



Applying educational analogies in teaching electronic configuration: a creative approach to enhancing the learning of abstract concepts in 10th grade chemistry

Mahshid Golestaneh^{1,*}, Shaghayegh Ahmadi², Seyed Mohsen Mousavi¹

¹ Department of Chemistry Education, Farhangian University, P.O. Box 14665-889, Tehran, Iran

² High School Chemistry Teacher, Ministry of Malayer, Hamadan. Iran

* Corresponding author: (✉) m.golestaneh@cfu.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: This study aimed to design and implement analogies for teaching the concepts of electron configuration, Aufbau's principle, and electron excitation in 10th-grade chemistry, and to investigate their effect on students' motivation and learning. **Methods:** This study used a quasi-experimental design with a pretest-posttest control group. The statistical population consisted of 10th-grade students in Malayer, Iran during the academic year 2024-2025. Among them, 50 students were selected through convenience sampling and assigned to two groups of 25 participants in each; one group served as the experimental group and the other as the control group. The experimental group was taught through analogical instruction, while the control group received traditional teaching. Data collection instruments included academic achievement tests (pretest & posttest) and a student survey designed to assess students' attitudes. Data were analyzed using SPSS version 26 with descriptive and inferential statistics. **Findings:** Levene's test and the Kolmogorov-Smirnov test confirmed homogeneity of variances with normal data distribution. Cohen's d effect size was 1.80, and Eta squared was 0.458, indicating a large and statistically significant effect at the 95% confidence level. Survey results showed that 88% of the students rated this method as effective in increasing motivation, 84% found it helpful in learning complex chemistry concepts, and 92% expressed willingness to have this method applied in teaching other chemistry topics. **Conclusion:** The study demonstrated that analogy can facilitate learning and enhance students' interest in teaching complex chemistry concepts.

Keywords: Analogy, Chemistry, 10th grade, Electronic configuration, Students, Learning.

RESEARCH ARTICLE

Received: 00 February 2025

Revised: 00 March 2025

Accepted: 00 April 2025

Published online: 00 April 2025

Print ISSN: [3041-9271](#)

ISSN (Online): [2717-2279](#)

Citation: Author, F. (2025). Title of the article. *Research in Chemistry Education*, 7(1), 00-00.



<https://doi.org/>



© The author(s)

Publisher: Farhangian University



Extended Abstract

Introduction

One of the core principles of effective science instruction is helping students ‘make the unfamiliar familiar’—that is, enabling them to connect new scientific ideas to their prior knowledge and real-life experiences (Seiler & Huggins, 2018; Keri & Elbatarny, 2021). Many scientific concepts are abstract, intangible, and cannot be easily visualized in the classroom. To overcome this challenge, science teachers often rely on analogies that link unfamiliar concepts with familiar objects, situations, or processes already embedded in learners’ minds (Nakiboglu & Taber, 2013).

Analogical reasoning has long been recognized as a powerful instructional strategy in science education. The term *analogy*, derived from the Greek *analogia*, refers to a relationship of similarity or correspondence between two entities in any domain—physical, conceptual, or symbolic. In educational contexts, it involves mapping a familiar source (the analogue) onto an unfamiliar target (the scientific concept), allowing students to grasp abstract phenomena better (Rahayu & Sutrisno, 2019a). In essence, analogical teaching supports learning by comparing a known system with an unknown one, highlighting shared relational structures and allowing for transferable inferences (Gökhan et al., 2012; Audu, 2024).

For an analogy to be effective, the familiar concept must be well-known to the learner and structurally similar to the target idea. A good analogy is not only easy to remember but also helps construct accurate mental models of scientific phenomena (Orgill & Bodner, 2004). Furthermore, analogical instruction encourages students to build on their existing mental frameworks and fosters higher-order thinking skills (Deborah, 2014). According to Saleem and Akbar (2022), analogies serve as a scaffold between known and unknown domains, helping learners connect new information to their pre-existing knowledge through the identification of relational patterns.

However, the use of analogies in science classrooms is not without risks. If poorly designed or explained, analogies can lead to misconceptions or cognitive conflicts. For example, Motazaker & Avazdokht (2015) note that an analogy used to explain atomic radius—comparing increased nuclear charge to added firewood making a campfire hotter—may confuse students when they misapply the metaphor to spatial positioning, believing electrons should move farther away from the nucleus due to ‘heat’. As Rahayu and Sutrisno (2019a) emphasize, analogies must be carefully constructed, and their limitations clearly communicated to avoid such conceptual errors.

Scholars recommend several strategies for maximizing the benefits of analogical instruction: selecting analogies relevant to learners’ experiences, explicitly explaining the components and boundaries of the analogy, and even using multiple analogies to represent a single concept (Brown & Salter, 2010). When implemented effectively by trained teachers, analogies can serve as powerful tools for enhancing science learning (James & Scharmann, 2007; Audu, 2024).

Despite the widespread research on the role of analogies in science education, few studies have systematically designed, applied, and evaluated analogy-based instruction for specific chemistry topics, particularly electronic configuration, sublevels, and electron energy levels. In Iran’s 10th-grade chemistry curriculum, these abstract topics are introduced formally for the first time, presenting a significant cognitive challenge for students. Traditional methods often fail to support meaningful learning in such contexts and may contribute to students’ poor performance in science (Owolabi & Oginni, 2013; Ankeli et al., 2020).

Given the abstract nature of chemistry and the increasing demand for innovative instructional approaches that support conceptual understanding, analogy-based teaching appears to be a promising method. It provides a bridge between the macroscopic, submicroscopic, and symbolic levels of representation in chemistry (Johnstone, 1993; Demircioglu et al., 2013). Therefore, the present study aims to fill the gap in the literature by designing and implementing targeted analogies for teaching atomic structure and examining their effectiveness in enhancing student motivation and learning outcomes in 10th-grade chemistry.

Methodology

This study employed a quasi-experimental pretest-posttest design with a control group to examine the effectiveness of analogy-based instruction on students’ understanding of electronic configuration and the Aufbau principle. The study was conducted during the 2024–2025 academic year in Malayer, Iran. A total of 50 tenth-grade students were selected through convenience sampling and randomly assigned to experimental and control groups (n=25 each).

The instructional intervention involved carefully designed analogies that linked abstract chemical concepts to students' real-life experiences. These included analogies such as: electron layers and sublevels as hotel floors and rooms, the Aufbau principle as hotel management rules, electron energy as distance from the school principal's office, and electron excitation as homesickness in a distant city. The experimental group was taught using these analogies, while the control group received traditional lecture-based instruction.

Data were collected using two instruments: (1) an achievement test consisting of 10 items, and (2) a Likert-scale survey designed to assess students' perceptions of the use of analogies in learning. The content validity of both instruments was confirmed by two chemistry education experts, and internal reliability was measured using Cronbach's alpha, yielding values of 0.85 and 0.78, respectively, based on Cronbach and Shavelson (2004).

Both groups completed pre- and post-tests, and only the experimental group responded to the attitude survey. Data were analyzed using SPSS 26, employing descriptive statistics (mean, standard deviation) and inferential analysis (one-way ANOVA) with a significance level of 0.05 ($p < 0.05$).

Results and Discussion

This study investigated the effectiveness of analogy-based instruction in teaching abstract chemistry concepts, particularly electronic configuration and the Aufbau principle, in a tenth-grade classroom. In high school, students are first introduced to concepts such as electron shells and subshells, their filling order, and differences in their energy levels—all of which are highly abstract and difficult for many learners to grasp through direct instruction alone. In this study, simple analogies—such as a hotel, a principal's office, and a student away from home—were used to make these complex ideas more understandable to students.

A multi-story hotel was employed to introduce the structure of the atom. The nucleus was likened to the hotel manager's office. The energy levels (shells) were presented as floors of the hotel, and sublevels as rooms on each floor, with electrons as guests. Each room (sublevel) had a specific capacity and a unique address composed of the floor number and a letter (e.g., 4s). Visual representation (Fig. 1), combined with questioning and hands-on activities, helped students gain a good understanding of electron distribution and the sublevel filling order.

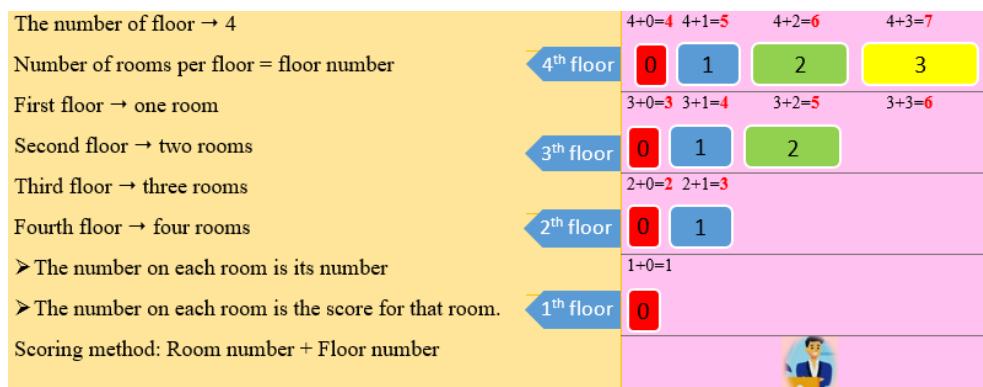


Fig. 1- The analogy comparing the structure of an atom to a hotel

Teaching the Aufbau Principle through the Hotel Management Analogy

To facilitate understanding of the Aufbau principle, a classroom game called 'Hotel Management' was designed. In this activity, students placed electrons (guests) into sublevels (rooms) following specific rules reflecting the Aufbau order. For example, in the electron configuration of Scandium, students first fill the 4s sublevel before proceeding to 3d. Repeated practice within this analogy helped students better comprehend the energy hierarchy of sublevels. Beyond conceptual clarity, this playful approach increased student engagement, motivation, and active participation in the learning process.

Electron Energy and the Principal's Office Analogy

To explain the relationship between electron energy and its distance from the nucleus, the principal's office analogy was used. The nucleus was depicted as the office, centrally located within the hotel. Electrons closer to the nucleus (inner shells) were described as having lower energy and being under greater control. As electrons moved farther away (outer shells), they gained more freedom (energy) but became less stable.

This analogy made the abstract relationship between energy and distance from the nucleus more tangible and intuitively understandable for students.

Electron Excitation and the Homesick Student Analogy

To illustrate electron excitation, the analogy of a student or traveler away from home was introduced. In this metaphor, the nucleus represents home, a place of stability and comfort. When an electron (student) absorbs energy, it moves away from the nucleus (home), entering an excited and unstable state. The natural desire to return home paralleled the electron's return to its ground state, releasing energy in the process. This analogy not only effectively conveyed the concept of excitation but also tied it to emotional experiences such as homesickness, deepening student understanding, and personal connection to the concept.

The statistical analysis (Table 1) revealed that the use of analogies had a significant positive effect on students' learning outcomes in electronic configuration concepts. The mean learning score in the experimental group ($M = 4.44$, $SD = 1.24$) was notably higher than that of the control group ($M = 1.96$, $SD = 1.50$). Independent t-test results showed a statistically significant difference between the groups ($t = 6.36$, $df = 48$, $p < 0.001$). Levene's test confirmed the homogeneity of variances ($p = 0.153$), and the Kolmogorov-Smirnov test verified the normality of the data distribution.

Effect size calculations indicated a significant educational impact: Cohen's d was 1.80, and Eta squared (η^2) was 0.458, meaning that approximately 45.8% of the variance in learning scores could be attributed to the teaching method. These results confirm that analogy-based instruction had a statistically and practically significant effect at the 95% confidence level.

Additionally, the attitude survey showed that 88% of students reported increased motivation, 84% found the analogies helpful for understanding abstract chemistry concepts, and 92% expressed interest in using this method for other chemistry topics.

Table 1. Results of a one-way ANOVA test on the effect of analogy use on learning electronic configuration

Source of Variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F Value	p-value	Eta Squared	Cohen's d
Between Groups	76.88	1	76.88	45.50	< 0.001	0.458	1.80
Within Groups	91.12	48	1.90				
Total	168.00	49					

Conclusion

The results of this study demonstrated that the use of analogy-based instruction had a significant and meaningful effect on students' understanding of electronic configuration concepts. Statistical analysis showed that students in the experimental group, who were taught using analogies, achieved significantly higher learning scores than those in the control group. With a large effect size (Cohen's $d = 1.80$; $\eta^2 = 0.458$), the findings confirm both statistical and significant educational relevance. The analogies designed, such as hotel rooms for electron sublevels, the principal's office for energy levels, and homesickness for electron excitation, helped simplify abstract chemistry concepts and made them more accessible to students. Moreover, 82% of students agreed that these analogies facilitated their understanding of electronic configuration and electron energy concepts, and over 90% expressed interest in using such strategies for other chemistry topics. Student feedback indicated that relatable examples encouraged deeper engagement and created meaningful learning experiences. However, the study also highlights the importance of careful design and explanation of analogies to prevent misconceptions. Teachers are advised to clarify both similarities and limitations when presenting analogies. This approach shows promise not only in improving conceptual understanding but also in enhancing overall science education quality.



پژوهش در آموزش شیمی

<https://chemedu.cfu.ac.ir>



کاربست آنالوژی‌های آموزشی در تدریس آرایش الکترونی: رویکردی خلاقانه برای بهبود یادگیری مفاهیم انتزاعی در شیمی پایه دهم

مهشید گلستانه^{۱*}، شقایق احمدی^۲، سید محسن موسوی^۱

۱. گروه آموزش شیمی، دانشگاه فرهنگیان، صندوق پستی ۸۸۹-۱۴۶۶۵ تهران، ایران،

۲. دبیر شیمی، اداره آموزش و پرورش شهرستان ملایر، همدان، ایران،

* نویسنده مسئول: (✉ m.golestaneh@cfu.ac.ir)

چکیده

پیشینه و هدف: هدف از این پژوهش، طراحی و اجرای آنالوژی‌هایی برای تدریس مفاهیم آرایش الکترونی، قاعده آفا و برانگیختگی الکترون در شیمی دهم و بررسی تأثیر آن‌ها بر ایجاد انگیزه و یادگیری دانش‌آموزان بود. **روش:** این پژوهش به روش نیمه‌آزمایشی با طرح پیش‌آزمون - پس‌آزمون با گروه کنترل انجام شد. جامعه آماری شامل دانش‌آموزان پایه دهم شهرستان ملایر در سال ۱۴۰۳-۱۴۰۴ بود که از میان آن‌ها ۵۰ نفر به روش نمونه‌گیری در دسترس انتخاب و در دو گروه ۲۵ نفره آزمایش و کنترل قرار گرفتند. در گروه آزمایش، تدریس با استفاده از آنالوژی، اجرا شد و گروه کنترل به شیوه سنتی آموزش دید. ابزار گردآوری داده‌ها شامل آزمون‌های پیشرفت تحصیلی (پیش‌آزمون و پس‌آزمون) و نظرسنجی برای سنجش نگرش دانش‌آموزان بود. داده‌ها با کمک نرم‌افزار SPSS26 و با استفاده از آمار توصیفی و استنباطی تحلیل شدند. **یافته‌ها:** آزمون لوین و آزمون کلموگروف-اسمیرنوف، همگنی واریانس‌ها و توزیع نرمال داده‌ها را تأیید کرد. مقدار اندازه اثر کوهن برابر با ۱/۸۰ و ضریب مجذور اتا برابر با ۰/۴۵۸ محاسبه شد که نشان‌دهنده یک اثر بسیار بزرگ و معنادار در سطح اطمینان ۹۵٪ بود. یافته‌های حاصل از نظرسنجی نشان داد که ۸۸٪ دانش‌آموزان این روش را در افزایش انگیزه و ۸۴٪ آن را در یادگیری مفاهیم پیچیده شیمی سودمند ارزیابی کردند و ۹۲٪ نیز تمایل داشتند، در تدریس سایر مباحث شیمی از این روش استفاده شود. **نتیجه‌گیری:** این مطالعه نشان داد که استفاده از آنالوژی می‌تواند به‌طور مؤثری به تسهیل یادگیری و افزایش علاقه دانش‌آموزان در تدریس مفاهیم پیچیده شیمی کمک کند.

واژه‌های کلیدی: آنالوژی، آموزش شیمی، پایه دهم، آرایش الکترونی، دانش‌آموزان، یادگیری

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۰۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۰۰

تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۱/۰۰

شاپا چاپی: ۳۰۴۱-۹۲۷۱

شاپا الکترونیکی: ۲۷۱۷-۲۲۷۹



ارجاع: نام خانوادگی، نام (۱۴۰۴). عنوان مقاله. پژوهش در آموزش شیمی، ۷(۱)، ۰۰-۰۰.

<https://doi.org/doi>

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه فرهنگیان



مقدمه

آموزش مفاهیم انتزاعی در علوم، به‌ویژه در درس شیمی، همواره یکی از چالش‌های مهم معلمان و برنامه‌ریزان درسی بوده‌است. بسیاری از مفاهیم شیمی مانند ساختار اتم، آرایش الکترونی و پیوندهای شیمیایی ماهیتی غیرقابل مشاهده، نظری و گاه پیچیده دارند و درک این مفاهیم برای دانش‌آموزان دبیرستانی، دشوار است. از این رو، معلمان برای انتقال چنین مفاهیمی نیازمند بهره‌گیری از روش‌هایی هستند که به دانش‌آموزان امکان دهند، مطالب جدید را با تجربه‌های پیشین و دانش موجود خود پیوند دهند (تا بر^۱، ۲۰۰۱). یکی از رایج‌ترین راهکارها در این زمینه، معلمان این مقایسه مفاهیم جدید با اشیاء، رویدادها یا فرآیندهایی است که برای یادگیرندگان آشنا هستند (نکیبوغلو و تا بر^۲، ۲۰۱۳). بنابراین یافتن راه‌هایی برای پیوند دادن مفاهیم تازه با چارچوب‌های ذهنی آشنا برای یادگیرندگان یا به عبارتی «آشناکردن ناآشناها» از اهمیت زیادی برخوردار است (سیلر و هاگینز^۳، ۲۰۱۸؛ کری و الباتارنی^۴، ۲۰۲۱).

یکی از روش‌های کارآمد برای معرفی ایده‌های ناآشنا، استفاده از آنالوژی آموزشی است. واژه آنالوژی از ریشه یونانی «*analogia*» به معنی رابطه یا مشابهت بین پدیده‌ها در حوزه‌های فیزیکی، ذهنی یا اخلاقی گرفته شده‌است. در آموزش علوم، آنالوژی به معنای برقرار کردن نوعی شباهت ساختاری یا مفهومی میان یک مفهوم علمی ناآشنا و یک تجربه آشنا، ساده و ملموس در ذهن دانش‌آموزان است (راهایو و سوتریسنو^۵، ۲۰۱۹a). در واقع استراتژی تدریس مبتنی بر آنالوژی، مقایسه یک مفهوم ناآشنا با یک ماده یا ساختار آشنا به‌منظور توضیح یک اصل مشترک است. مفهوم آشنا «آنالوژی» نامیده می‌شود و مفهوم علمی ناآشنا «هدف» نام دارد (گوخان^۶ و دیگران^۷، ۲۰۱۲؛ اودو^۷، ۲۰۲۴). یک آنالوژی خوب زمانی مؤثر است که مفاهیم آشنا قادر باشند، مفهوم هدف را به‌طور ساده، آسان برای یادآوری و آشنا توضیح دهند (ارگیل و بودنر^۸، ۲۰۰۴).

تدریس مبتنی بر آنالوژی بر آنچه دانش‌آموزان از قبل می‌دانند، به‌عنوان نقطه شروع تدریس و یادگیری تأکید می‌کند و بر ایجاد دانش توسط خود دانش‌آموزان تمرکز دارد. این روش در نهایت به ارتقای مهارت‌های سطح بالای یادگیرندگان منجر می‌شود (دبور^۹، ۲۰۱۴). مفهوم آنالوژی در یک محیط آموزشی منبعی برای درک اطلاعات جدید در ارتباط با

¹ Taber² Nakiboğlu & Taber³ Seiler & Huggins⁴ Keri & Elbatarny⁵ Rahayu & Sutrisno⁶ Gokhan⁷ Audu⁸ Orgill & Bodner⁹ Deborah

اطلاعات از پیش آشنا و کمک به یادگیرندگان برای ارتباط دادن اطلاعات جدید با ساختار موجود دانش شناخته می‌شود. این، شامل «شناسایی یک سیستم رابطه‌ای مشترک بین دو موقعیت و تولید استنباط‌های بیشتر هدایت‌شده توسط این پیوستگی‌ها» است (سالم و اکبر^۱، ۲۰۲۲). طبق گفته پیترسون^۲ و دیگران (۲۰۲۰)، آنالوژی به‌عنوان ابزاری است که نشان می‌دهد، دو چیز چگونه مشابه هستند، اما هدف نهایی آن، این است که این مقایسه منجر به یادگیری معنادار شود. هدف از آنالوژی صرفاً آشکارکردن شباهت‌ها نیست، بلکه برای توضیح یک موقعیت یا پدیده است. استفاده از آنالوژی‌ها به‌عنوان یک روش تدریس در دروس علوم به‌طور گسترده‌ای پذیرفته شده است. آنالوژی‌ها به دانش‌آموزان کمک می‌کنند که اطلاعات جدید را از طریق ارتباط با چارچوب‌ها یا زمینه‌هایی که از قبل می‌شناسند، به خاطر بسپارند (اودو، ۲۰۲۴). درحالی‌که تمرکز اصلی استراتژی‌های آموزشی مبتنی بر آنالوژی، افزایش یادگیری دانش‌آموزان است، دلیل نظری قوی برای انتظار تأثیر این روش‌ها، ناشی از بهبود عملکرد تدریس معلمان است، زیرا این استراتژی‌ها می‌توانند به معلمان کمک کنند تا درک معناداری از دانش محتوا پیدا کنند و از نحوه ساختن این معانی نیز آگاهی یابند. هنگامی که معلمان از آنالوژی استفاده می‌کنند، بر روابط مفهومی بین عناصر درون مفهوم هدف تمرکز بیشتری می‌کنند (جیمز و اسکارمن^۳، ۲۰۰۷).

چندین مطالعه نشان داده است که استفاده از آنالوژی‌ها در تدریس علوم، درک و نگهداری مفاهیم را در موضوعاتی مانند پیوندهای انرژی (شاهانی و جنکینسون^۴، ۲۰۱۶)، نام‌گذاری آلکان‌ها (ارویس^۵ و دیگران، ۲۰۱۶)، نظریه کوانتومی (دیدیس^۶، ۲۰۱۵)، سرعت واکنش‌ها (اسکندر^۷ و دیگران، ۲۰۱۳)، اثر غلظت و دما بر سرعت واکنش (تورک^۸ و دیگران، ۲۰۱۰)، مدارهای الکتریکی (لی و پارک^۹، ۲۰۱۴)، زمین‌شناسی (بلیک^{۱۰}، ۲۰۰۴)، شیمی آلی (سامارا^{۱۱}، ۲۰۱۶)، ساختار و خواص مواد (اروکتین و قهرمان – گوکرمان^{۱۲}، ۲۰۱۳) و دیگر مفاهیم پیچیده شیمیایی بهبود می‌بخشد. به‌طور مشابه، آنالوژی‌ها به‌طور گسترده‌ای برای حمایت از موفقیت فرآیند یادگیری در زمینه‌های مختلف علمی استفاده شده است.

¹ Saleem & Akbar² Peterson³ James & Scharmann⁴ Shahani and Jenkinson⁵ Orvis⁶ Didis⁷ Eskandar⁸ Türk⁹ Lee & Park¹⁰ Blake¹¹ Samara¹² Erökten & Kahraman-Gökharman

البته باید توجه داشت که وجود آنالوژی‌ها در تدریس، به‌تنهایی منجر به یادگیری نمی‌شود، بلکه برای منجر شدن به یادگیری، لازم است این آنالوژی‌ها به شکل مناسبی طراحی، تبیین و در کلاس استفاده شوند. استفاده نادرست از آنالوژی‌ها می‌تواند، به ایجاد مفاهیم نادرست بینجامد (راهایو و سوتریسنو، ۲۰۱۹a).

به‌منظور جلوگیری از این مشکل، باید از استراتژی‌هایی برای استفاده صحیح از آنالوژی بهره گرفت. برخی از این استراتژی‌ها عبارتند از: آموزش به دانش‌آموزان در مورد آنالوژی، مراقبت در انتخاب آنالوژی‌های مناسب، توضیح صریح ساختار آنالوژی و محدودیت‌های آن، استفاده از چندین آنالوژی برای بیان یک مفهوم و غیره (برون و سالتر^۱، ۲۰۱۰). شایان گفتن است، زمانی که معلمان در اجرای روش‌های تدریس مبتنی بر آنالوژی، مهارت داشته‌باشند، آنالوژی‌ها می‌توانند به‌عنوان ابزارهای یادگیری بسیار قدرتمند عمل کنند (جیمز و اسکارمن، ۲۰۰۷). اما اگر این تشبیهات به‌درستی انجام نشوند، ممکن است دانش‌آموز دچار برداشت نادرست یا تناقض مفهومی شود. برای مثال، زمانی که در توضیح شعاع اتمی، افزایش بار مؤثر هسته به افزایش گرمای ناشی از هیزم‌هایی تشبیه می‌شود که هر دانش‌آموز هنگام اضافه‌شدن به حلقه دور آتش درون آتش می‌اندازد (متذکر و عوضدخت^۲، ۲۰۱۵)، ممکن است این سؤال در ذهن دانش‌آموز شکل گیرد که: «با افزایش گرما، دانش‌آموزان تمایل دارند، از آتش دور شوند، آیا شعاع اتمی نیز باید بزرگ‌تر شود؟» این تناقض ممکن است مانعی برای درک درست موضوع باشد. البته نمی‌توان انتظار داشت که آنالوژی‌ها کاملاً با واقعیت علمی منطبق باشند، ولی باید تلاش کرد، تناقض‌ها به حداقل برسند.

پژوهش‌های زیادی به عملکرد ضعیف دانش‌آموزان در علوم اشاره کرده‌اند (اولابی و اوگینی^۳، ۲۰۱۳؛ اولاشینده و اولاتویه^۴، ۲۰۱۴) و ضعف دانش‌آموزان در علوم را ناشی از استفاده ناکارآمد از استراتژی‌های آموزشی، کمبود مواد آموزشی و ضعف در صلاحیت معلمان نسبت داده‌اند، اما آنکلی و دیگران^۵ (۲۰۲۰) روند نگران‌کننده عملکرد ضعیف در علوم را عمدتاً به استفاده از استراتژی‌های آموزشی سنتی توسط معلمان نسبت داده‌اند. در همین راستا، مربیان علوم به استفاده از روش‌هایی که می‌توانند یادگیری معنی‌داری را در دانش‌آموزان ایجاد کنند، تشویق شده‌اند. این امر تنها زمانی محقق می‌شود که معلمان با طیف وسیعی از روش‌های تدریس آشنا باشند (اودو، ۲۰۲۴). بنابراین در توسعه حرفه‌ای معلمان باید آن‌ها را با استراتژی‌های آموزشی مختلف، مبانی نظری آن‌ها و دانش عملی هر استراتژی آشنا کرد.

¹ Brown & Salter

² Motazaker & Awazdokht

³ Owolabi & Oginni

⁴ Olashinde & Olatoye

⁵ Ankeli

ماهیت انتزاعی شیمی و دشواری‌های یادگیری مفاهیم آن، تدریس این درس را نیازمند مجموعه‌ای از مهارت‌های سطح بالا و روش‌های تدریس مؤثر می‌کند. روش‌های تدریس که بر یادگیری نظری تأکید دارند، مانند روش‌های سنتی، با ماهیت علم در تضاد هستند. برای تسهیل یادآوری محتوا، یادگیرندگان نیاز دارند تا ارتباطات و پیوندهایی بین اطلاعات ایجاد کنند و آن‌ها را به‌طور فعال سازمان‌دهی و به هم متصل کنند (سالم و اکبر، ۲۰۲۲). از این رو آموزش شیمی نیازمند تدابیری است که امکان اتصال ذهنی میان سطوح مختلف مفهومی (ماکروسکوپی، میکروسکوپی، و نمادی) را فراهم کند (جانستون^۱، ۱۹۹۳؛ دمیرچی اوغلو^۲ و دیگران، ۲۰۱۳). مفاهیم مربوط به آرایش الکترونی از جمله مباحثی هستند که انتزاعی بوده و برای بسیاری از دانش‌آموزان دشوار تلقی می‌شوند (سعدیه و لطفی^۳، ۲۰۲۳؛ پروندانی^۴ و دیگران، ۲۰۱۹). در چنین شرایطی استفاده از آنالوژی‌های مناسب می‌تواند، نه تنها درک مفاهیم علمی را تسهیل کند، بلکه پیوند میان آموخته‌های جدید با تجربیات پیشین یادگیرنده را نیز تقویت نماید.

با توجه به انتزاعی بودن بسیاری از مفاهیم موجود در آموزش شیمی و دشواری درک آن‌ها برای دانش‌آموزان، یافتن روش‌های تدریس نوآورانه که بتواند این مفاهیم را برای یادگیرندگان ملموس و قابل فهم سازد، از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از راهکارهای پیشنهادی، بهره‌گیری از آنالوژی‌های آموزشی است که از طریق برقراری ارتباط میان مفاهیم علمی و تجربیات روزمره، می‌تواند درک مفاهیم پیچیده را تسهیل کند. با وجود آنکه پژوهش‌های متعددی بر تأثیر آنالوژی در آموزش مفاهیم علمی تأکید داشته‌اند، اما طبق اطلاع نویسندگان مقاله، تاکنون پژوهشی که به طراحی، اجرای مستقیم و تحلیل دقیق مجموعه‌ای از آنالوژی‌های هدفمند برای آموزش مفاهیم مرتبط با آرایش الکترونی پرداخته باشد، انجام نشده است. از آنجا که در برنامه درسی شیمی پایه دهم، مفاهیمی مانند آرایش الکترونی، لایه‌ها، زیرلایه‌ها و انرژی الکترون‌ها برای نخستین بار به‌صورت رسمی معرفی می‌شود، بررسی اثربخشی روش آنالوژی در آموزش این مفاهیم می‌تواند نقش مهمی در ارتقای کیفیت تدریس و یادگیری ایفا کند. بر این اساس، انجام پژوهشی تجربی در زمینه کارآمدی آنالوژی در آموزش مفاهیم آرایش الکترونی، ضروری به نظر می‌رسد.

پیشینه پژوهش

¹ Johnstone

² Demircioğlu

³ Sa'diyah & Lutfi

⁴ Purwandani

پیشینه تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های آموزشی مبتنی بر آنالوژی، به‌ویژه مدل 5E، به افزایش درک مفهومی دانش‌آموزان از واکنش‌های شیمیایی کمک می‌کند (سوپاسورن و پروماراک^۱، ۲۰۱۵). آنالوژی‌ها می‌تواند ابزار آموزشی قدرتمندی باشد، زیرا قادر است، مواد جدیدی را به‌گونه‌ای که برای دانش‌آموزان قابل درک باشد، ایجاد کند (اورگیل و بودنر، ۲۰۰۴). بسیاری از دانش‌آموزان از آنالوژی‌هایی که معلمان‌شان ارائه می‌دهند، لذت می‌برند، به آن‌ها توجه می‌کنند و آن‌ها را به خاطر می‌سپارند. آنالوژی‌ها به دانش‌آموزان کمک می‌کنند تا آنچه را که در کلاس آموخته‌اند، درک و تجسم نموده و به خاطر بسپارند. این اطلاعات برای هم‌افزایی آنالوژی‌ها مفید است تا درک دقیق‌تر و کامل‌تری از شیمی فراهم کند.

سالم و علی‌اکبر (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای با عنوان (تأثیر آموزش مبتنی بر آنالوژی بر یادگیری شیمی دانش‌آموزان در مقطع متوسطه) به بررسی تأثیر تدریس مبتنی بر آنالوژی بر یادگیری شیمی دانش‌آموزان دبیرستان پرداختند. در این پژوهش که با روش شبه‌تجربی و پیش‌آزمون و پس‌آزمون و گروه کنترل انجام شد، ۸۰ دانش‌آموز از یک مدرسه دولتی به‌طور تصادفی انتخاب و به دو گروه کنترل و آزمایش تقسیم شدند. گروه کنترل با روش تدریس مرسوم و گروه آزمایشی با تدریس مبتنی بر آنالوژی، آموزش دیدند. محتوای آموزشی از کتاب شیمی پایه نهم انتخاب شد و مداخله طی ۱۲ هفته انجام گرفت. برای ارزیابی تأثیر، آزمون پیشرفت تحصیلی شیمی طراحی و داده‌ها با استفاده از تحلیل کوواریانس تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان داد، تفاوت معناداری بین نمرات پس‌آزمون دو گروه وجود دارد، به‌طوری‌که تدریس مبتنی بر آنالوژی تأثیر مثبتی بر مهارت‌های تحلیل، کاربرد، ترکیب و ارزیابی دانش‌آموزان داشت و فهم مفاهیم انتزاعی شیمی را بهبود بخشید. محققان توصیه کرده‌اند، معلمان علوم از این روش در تدریس خود برای بهبود فرآیند یادگیری و ایجاد محیطی معنادار استفاده کنند.

کری و الباتارنی (۲۰۲۱) در پژوهش خود، تعدادی از آنالوژی‌های به‌کار رفته در درس آناتومی و فیزیولوژی و شیمی بالینی در آموزش علوم پرستاری مقطع کارشناسی را معرفی کردند. همچنین دیدگاه‌های دانشجویان را در خصوص توانایی این آنالوژی‌ها در بهبود درک آن‌ها از مفاهیم دشوار ارزیابی نمودند. مجموعاً ۱۳۱ دانشجوی سال اول و دوم این نظرسنجی را تکمیل کردند. بیش از ۷۰٪ از دانشجویان اذعان داشتند که این آنالوژی‌ها در درک ساختارهای آناتومیکی و عملکردهای فیزیولوژیکی مفید بودند. بیش از ۶۰٪ از دانشجویان در حین مطالعه از این آنالوژی‌ها استفاده کردند و ۸۸٪ از دانشجویان اعتقاد داشتند که آنالوژی‌ها جذاب بوده و باعث شدند که کلاس درس لذت‌بخش‌تر شود. آن‌ها

¹ Supasorn & Promarak

نتیجه‌گیری کردند که آنالوژی‌های ساختارمند و هدفمند تأثیر مثبتی بر یادگیری دانشجویان در دوره‌های علمی در طول تحصیلات کارشناسی پرستاری داشته است.

راهایو و سوتریسنو (۲۰۱۹a) در پژوهشی به شناسایی دانش دانش‌آموزان در مورد آنالوژی‌ها و بررسی آنالوژی‌ها در یادگیری شیمی پرداختند. در این مطالعه، داده‌ها از طریق مصاحبه جمع‌آوری شد. در مصاحبه‌ها، دانش‌آموزان به سؤالاتی درباره مفاهیم شیمی و آنالوژی‌ها به‌طور کلی پاسخ دادند. علاوه بر این، مصاحبه‌ها نشان داد که دانش‌آموزان از استفاده از آنالوژی‌ها در کلاس‌هایشان خوششان می‌آید و معتقدند که این آنالوژی‌ها تأثیر مثبتی بر درک آن‌ها از مفاهیم جدید دارد. به گفته آن‌ها، یک آنالوژی خوب شیء یا رویدادی است که در محیط طبیعی وجود دارد، زیرا به خاطر سپردن آن آسان‌تر خواهد بود. این محققان در پژوهشی دیگر به بررسی تفاوت در مهارت‌های تفکر سطوح بالاتر بین آموزش شیمی مبتنی بر آنالوژی و آموزش شیمی بدون آنالوژی پرداختند. نوع پژوهش از نوع نیمه‌آزمایشی با دو گروه آزمایش و کنترل بود. در گروه آزمایش، ۹ آنالوژی به کار گرفته شد. آزمون مورد استفاده شامل ۸ سؤال تشریحی بود که برای هر دو گروه اجرا شد. داده‌های هر دو گروه با استفاده از آزمون t مستقل مقایسه شد. نتایج پژوهش نشان داد که بین گروه آزمایش و گروه کنترل تفاوت معناداری وجود دارد. دانش‌آموزان گروه آزمایش در مهارت‌های تفکر سطوح بالاتر عملکرد بهتری نسبت به گروه کنترل داشتند. محققان نتیجه گرفتند که آموزش شیمی مبتنی بر آنالوژی، تأثیر مثبتی بر مهارت‌های تفکر سطوح بالاتر دانش‌آموزان دارد (راهایو و سوتریسنو ۲۰۱۹b).

اصغری لالمی^۱ (۲۰۲۴) در پژوهشی با عنوان استفاده از آنالوژی در آموزش شیمی با مرور انواع مدل‌های آنالوژی در آموزش شیمی، نقاط قوت و ضعف آن‌ها را بررسی کرده است. او نتیجه گرفته‌است که استفاده از آنالوژی در تدریس شیمی می‌تواند آموزش اثربخشی را به همراه داشته باشد.

حسینی صدر^۲ (۲۰۲۳) در پژوهشی به بررسی میزان توجه به کاربرد آنالوژی در آموزش شیمی در کتاب‌های درسی شیمی دوره دوم دبیرستان پرداخته است. این پژوهش که به شیوه تحلیل محتوا انجام شد، نشان داد، علیرغم آشنایی طراحان کتاب‌های درس شیمی با اهمیت آنالوژی، از این ابزار به اندازه کافی در این کتاب‌های شیمی استفاده نشده‌است؛ ولی آنالوژی‌های موجود در کتاب به‌طور شفاف بیان شده‌اند و بیشتر نکات ضروری برای داشتن آنالوژی‌های مناسب در آن‌ها رعایت شده‌است. او پیشنهاد داده‌است تا در بازنگری‌های بعدی کتاب‌های درسی شیمی، استفاده از آنالوژی‌های مناسب، بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

¹ Asghari Lalami

² Hosienisadr

با توجه به انتزاعی بودن مفهوم آرایش الکترونی و چالش‌هایی که در یاددهی و یادگیری آن وجود دارد و با توجه به این که بر اساس اطلاعات نویسندگان تاکنون پژوهشی که در آن به طراحی و اجرای آنالوژی‌هایی با موضوع لایه‌ها و زیر لایه‌های الکترونی، قاعده آفبا و هم‌چنین برانگیختگی الکترون پرداخته باشد، انجام نشده است. هدف از پژوهش حاضر، طراحی و اجرای آنالوژی‌های مرتبط با این مباحث در شیمی دهم و بررسی اثربخشی روش اجرا شده با کمک نظرسنجی از دانش‌آموزان بود.

روش پژوهش

این پژوهش با هدف مقایسه اثربخشی استفاده از آنالوژی در یادگیری مفاهیم مرتبط با آرایش الکترونی و قاعده آفبا، با استفاده از طرح نیمه‌آزمایشی با پیش‌آزمون و پس‌آزمون و گروه کنترل انجام شد. در این راستا، ابتدا مفاهیم مورد نظر، انتخاب و سپس آنالوژی‌های آموزشی هدفمند، طراحی و در کلاس اجرا گردید. این آنالوژی‌ها به‌منظور برقراری ارتباط میان مفاهیم انتزاعی شیمی و تجربیات عینی و ملموس دانش‌آموزان طراحی شدند. جامعه آماری شامل تمامی دانش‌آموزان پایه دهم شهرستان ملایر در سال تحصیلی ۱۴۰۴-۱۴۰۳ بود. از میان این جامعه، تعداد ۵۰ نفر به روش نمونه‌گیری در دسترس انتخاب شدند. این ۵۰ دانش‌آموز شامل ۲۵ نفر از رشته علوم تجربی و ۲۵ نفر از رشته ریاضی فیزیک بودند که به‌صورت تصادفی در دو گروه آزمایش و کنترل گماشته شدند (هر گروه ۲۵ نفر). برای گردآوری داده‌ها از دو ابزار اصلی استفاده شد:

- آزمون پیشرفت تحصیلی شامل ۱۰ سؤال مرتبط با مفاهیم آرایش الکترونی و قاعده آفبا بود که به‌صورت کتبی و نمره‌دهی از ۱۰ نمره طراحی شد و به‌عنوان پیش‌آزمون و پس‌آزمون به هر دو گروه ارائه شد. برای بررسی پایایی آزمون، از روش ضریب آلفای کرونباخ محاسبه شده از یک اجرای آزمایشی روی گروهی مشابه با نمونه پژوهش استفاده شد. ضریب آلفای کرونباخ برابر با ۰/۸۵ به‌دست آمد که نشان‌دهنده پایایی مناسب ابزار بود (کرونباخ و شاولسون^۱، ۲۰۰۴). روایی محتوای آزمون توسط ۳ نفر از دبیران مجرب شیمی و متخصصان آموزش شیمی مورد تأیید قرار گرفت.
- نظرسنجی درباره میزان رضایت و نگرش دانش‌آموزان نسبت به استفاده از آنالوژی در یادگیری مفاهیم شیمی، شامل ۳ سؤال در مقیاس لیکرت پنج‌درجه‌ای بود. روایی محتوایی سوالات توسط دو نفر از استادان آموزش شیمی

¹ Cronbach & Shavelson

تأیید شد و پایداری ابزار با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ بررسی گردید. مقدار به دست آمده برابر با $0/78$ بود که نشان‌دهنده پایداری قابل قبول ابزار بود.

فرایند اجرای پژوهش به این صورت بود که در گروه آزمایش، آموزش مفاهیم مرتبط با آرایش الکترونی با استفاده از آنالوژی‌های طراحی شده صورت گرفت که به شرح زیر بود:

لایه‌ها و زیر لایه‌ها: برای توضیح این مبحث از مثال هتل استفاده شد. در این مدل، لایه‌های الکترونی به طبقات هتل و زیر لایه‌ها به اتاق‌های هر طبقه تشبیه شدند. هسته اتم به عنوان مدیر هتل در نظر گرفته شد و الکترون‌ها به مهمانانی تشبیه شدند که در اتاق‌های مختلف مستقر می‌شوند.

قاعده آفبا: الکترون‌ها به مهمان‌های هتل و زیر لایه‌ها به اتاق‌های آن تشبیه شدند. یک بازی آموزشی طراحی شد که در آن دانش‌آموزان باید مهمان‌ها (الکترون‌ها) را بر اساس قوانین خاصی در اتاق‌ها و طبقات (لایه‌ها و زیر لایه‌ها) جای دهند.

میزان انرژی الکترون: برای درک بهتر این مفهوم از مثال فاصله دانش‌آموزان از اتاق مدیر مدرسه استفاده شد. هرچه دانش‌آموزان از دفتر مدیر فاصله بگیرند، آزادی عمل بیشتری دارند، همان‌گونه که الکترون‌ها با افزایش فاصله از هسته، انرژی بیشتری دارند.

برانگیختگی الکترون: در این مبحث، از تشبیه دوری یک مسافر یا دانشجویان از خانه و احساس غربت او استفاده شد. این قیاس کمک کرد تا دانش‌آموزان درک کنند الکترون‌ها به هنگام دور شدن از هسته، ناپایدارتر می‌شوند و تمایل به بازگشت به سطح انرژی اولیه را دارند.

در گروه کنترل، تدریس به شیوه سنتی (سخنرانی و کتاب‌محور) انجام گرفت. برای هر دو گروه، ابتدا پیش‌آزمون، سپس دوره آموزشی و در پایان پس‌آزمون اجرا شد. پس از آموزش، نظرسنجی نگرش تنها به گروه آزمایش داده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با کمک نرم‌افزار SPSS26 انجام شد و برای بررسی تفاوت یادگیری بین دو گروه از آمار توصیفی (مقایسه میانگین و انحراف معیار نمره‌ها) و استنباطی (تحلیل واریانس یک‌راهه) کمک گرفته شد. سطح معناداری برای تمامی تجزیه و تحلیل‌ها، $0/05$ در نظر گرفته شد.

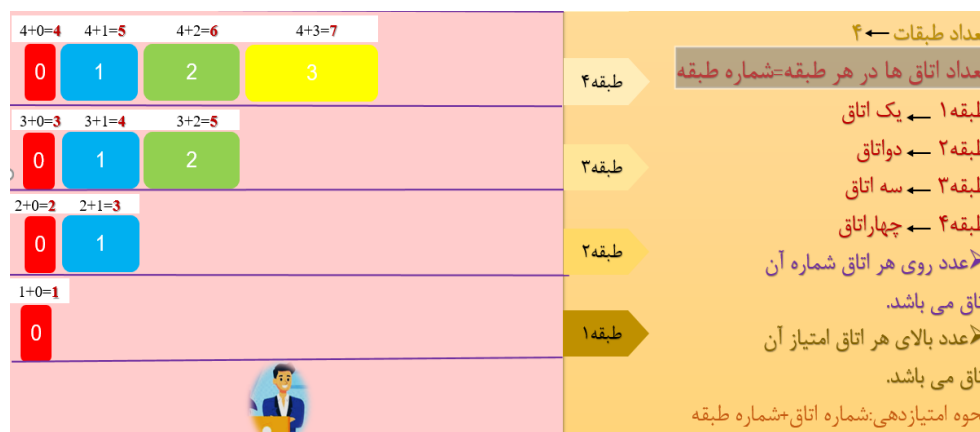
یافته‌ها

دانش‌آموزان در مقطع متوسطه اول با یک مدل ساده از ساختمان اتم آشنا می‌شوند. در پایه دهم، دانش‌آموزان با مفاهیم جدیدی مانند زیر لایه‌ها و ترتیب پر شدن آن‌ها آشنا می‌شوند که به دلیل انتزاعی بودن، ممکن است، برخی از

آن‌ها در درک این مفاهیم مشکل داشته‌باشند. استفاده از آنالوژی‌های مناسب می‌تواند، این مفاهیم را برای آن‌ها قابل فهم‌تر کند. از طرفی، موضوع انتقال الکترون‌ها به لایه‌های بالاتر (برانگیختگی) و تأثیر این انتقال بر میزان پایداری الکترون و اتم و نیز تفاوت انرژی الکترون‌ها در لایه‌های مختلف نیز مفاهیمی انتزاعی هستند که با ایجاد ارتباط بین آن‌ها و تجربیات دنیای واقعی، می‌توان یادگیری آن‌ها را برای دانش‌آموزان آسان‌تر و لذت‌بخش‌تر نمود.

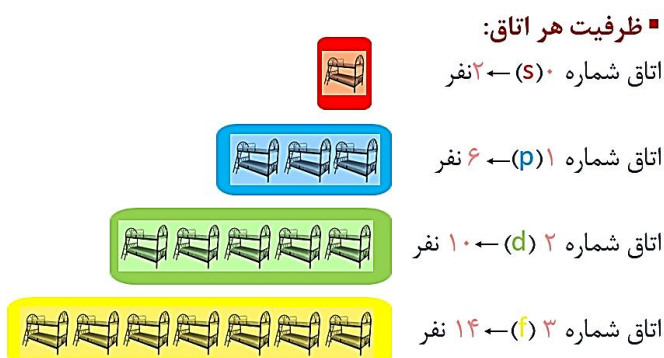
درک لایه‌ها و زیر لایه‌های اتمی: استفاده از تشبیه هتل باعث شد که دانش‌آموزان بهتر متوجه شوند که الکترون‌ها چگونه در لایه‌ها و زیر لایه‌ها قرار می‌گیرند. تمرین‌هایی شامل مشخص کردن زیر لایه‌ها در طبقات مختلف هتل اجرا شد. استفاده از پرسش و پاسخ و نشان دادن آنالوژی مربوط به هتل (شکل ۱) حین استفاده از قیاس، کمک زیادی به فرایند یادگیری کرد. در ابتدا جهت یادآوری مباحث آموخته شده در دوره متوسطه اول، از دانش‌آموزان خواسته شد تا مدل اتمی بور را برای عنصر ^{11}Na رسم کنند (دانش‌آموزان باید جایگاه هسته و مدارهای الکترونی را بدانند و لایه‌ها را با توجه به گنجایش آن‌ها، به ترتیب از الکترون پر کنند).

سپس از دانش‌آموزان پرسیده شد «چچه‌ها شما به‌عنوان مدیر یک هتل، مهمان‌های خود را در راهروی عمومی و طولیل هر طبقه جای می‌دهید یا برای آن‌ها اتاق‌های مجزا در نظر می‌گیرید؟». پس از این‌که دانش‌آموزان پاسخ دادند، مهمان‌ها نیاز به فضایی خصوصی برای استراحت دارند و نمی‌توان آن‌ها را در سالن جای داد. به آن‌ها توضیح داده شد، همان‌طور که هتل شامل طبقات مختلف است و در هر طبقه اتاق‌هایی وجود دارد، اتم نیز دارای لایه‌ها (طبقات) و زیر لایه‌ها (اتاق‌هایی) است. هسته‌اتم، مدیر هتل است و الکترون‌ها مهمانانی هستند که در زیر لایه‌ها (اتاق‌های) موجود در لایه‌ها (طبقات) اطراف هسته قرار دارند. هر یک از اتاق‌ها (زیر لایه‌ها) دارای یک شماره و یک حرف لاتین خاص است و آدرس هر یک از آن‌ها توسط شماره طبقه‌ای که اتاق در آن قرار دارد و حرف لاتین ویژه آن اتاق مشخص می‌شود که نشان‌دهنده مکان واقعی آن‌ها در ساختمان هتل (اتم) است. مثلاً آدرس $4s$ یعنی اتاق s با شماره صفر در طبقه چهارم. در شکل ۱ تصویر هتل فرضی که به دانش‌آموزان نشان داده شد، مشاهده می‌شود.



شکل ۱- تصویر هتل فرضی

بر اساس گنجایش، چهار نوع اتاق در این هتل تعریف شده است:



شکل ۲- نمایش گنجایش زیر لایه ها

هر چند بحث اوربیتال ها از اهداف کتاب درسی نیست ولی با نشان دادن تخت های دو طبقه، می توان اوربیتال ها را نیز در ذهن دانش آموز تا حدودی تصویرسازی کرد. این مثال به دانش آموزان کمک کرد تا مفهوم لایه و زیر لایه اتم را بهتر درک کنند.

چگونگی مواجهه با مسئله و حل آن: برای بررسی درک دانش آموزان از مباحث مطرح شده، از آن ها خواسته شد تا زیر لایه ها و تعداد اتاق ها در طبقه پنجم را همراه با شماره، حرف لاتین و امتیاز مربوط به هر اتاق مشخص کنند. همچنین از آن ها خواسته شد تا در کاربرگی که در اختیار آن ها قرار گرفته است، آدرس هر اتاق را روی درب آن بنویسند. بیشتر دانش آموزان توانستند، تشبیه طبقات و اتاق های هتل را با آرایش الکترونی تطبیق دهند و به طور مؤثری درک کردند که الکترون ها در لایه ها و زیر لایه های مختلف قرار می گیرند. پاسخ های آن ها به وضوح نشان داد که آن ها توانسته اند نحوه قرارگیری الکترون ها را به درستی درک کنند.

قاعده آفا: در فرایند تدریس این مبحث، تشبیه همراه با چاشنی بازی مورد استفاده گرفت. از دانش‌آموزان خواسته شد تا مدل اتمی بور را برای عنصر ^{21}Sc رسم کنند. قراردادن الکترون‌ها در زیر لایه‌ها به جا دادن مهمان‌ها در اتاق‌های هتل تشبیه شد و دانش‌آموزان باید طبق قوانین زیر هتل‌داری کنند و به پذیرش مهمان‌ها بپردازند:

قوانین هتلداری

✓ **قانون اول:** ابتدا اتاق‌های با امتیاز کمتر به مهمان‌ها ارائه شوند.

■ **نحوه امتیازدهی:** شماره طبقه + شماره اتاق

در صورت یکسان بودن امتیاز دو اتاق، اتاق طبقه پایین‌تر در اولویت برای پر شدن است.

✓ **قانون دوم:** پذیرش مهمان در هر اتاق نباید بیش از ظرفیت آن اتاق باشد.

✓ **قانون سوم:** تا وقتی اتاق دارای اولویت پر نشود، امکان پذیرش مهمان در اتاق‌های بعدی وجود ندارد.

شکل ۳- قوانین مهم بازی هتل‌داری

بر اساس تشبیه به کار رفته و قوانین هتل‌داری گفته‌شده، دانش‌آموزان دریافته‌اند که در هنگام پر شدن زیر لایه‌های مربوط به عنصر ^{21}Sc ، لایه سوم (طبقه سوم هتل) با گنجایش ۱۸ الکترون (۱۸ نفر)، در ابتدا باید فقط ۸ الکترون (۸ نفر) را در این لایه (طبقه) جا دهند و سپس با قراردادن ۲ الکترون (۲ نفر) در لایه (طبقه) چهارم مجدداً برگردند و شروع به پر کردن لایه (طبقه) سوم کنند.

مواجهه با مسئله و حل آن: پس از ذکر قوانین هتل‌داری، چندین بار تعداد مهمان‌های گوناگون به دانش‌آموزان اعلام شد تا مطابق قوانین هتل‌داری، امتیاز و گنجایش هر اتاق، آن‌ها را در اتاق‌ها جای دهند. پس از اینکه دانش‌آموزان به‌خوبی با نحوه پر کردن زیر لایه‌ها آشنا شدند، به آن‌ها گفته شد که به این شیوه پر کردن الکترون‌ها در زیر لایه‌های الکترونی، قاعده آفا گفته می‌شود. هنگام استفاده از قوانین بازی هتل‌داری، بیشتر دانش‌آموزان قادر بودند تا الکترون‌ها را بر اساس گنجایش هر زیر لایه به‌درستی در اتاق‌ها جای دهند. به‌ویژه، استفاده از تشبیه‌ها باعث شد که آن‌ها بیشتر از قوانین آفا پیروی کنند و این امر به فهم بهتر قاعده آفا منجر شد.

میزان انرژی الکترون و فاصله آن از هسته: قیاس دانش‌آموزان با میزان آزادی عمل آن‌ها در نزدیکی دفتر مدیر، کمک کرد تا رابطه بین انرژی الکترون و فاصله آن از هسته، بهتر درک شود. دانش‌آموزان طبق مدل بور می‌دانند که هر مدار الکترونی انرژی خاص خود را دارد. در ادامه برای توضیح مبحث ارتباط انرژی الکترون با فاصله آن از هسته، از تشبیه

فاصله دانش‌آموزان از اتاق مدیر استفاده شد. از دانش‌آموزان پرسیده شد: «چه‌ها شما هر چه به اتاق مدیر نزدیک‌تر باشید، شلوغ‌کاری‌ها و شیطنت‌ها تون بیشتره یا وقتی از اتاق مدیر دور هستید؟» پاسخ مورد انتظار این بود که «قطعاً هر چی به اتاق مدیر نزدیک‌تر باشیم چون سریع‌تر و راحت‌تر متوجه وقایع داخل کلاس میشه و بیشتر تحت کنترل هستیم، آزادی عملمون کمتره و ساکت‌تر هستیم.» سپس توضیح داده شد که هسته، شبیه اتاق مدیر و الکترون‌ها، شبیه دانش‌آموزان هستند. الکترون‌ها دارای بار منفی و هسته با وجود پروتون‌ها دارای بار مثبت است و بین بار منفی و مثبت نیروی جاذبه برقرار است. طبق قوانین فیزیک، هر چه بارها از هم فاصله بیشتری داشته باشند، نیروی کمتری به هم اعمال می‌کنند، بنابراین با فاصله گرفتن الکترون‌ها (دانش‌آموزان) از هسته (مدیر)، الکترون‌ها کمتر تحت نیروی جاذبه هسته هستند (دانش‌آموزان کمتر تحت کنترل مدیر هستند) و انرژی (آزادی عمل) الکترون‌ها (دانش‌آموزان) بیشتر است. ملموس بودن این تشبیه و تجربه زیسته دانش‌آموزان در این زمینه به دانش‌آموزان کمک کرد تا ارتباط بین فاصله الکترون از هسته و میزان انرژی الکترون را بهتر درک کنند. درک ارتباط بین فاصله الکترون‌ها از هسته و میزان انرژی آن‌ها برای بیشتر دانش‌آموزان واضح بود. پاسخ‌های دانش‌آموزان نشان داد که آن‌ها مفهوم نیروی جاذبه بین بارهای مثبت و منفی را به خوبی درک کرده‌اند و تفاوت انرژی در لایه‌های مختلف را به درستی تشخیص داده‌اند.

چالش‌های یادگیری: وقتی از دانش‌آموزان خواسته شد تا سطوح انرژی یک اتم را به صورت شماتیک ترسیم کنند و فاصله نسبی بین مدارها را نشان دهند، بیشتر آن‌ها فاصله بین ترازها را به صورت مساوی و برخی نیز با فاصله از هسته به صورت افزایشی ترسیم کردند. این الگوهای ترسیمی، نشان‌دهنده‌ی درک نادرست آن‌ها از نحوه توزیع انرژی در ترازهای مختلف و رابطه آن با فاصله از هسته بود. به عبارت دیگر برخی دانش‌آموزان در تمایز میان دو مفهوم کلیدی «با افزایش فاصله الکترون از هسته، انرژی آن افزایش می‌یابد؛ و اینکه با افزایش فاصله از هسته، اختلاف انرژی بین ترازهای مجاور کاهش می‌یابد»، دچار کج‌فهمی شدند. برای رفع این کج‌فهمی، از گسترش تشبیه «اتاق مدیر» استفاده شد. به دانش‌آموزان توضیح داده شد، زمانی که به اتاق مدیر بسیار نزدیک هستند، حتی یک قدم دور شدن، می‌تواند، تأثیر چشمگیری بر میزان آزادی عمل آن‌ها داشته باشد (مانند اختلاف انرژی زیاد بین لایه‌های نزدیک به هسته)؛ اما زمانی که از اتاق مدیر بسیار دور هستند، یک قدم جابه‌جاشدن، دیگر تأثیر چندانی بر آزادی عمل آن‌ها نخواهد داشت (مانند اختلاف انرژی کم بین ترازهای دورتر از هسته). این تشبیه، همراه با استفاده از ترسیم‌های بصری دقیق‌تر از سطوح انرژی، به درک بهتر مفهوم کاهش اختلاف انرژی بین لایه‌ها در فاصله‌های بیشتر از هسته کمک کرد.

برانگیختگی الکترون: مثال دوری دانشجو از خانه و تمایل او به بازگشت، به درک مفهوم برانگیختگی و بازگشت الکترون به سطح انرژی اولیه کمک کرد. در این تشبیه، الکترون به یک مسافر یا دانشجوی غریب در شهر دیگر و هسته

به خانه اصلی او تشبیه شده است. همان طور که فاصله فیزیکی میان دانشجو و خانه او، احساس غربت، دلتنگی و پریشانی برای دانشجو به همراه دارد و آرامش او را سلب می کند و اشتیاق او را برای بازگشتن به خانه و کسب آرامش افزایش می دهد، جابه جایی الکترون به فاصله های دورتر از هسته اتم نیز می تواند، تأثیر مستقیم بر برانگیختگی و ناپایداری الکترون داشته باشد. هرچه مسافر مسافت بیشتری از خانه دور شود، میزان بی قراری او بیشتر می شود. در این حالت الکترون (دانشجو) تمایل دارد، به جایگاه اصلی خود که نزدیک تر به هسته است، برگردد تا پایداری (آرامش) خود را مجدد به دست آورد. در واقع افزایش انرژی و کاهش پایداری الکترون ناشی از دور شدن از هسته (با جذب انرژی) مانند افزایش بی قراری و کاهش آرامش مسافر هنگام دور شدن از خانه است و برعکس. از طرفی همان طور که یک دانشجو یا مسافر در مسیر بازگشت به خانه، دو حالت ممکن است، برای او وجود داشته باشد: (۱) در چندین شهر توقف کند تا به خانه برسد. (۲) مستقیم از مبدأ به مقصد (بدون توقف) برسد، الکترون نیز در مسیر بازگشت به لایه اصلی خود ممکن است، در لایه های موجود در مسیر توقف کند و یا مستقیم و بدون توقف به لایه اصلی برگردد. مثال مسافر و احساس غربت باعث شد که دانش آموزان ارتباط میان برانگیختگی الکترون ها و انرژی آن ها را بهتر درک کنند. آن ها متوجه شدند که وقتی الکترون ها از هسته دور می شوند، انرژی بیشتری جذب کرده و حالت ناپایدار پیدا می کنند. این تشبیه به ویژه با استقبال خوبی روبه رو شد و بازخورد دانش آموزان نشان داد که به خوبی مفهوم برانگیختگی را درک کرده اند.

تحلیل توصیفی میزان یادگیری دانش آموزان

جدول ۱ آماره های توصیفی مربوط به نمرات یادگیری (تفاوت نمره پس آزمون و پیش آزمون) را در دو گروه آزمایش و کنترل نشان می دهد. میانگین نمره پیشرفت تحصیلی در گروه آزمایش که از روش تدریس مبتنی بر آنالوژی استفاده شده، برابر با ۴/۴۴ با انحراف معیار ۱/۲۴ بوده است. در حالی که گروه کنترل که آموزش سنتی دریافت کرده است، میانگین نمره یادگیری ۱/۹۶ با انحراف معیار ۱/۵۰ را نشان می دهد. این تفاوت اولیه، نشان می دهد که استفاده از آنالوژی در آموزش بر یادگیری دانش آموزان مؤثر بوده است.

جدول ۱- بررسی توصیفی نمرات میزان یادگیری دانش آموزان در گروه های آزمایش و کنترل

گروه	تعداد	میانگین	انحراف معیار	کمترین نمره	بیشترین نمره
------	-------	---------	--------------	-------------	--------------

آزمایش	۲۵	۴/۴۴	۱/۲۴	۲	۷
کنترل	۲۵	۱/۹۶	۱/۵۰	۰	۴

تحلیل استنباطی

در این پژوهش، فرض بر آن است که استفاده از روش تدریس مبتنی بر آنالوژی می‌تواند، تأثیر مثبتی بر میزان یادگیری دانش‌آموزان در مفهوم آرایش الکترونی داشته باشد. بر این اساس، فرضیه پژوهش به صورت زیر تدوین شد: استفاده از آنالوژی در تدریس مفاهیم آرایش الکترونی بر میزان یادگیری دانش‌آموزان تأثیر دارد.

فرضیه‌های آماری به صورت زیر تعریف شدند:

فرضیه صفر (H_0): بین میانگین نمرات یادگیری دانش‌آموزان گروه آزمایش (استفاده از آنالوژی) و گروه کنترل (روش سنتی) تفاوت معناداری وجود ندارد.

فرضیه مقابل (H_1): بین میانگین نمرات یادگیری دو گروه تفاوت معناداری وجود دارد.

به منظور اجرای آزمون‌های پارامتریک از جمله تحلیل کوواریانس تک‌متغیره، ابتدا پیش‌فرض‌های آماری مورد بررسی قرار گرفت. برای ارزیابی همگنی واریانس نمرات یادگیری بین دو گروه، از آزمون لوین استفاده شد. نتایج مربوط به این آزمون در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- نتایج آزمون لوین برای بررسی برابری واریانس‌ها

گروه‌ها	آماره لوین	درجه آزادی ۱	درجه آزادی ۲	p-value
گروه آزمایش و کنترل	۲/۱۱	۱	۴۸	۰/۱۵۳

با توجه به جدول ۲، سطح معناداری (۰/۱۵۳) بزرگ‌تر از ۰/۰۵ است؛ بنابراین، فرض برابری واریانس‌ها رد نمی‌شود و استفاده از آزمون t مستقل مجاز است.

همچنین از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برای بررسی رعایت پیش‌فرض‌های آزمون‌های پارامتریک و نرمال‌بودن توزیع نمرات دو گروه استفاده شد. بر اساس اطلاعات جدول ۳، مقدار سطح معناداری مربوط به آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برای بررسی برابری واریانس‌ها در دو گروه بیشتر از ۰/۰۵ به دست آمد. این امر نشان‌دهنده آن است که توزیع نمرات در هر دو گروه، نرمال بوده و شرط لازم برای استفاده از تحلیل کوواریانس تک‌متغیره فراهم است.

جدول ۳- نتایج آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برای بررسی برابری واریانس‌ها

گروه	آماره K-S	p-value	نتیجه
آزمایش	۰/۱۹۱	۰/۲۸۳	نرمال
کنترل	۰/۱۹۳	۰/۲۷۳	نرمال

به‌منظور بررسی تفاوت معنادار در یادگیری بین دو گروه، از آزمون t مستقل استفاده شد. مطابق جدول ۴، مقدار آماره t برابر با ۶/۳۶ و مقدار p برابر با ۰/۰۰۱ به دست آمد که کمتر از سطح معناداری ۰/۰۵ است؛ بنابراین، تفاوت مشاهده‌شده میان میانگین نمرات یادگیری دو گروه از نظر آماری معنادار است؛ بنابراین فرض صفر، رد و فرض مقابل تأیید می‌شود. این یافته، نشان می‌دهد که استفاده از آنالوژی در تدریس مفاهیم مرتبط با آرایش الکترونی تأثیر قابل‌توجهی بر افزایش یادگیری دانش‌آموزان داشته است.

جدول ۴- نتایج آزمون t مستقل برای مقایسه نمرات یادگیری

متغیر	آماره t	درجه آزادی	p-value	نتیجه
نمره یادگیری	۶/۳۶	۴۸	< ۰/۰۰۱	معنادار

برای تأیید نتایج آزمون t، از تحلیل واریانس یک‌طرفه استفاده شد (جدول ۵). مقدار F به‌دست‌آمده برابر با ۴۰/۵۰ و مقدار p آن کمتر از ۰/۰۰۱ به دست آمد که نشان‌دهنده وجود تفاوت معنادار بین دو گروه در میزان یادگیری است. برای سنجش میزان تأثیر روش تدریس مبتنی بر آنالوژی بر یادگیری، شاخص‌های اندازه اثر محاسبه شدند. همان‌طور که در

جدول ۵ دیده می‌شود، مقدار d کوهن^۱ برابر با $۱/۸۰$ است که نشان‌دهنده یک اثر بسیار بزرگ است. همچنین مقدار ضریب مجذور اتا برابر با $۰/۴۵۸$ بوده است که به این معناست که حدود $۴۵/۸$ درصد از واریانس نمرات یادگیری را می‌توان به تفاوت در روش تدریس نسبت داد. این نتایج، نشان می‌دهند که علاوه بر معناداری آماری، اثر مشاهده‌شده از نظر آموزشی نیز قابل توجه است.

جدول ۵. نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه مربوط به تأثیر استفاده از آنالوژی بر یادگیری آرایش الکترونی

منبع تغییرات	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	آماره F	p-value	ضریب مجذور اتا	d کوهن
بین گروه‌ها	۷۶/۸۸	۱	۷۶/۸۸	۴۵/۵۰	$< ۰/۰۰۱$	۰/۴۵۸	۱/۸۰
درون گروه‌ها	۹۱/۱۲	۴۸	۱/۹۰				
کل	۱۶۸/۰۰	۴۹					

تحلیل نظرات دانش‌آموزان در مورد استفاده از آنالوژی در تدریس مفاهیم شیمی

همان‌طور که در روش پژوهش بیان شد، به‌منظور ارزیابی نگرش دانش‌آموزان نسبت به استفاده از آنالوژی در آموزش مفاهیم شیمی، نظرسنجی با ۳ سؤال بسته پاسخ در مقیاس لیکرت طراحی و اجرا شد. در ادامه نتایج حاصل از این سؤالات ارائه شده‌است و نمودار مربوط به آن‌ها در شکل ۴ نمایش داده شده‌است:

سؤال اول: آیا استفاده از آنالوژی مفاهیم شیمی به تجربیات واقعی علاقه و انگیزه شما را نسبت به درس شیمی افزایش داده است؟

داده‌ها، نشان‌داد که ۲۲ نفر از دانش‌آموزان (۸۸ درصد) گزینه‌های «بسیار زیاد» و «زیاد» را انتخاب کرده‌اند. این نتیجه نشان‌داد که استفاده از آنالوژی در آموزش، در افزایش علاقه و انگیزه دانش‌آموزان به درس شیمی بسیار مؤثر بوده‌است. تنها، درصد کمی از دانش‌آموزان، گزینه‌های متوسط یا کمتر را انتخاب کردند. بنابراین استفاده از آنالوژی باعث افزایش علاقه و انگیزه دانش‌آموزان نسبت به درس شیمی شده‌است.

¹ Cohen's d

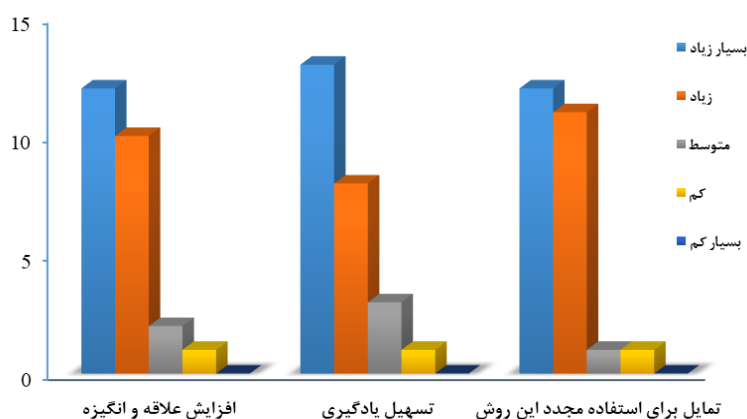
سؤال دوم: آیا استفاده از روش آنالوژی در تدریس مفاهیم مربوط به ساختمان اتم و انرژی الکترون‌ها توانسته است، یادگیری این مفاهیم را برای شما آسان‌تر کند؟

بر اساس پاسخ‌ها، ۲۱ نفر (۸۴ درصد) از دانش‌آموزان موافق بودند که استفاده از آنالوژی باعث تسهیل یادگیری آن‌ها شده است. دانش‌آموزان بیان کردند که این روش به آن‌ها در درک بهتر مفاهیم انتزاعی، مانند آرایش الکترونی، لایه‌های الکترونی و سطح انرژی الکترون‌ها کمک کرده و یادگیری را برایشان ملموس‌تر و ساده‌تر نموده است.

سؤال سوم: آیا تمایل دارید که معلم از آنالوژی برای تدریس سایر مفاهیم شیمی نیز استفاده کند؟

۲۳ نفر (۹۲ درصد) از دانش‌آموزان خواهان استفاده از روش آنالوژی در تدریس سایر مفاهیم شیمی نیز بودند. این موضوع بیانگر استقبال بالای دانش‌آموزان از تدریس مفاهیم علمی با کمک آنالوژی بود

به‌طور کلی پاسخ‌های دانش‌آموزان به سه سؤال نظرسنجی نشان داد که آن‌ها روش آنالوژی را در افزایش علاقه و انگیزه و نیز درک بهتر مفاهیم انتزاعی شیمی مؤثر می‌دانند و تمایل دارند، در سایر مباحث شیمی نیز از این روش استفاده شود.



شکل ۴- نتایج نظرسنجی از دانش‌آموزان

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر استفاده از آنالوژی در یادگیری مفاهیم آرایش الکترونی در دانش‌آموزان پایه دهم انجام شد. یافته‌های به‌دست‌آمده از تحلیل داده‌های کمی و کیفی نشان داد که استفاده از این روش در تدریس، بر یادگیری دانش‌آموزان تأثیر مثبت و معناداری داشته است. نتایج آزمون t مستقل و تحلیل واریانس یک‌راهه نشان داد که میانگین نمرات یادگیری در گروه آزمایش که با روش تدریس مبتنی بر آنالوژی آموزش دیدند، به‌طور معناداری بیشتر از

گروه کنترل است. همچنین مقدار اندازه اثر ($d = 1/80$ کوهن) و $0.458 =$ ضریب مجذور اتا نشان داد که این تفاوت از نظر آموزشی نیز قابل توجه است. این یافته‌ها تأیید می‌کند که روش آنالوژی توانسته است، مفاهیم پیچیده‌ای همچون آرایش الکترونی، لایه‌ها و زیرلایه‌های الکترونی، آرایش الکترونی و قاعده آفبا و انرژی الکترون‌ها را برای دانش‌آموزان قابل فهم‌تر و یادگیری آن‌ها را اثربخش‌تر کند. ۸۲ درصد دانش‌آموزان نیز معتقد بودند، استفاده از آنالوژی، درک مفاهیم آرایش الکترونی و انرژی الکترون‌ها را برای آنان آسان‌تر کرده‌است. این یافته با مطالعات ارگیل و بوند (۲۰۰۴) و راهایو و سوتریسو (۲۰۱۹a) همسو است که استفاده از آنالوژی را راهبردی مؤثر برای آموزش مفاهیم پیچیده و انتزاعی معرفی کردند.

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از روش‌های نوین تدریس مانند آنالوژی‌های مربوط به زندگی روزمره که دانش‌آموزان با آن‌ها ارتباط برقرار می‌کنند، توانسته است، مشکلات درک مفاهیم انتزاعی را کاهش دهد و فرآیند یادگیری را جذاب‌تر کند. نظرات دانش‌آموزان در نظرسنجی‌ها نشان داد که این روش‌ها باعث افزایش انگیزه و علاقه آن‌ها به درس شیمی شده است. علاوه بر این، همچنین، پژوهش‌های دیگر نشان داده‌اند که استفاده از آنالوژی می‌تواند، ارتباطی میان مفاهیم علمی و تجربیات روزمره دانش‌آموزان برقرار کند و یادگیری را ساده‌تر و جذاب‌تر نماید (دویت^۱، ۲۰۰۱؛ سالم و اکبر، ۲۰۲۲). به نظر می‌رسد آنالوژی از طریق ساده‌سازی مفاهیم انتزاعی و اتصال آن‌ها به تجارب ملموس و روزمره، موجب معنادارتر شدن فرآیند یادگیری، شده و دانش‌آموزان را به یادگیری فعال واداشته است. از سوی دیگر، ارتباط دانش‌آموزان با مثال‌ها و تشبیه‌های ملموس مانند «هتل»، «اتاق مدیر»، یا «دانشجوی دور از خانه» باعث شده‌است تا مفاهیم دشواری مانند زیرلایه‌ها، برانگیختگی الکترون و اختلاف انرژی بین لایه‌ها با درک بهتری همراه باشد. این یافته‌ها همچنین با مدل تدریس با آنالوژی (گلین^۲، ۲۰۰۸) همخوانی دارد که تأکید دارد قیاس‌های مناسب و آگاهانه می‌توانند واسطه‌ای قوی میان دانش قبلی و مفاهیم جدید باشند.

یافته دیگر پژوهش به تمایل بالای دانش‌آموزان نسبت به استفاده از آنالوژی در سایر مفاهیم شیمی مربوط می‌شود. بیش از ۹۰ درصد از شرکت‌کنندگان در نظرسنجی بیان کردند که علاقه دارند معلم در تدریس سایر موضوعات نیز از این روش استفاده کند. این موضوع، نشان می‌دهد که آنالوژی نه تنها به درک مفاهیم علمی کمک کرده، بلکه موجب شکل‌گیری نگرش مثبت نسبت به کل درس شیمی شده است. این یافته نیز با نتایج پژوهش سالم و اکبر (۲۰۲۲) و

¹ Duit² Glynn

پروندانی و دیگران (۲۰۱۹) هم‌راستا است که نشان دادند، استفاده از قیاس و تشبیه می‌تواند یادگیری دانش‌آموزان را تعمیق بخشد و علاقه آن‌ها به موضوعات علمی را افزایش دهد.

اگرچه نتایج به‌دست‌آمده بسیار مثبت بود و مؤید این بود که آنالوژی یکی از روش‌های مؤثر برای آموزش مفاهیم دشوار و انتزاعی در شیمی است، با وجود این، باید توجه داشت که استفاده نادرست یا ساده‌انگارانه از آنالوژی‌ها ممکن است منجر به برداشت‌های نادرست یا شکل‌گیری تصورات غلط در ذهن دانش‌آموزان شود. پژوهش راهایو و سوتریسنو (۲۰۱۹a) نیز بر این نکته تأکید دارد که آنالوژی‌ها باید به‌صورت هدفمند و همراه با تبیین علمی دقیق ارائه شوند. در همین راستا، به معلمان پیشنهاد می‌شود، هنگام استفاده از آنالوژی، همواره بر نقاط تشابه و تفاوت میان ساختار اصلی و ساختار قیاسی تأکید کرده و از ابهام در انتقال مفاهیم پرهیز کنند. همچنین توصیه می‌شود که این روش در تدریس سایر مفاهیم دشوار شیمی همچون پیوندهای شیمیایی، ترمودینامیک و واکنش‌های اسید و باز نیز به کار گرفته شود. استفاده از آنالوژی به‌عنوان ابزاری علمی و جذاب، نه تنها به تسهیل یادگیری کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به ارتقای کیفیت آموزش علوم در مدارس نیز بینجامد.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان مقاله در تمام مراحل طراحی، اجرا و نگارش مقاله همکاری داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

از اداره آموزش و پرورش شهرستان ملایر و دبیرستان شاهد حضرت زهرا (س) که در انجام این مطالعه و پژوهش همکاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده‌است»

منابع

- Ankeli, G. O., Eriba, J. O. & Achor, E.E. (2020). Effect of mentoring strategy on academic performance in physics among secondary school students in Benue State, Nigeria. *BSU Journal of Science, Mathematics and Computer Education*, 1 (1), 88-97.
- Asghari Lalami, N. (2024). An analysis on the use of analogy in chemistry education. *Research in Chemistry Education*, 6(3), 85-95.

- Audu, C. T. (2024). Effect of analogy instructional strategy on students' academic performance and critical thinking in basic science in taraba state. *International Journal of Educational Research and Library Science*.
- Blake, A. (2004). Helping young children to see what is relevant and why: Supporting cognitive change in earth science using analogy. *International Journal of Science Education*, 26(15), 1855-1873.
- Brown, S., & Salter, S. (2010). Analogies in science and science teaching. *Advances in Physiology Education*, 34(4), 167-169.
- Cronbach, L. J., Shavelson, R. J. (2004). My current thoughts on coefficient Alpha and successor procedures. *Educational and Psychological Measurement*, 64(3), 391–418.
- Deborah, A. (2014). The effects of interactive-engagement and analogy enhanced instructional strategies on self-efficacy of senior secondary school chemistry students. *Researchjournal's Journal of Education*, 2(6), 1-12.
- Demircioğlu, G., Demircioğlu, H., & Yadigaroglu, M. (2013). An investigation of chemistry student teachers' understanding of chemical equilibrium. *International Journal on New Trends in Education and Their Implications*, 4(2), 192-199.
- Didis, N. (2015). The analysis of analogy use in the teaching of introductory quantum theory. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(2), 355-376.
- Duit, R. (2001). On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science. *Science Education*, 75(6), 649-672.
- Erökten, S., & Kahraman-Gökharman, H. (2013). The effect of analogy method on student achievement in the unit "The Structure and Properties of Matter" Çivril sample. *World Applied Sciences Journal*, 23(6), 744-750.
- Eskandar, F. A., Bayrami, M., Vahedi, S., & Ansar, V. A. A. (2013). The effect of instructional analogies in interaction with logical thinking ability on achievement and attitude toward chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(4), 566-575.
- Gokhan U., Refik D., Yasemin, S. & Bahattin D. (2012). The effects of analogy on students' understanding of direct current circuits and attitudes towards physics lessons. *European Journal of Educational Research* 1(3), 211-223
- Glynn, S. M. (2008). 5.1 Making science concepts meaningful to students: teaching with analogies. *Four Decades of Research in Science Education-from Curriculum Development to Quality Improvement: From Curriculum Development to Quality Improvement*, 113.
- Hosienisadr, S. (2023). Investigating the amount of attention paid to the use of analogy in Chemistry education in Second period high school chemistry textbooks. *Research in Experimental Science Education*, 2(7), 85-96.
- James, M. C., & Scharmann, L. C. (2007). Using analogies to improve the teaching performance of preservice teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(4), 565-585.

- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry-logical or psychological?. *Chemistry Education Research and Practice*, 1(1), 9-15.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of chemical education*, 70(9), 701.
- Keri, Z., & Elbatarny, H. S. (2021). The Power of Analogy-Based Learning in Science. *HAPS Educator*, 25(1), 13-20.
- Lee, J., & Park, D. (2014). Do American and Korean education systems converge? Tracking school reform policies and outcomes in Korea and the USA. *Asia Pacific Education Review*, 15, 391-399.
- Motazaker, I., & Awazdokht, E. (2015). A review of some new methods of teaching chemistry in high school. *Quarterly Journal of Pooyesh in Basic Science*, 1 (1), 19-22.
- Nakiboğlu, C., & Taber, K. S. (2013). The atom as a tiny solar system: Turkish high school students' understanding of the atom in relation to a common teaching analogy. In *Concepts of matter in science education* (pp. 169-198). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Olashinde, K. J. & Olatoye, R. A. (2014). Comparison of male and female senior secondary school students learning outcomes in science in Katsina State, Nigeria. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 5(2), 517- 523.
- Owolabi, O. T. & Oginni, O. I. (2013). Assessing the relative effectiveness of three methods in the measurement of students' performance in physics. *International Journal of Materials, Methods and Technology*, 1(8), 116- 125.
- Orgill, M., & Bodner, G. (2004). What research tells us about using analogies to teach chemistry? *Chemistry Education Research and Practice*, 5(1), 15-32.
- Orvis, J., Sturges, D., Rhodes, S., White, K. J., Maurer, T. W., & Landge, S. M. (2016). A Mailman analogy: Retaining student learning gains in alkane nomenclature. *Journal of Chemical Education*, 93(5), 879-885.
- Peterson, J. C., Chen, D., & Griffiths, T. L. (2020). Parallelograms revisited: Exploring the limitations of vector space models for simple analogies. *Cognition*, 205, 104440.
- Purwandani, Nugroho, A., Lutfi, A., & Hidayah, R. (2019). The Development of Chem Man Computer Game as Atomic Constituent Particles Learning Media for 10th Grade High School. *Unesa Journal of Chemical Education*, 8(3), 380-389.
- Rahayu, R. R. Y., & Sutrisno, H. (2019a). The effect of chemistry learning based on analogy on higher order thinking skills of senior high school students in equilibrium concepts. *European Journal of Education Studies*, 5(12), 255-267.
- Rahayu, R. R. Y., & Sutrisno, H. (2019b). The Analysis of Analogy use in Chemistry Teaching. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1233, No. 1, p. 012022). IOP Publishing.
- Sa'diyah, A., & Lutfi, A. (2023). Atomic structure teaching module with PhET simulation to increase student motivation and learning outcomes. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 11(4), 459-468.

- Saleem, A., & Akbar, R. A. (2022). Effect of Analogy Based Teaching on Students 'Chemistry Learning at Secondary School Level. *Annals of Human and Social Sciences*, 3(3), 477-493.
- Samara, N. A. H. (2016). Effectiveness of Analogy Instructional Strategy on Undergraduate Student's Acquisition of Organic Chemistry Concepts in Mutah University, Jordan. *Journal of Education and practice*, 7(8), 70-74.
- Seiler, K. P., & Huggins, J. (2018). From cheese curls to fatty acid structure: using "commonplace" analogies to teach science to nonmajors. *Advances in Physiology Education*, 42(2), 393-395.
- Shahani, V. M., & Jenkinson, J. (2016). The efficacy of interactive analogical models in the instruction of bond energy curves in undergraduate chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(2), 417-428.
- Supasorn, S., & Promarak, V. (2015). Implementation of 5E inquiry incorporated with analogy learning approach to enhance conceptual understanding of chemical reaction rate for grade 11 student. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(1), 121-132.
- Taber, K. S. (2001). Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research. *Chemistry education research and practice*, 2(2), 123-158.
- Türk, F., Ayas, A., & Karşlı, F. (2010). Effectiveness of analogy technique on students' achievement in general chemistry laboratory. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 2717-2721.