اتم خواهد بخشید. بررسی تاریخ علم، به‌ویژه سیر تکامل نظریه‌های اتمی، تنها گردآوری خشک حقایق و تاریخ‌گذاری‌ها نیست، بلکه گشودن گنجینه‌ای از لحظه‌های شیرین، شگفت‌انگیز و گاه طنزآمیز است که نشان می‌دهد، دانشمندان نیز انسان‌هایی با اشتباهات، رقابت‌ها و لحظه‌های ناب بوده‌اند.

تمرکز تحقیقات مشابه در ایران بر سنجش دانش و کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان و دانشجویان سایر دانشگاه‌ها بوده و در مواجهه با ساحت دانش شخصی خود معلمان در دوره‌ی تربیت معلم و آموزش پیش از خدمت، بنا به ملاحظات هم‌چون مسامحه و ترس از قضاوت مغفول مانده است. این پژوهش در اقدامی نوآورانه در راستای جبران این خلأ هم از لحاظ متدولوژیک و روش‌شناسی و هم از لحاظ محتوایی با سایر پژوهش‌ها متفاوت بوده و با بررسی دانسته‌ها، تصورات و باورهای دانشجومعلمان آموزش فیزیک و شیمی درباره نظریه‌های اتمی، قادر است تصویر روشنی از وضعیت فعلی نظام تربیت پیش از خدمت معلمان ارائه دهد. نتایج حاصل از این مطالعه نه تنها برای بهبود برنامه‌های آموزشی معلمان در جهت نیل به اهداف سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و زمینه‌سازی پرورش نسل آینده‌ای از معلمان کارآمد و دانش‌محور مفید خواهد بود، بلکه می‌تواند در ارتقای کیفیت آموزش فیزیک و شیمی در مدارس کشور گامی مؤثر ایفا نماید.

برای دستیابی به این هدف سؤالات پژوهش به جهت آزمون‌سنجی پیش‌فرض‌های ذهنی به صورت زیر بیان می‌شود.

- ۱) دانشجومعلمان آموزش فیزیک و شیمی چه ادراکات و توصیفاتی از سیر تطور تاریخی نظریه‌های اتمی از دموکریت و یونان باستان تا مدل پیچیده کوانتومی دارند؟
- ۲) دانشجومعلمان در رابطه با کدام نظریه شناخت بیشتری دارند و بیشترین اشکالات در کدام نظریه مشهودتر است؟
- ۳) ذهنیت یک دانشجومعلم از عبارت نظریه اتمی شروودینگر چیست و این ذهنیت چگونه شکل گرفته است؟
- ۴) پیش‌فرض‌های ذهنی دانشجومعلمان از نظریه‌های اتمی علی‌الخصوص نظریه کوانتومی شروودینگر، در زمان ورود به محیط آموزشی دانشگاه چگونه بوده و چه تأثیر پایه‌ای برای یادگیری آینده آنها خواهند داشت؟
- ۵) ضعف دانش و کج‌فهمی‌های رایج در نظریه‌های اتمی مختلف چیست؟
- ۶) آیا شرکت‌کنندگان ذات احتمالی و غیرقطعی مدل کوانتومی را درک کرده‌اند یا آن را به عنوان یک مدل قطعی و فیزیکی توصیف می‌کنند؟

نوآوری این مقاله در ارائه یک دستورالعمل عملیاتی فوری مانند یک طرح درس یا روش نوین تدریس نیست، بلکه نوآوری آن شامل شناسایی و بسترسازی برای حل یک مسئله اساساً نادیده گرفته شده در آموزش علوم می‌شود. به عبارت دیگر، این پژوهش یک تشخیصی است که راه را برای درمان در آینده هموار می‌سازد. به خاطر عدم آموزش عمیق نظریه کوانتومی و مدل شروودینگر در دوره متوسطه، پیش فرض برنامه‌ریزان درسی این است که دانشجویان با ذهنیتی پاک

وارد دانشگاه می‌شوند و در رابطه با مباحث پیچیده‌ای مانند مکانیک کوانتومی اساساً تصویری ایجاد نشده‌است. این انگاره باطل می‌تواند، به نادیده گرفتن تصورات غلط و کج‌فهمی‌های مرسوم منجر شود و ایرادات اساسی در برنامه درسی دانشجومعلم‌ان ایجاد نماید.

پیشینه پژوهش

موضوع دانش معلمان درباره نظریه‌های اتمی پیش از خدمت و حین خدمت و میزان دستیابی به اهداف آموزشی تدریس این موضوع در مدارس، مورد توجه بسیاری از پژوهشگران بوده‌است. نظریه‌های اتمی به عنوان پایه درک مفاهیم پیشرفته فیزیک و شیمی مانند ساختار ماده، پیوندها و واکنش‌های شیمیایی، کوانتوم، سطوح انرژی و اندرکنش ماده و امواج الکترومغناطیسی نقش اساسی دارند، اما مطالعات نشان می‌دهند که بسیاری از معلمان و دانش‌آموزان در درک این مفاهیم با چالش روبرو هستند (هریسون^۱، ۲۰۰۰).

کیرای^۲ (۲۰۱۶)، با استفاده از روش ترسیم، برداشت معلمان از مدل‌های اتمی را بررسی کرد. از مجموع ۱۴۲ معلم پیش‌خدمت ترکیه‌ای خواسته شد تا یک اتم را روی یک کاغذ سفید ترسیم کنند. مدل اتمی بور به وضوح مورد علاقه قرار گرفت، زیرا توسط نیمی از گروه ترسیم شده بود. در مقابل، تنها تعداد کمی از شرکت‌کنندگان مدل‌های اتمی مدرن را ترسیم کردند و یافته‌ها نشان داد که معلمان پیش‌خدمت در درک ماهیت مدل‌های اتمی مدرن با مشکلات قابل توجهی مواجه بودند. به گفته یاسین^۳ و آکانگول (۲۰۱۶)، مدل‌های ذهنی دانش‌آموزان ممکن است، تحت تأثیر کتاب‌های درسی آنها باشد. به گونه‌ای که تجسم اتم به شکل نظریه‌های اتمی بور و رادرفورد توسط دانش‌آموزان به خاطر ترسیم بیشتر این دو نظریه در کتب درسی است. نتیجه تجزیه و تحلیل تحقیقات بیلیر^۴ و همکارانش در سال ۲۰۱۸ نشان داده‌است که دانشجویان سال اول و دوم آموزش علوم، بیشتر نظریه اتمی بور و نظریه اتمی مدرن را اشتباه می‌گیرند. همچنین مشخص شد که دلایل اصلی این سردرگمی این است که در هر دو نظریه، پروتون‌ها و نوترون‌ها با هم در مرکز اتم (هسته) یافت می‌شوند و توسط الکترون‌هایی که به دور آن می‌چرخند، احاطه شده‌اند و دانشجویان نمی‌توانند، بین مفاهیم لایه، مدار و پوسته، تمایز قائل شوند. فیتریزا^۵ و همکارانش در سال ۲۰۱۸ با طرح سؤالات تشریحی به تشخیص برداشت دانش‌آموزان از ساختار اتم پرداختند. نتیجه این مطالعه نشان داد که بسیاری از دانش‌آموزان مفهوم نظریه اتمی بور و نظریه مکانیک موجی را به خوبی درک نمی‌کنند، بنابراین باید در مطالب آموزشی بر این مفاهیم تأکید شود. دانش‌آموزان همچنین در ترسیم مدل اتمی رادرفورد و بور تصورات غلطی داشتند. هجنوا^۶ و کرالیک (۲۰۱۹) ادعا می‌کنند که تصورات غلط دانش‌آموزان نتیجه ارائه‌های نظریات کلاسیک در مورد اتم در مدارس ابتدایی و سطوح پایین‌تر متوسطه است. مطالعات متعدد مانند تحقیق سانجیوانی^۷ و همکارانش (۲۰۲۰) نشان داده‌اند که دانش‌آموزان در درک و یادگیری این مفهوم انتزاعی و پیچیده مشکل دارند. پژوهشگران در مورد اینکه چه مدل‌های اتمی باید در برنامه‌های درسی و در چه محدوده سنی گنجانده شوند، اختلاف نظر دارند. طبق مباحث مذکور، گنجاندن یک مفهوم انتزاعی مانند اتم در برنامه درسی آموزش ابتدایی، که اولین گام آموزش را تشکیل می‌دهد، درک این مفهوم را برای دانش‌آموزان دشوار می‌کند و منجر به تصورات غلط می‌شود (هجنوا و کرالیک، ۲۰۱۹). کامیلا معتقد است که در واقع، روند یادگیری در مورد نظریه‌های اتمی در دبیرستان

¹ Harrison

² Kiray

³ Yaseen

⁴ Bilir

⁵ Fitriza

⁶ Hejnová

⁷ Sanjiwani

اغلب پیشینه و تاریخچه تفکر علمی در تدوین این نظریه‌های اتمی را توضیح نمی‌دهد، بلکه مستقیماً محتوای نظریه را ارائه می‌دهد. این امر بحث در مورد نظریه‌های اتمی را کم‌معنی‌تر می‌کند و می‌تواند، باعث کج‌فهمی شود (کامیلا^۱، ۲۰۲۰). واینر در سال ۲۰۲۰ در یک مقاله به نسبت جامع از معلمان علوم در حال خدمت ۵۸ کشور جهان دریافت، اکثریت قریب به اتفاق معلمان فرض می‌کنند که مفاهیم دانش‌آموزانشان بر دو مدل اتمی تاریخی، یعنی مدل بور و مدل رادرفورد، متمرکز است. علاوه بر این، اکثر معلمان ترجیح می‌دهند از مدل‌های اتمی تاریخی به جای مدل‌های اتمی مدرن در کلاس درس استفاده کنند. فوزیه و نویتا در سال ۲۰۲۲ به بررسی تصورات غلط دانش‌آموزان از اتم با رویکرد دیدگاه نظریه پروفایل مفهومی پرداختند. ایشان تدریس در طی روند تاریخی نظریه‌های اتمی، کم‌ترین کاهش تصورات غلط را مربوط به نظریه اتمی رادرفورد دانستند. لذا معتقد بودند، در این زمینه، مطالعات تحقیقاتی بیشتری در آینده مورد نیاز است.

یافته‌های ساری^۲ و پاتری در سال ۲۰۲۳ نشان می‌دهند، اکثر دانش‌آموزان ترجیح می‌دهند، اتم‌ها را بر اساس مدل‌ها و نظریه‌های اولیه اتم به جای جدیدترین نظریه تعریف کنند، همچنان در نوشتن پیکربندی الکترون چه بر اساس نظریه بور و چه بر اساس نظریه مکانیک کوانتومی اشتباه کرده و در ایجاد ارتباط بین خواص تناوبی مشاهده شده‌ی عنصر و ماهیت اتم‌های مربوطه ناموفق هستند. در یک تحقیق توصیفی کیفی توسط هاردیان^۳ در سال ۲۰۲۴ در اندونزی تصورات غلط دانش‌آموزان نسبت به نظریه‌های اتمی در پنج زیرمفهوم ساختار اتمی از دیدگاه نظریه اتمی بر اساس نظریه دالتون، تامسون، رادرفورد، بور و مکانیک کوانتومی؛ ذرات بنیادی (پروتون، الکترون و نوترون) و فرآیند کشف آنها؛ نمادگذاری عناصر؛ ایزوتوپ‌ها، ایزوتون‌ها و ایزوبارها و پیکربندی الکترونی طبقه‌بندی شد. او امیدوار بود، شناسایی تصورات غلط دانش‌آموزان بتواند، به مدیریت تصورات غلط دانش‌آموزان از سنین پایین کمک کند تا مانع یادگیری آنها نشوند. گامبرو^۴ و ماریسکال در سال ۲۰۲۳ در اسپانیا با طراحی و اجرای بازی با عنوان اتمیزادوس درباره ساختار اتم برای پایه نهم به نتایج مثبتی دست یافتند. در مطالعات تاریخ علم هون^۵ و گلدستون در سال ۲۰۲۴ به نقش تامسون و رادرفورد در تولد فیزیک اتمی و تعامل آزمایش و نظریه پرداختند و سالوی^۶ در سال ۲۰۲۳ سیر تحولی دالتون را از هواشناسی به اساسی‌ترین نظریه‌پرداز شیمی اتمی مورد کنکاش قرار داده است.

معدود کارهای پژوهشی مرتبط با موضوع تحقیق، در ایران نیز صورت گرفته‌است. از جمله امیری و همکارانش در سال ۱۴۰۳ طی پژوهشی دریافتند که دانش‌آموزان سال چهارم متوسطه و دانشجویان کارشناسی و کارشناسی ارشد کج‌فهمی‌های زیادی درباره کوانتوم دارند. ایشان پیش‌آموخته‌ها در سال‌های قبل، انتزاعی بودن مفاهیم و عدم تناسب محتوای علمی ارائه‌شده با سطح رشد شناختی را از عوامل پیدایش کج‌فهمی مزبور دانستند. یافته‌های رحمتی حسن‌آبادی در سال ۱۴۰۲ نیز نشان می‌دهد، بسیاری از دانش‌آموزان ساختار اتم را همان مدل اتمی بور در نظر گرفته و ایده وجود ساختارهای کوانتومی و اوربیتالی از نظر آنان بسیار ضعیف است که دلیل آن می‌تواند، توجه و تأکید کتب مختلف مقاطع تحصیلی در مورد این مدل باشد. با این وجود فقدان تحقیقات منسجم در رابطه با دانش و باور خود معلمان پیش از خدمت در ایران و در این زمینه مشهود به نظر می‌رسد.

¹ Kamila

² Sari

³ Herdien

⁴ Gambero

⁵ Hon

⁶ Salvi

روش پژوهش

پدیدارشناسی، مطالعه فلسفی ساختارهای تجربه زیسته، تجربیات دست اول و آگاهی پیرامون پدیده مورد مطالعه از دیدگاه افراد جامعه هدف است. گرچه این روش ریشه در تحقیقات ادموند هسرل^۱ در حوزه فلسفه دارد ولی با گسترش آن کاربردهای غیرفلسفی نیز پیدا کرده است، به طوری که رد پای این روش در تحقیقات روان‌شناسی و حوزه آموزش علوم مختلف مشهود است. در پدیدارشناسی به مطالعه علمی تجربیات ذهنی و دانسته‌های فرد از طریق تحلیل کلمات نوشتاری یا گفتاری آن‌ها جهت تحقیق کیفی استفاده می‌شود. بر همین اساس تحلیل پدیدارشناختی تفسیری (IPA)^۲ یک روش تحقیق کیفی است که به بررسی چگونگی درک افراد از تجربیات خود می‌پردازد. به بیان دیگر، IPA یک روش تجربی است که بر چگونگی درک افراد از آنچه برایشان اتفاق می‌افتد، تمرکز می‌کند. هدف این پژوهش مطالعه کیفیت دانسته‌های دانشجومعلمان از نظریه‌های اتمی است. انتخاب این روش کیفی، از آن روست که با تمرکز بر تجارب زیسته و ادراکات ذهنی مشارکت‌کنندگان، امکان واکاوی نظام‌مند فرآیندهای شناختی، چالش‌های یادگیری و زمینه‌های معناسازی آنان را فراهم می‌سازد (اسمیت^۳ و همکاران، ۲۰۰۹). با این رویکرد نمونه مورد نظر این تحقیق دانشجومعلمان رشته دبیری آموزش فیزیک و شیمی دانشگاه فرهنگیان تبریز در نیمسال اول سال تحصیلی ۱۴۰۳-۱۴۰۴ بود که با استفاده از روش نمونه‌گیری مبتنی بر هدف داوطلبانه، تعداد ۲۵ نفر؛ نمونه‌ی پژوهش را تشکیل دادند. نمونه‌گیری هدفمند نوعی از نمونه‌گیری کیفی است که در آن، مشارکت‌کنندگان با دو مؤلفه اساسی تمایل و تجربه در یک تحقیق شرکت می‌کنند (کینگ هوروکس^۴ و بروکس، ۲۰۲۰). در جدول ۱ ویژگی‌های جمعیت‌شناختی نمونه آماری پژوهش ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات جمعیت شناختی نمونه آماری پژوهش

بازه سنی (سال)	تعداد افراد شرکت‌کننده در پژوهش به تفکیک رشته (نفر)	
	آموزش فیزیک	آموزش شیمی
۱۸-۲۰	۵	۷
۲۰-۲۲	۴	۴
۲۲-۲۴	۳	۲
جمع هر رشته	۱۲	۱۳
جمع کل	۲۵	

تصمیم‌گیری برای پایان نمونه‌گیری، مبتنی بر اشیاع ایده‌ی نظری است. ابزارگردآوری داده‌ها، مصاحبه نیمه‌ساختار یافته بوده که مصاحبه‌های ضبط‌شده به روش استرابت و کارپینتر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. روش مزبور شامل توصیف پدیده مورد نظر توسط محقق، کنارگذاری پیش‌فرض‌های محقق، مصاحبه با شرکت‌کنندگان، قرائت توصیف‌های شرکت‌کنندگان، استخراج جوهره‌ها، پیداکردن روابط اساسی، نوشتن توصیفی از پدیده، برگرداندن توصیف به شرکت‌کنندگان و کسب تأیید آنان، مرور بر متون مربوطه و انتشار یافته‌ها می‌باشد (ادیب حاج باقری، پرویزی و صصلایی، ۱۳۹۰: ۹۲). در پژوهش حاضر نیز محقق مطابق الگوی مورد نظر پس از انجام مصاحبه با شرکت‌کنندگان و ضبط و پیاده‌سازی اطلاعات روی کاغذ، جملات و عبارات و نقل‌قول‌هایی که به

^۱ Edmund Husserl

^۲ Interpretative Phenomenological Analysis

^۳ Smith

^۴ King Horrocks

درک تجربه افراد از پدیده دلالت می‌کردند، مشخص گردیدند. در مرحله بعد محقق از عبارات مهم برای دسته‌بندی معانی که منجر به دستیابی به زیرمضمون‌ها (مضامین فرعی) می‌شد، استفاده نمود. این مضامین فرعی نیز برای نوشتن آنچه شرکت‌کنندگان تجربه کرده‌اند، در پوشش مضمون‌ها (مضمون اصلی) مورد استفاده قرار گرفت. به منظور صحت و استحکام داده‌ها و اطلاعات در پژوهش حاضر از ۴ معیار مقبولیت، قابلیت اعتماد، تأییدپذیری و انتقال‌پذیری استفاده شد. در ابتدای مصاحبه از آنها خواسته شد تا توضیحی کوتاه از نظریه‌های اتمی ارائه داده و سپس طرح کلی علت پیدایش و ضعف‌ها و همچنین طرحواره‌ای ساده از نظریه‌های مذکور را توضیح داده و ترسیم نمایند و به همین صورت مصاحبه‌ها ادامه پیدا کرد تا به اشباع رسیدند. قبل از شروع مصاحبه‌ها به جهت مباحث اخلاقی و امانت‌داری، به تمامی شرکت‌کنندگان در خصوص محرمانه‌ماندن اطلاعات، اطمینان خاطر داده‌شد و بر اختیاری بودن شرکت در پژوهش تأکید گردید. در پژوهش حاضر مطالب ارائه شده توسط شرکت‌کنندگان بر پایه روش کیفی و مبتنی بر پدیدارشناسی و پارادایم تفسیری کدگذاری شده و بدون هرگونه ارزش‌گذاری، تأویل و یا قضاوت ارزشی از نوشته‌ها با دسته‌بندی‌های ساخته‌شده از ۴مضمون اصلی و ۲۲مضمون فرعی استخراج گردید. در تحقیقات پدیدارشناسی از مشارکت‌کنندگان دو سؤال گسترده و عمومی می‌شود که شامل پرسش‌های چه و چگونه است. در واقع اصلی‌ترین سؤال هر پدیدارشناس عبارت است از: جوهره و ماهیت پدیده مورد مطالعه چیست؟ به عنوان مثال پرسش‌های چه در تحقیق پدیدارشناسی عبارت است از چه احساسی در رابطه با آن پدیده دارید؟ تفکر شما در رابطه با آن موضوع چیست (الوانی^۱ و بودلایی، ۱۳۸۹)؟ بر این اساس و با توجه به موضوع مورد مطالعه، اولین سؤال بدین صورت طراحی گردید: وقتی واژه اتم را می‌شنوید، چه شکلی در ذهن شما ترسیم می‌شود (چه تصویری از واقعیت اتم دارید؟) سؤالات دیگری در راستای هدف تحقیق به منظور واکاوی بیشتر اذهان مشارکت‌کنندگان درطول مصاحبه‌ها نیز مطرح شد که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: نظریه‌های اتمی به همراه دانشمندان مؤثر با رعایت تقدم تاریخی را نام ببرید. نقاط ضعف و قوت و علت پیدایش هر نظریه اتمی را مطرح نمایید. به نظر شما معرفی کدام مدل اتمی نقطه عطف در تحول شناخت ساختار اتم بوده‌است؟ چرا؟ به نظر شما چه ارتباطی بین فناوری‌های نوین با نظریه‌های اتمی وجود دارد؟ آیا تدریس مباحث مربوط به نظریه‌های اتمی در طول دوران تحصیل شما مثر ثمر بوده است؟ در صورت انحراف صحبت‌ها از بحث اصلی و یا اینکه واضح‌ترشدن موضوع برای پژوهشگران، از چندین سؤال راهنما، از جمله، ممکن است در مورد موضوع، بیشتر توضیح دهید؟ یا اینکه می‌توانید، واضح‌تر بیان کنید؟ یا ممکن است با یک مثال یا شکل، منظور خودتان را بیشتر توضیح دهید؟ استفاده شده‌است. برای ارزیابی داده‌های کیفی حاصل‌شده، همان‌طور که گفته شد، از شیوه‌های متنوعی استفاده شده‌است. لینکلن و گوبا (۲۰۱۰) چهار معیار اعتبار، قابلیت اطمینان، قابلیت انتقال و تأیید را برای ارزیابی داده‌های کیفی پیشنهاد می‌نمایند (ادیب حاج باقری، پرویزی و صلصالی، ۱۳۹۶). یکی از راهبردهای به کار گرفته شده اعتبار بخشی داده‌ها، استفاده از بازبینی توسط دیگران بود. نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها در اختیار سه تن از استادان صاحب‌نظر حوزه روش‌شناسی کیفی و آموزش علوم که در پژوهش‌های کیفی پیشینه خوبی داشتند، قرار گرفت و نظرات تکمیلی و انتقادی آنان لحاظ شد. همچنین متن پیاده شده مصاحبه‌ها به شکل اولیه و کدگذاری شده در اختیار مشارکت‌کنندگان قرار گرفت و نظرات آنان اخذ شد. مورد دیگری که به حقیقی‌بودن داده‌ها کمک کرد، این بود که پژوهشگران زمان کافی برای جمع‌آوری داده‌ها تخصیص دادند و درگیری مداوم در فرآیند پژوهش داشتند. به علاوه، از روش مثلث‌سازی تلفیق پژوهشگران استفاده شد. بدین صورت که در حین تحلیل و تفسیر داده‌ها، از وجود دو پژوهشگر ورزیده استفاده شد تا احتمال تک بعدی نگری و سوگیری کاهش یابد.

¹ Alwani

با توجه به اینکه نمونه‌های این پژوهش از لحاظ داده‌های دموگرافیک تقریباً همگن بودند، همان‌طور که در بالا اشاره شد، پس از تحلیل عمیق مصاحبه‌های ضبط شده، ۴ مضمون اصلی و ۲۲ مضمون فرعی از مصاحبه‌ها استخراج گردید که در جدول ۲ بدان‌ها پرداخته شده است.

جدول ۱- یافته‌های استخراج شده

مضامین اصلی	مضامین فرعی	نقل قول‌ها
کج فهمی در باب مدل‌های اتمی	سوئ تفاهم درباره مدل‌های اتمی کلاسیک	"قیافه اتم‌ها عین منظومه شمسی هست، متنها در ابعاد خیلی خیلی کوچکت"
	و مدرن	"الکترون‌ها در مدارهای دایروی ثابتی دور هسته در حال چرخش هستند"
مدل دویعدی در مقابل مدل سه بعدی		"اتم‌ها و الکترون‌های دورش مثل همان تصویرهای داخل کتاب شیمی هستند"
		"دقیقا شبیه تصاویر کتاب که در فصل‌ها توضیح داده شده است"
مفهوم اوربیتال		"بعد از کشف زیرلایه‌ها دانشمندان فهمیدند، مسیر حرکت همیشه دایره نیست. به‌طور مثال ممکن است، برای اوربیتال p دمبلی شکل باشد"
		"الکترون‌ها چون سرعتشان زیاد هست، هرکجا بیشتر می‌روند، به آن اوربیتال می‌گویند"
ابعاد اتم		"تعداد اتم‌های تشکیل دهنده این خودکار شاید به میلیارد هم برسه"
		"یادم هست زمان مدرسه رفتیم پژوهشسرا و اتم‌های کرفس را زیر میکروسکوپ دیدیم"
تفسیر نادرست از اصل عدم قطعیت هایزنبرگ		"برای مشاهده الکترون نیاز به تجهیزات و میکروسکوپ‌های گران قیمت هست"
		"شاید با پیشرفت علم یک روزی بتوان سرعت دقیق الکترون‌ها را اندازه بگیریم"
پیوندهای کوالانسی و یونی		"در پیوند اشتراکی هر کدام از اتم‌ها به الکترون می‌گذارند وسط و این دو تا الکترون مال هر دوتایشان است"
		"وقتی یک فلز با نافلز واکنش می‌دهد، فلز یک الکترونش را به نافلز می‌دهد تا هردو تا هشت تایی بشوند"
خاصیت دوگانه الکترون‌ها		"چرخش الکترون‌ها دور هسته با سرعت زیاد همان خاصیت موجی الکترون است."
		"الکترون‌ها یک لحظه ذره هستند و یک لحظه موج."
تصور نادرست از یک‌پارچگی و اجماع علمی در طول تاریخ		"بعد از ارائه نظریه اتمی شرویدینگر بقیه نظریه‌های اتمی منسوخ شدند."

- "در همه نظریه ها ساختار اتم یکسان بوده فقط در مورد برخی مسائل فرعی دانشمندان بحث می کردند." "نظریه اتمی کوانتومی را شرویدینگر معرفی کرد." "دالتون، تامسون، رادرفورد، بور و شرویدینگر به ترتیب نظریه های اتمی را معرفی کردند." "هر کدام از نظریه پردازان در زمان های گوناگون نظریه های اتمی متفاوتی ارائه دادند، بدون توجه به نظریه های قبلی"
- نادیده گرفتن بستر تاریخی و اجتماعی تأثیرگذار بر نظریه های اتمی
- "شاید اگر انرژی هسته ای به وسیله انیشتین کشف نشده بود، جنگ جهانی دوم هم اتفاق نمی افتاد. پس کشف اتم و هسته زیاد هم به درد بشریت نخورد." "دانشمندایی مثل بور و تامسون افراد باهوشی بودند که با دو تا مثال ساده کیک کشمشی و چند تا دایره شکل اتم را حدس زدند"
- کج فهمی درباره ماهیت موقت و تکاملی نظریه های علمی
- "الان بعد از نظریه شرویدینگر ما شناخت کاملی از اتم داریم." "کامل ترین و بی نقص ترین نظریه اتمی، نظریه اتمی کوانتومی است." "به نظرم اتم دیگه تموم شده الان باید بریم سراغ کاربردهاش."
- تصور خطا از نظریه های اتمی به عنوان اکتشافاتی منفرد و بدون پیشینه
- "هر کدام از دانشمندان مثل تامسون، دالتون، رادرفورد و بور یک تصویری از اتم داشتند که بعدا معلوم شد، نظر بور درست تر است." "به نظر من نظریه اتمی شرویدینگر بدون توجه به بقیه نظریه ها تمام کننده هست."
- "نظریه کوانتومی رو من زیاد آشنایی باهاش ندارم ولی فکر کنم خیلی متفاوت با بقیه نظریه ها هست." "در کتاب های دبیرستان بیشتر مدل بور را می گویند و ما اتم و اوربیتال رو بیشتر می خوانیم."
- عدم تطابق محتوای درسی با پیشرفت های علمی جدید
- "فقط کتاب فیزیک دوازدهم چند جا به کوانتوم اشاره شده اونم چون در" بیشتر بدانید" هست زیاد خوانده نمی شود"
- لزوم بازنگری محتوای درسی
- "کتاب های درسی ما در این باره ضعف دارند. بعضی از کتاب ها برای چند سال پیش هستند و به روزرسانی نشده اند."
- ساده سازی افراطی مفاهیم پیچیده اتمی
- "در کتاب های مدرسه هرکجا می خواستند اتم را نشان دهند، یک نقطه پر رنگ می گذاشتند، چند تا دایره دورش."
- "به دلیل اینکه نظریه اتمی برای خیلی از بچه ها در مدرسه مخصوصا مدارس معمولی مبهم هست، بیشتر

معلمان یا خیلی سریع از روی درس می‌گذرند یا اینکه برای درک همه خیلی ساده‌سازی می‌کنند.

عدم توجه به سیر تکاملی تاریخی مدل- در کتاب علوم تجربی یهو مدارهای الکترونی را که های اتمی همان مدل بور است، آورده. "

" تنها من نه، تقریباً همه توانایی این را نداریم که یک نگاه کلی از تکامل نظریه‌های اتمی را ارائه بدهیم. "

" بعد از کلی خواندن مطالب در مورد اتم در کلاس- های شیمی یک دفعه معلم فیزیک ما آمد سر کلاس و گفت اتم واقعی آن چیزی نیست که در شیمی خوانده‌اید. "

عدم هماهنگی بین رشته‌های تخصصی

" تو فیزیک اتم را بجوری خونديم تو شیمی به جور دیگه. "

" یادم نمی‌آید که به غیر از رسم لایه‌های الکترونی و تعداد الکترون‌های هر لایه سؤال دیگه‌ای از ما پرسیده باشند. "

چالش‌های ارزشیابی ناکارآمد

"ما فقط در دبیرستان اسم نظریه‌های اتمی را حفظ می‌کردیم. فقط همین."

"حتماً می‌شود برای مدل‌های اتمی بازی‌های کامپیوتری به درد بخور طراحی کرد. "

" این همه از وسایل کمک آموزشی حرف زده می‌شود ولی در عمل تدریس فقط به صورت سخنرانی به وسیله معلم است. "

راهبردهای ارتقای دانش نظری مدل اتمی استفاده از روش‌های تدریس فعال و تعاملی

" الان کلیپ‌های آموزشی می‌توانند، خیلی تأثیر داشته باشند. اپلیکیشن‌های خیلی زیادی وجود دارد که می‌توانند، دانش‌آموزان را به این مطالب علاقه‌مند کنند. "

توسعه منابع یادگیری چندرسانه‌ای

" یکی از فیلم‌های مورد علاقه من اپنهایمر است. چرا این فیلم‌ها در دبیرستان نشان داده نمی‌شود. "

" تنها کاربردی که از نظریه‌های اتمی یادم هست، واکنش‌های شیمیایی و اکتایی شدن اتم‌هاست. "

" می‌دانم انیشتین با مدل اتمی کوانتومی لیزر را کشف کرد. "

تقویت ارتباط بین مفاهیم نظری و کاربردهای عملی

" معلم‌های ما در فناوری‌های جدید علمی اصلاً به روز نیستند، این، نیاز روز افزون برای بازآموزی رو نشان می‌دهد. "

توسعه برنامه‌های آموزش پیش از خدمت یا ضمن خدمت معلمان

" علوم تجربی با سرعت بالایی دارند پیش می‌روند و پیشرفت می‌کنند که مدارس ما مخصوصاً در این دروس خیلی عقب هستیم "

"معلمان برای تدریس باید خودشان اطلاعات کافی در رابطه با این موضوع داشته باشند بعد بتوانند، به دانش‌آموزان تدریس کنند."

"فکر کنم بخش تاریخیچه نظریه‌های اتمی بستر خوبی برای جشنواره الگوهای برتر تدریس به روش شبیه‌سازی باشد."

"ما می‌خواستیم برای دست‌سازه درس فیزیک مدل اتمی بور را درست کنیم خیلی هم مطالعه و تحقیق کردیم این مطالعات بودند که مارو به کم آشنا کردند با مدل‌های اتمی"

تشویق پژوهش‌های دانشجویی

مضمون اصلی ۱: کج فهمی در باب مدل‌های اتمی

یکی از مضامین فرعی یافت‌شده از مصاحبه‌ها، سوء تفاهم درباره مدل‌های اتمی کلاسیک و مدرن بود. اغلب تصور دانشجویان از اتم به صورت مدل مینیاتوری و بسیار کوچک از منظومه شمسی است و تصویری از مدل‌های کوانتومی ندارند. مضمون فرعی دیگر استخراج‌شده، مدل دوبعدی در مقابل مدل سه‌بعدی بود. به خاطر ترسیم مدارات مدل اتمی بور به حالت دوبعدی در صفحه، در برخی از مواقع به غلط تصور دوبعدی از اتم مشاهده می‌شود. کج‌فهمی در باب مفهوم اوربیتال مضمون دیگری بود که از دل بیانات شرکت‌کنندگان استخراج شد و اغلب دانشجویان درکی از مفهوم ابرالکترونی نداشته و تصور می‌شود، الکترون‌ها به عنوان یک جسم صلب در مکان‌های مشخصی در اوربیتال شناورند. مضمون فرعی بعدی مستخرج از مصاحبه‌ها ابعاد اتم است. اکثر دانشجویان باورهای غلطی از اندازه و ابعاد اتم داشتند و می‌پندارند با میکروسکوپ اتم و اجزای آن شامل هسته و مدارهای الکترونی قابل مشاهده است. در مواقع نادری تصور اتم در ابعاد و یا به جای سلول‌های زیستی نیز مشاهده شد. مضمون فرعی تفسیر نادرست از اصل عدم قطعیت هایزنبرگ، مضمون دیگری بود که از مصاحبه‌ها یافته شد. به‌طوری‌که ۱۷ نفر از شرکت‌کنندگان عدم قطعیت ذاتی در سرعت و مکان الکترون را به‌سان خطا در دستگاه‌های اندازه‌گیری آزمایشگاهی می‌پندارند. در حالی که عدم قطعیت در اندازه‌گیری به ماهیت ذرات کوانتومی و اثر اندازه‌گیری بر سیستم بر می‌گردد. مضمون دیگر استخراج‌شده از بطن مصاحبه‌ها پیوندهای کوالانسی و یونی بود. تصور مشارکت‌کنندگان از واکنش‌ها و پیوندهای شیمیایی عین داد و ستد فیزیکی در ابعاد بزرگ است. ضعف کلی آنها در مفهوم الکترون‌خواهی اتم‌ها و بارهای جزئی بود. خاصیت دوگانه الکترون‌ها مضمون فرعی آخر مربوط به کج‌فهمی شرکت‌کنندگان بود. آنها تصور می‌کنند، وقتی از خاصیت موجی الکترون صحبت می‌شود، منظور همان نوسان فیزیکی خود الکترون‌هاست و پنداری از خاصیت موجی ذره‌ای الکترون ندارند. ۶ نفر از شرکت‌کنندگان فکر می‌کنند، الکترون در یک لحظه فقط موج یا فقط ذره است، در حالی که ماهیت آن ذاتاً دوگانه است.

مضمون اصلی ۲: فقدان یا نقص دانش تاریخی از نظریه‌های اتمی

یکی از مضمون‌های فرعی استخراج‌شده از بطن مصاحبه‌ها برای این مضمون اصلی، تصور نادرست و ناقص از یکپارچگی و اجماع علمی در طول تاریخ بود که باور غلط اکثر مشارکت‌کنندگان به اینکه دانشمندان همیشه در مورد ساختار اتم توافق داشته‌اند، درحالی‌که نظریه‌های اتمی همواره محل بحث و اختلاف بوده و همیشه در پذیرش نظریه جدید مقاومت‌های علمی و اجتماعی وجود داشته‌است. سوءبرداشت از نقش دانشمندان در توسعه نظریه اتمی مضمون فرعی دیگر در

این مورد بود. انتساب نظریه اتمی صرفاً به یک یا دو دانشمند (مثل دالتون یا بور)، بدون توجه به مشارکت دیگران و نظریه‌های رقیب از نظر مشارکت‌کنندگان در مصاحبه‌ها استخراج گردید. مضمون بعدی مستخرج از درون مصاحبه‌ها، نادیده‌گرفتن بستر تاریخی و اجتماعی تأثیرگذار بر نظریه‌های اتمی بود که عدم ارتباط بین پیشرفت‌های علمی و تحولات فناوری (مثل میکروسکوپ الکترونی) یا نیازهای تاریخی (مثل انرژی هسته‌ای در جنگ جهانی) نشان‌دهنده این موضوع بود. یکی دیگر از مضامین فرعی استخراج‌شده کج‌فهمی درباره ماهیت موقت و تکاملی نظریه‌های علمی بود که تصور نادرست از مدل‌های فعلی اتم به‌عنوان نظریه‌های نهایی و تغییرناپذیر این موضوع را تأیید می‌کرد. تصور خطا از نظریه‌های اتمی به‌عنوان اکتشافاتی منفرد و بدون پیشینه مضمون فرعی دیگر بود که با باور نادرست مبنی بر اینکه نظریه اتمی یک‌باره و بدون سیر تکاملی و در قطاع‌هایی از تاریخ در جزایر منفک از هم شکل گرفته است، به‌دست می‌آمد.

مضمون اصلی ۳: لزوم بازنگری محتوای درسی

یکی از مضمون‌های فرعی مستخرج از مصاحبه‌ها عدم تطابق محتوای درسی با پیشرفت‌های علمی جدید بود. تأکید بیش از حد بر مدل‌های قدیمی (مانند بور) و کم‌توجهی به مکانیک کوانتومی. همچنین نادیده‌گرفتن یافته‌های جدید در فیزیک ذرات و تأثیر آن بر درک ساختار اتم این عدم تطابق را آشکارتر می‌کرد. مضمون فرعی استخراج‌شده از درون مصاحبه‌های ضبط‌شده ساده‌سازی افراطی مفاهیم پیچیده اتمی بود. ارائه مدل‌های دو بعدی و غیرواقعی از اتم درک صحیحی از ساختار سه‌بعدی در مشارکت‌کنندگان ایجاد نکرده بود که این می‌توانست، از عدم تدریس اصولی و عمیق این مدل‌ها باشد. عدم توجه به سیر تکاملی تاریخی مدل‌های اتمی مضمون فرعی بعدی مستخرج از مصاحبه بود. ارائه مدل‌ها به صورت مجزا و بدون نشان‌دادن ارتباط و تکامل آنها در برنامه درسی فعلی عامل ایجادکننده این مضمون فرعی می‌توانست باشد. مضمون فرعی دیگر مرتبط با این مضمون اصلی عدم هماهنگی بین رشته‌ای مخصوصاً شیمی و فیزیک بود. جداسازی آموزش مفاهیم اتمی در دروس فیزیک و شیمی نشان‌دهنده این شکاف است. آخرین مضمون یافت‌شده از بطن مصاحبه‌ها چالش‌های ارزشیابی ناکارآمد در مدارس و نظام آموزشی ما بود. عدم طراحی سؤالاتی که توانایی تحلیل و تطبیق مدل‌ها را بسنجد و تأکید بر آزمون‌های حفظی به جای سنجش درک مفهومی، از جمله این مضامین بود. سؤالات سطحی نه تنها انگیزه یادگیری را کاهش می‌دهند، بلکه تفکر علمی را نیز محدود می‌کنند. برای آموزش مؤثر نظریه‌های اتمی، باید از پرسش‌های چالشی، تاریخی و کاربردی استفاده کرد تا دانشجو بتواند، ارتباط بین نظریه‌ها را درک کند، علم را به عنوان یک فرآیند پویا ببیند و کاربردهای عملی نظریه‌ها را کشف کند.

مضمون اصلی ۴: راهبردهای ارتقای دانش نظری مدل اتمی

استفاده از روش‌های تدریس فعال و تعاملی، توسعه منابع یادگیری چندرسانه‌ای، تقویت ارتباط بین مفاهیم نظری و کاربردهای عملی، توسعه برنامه‌های آموزش پیش و ضمن خدمت معلمان و تشویق پژوهش‌های دانشجویی در دانشگاه‌های فرهنگیان، مضامین فرعی مستخرج از دل مصاحبه‌های ضبط‌شده بود. به‌کارگیری شبیه‌سازهای دیجیتال و مدل‌های سه‌بعدی برای نمایش ساختار اتم به جای تدریس سنتی کاغذی، تولید انیمیشن‌ها و ویدئوهای آموزشی برای تجسم بهتر رفتار الکترون‌ها و اوربیتال‌ها و واکنش‌ها و پیوندهای شیمیایی، ارائه مثال‌های واقعی از نقش مدل‌های اتمی در فناوری‌های نوین (مثل نانو تکنولوژی و لیزر)، برگزاری دوره‌های تخصصی برای معلمان در مورد جدیدترین پیشرفت‌های علوم علی‌الخصوص فیزیک و شیمی و نظریه اتمی و برگزاری مسابقات علمی برای ایده‌پردازی درباره آموزش نظریه‌های اتمی و سایر موضوعات علوم پایه نشان‌دهنده این مضمون کلی بودند. در شکل‌های زیر چند نمونه از پاسخ به سؤال‌های مصاحبه‌ها آمده است.



شکل ۱- چند نمونه از پاسخ‌ها به سؤال "وقتی واژه اتم را می‌شنوید، چه شکلی در ذهن شما ترسیم می‌شود؟"

مدل اتمی بور	مدل اتمی تامسون	مدل اتمی دالتون
مدل اتمی بور	مدل اتمی تامسون	مدل اتمی دالتون
مدل اتمی بور	مدل اتمی تامسون	مدل اتمی دالتون

شکل ۲- چند نمونه از پاسخ به سؤال رسم مدل نظریه‌های اتمی



شکل ۳- چند نمونه از پاسخ به سؤال رسم مدل نظریه اتمی ابرالکترونی و توصیف آن

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تصورات، باورها و دانسته‌های دانشجومعلم‌ان درباره نظریه‌های اتمی، اغلب سطحی و مبتنی بر آموزش سنتی بوده و ضعف مشهودی در درک برخی مفاهیم انتزاعی ساختار اتم به خصوص فیزیک مدرن، همچون نظریه موجی شرودینگر، خاصیت دوگانه الکترون، نظریه عدم قطعیت هایزنبرگ و نظریه احتمالی و ابرالکترونی مشاهده می‌شود. اکثر شرکت‌کنندگان، الکترون‌ها را به عنوان ذراتی که در مدارهای ثابت (نظریه منظومه‌ای) حرکت می‌کنند، پنداشته و هیچ ذهنیتی از درک احتمال حضور الکترون‌ها در اوربیتال‌ها ندارند. این موضوع را شاید بتوان به تأکید بیش از حد به نظریه اتمی بور در مدارس نسبت داد (رحمتی حسن‌آبادی و پایدار، ۱۴۰۲). گذشته از آن ذهنیت اولیه تعدادی از افراد در برخورد اول، اتم به عنوان جسم کروی جامد توپر شبیه نظریه اتمی دالتون می‌باشد. این تصور غلط به عنوان ذهنیت اولیه و نه به عنوان برگه از تاریخچه تکامل نظریه‌های اتمی برای معلمان آینده علوم خالی از اشکال نیست. باور به اینکه «الکترون‌ها در تمام مدت در یک مسیر مشخص حرکت می‌کنند»، نشان از عدم درک رفتار موجی - ذره‌ای الکترون است. به جز معدود افراد مشارکت‌کننده، شناخت تاریخچه روند تکامل نظریه‌های اتمی مطلوب است. با این وجود در فهم علت پیدایش هر یک از نظریه‌ها و ضعف آنها، کاستی‌هایی دیده می‌شود. در تعداد انگشت شماری از افراد، تصورات غلط مانند ابعاد اتم و مقایسه آن با سلول و اعطای صفات موجودات زنده و انسان‌گرایانه به آن دیده می‌شود. با توجه به موارد گفته شده، هر چند در برخی مواقع نقص‌ها و کج‌فهمی‌ها از منابع غیررسمی مانند اینترنت و فضای مجازی، فیلم‌های مستند و علمی-تخیلی و همچنین کتاب‌های علمی عمومی نشئت می‌گیرند ولی در کل می‌توان نتیجه گرفت که این موارد ریشه در کاستی‌های برنامه درسی دوره متوسطه داشته و منجر به شکل‌گیری چارچوب‌های ذهنی نادرست می‌شود. نتایج به مؤلفان کتاب‌های درسی هشدار می‌دهد که ذکر اجمالی و بدون بسترسازی یک مفهوم پیچیده مثل نام‌بردن از اوربیتال بدون توضیح مفهوم احتمال می‌تواند، بیش از آنکه مفید باشد، مضر بوده و منجر به شکل‌گیری کج‌فهمی‌های پایدار شود. نقطه

بحرانی زمانی است که این افراد، با همان پیش‌زمینه‌های نیازمند اصلاح، وارد دوره‌های تربیت معلم می‌شوند. برنامه درسی کنونی دانشگاه اغلب بر محتوای پیشرفته همچون مکانیک کوانتوم و شیمی کوانتوم متمرکز است، بدون آنکه به طور سیستماتیک به بازسازی چارچوب‌های ذهنی نادرست بپردازد. این چارچوب‌ها در دوره دانشگاه، به دلیل عدم پرداختن هدفمند در برنامه درسی، تداوم یافته و تثبیت می‌شوند. در نتیجه، بسیاری از دانشجومعلمان فارغ‌التحصیل می‌شوند، در حالی که خود تسلط مفهومی بر این مباحث ندارند و قاعدتاً قادر نخواهند بود، آن را به شکلی صحیح به نسل بعد بیاموزند. این چرخه معیوب، تداوم کج‌فهمی را در سیستم آموزشی تضمین می‌کند. حل این معضل نیازمند بازنگری دو سطحی است. اول اصلاح بنیادین برنامه درسی شیمی و فیزیک متوسطه با تأکید بر درک مفهومی و تاریخی و در مرحله بعد باز طراحی برنامه درسی دانشگاهی و ارائه درس یا واحدی اختصاصی با عنوان پیشنهادی «چگونگی آموزش مفاهیم انتزاعی فیزیک و شیمی» است. در این واحد درسی، باید به طور مستقیم به کج‌فهمی‌های رایج مشابه مواردی که در این پژوهش شناسایی کرده‌ایم، پرداخته و راهکارهای آموزشی، استفاده از شبیه‌سازها و ارائه قیاس‌های مناسب به معلمان آینده آموزش داده شود. نتایج این تحقیق، همسو با نتایج پژوهش قاسمی و همکاران در سال ۱۴۰۰ است. ایشان با تحلیل عمیق برنامه درسی عملی‌شده فیزیک دوره دوم متوسطه و ارزشیابی آن در پایه یازدهم، نتیجه گرفتند که توجه به تفاوت‌های فردی دانش‌آموزان و در کنار آن توجه به یادگیری مشارکتی، اجتماعی و گروهی، انتخاب الگوی تدریس مناسب و متناسب با رویکرد تلفیقی و زمینه محور و توجه به اهمیت کاربرست آموخته‌ها در موقعیت جدید، تعیین اهداف از جنس شایستگی و توجه به سطوح بالای یادگیری، توجه به یادگیری فعال و تولید مفهوم توسط یادگیرنده، طراحی مناسب فعالیت‌های خارج از کلاس و خودارزیابی و دگرازیابی توسط یادگیرندگان از جمله مواردی هستند که باید مورد توجه برنامه‌های درسی جدید باشند. همچنین معلمان باید با بازآموزی بتوانند، در اطلاعات خود بازنگری کرده و این موارد را رعایت کنند. برای این منظور راهبردهایی نیز استخراج شده‌است که از جمله آنها می‌توان استفاده از روش‌های تدریس فعال و تعاملی، توسعه منابع یادگیری چندرسانه‌ای، تقویت ارتباط بین مفاهیم نظری و کاربردهای عملی، توسعه برنامه‌های آموزش پیش و ضمن خدمت معلمان و تشویق پژوهش‌های دانشجویی در دانشگاه‌های فرهنگیان را نام برد. یافته‌های این پژوهش با نتیجه تحقیقات امیری و همکارانش (۱۴۰۳) که بیان کرده بودند، دانش‌آموزان سال چهارم متوسطه و دانشجویان کارشناسی و کارشناسی ارشد کج‌فهمی‌های زیادی درباره کوانتوم دارند، همسو است. ایشان پیش‌آموخته‌ها در سال‌های قبل، انتزاعی بودن مفاهیم و عدم تناسب محتوای علمی ارائه شده با سطح رشد شناختی را از عوامل پیدایش کج‌فهمی مزبور دانستند. همچنین یافته‌های رحمتی حسن‌آبادی در سال ۱۴۰۲ نیز نشان می‌دهد، بسیاری از دانش‌آموزان ساختار اتم را همان مدل اتمی بور در نظر گرفته و ایده وجود ساختارهای کوانتومی و اوربیتالی از نظر آنان بسیار ضعیف است که دلیل آن می‌تواند، توجه و تأکید کتب مختلف مقاطع تحصیلی در مورد این مدل باشد که نشان می‌دهد، یافته‌های این تحقیق نیز با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش همسویی دارد.

کایا^۱ طی پژوهشی در سال ۲۰۲۳ برای غلبه بر کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان در رابطه با نظریه‌های اتمی، پیشنهاد کرد که در مدارس ابتدایی و متوسطه اول، نظریه‌ها و مدل‌های اتمی تدریس نشوند. علاوه بر این به نویسندگان کتاب‌های درسی توصیه کرد که در انتخاب مدل‌های اتمی در کتاب‌های درسی، بسیار حساس باشند تا اطمینان حاصل شود که دانش‌آموزان در نمایش مدل‌های اتمی و شکل اتم مشکلی نخواهند داشت. همچنین اعلام کرد که معلمان باید هنگام توضیح شکل هر مدل، بر رابطه بین جدیدترین اطلاعات در مورد موضوع و اطلاعات ارائه شده تأکید کنند تا از سوءتفاهم جلوگیری شود. از طرف دیگر برای اینکه

^۱ Kaya

دانش‌آموزان بتوانند، ساختار اتم‌ها را به صورت ذهنی تجسم کنند، معلمان باید از شبیه‌سازی‌های سه‌بعدی تهیه شده توسط متخصصان در کلاس‌های خود استفاده کنند. فقدان تفکر انتقادی در بین دانشجویان می‌تواند، نقش مهمی در باورهای نادرست آنها داشته باشد. به اساتید توصیه می‌شود که از روش سنتی تدریس فاصله بگیرند و بر دانشجویان به عنوان بازیگران اصلی در فرآیند یادگیری تمرکز کنند. دانشجویان باید در بحث محتوا و تمرین حل مسئله در کلاس مشارکت داشته باشند و تشویق شوند که به طور فعال در پیشرفت دوره شرکت کنند و به عنوان متفکران مستقل تشویق شوند. همچنین درک و آگاهی دانشجویان از اهمیت موضوع در علم مدرن، ضروری است (مالکاوی^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). برای غلبه بر مشکل، تنها اصلاحات در حیطه انتقال اطلاعات یادگیری مفاهیم اتمی به تنهایی کافی نیست، بلکه دانش‌آموزان را نیز باید به عنوان عنصرهای فعال در فرآیند یادگیری علمی درگیر کرد (مونتریگیاس^۲ و همکاران، ۲۰۲۵). معلمان می‌توانند، دانش‌آموزان را برای به چالش کشیدن تصورات غلط خود در کلاس درس راهنمایی کنند. برای این منظور استفاده از انیمیشن مفهومی و آموزشی در تدریس و یادگیری مفید است. انیمیشن مفهومی ابزاری مؤثر برای افزایش مهارت‌های تفکر انتقادی، ایجاد انگیزه و مشارکت دانش‌آموزان است (سامبری^۳ و کینیا، ۲۰۱۹). تأکید بر نکاتی که مفاهیمی مانند احتمال یا کوانتیزاسیون انرژی الکترون‌ها را برجسته می‌کنند یا توجه به تفاوت‌های بین مفاهیمی مانند اوربیتال و مدار ضروری است. برای این منظور، برنامه و کتاب‌های درسی نیز باید از چنین تلاشی پشتیبانی کنند. (زارکادیس^۴ و همکاران، ۲۰۲۱).

بنابراین پیشنهاد می‌شود، ضمن مشارکت دادن بیشتر به معلمان در مراحل مختلف تولید برنامه و نظارت جدی‌تر بر عملی‌شدن آن، زمینه‌های تعامل معلمان با یکدیگر جهت هم‌اندیشی و تبادل تجربیات زیسته هنگام عملی‌شدن برنامه و نیز فرصت بیان و اصلاح تفاسیر آنان از اسناد بالادستی فراهم آید. علاوه بر این، لازم است، پژوهش‌های استادان و دانشجویان رشته‌های آموزش فیزیک، شیمی و علوم تجربی را که برای بهبود عملکرد و برنامه‌ریزی آینده آنان به عنوان معلمان نسل بعد طراحی شده‌است، مورد بررسی قرار داده و از نتایج آن برای پیشرفت نظام آموزشی بهره بگیریم. از این رو، انجام پژوهش‌های ارزشیابی برای برنامه‌های درسی علوم تجربی، فیزیک و شیمی در پایه‌های مختلف تحصیلی و شاخه‌های گوناگون، بسیار سودمند خواهد بود. بررسی میزان دستیابی دانش‌آموزان به اهداف و شایستگی‌های مورد نظر توسط پژوهشگران، می‌تواند، به اصلاح و بهبود این برنامه‌ها منجر شود. این امر به آموزش بهتر مفاهیم بنیادی، ترویج یادگیری مادام‌العمر، تقویت مهارت‌های حل مسئله و پرورش تفکر انتقادی در دانش‌آموزان کمک شایانی خواهد کرد.

این پژوهش، به دلیل مواجهه با محدودیت‌های مالی و زمانی و عدم دسترسی به افراد، صرفاً با مشارکت دانشجو معلمان رشته‌های آموزش فیزیک و آموزش شیمی یکی از پردیس‌های استانی دانشگاه فرهنگیان به انجام رسید. با این حال، به دلیل کلیت موضوع مورد بررسی، امید می‌رود، یافته‌های آن قابلیت تعمیم به سایر جامعه‌های همسان در پردیس‌های دانشگاهی غیر را داشته باشد. البته در تعمیم‌پذیری آن به گروه‌های دیگر همچون معلمان باسابقه و سایر رشته‌ها باید به دیده‌ی تردید نگریسته شود و نیاز به تحقیق بیشتری دارد.

^۱Malkawi

^۲ Moneteringtyas

^۳Samborey

^۴ Zarkadis

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافع وجود ندارد.

موازن اخلاقی

در انجام این پژوهش تمامی موازن و اصول اخلاقی رعایت گردیده است.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به صورت برابر در نگارش این مقاله مشارکت داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب سپاس و قدردانی خود را از دانشگاه فرهنگیان تبریز به دلیل حمایت‌های انجام گرفته، اعلام می‌دارند.

References

- Adib hajbagheri, M., Parvizi, S., Salsali, M. (2017). Qualitative research methods, Bashari Publisher, Tehran.
- Alvani, M., Budlaei, H. (2011). Phenomenology in Entrepreneurship studies. Management Sciences of Iran, 5(19), 33-62. <https://sid.ir/paper/130395/fa>
- Amiri, A., Shakerbaghani, A., Tavakoli, Z. (2013). Comparison of Misunderstandings of Quantum Chemistry Concepts for Final Year High School Students and Undergraduate and Graduate Chemistry Students. 8th Iranian Chemistry Education Seminar. Semnan, Semnan University Faculty of Chemistry, September 26-27.
- Bilir, V., Digilli Baran, A., Karaçam, S. (2018). Atomic Theories That Preservice Science Teachers Confuse and Underlying Reasons. İnönü Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 19(1), 212–220. <https://doi.org/10.17679/inuefd.331368>
- Fauziah, R. U., Novita, D. (2022). Conceptual profile in chemistry: the matter of atomic theories. Journal of Chemistry Education Research, 6(2), 119–123. <https://doi.org/10.26740/jcer.v6n2.p119-123>
- Fitriza, Z., Gazali, F. (2018). Diagnosing Students' conception on atomic structure using open ended questions. Journal of Physics: Conference Series, 1013, 012097.
- Gambero, J. R., Mariscal, A. J. F. (2023). "Atomizados": An Educational Game for Learning Atomic Structure. A Case Study with Grade-9 Students with Difficulties Learning Chemistry. Journal of Chemical Education, 100(8), 3114–312. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00614>
- Ghasemi, F., Aliasgari, M., Niknam, Z., Amani, M. (2022). Evaluation of The Enacted New Physics Curriculum: A Research based on Eisner' s Educational Connoisseurship and Criticism. Journal of Curriculum Studies, 17(66), 177-210. <https://doi.org/20.1001.1.17354986.1401.17.66.7.7>
- Harrison, W. A. (2000). Applied Quantum Mechanics. WORLD SCIENTIFIC.
- Hejnová, E., Králík, J. (2019). Images of atoms in physics textbooks for lower secondary schools vs. misconceptions of pupils about atoms. AIP Conference Proceedings, 2152, 030006. <https://doi.org/10.1063/1.5124750>
- Hon. G., Goldstein, B. R. (2023). The Roles of Thomson and Rutherford in the Birth of Atomic Physics: The Interaction of Experiment and Theory. Annalen der Physik, 536(8), 2400090, 1-5. <https://doi.org/10.1002/andp.202400090>
- Husserl, E. (1389). Phenomenological Idea, translated by Abdolkarim Rashidian, Scientific and Cultural Publications, Tehran.
- Kamila, S., & Louise, I. (2021). Development of story of atom enrichment book apply four steps teaching material development (4S TMD). Journal of Physics: Conference Series, 1806(1), 012202.
- Kaya, A. (2023). Addressing student misconceptions about atoms and examining instructor strategies for overcoming them. Journal of Pedagogical Research. LOCKSS, 251-262 <https://doi.org/10.33902/JPR.202323077>
- King, N., Horrocks C & Brooks, J. (2018-2020), Interviews in qualitative research. sage.
- Kiray, S. A. (2016). The pre-service science teachers' mental models for concept of atoms and learning difficulties. International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology, 4(2), 147-162. <https://doi.org/10.18404/ijemst.85479>
- Malkawi, E. O., Obeidat, S. M., Al-Rawashdeh, N. A. F., Tit, N., & Obaidat, I. M. (2018). Misconceptions about Atomic Models Amongst the Chemistry Students. International Journal for Innovation Education and Research, 6(2), 256–263. <https://doi.org/10.31686/ijer.vol6.iss2.958>

- Moneteringtyas, C. P., Sari, K. M., Pangestika, I., Rohmah, N. D. (2025). Reevaluation of Misconceptions Regarding Atomic Structure and Subatomic Particles and Their Implications for Scientific Understanding: A Literature Review. *Journal of Chemistry Sciences and Education*, 2(1), 39-46.
- Mortimer, E.F., Scott, P., do Amaral, E.M.R., El-Hani, C.N. (2014). Conceptual Profiles: Theoretical-Methodological Bases of a Research Program. In: Mortimer, E., El-Hani, C. (eds) *Conceptual Profiles. Contemporary Trends and Issues in Science Education*, vol 42. Springer, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9246-51>.
- Rahmati Hasan abadi, F. and Paidar, M. (2023). The most common misconceptions of 10th grade students about the basic concepts of high school chemistry course. *Research in Chemistry Education*, 5(1), 52-67. <https://doi.org/10.48310/chemedu.2023.3250>
- Rahmati Hasan abadi, F. and Paidar, M. (2023). The most common misconceptions of 10th grade students about the basic concepts of high school chemistry course. *Research in Chemistry Education*, 5(1), 52-67.
- Salvi, P. R. (2023). Dalton's Long Journey from Meteorology to the Chemical Atomic Theory. *Substantia*, 7(2), 101–119. <https://doi.org/10.36253/Substantia-2126>
- Samborey, S., Kina. S. (2019). Preliminary Finding on Teacher Trainees' Misconceptions in Atom and Molecule. *Proceedings of the Annual Meeting of Japan Society for Science Education*, 43(1), 590-593. J-STAGE
- Sanjiwan, N.L. I., Muderawan, I.W., Sudiana, I.K. (2020). Analysis of Student Chemistry Learning Difficulties on Buffer Solution at SMA Negeri 2 Banjar Buleleng Bali. *International Conference on Mathematics and Natural Sciences*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1503/1/012038>
- Sanjiwani, N. L. I., Muderawan, I. W., Sudiana, I. K. (2020). Analysis of Student Chemistry Learning Difficulties on Buffer Solution at SMA Negeri 2 Banjar Buleleng Bali. *Journal of Physics: Conference Series*, 1503(1), 012038. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1503/1/012038>
- Sari, M. P., Putri, R. E. (2023). Science student teachers' understanding about atom: An investigation on prior knowledge Available to Purchase. *AIP Conf. Proc.* 2673, <https://doi.org/10.1063/5.0125322>
- Smith, J.A., Flowers, P. Larkin, M. (2009). *Interpretative Phenomenological Analysis*. London: Sage.
- Thompson, A. G. (1992). Teachers' beliefs and conceptions: A synthesis of the research. *Handbook of research on mathematics teaching and learning*, 127–146. <https://doi.org/10.1037/05911-007>
- Wiener, J. (2020). Science Teachers' Conceptions of Atomic Models. *European Journal of Mathematics and Science Education*, 1(2), 67–80. <https://doi.org/10.12973/ejmse.1.2.67>
- Yaseen, Z., Akangül, S. (2016). Comparison of high school students' mental models about atom with the visuals in textbooks. *Mehmet Akif Ersoy University Journal of Education Faculty*, 40, 469-490. <https://doi.org/10.21764/efd.39536>
- Zarkadis, N., Stamovlasis, D., & Papageorgiou, G. (2021). Studying the coherence of students' portrayed representations of the atomic structure - Connections with conceptions and misconceptions. *Science Education International*, 32(2), 164–171. <https://doi.org/10.33828/sei.v32.i2.10>