



A review of teaching strategies and methods on creativity and technology in chemistry education

Vahid Amani ^{1,*}, Mohammad Yaghobi ², Alireza Zareinejad ³, Alireza Tatari ⁴

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

²Chemistry Teacher, Education, Karaj 4 region, Iran

³Chemistry Teacher, Education, Saujblag city, Iran

⁴Chemistry Teacher, Education, Azadshahr city, Iran

*Corresponding author: (✉ v.amani@cfu.ac.ir)

ABSTRACT

Background and Objectives: Chemistry is one of the most practical subjects among the basic sciences. For this reason, it is very important in the field of education. However, chemistry includes many abstract topics that make learning it difficult for some learners. Therefore, the teacher plays a key role in teaching the learner more effectively. Many teachers use the traditional method of teaching, i.e. direct teaching, in which the learner is only a listener and does not do anything. However, the leading countries in the field of education, use various facilities to explain strategies for teaching chemistry to make learning more effective for learners. **Methods:** In this research, an attempt has been made to point out some of the strategies used in the leading countries in the field of education by using available resources in the field of education, using descriptive, theoretical, and qualitative research methods. **Findings:** The strategy based on creativity is one of these strategies in which, by designing a teaching method, the teacher takes the education out of passive mode. Technology-based strategy is another method that uses technologies such as mobile phones, computers, etc., for better education. **Conclusion:** Considering that many learners in our country, have problems with learning chemistry, and it is difficult for them to learn this subject, due to the ease and effectiveness of the mentioned strategies, teachers can use the passive and direct modes since involving learners in the teaching process makes the abstract concepts of chemistry easier for them and increases their rate of learning.

Keywords: Chemistry education, Active learning, Teaching strategy, Strategy based on creativity, Technology-based strategy

REVIEW ARTICLE

Received: 28 October 2024

Revised: 22 December 2024

Accepted: 13 January 2025

Published online: 13 January 2025

Print ISSN: [3041-9271](#)

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

Citation: Amani, V.; Yaghobi, M.; Zareinejad, A.; Tatari, A. (2025). A review of teaching strategies and methods on creativity and technology in chemistry education. *Research in Chemistry Education*, 7(2), 91-119.

 <https://doi.org/10.48310/chemedu.2025.17492.1280>



© The author(s)
Publisher: Farhangian University



Extended Abstract

Introduction

Education is a lifelong process of acquiring knowledge and various skills that begins in childhood and continues throughout a person's life. In this regard, education is vital to help us understand the world around us, solve everyday problems, and improve society using available tools. Among the basic sciences, chemistry is one of the required science disciplines that are a prerequisite for studying many other scientific disciplines. Chemistry not only provides learners with chemical backgrounds to cope with everyday life but also provides them with the knowledge needed for further studies in science and technology. On the other hand, the connection of chemistry education with environmental issues is for analyzing and investigating the environment resulting from the manufacture, processing, use, and utilization of many medical science products, which makes chemistry a suitable subject for the functioning of environmental issues during the education process. Learners often perceive chemistry as a difficult subject because it involves learning abstract concepts. Abstract concepts act as a barrier to making connections between learners' experiences of concepts and classroom learning and may lead to their inability to recognize the need to learn chemistry. Given the teacher's role in creating interest in learning, providing an active and appropriate learning environment that increases group activity and discussion between the learner and the teacher has a positive effect on motivating the learner to learn. Therefore, teachers must improve the solution of everyday problems involving chemistry by applying diverse strategies around educational materials related to the subject matter. To solve these problems for learners, we need to move the education process from passive and direct teaching. Because when learners are actively engaged in research and discussion, compared to when they are engaged in a passive learning experience; they experience greater academic success. Teaching methods are active communication and interaction between the learner and the teacher that improves learning. However, teaching strategies are a combination of traditional teaching and the use of technology that involves the active participation of the learner during teaching and helps him to trust his own capacities. In this method, the teacher plays the role of a guide who stimulates the curiosity of the learners by asking various questions about the topic being taught and helps them in their search for more knowledge. Creativity-based strategies are methods that first identify talented and creative learners and then, by assessing them, develop this talent in them from an early age. On the other hand, technology-based strategies are a group of strategies that use computers, various educational software, the internet, and other technologies for the active participation of learners (Bulman and Looney, 2016). In this study, we will get acquainted with several chemistry teaching strategies that can take the flow of the class away from direct teaching by the teacher. The mentioned strategies are divided into two categories: creativity-based and technology-based, each of which refers to several types of strategies. We will discuss these strategies below.

Methodology

In this review study, by using analytical and descriptive research methods, after reviewing and analyzing various sources on the topic of creativity and technology-based strategies and methods, we have collected and categorized the materials and analyzed their effects on the target group consist of School students and university students.

Results and Discussion

As we reviewed the creativity-based and technology-based teaching strategies, a summary is provided in this section, broken down into categories, along with definitions of their concepts:

1. Creativity-Based Strategies

1-1. Blended Learning: This is a method in which the teacher is the main focus of the class discussion and the student is busy taking notes.

1-1-A: Cooperative Learning: Cooperative learning engages students in solving problems in groups during class time.

1-1-B: Class Discussions: Class discussions allow the teacher to question students in the classroom in ways that lead to understanding of the material.

1-1-C: Concept Maps: Concept maps draw students' attention to the hierarchical nature of chemistry and the need to collect material from separate chapters.

1-2. Flipped Classroom Model: An approach in which content is presented in the classroom, then practiced and repeated, and then problems are solved and resolved at home.

1-3. Chemistry Games: Generally, learners engage well with this method. The rules of the game are simple and understandable, which makes it easy for most learners to cope with any added complexity.

1-4. Problem-Based Learning (PBL): In this method, the teacher acts as a guide rather than a source of solutions.

1-5. Innovative Approaches to Teaching in the Digital Age: Consider innovative approaches to teaching as improved problem-solving skills that allow learners to work faster and master concepts systematically.

1-6. Case Study (CS) Strategy: In this method, the teacher can use a fictional or even real story that is involved in the learner's daily life to engage the learner in the learning process and, by posing a problem related to the topic, involve the learner in solving that problem.

2. Technology-Based Strategies

2-1. Film-based education: Learners' perceptions of science and science are heavily driven by forces outside of school, such as movies and television cartoons, comedies, and dramas.

2.2. Using simulation software: Simulations can be a very effective tool for providing learners with powerful and lasting learning experiences.

2.3. Explain Everything (EE) software: Applications of this program include: (a) interactive whiteboard, (b) video, and (c) feedback on documents

2.3-a: Interactive whiteboard: An interactive whiteboard is a presentation of lectures using a traditional blackboard and PowerPoint slides on a single platform.

2.3-b: Video: Adding audio to an interactive whiteboard presentation allows for the creation of lecture recordings and YouTube videos.

2.3-c: Feedback on documents: One of the key objectives of high-level seminars is to teach students skills such as presentation skills, which are crucial for their success in continuing their undergraduate studies.

2.4. 3D molecular visualization software: In chemistry, the student must acquire the skills of interpretation as well as spatial understanding of structures and processes to understand and solve problems.

2.5. Interactive software: Interactive programs are used not only as software applications but also for communication and entertainment.

2.5-A: Chemical molecule viewers: These types of programs can simulate models of molecular systems and users can manipulate the molecular model to visualize it in different conditions.

2.5-B: Periodic Table and Database Applications: Web browsers on mobile devices can access the modern periodic table and online databases for browsing.

2.5-C: Chemical Calculation and Reaction Applications: In addition to chemical compounds and related chemical reactions, their equilibria, common calculations, searches, and related details in this type of software are certainly of interest to chemists.

2.5-D: Virtual Chemistry Lab Applications: Virtual practical labs continue to be considered the most effective approach because learners can quickly set up a high-quality lab and save time collecting and processing data, changing system configurations, which are often not possible in a real lab.

2.5-E. Game-Based Learning Applications: Game-based learning applications can help learners produce clearer representations of their knowledge. As a result, this process can positively affect their access, recall, and transfer of knowledge.

2-6. Interactive Chemistry Education Based on Information Communication Technology (ICT): Interactive chemistry education solves problems related to improving the quality of education, the personal development of learners, and the problems of teaching strategies.

2.7. Computer Game-Based Strategy: Using a game approach in the classroom is a dynamic and interactive strategy that teachers can use to create an engaging chemistry learning experience for learners to improve their curiosity, critical thinking, and problem-solving skills.

2.7-A: Digital Simulation: Digital simulation provides learners with a virtual laboratory where they can conduct various experiments, observe chemical reactions, and explore complex concepts in a safe and controlled environment.

2.7-B: Board Games: Board games specifically designed for chemistry education serve as valuable tools for reinforcing knowledge and promoting collaborative learning.

Conclusions

Chemistry is one of the most basic topics in basic sciences. On the other hand, the abstract topics that we encounter throughout chemistry make learning this subject difficult for learners. To facilitate these topics, it is necessary to remove the teaching process from the direct and passive mode and increase the role of learner activity in the teaching process. For this purpose, two types of strategies can be used: creativity-based and technology-based. In the creativity-based method, the teacher uses a teaching method in which the learner has an active role and the teacher alone does not play the role of the center of the class. The integration of three teaching methods: cooperative learning, class discussions, and concept maps with the flipped classroom model, games in chemistry, problem-based learning, and case study strategy are examples of this type of teaching strategy that we examined. Video-based teachings, the use of simulation software, explain-it-all software, 3D molecule visualization software, and interactive software, as well as strategies based on computer games, are examples of technology-based strategies. Each of these strategies targets one of the problems of learners in chemistry and tries to facilitate the learning path for them. Given that in our country, many learners have problems with learning chemistry and it is difficult for them to learn this subject, therefore, due to the ease and effectiveness of the strategies mentioned, teachers can make the abstract concepts of chemistry easier for them and increase the amount of learning for them to remove the class flow from a passive and direct mode and involve learners in the teaching process. On the other hand, not only do these strategies make chemistry more attractive to learners, but when they develop an interest in a topic, they pursue it more seriously and learning becomes more effective for them, which is the goal of the teacher in his teaching.



پژوهش در آموزش شیمی

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


مروری بر راهبردها و روش‌های تدریس مبتنی بر خلاقیت و فناوری در آموزش شیمی

وحید امانی^{۱*}، محمد یعقوبی^۲، علیرضا زارعی نژاد^۳، علیرضا طاطاری^۴

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

^۲ دبیر شیمی، آموزش و پرورش ناحیه ۴ کرج، ایران

^۳ دبیر شیمی، آموزش و پرورش شهرستان ساوجبلاغ، ایران

^۴ دبیر شیمی، آموزش و پرورش شهرستان آزادشهر، ایران

* نویسنده مسئول: (✉ v.amani@cfu.ac.ir)

چکیده

پیشینه و اهداف: شیمی یکی از کاربردی‌ترین مباحث علوم پایه است. به همین دلیل در مقوله آموزش، اهمیت بسیاری دارد. با این حال، شیمی مباحث انتزاعی بسیاری را شامل می‌شود که یادگیری آن را برای تعدادی از فراگیران با مشکل مواجه می‌کند. لذا معلم در آموزش مؤثرتر برای فراگیر، نقش کلیدی را ایفا می‌کند. بسیاری از معلمان از شیوه سنتی آموزش یعنی آموزش مستقیم استفاده می‌کنند که در آن فراگیر تنها شنونده است و فعالیتی ندارد. کشورهای پیش‌تاز در حوزه آموزش، با بهره‌گیری از امکانات مختلف، راهبردهایی را برای آموزش شیمی تبیین می‌کنند تا یادگیری را برای فراگیران مؤثرتر کنند. **روش‌ها:** در این پژوهش تلاش شده است تا با بهره‌گیری از منابع موجود در حوزه آموزش، با استفاده از روش تحقیقات توصیفی، نظری، کیفی به بخشی از راهبردهای مورد استفاده در کشورهای پیش‌تاز در زمینه آموزش اشاره شود. **یافته‌ها:** راهبرد مبتنی بر خلاقیت، یکی از این راهبردهاست که در آن معلم با طراحی یک روش تدریس، آموزش را از حالت غیر فعال خارج می‌کند. راهبرد مبتنی بر فناوری، روش دیگری است که با بهره‌گیری از فناوری‌هایی نظیر تلفن همراه، رایانه و... جهت آموزش بهتر، مورد استفاده قرار می‌گیرد. **نتیجه‌گیری:** با توجه به این‌که در کشور ما، فراگیران زیادی با درس شیمی مشکل دارند و یادگیری این درس برای آن‌ها دشوار است، لذا به دلیل سهولت و مؤثر بودن راهبردهای ذکر شده، معلمان می‌توانند برای خارج کردن جریان کلاس از حالت غیرفعال و مستقیم و وارد کردن فراگیر به فرآیند تدریس، مفاهیم انتزاعی شیمی را برای فراگیران، آسان‌تر و میزان یادگیری را برای آن‌ها بیشتر کنند.

واژه‌های کلیدی: آموزش شیمی، آموزش فعال، راهبرد تدریس، راهبرد مبتنی بر خلاقیت راهبرد مبتنی بر فناوری.

مقاله مروری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۴

تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۱۰/۲۴

شاپا چاپی: ۳۰۴۱-۹۲۷۱

شاپا الکترونیکی: ۲۷۱۷-۲۲۷۹



ارجاع: امانی، وحید؛ یعقوبی، محمد؛ زارعی نژاد، علیرضا؛ طاطاری، علیرضا (۱۴۰۳). مروری بر راهبردها و روش‌های تدریس مبتنی بر خلاقیت و فناوری در آموزش شیمی. پژوهش در آموزش شیمی، ۷(۲)، ۹۱-۱۱۹.

<https://doi.org/10.48310/chemedu.2025.17492.1280>

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه فرهنگیان



مقدمه

آموزش، فرآیندی مادام‌العمر جهت کسب دانش و مهارت‌های متنوعی است که از دوران کودکی فرد آغاز می‌شود و در طول زندگی‌اش ادامه دارد. در این بین آموزش و پرورش وظیفه حیاتی دارد تا با بهره‌گیری از ابزارهای موجود، به درک جهان پیرامون، حل مشکلات روزمره و بهبود جامعه کمک کند (برهه^۱ و سایرین، ۲۰۲۴). از میان رشته‌های علوم پایه، شیمی یکی از شاخه‌های ضروری از علم است که پیشنهاد مطالعه بسیاری از دروس علم محور دیگر است (سون^۲، ۱۹۹۷). شیمی نه تنها زمینه‌های شیمیایی برای کنرآمدن با زندگی روزمره را برای فراگیران فراهم می‌کند، بلکه آن‌ها را به دانش مورد نیاز برای مطالعات بیشتر در علم و فناوری مجهز می‌نماید. از سوی دیگر، ارتباط آموزش شیمی با مسائل زیست‌محیطی برای تجزیه و تحلیل و درک اثرات زیست‌محیطی ناشی از ساخت، پردازش، استفاده و دفع بسیاری از محصولات شیمیایی ضروری است که این موضوع، علم شیمی را به موضوعی مناسب برای به کارگیری مسائل زیست‌محیطی در طول فرآیند آموزش تبدیل می‌کند (کارپودوان^۳، ۲۰۲۰). به بیانی دیگر، شیمی به‌عنوان یکی از دروس دوره دوم متوسطه سعی بر آن دارد تا با ارتقای تفکر انتقادی، مهارت حل مسئله و مهارت ارزیابی فراگیر، ضمن لذت‌بخش کردن فرآیند آموزش، سواد شیمیایی و فرهنگ شیمی را در فراگیران به وجود آورد (هافستین^۴ و مملوک نعمان^۵، ۲۰۲۱؛ کوانگ موانگ^۶ و همکاران، ۲۰۲۱). فراگیران، اغلب شیمی را به‌عنوان یک موضوع دشوار در نظر می‌گیرند؛ زیرا شیمی شامل یادگیری مفاهیم انتزاعی است (ناهوم^۷ و همکاران، ۲۰۰۴؛ تساپارلیس^۸، ۲۰۱۶؛ تومای^۹، ۲۰۱۶). مفاهیم انتزاعی همانند مانعی در مسیر ایجاد ارتباط بین تجربیات کسب‌شده فراگیران از مفاهیم و یادگیری کلاسی عمل کرده و ممکن است، منجر به ناتوانی آن‌ها در تشخیص نیاز به یادگیری شیمی شود (گرو^{۱۰} و برتز^{۱۱}، ۲۰۱۲). به بیان دیگر، دشواری تشخیص علم شیمی به‌عنوان علمی کاربردی در مواجهه با مسائل پیرامون زندگی و به‌کارگیری آن در فعالیت‌های روزمره انسان که همواره با آن روبه‌رو می‌شود، یادگیری آن را برای طیف وسیعی از فراگیران دشوار می‌سازد (ولدمازیام^{۱۲} و همکاران، ۲۰۲۴). از سوی دیگر، با توجه به مغایرت ماهیت تجربی علم شیمی با دیدگاه فراگیران که آن را علمی نظری در نظر می‌گیرند، ترس و اضطرابی نسبت به شیمی در آن‌ها شکل می‌گیرد

¹ Berhe² Soon³ Karpudewan⁴ Hofstein⁵ Mamlok-Naaman⁶ Kwangmuang⁷ Nahum⁸ Tsaparlis⁹ Tümay¹⁰ Grove¹¹ Bretzb¹² Woldemariam

که در صورت کنترل نشدن آن توسط معلم، با گذشت زمان علاقه فراگیر را نسبت به موضوع کاهش می‌دهد (کولیل^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). بنابراین با توجه به نقش معلم در ایجاد علاقه برای یادگیری فراگیر، فراهم کردن یک محیط یادگیری فعال و مناسب که فعالیت و بحث گروهی بین فراگیر و معلم را افزایش می‌دهد، تأثیر مثبتی در ایجاد انگیزه یادگیری در فراگیر ایجاد می‌کند (فلاهرتی^۲، ۲۰۲۰؛ سیکوتو^۳ و همکاران، ۲۰۱۶). لذا معلمان وظیفه دارند با به کارگیری راهبردهای متنوع، پیرامون مطالب آموزشی مرتبط با موضوعات درسی، حل مسائل روزمره را که علم شیمی در آنها دخیل است، بهبود بخشند (آریمبا^۴ و همکاران، ۲۰۲۳).

برای رفع این مشکلات برای فراگیران، نیاز است که فرآیند آموزش را از حالت غیرفعال و آموزش مستقیم خارج کنیم. زیرا فراگیران زمانی که فعالانه به تحقیق و بحث می‌پردازند، در مقایسه با زمانی که درگیر یک تجربه یادگیری غیرفعال هستند؛ موفقیت تحصیلی بیشتری را تجربه می‌کنند (لونینگ^۵، ۱۹۹۳؛ وب^۶ و همکارانش، ۱۹۹۵؛ لوهمان^۷ و فینکلشتاین^۸، ۲۰۰۰؛ وایت^۹، ۲۰۰۱؛ آکار^{۱۰} و طرحان^{۱۱}، ۲۰۰۷). بر اساس مبانی تعلیم و تربیت، اولین قدم در پرورش دانش‌آموخته، تولید معلمان علمی خوب است. یک معلم درخشان می‌تواند چارچوب‌های علمی دقیقی را ارائه کند و روش‌های کاربردی را نشان دهد و در عین حال حس شگفتی و کاوش را در فراگیر تقویت نماید (میلر^{۱۲} و همکارانش، ۲۰۱۹). یک معلم خوب تلاش می‌کند به این سؤال پاسخ دهد: «چگونه می‌توانم، تمام نیازهای یادگیری دانش‌آموزانم را برآورده کنم؟» با این حال مشکلاتی چون تعداد فراگیران کلاس، فراگیران متنوع، استانداردها و زمان محدود کلاس ممکن است مانع از حمایت معلم از همه فراگیران در شناخت پتانسیل آنها شود. امروزه، پیشرفت‌های تکنولوژیکی می‌تواند کلاس درس را جذاب‌تر نماید و معلم را یک قدم به پاسخ سؤال خود نزدیک‌تر کند (برگمان^{۱۳} و همکارانش، ۲۰۱۴). امروزه معلمان از روش‌های آموزشی فعال، همانند کار گروهی، مشارکت فعال فراگیر در طول فرآیند آموزش و به کارگیری بازی در جریان تدریس استفاده می‌کنند که با درگیر کردن فراگیر، توجه او به کلاس درس بیشتر می‌شود (سیوراجه^{۱۴} و همکاران، ۲۰۱۵). روش‌های تدریس ارتباط و تعامل فعال بین فراگیر و معلم است که یادگیری را بهبود

¹ Kolil² Flaherty³ Cicuto⁴ Arimba⁵ Lonning⁶ Webb⁷ Lohman⁸ Finkelstein⁹ White¹⁰ Acar¹¹ Tarhan¹² Miller¹³ Bergmann¹⁴ Sivarajah

می‌بخشد (آکپان^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). اما راهبردهای تدریس ترکیبی از آموزش به شیوه سنتی و به‌کارگیری تکنولوژی است که مشارکت فعال فراگیر را در طول تدریس در بر دارد و به او کمک می‌کند تا به ظرفیت‌های خود اعتماد کند. در این شیوه، معلم نقش یک راهنما را دارد که کنجکاوی فراگیران را با مطرح کردن سؤالات متنوع از مبحث مورد تدریس تحریک می‌کند و به آن‌ها در مسیر جستجوی دانش بیشتر کمک می‌کند (گوتک^۲، ۲۰۱۳؛ ساریتاش^۳، ۲۰۱۶؛ ابوالحول^۴ و همکاران، ۲۰۲۱). راهبردهای مبتنی بر خلاقیت، روش‌هایی هستند که ابتدا به شناسایی فراگیران با استعداد و خلاق می‌پردازد تا با ارزیابی آن‌ها، به پرورش این استعداد از سنین پایین در آن‌ها بپردازد (کولارد^۵ و همکاران، ۲۰۱۴). از سوی دیگر راهبردهای مبتنی بر فناوری، دسته‌ای از راهبردها هستند که از رایانه، نرم‌افزارهای متنوع آموزشی، اینترنت و دیگر فناوری‌ها برای مشارکت فعال فراگیران بهره می‌گیرد (بولمن^۶ و لونی^۷، ۲۰۱۶). ما در این پژوهش، با چند راهبرد تدریس شیمی که می‌توانند جریان کلاس را از تدریس مستقیم توسط معلم خارج کنند، آشنا می‌شویم. راهبردهای اشاره شده به دو دسته مبتنی بر خلاقیت و مبتنی بر فناوری تقسیم می‌شوند که در هر یک از آن‌ها به چند نوع راهبرد اشاره شده است. در ادامه به این راهبردها می‌پردازیم.

۱. راهبردهای مبتنی بر خلاقیت

۱-۱. ادغام چند روش تدریس

در بسیاری از کلاس‌های درس شیمی عمومی در مقطع کارشناسی، بیشتر مواقع تدریس به صورت سخنرانی صورت می‌گیرد. این شیوه بدین صورت است که در آن معلم، محور اصلی صحبت در کلاس است و فراگیر مشغول یادداشت برداری است. این شیوه آموزش معلم محور، می‌تواند مطالب زیادی را پوشش دهد؛ اما تضمینی بر درک و یادگیری فراگیر نیست. (گلین^۸ و همکاران، ۲۰۰۹). مطالعات نخله^۹ و همکارانش (۱۹۹۲) درمورد کج‌فهمی‌های فراگیران از روش‌های تدریس، روش‌های یادگیری فعالی همچون یادگیری مشارکتی، بحث‌های کلاسی و نقشه‌های مفهومی را پیشنهاد می‌دهد (فرانسیسکو^{۱۰} و همکاران، ۱۹۹۸).

¹ Akpan

² Gutek

³ Saritaş

⁴ Abulhul

⁵ Collard

⁶ Bulman

⁷ Looney

⁸ Glynn

⁹ Nakhleh

¹⁰ Francisco

۱-۱-الف: یادگیری مشارکتی

یادگیری مشارکتی، فراگیران را به حل مسائل به صورت گروهی در ساعت کلاس مشغول می‌کند. در طول کلاس، فراگیران در گروه‌های پنج یا شش نفره در نزدیکی یکدیگر می‌نشینند. سپس به نوبت، نقش معلم را در گروه‌های خود بازی می‌کنند و به اعضای دیگر گروه، مسائل و موضوعات درسی را آموزش می‌دهند. در این روش، اکثر فراگیران می‌توانند، مسئله یا موضوعی را که در جلسه قبل مورد بررسی قرار گرفته بود، حل کنند؛ اما مشروط بر اینکه برای حل مسئله جدید از همان مفهوم و فرمول تدریس شده در جلسه قبلی استفاده نمایند (لازاروویتز^۱ و همکاران، ۱۹۹۸).

۱-۱-ب: بحث‌های کلاسی

بحث‌های کلاسی به معلم اجازه می‌دهد تا از فراگیران در کلاس درس به روش‌هایی سؤال کند که به درک مطلب مورد نظر منجر شود. این روش با قالب سنتی سخنرانی متفاوت است؛ زیرا فراگیرنده به‌طور فعال درگیر است و معلم در کلاس به جای سخنرانی برای کل زمان جلسه، از سؤالات اصلی در بحث‌های کلاسی استفاده می‌کند. این شیوه دو مزیت دارد: اول این که باعث مشارکت فراگیران در کلاس درس می‌شود؛ دوم این که برای هدایت تفکر آن‌ها از مفاهیم مرتبط با شیمی استفاده می‌شود. علاوه بر این، معلم در سالن سخنرانی پرسه می‌زند و سؤال می‌پرسد و در این حین، فراگیرنده را راهنمایی می‌کند. اگرچه معلم هنوز محور اصلی کلاس است؛ اما فراگیران بلافاصله بر جهت و محتوای سخنرانی تأثیرگذارند. از مزیت‌های دیگر بحث‌های کلاسی این است که معلم مطالب را به موضوعات دیگر در شیمی مرتبط می‌کند، روش‌های یکپارچه‌تر و خلاقانه‌تر برای نگاه کردن به مطالب را مدل‌سازی می‌کند و فراگیران را در جریان کلاس، پرکارتر و فعال‌تر می‌کند. مزیت دیگر گفت‌وگوی فراگیرنده و معلم این است که به آن‌ها اجازه می‌دهد تا در مورد مفاهیم فکر کنند و مطالب را بهتر درک نمایند (دویچ^۲، ۱۹۹۵).

۱-۱-ج: نقشه‌های مفهومی

نقشه‌های مفهومی، توجه فراگیران را به ماهیت سلسله مراتبی شیمی و نیاز به جمع‌آوری مطالب از فصل‌های جداگانه جلب می‌کند. جلسات تدریس با استفاده از نقشه‌های مفهومی برای مرور قبل از امتحانات برگزار می‌شود. در طول این جلسات، از فراگیران خواسته می‌شود تا روابط را شناسایی کرده، موضوعات را با هم مقایسه نموده و اطلاعات را در نقشه‌های مفهومی بزرگ‌تر ادغام کنند. نقشه‌های مفهومی به فراگیران کمک می‌کند تا چگونگی ارتباط میان

¹ Lazarowitz

² Deutch

مطالب مختلف شیمی را درک نمایند. به عنوان مثال، در موضوع تعادل، فراگیران ابتدا با استفاده از برخی از اصول اولیه تعادل مانند تعریف تعادل، بیان تعادل، ثابت تعادل و تعادل‌های ناهمگن و همگن، نقشه‌ای را می‌سازند. سپس یک نقشه مفهومی با استفاده از تعادل اسید-باز ساخته و آن را به نقشه مفهومی اصلی اولیه متصل می‌کنند. با استفاده از این فرآیند ساختمانی، فراگیران یک نقشه مفهومی بزرگ را در پایان ترم خواهند داشت که ارتباط بین موضوعات را به وضوح نشان می‌دهد (لاولس^۱، ۱۹۹۴).

۲-۱. مدل کلاس درس معکوس

سامس^۲ و همکارانش (۲۰۱۴) معتقدند که کلاس درس معکوس، رویکردی است برای تغییر دادن روش تدریس سنتی. رویکردی که در آن محتوا در کلاس درس ارائه و سپس تمرین و تکرار می‌شود و پس از آن مشکلات در خانه حل و برطرف می‌شود. در یک کلاس درس معکوس، فراگیران با استفاده از نمایشگر، سخنرانی‌های خارج از کلاس را تماشا می‌کنند و زمان کلاس صرف درگیر کردن آن‌ها از طریق فعالیت‌های مختلف یادگیری می‌شود. این مدل، توسط برگمان^۳ و سامز (۲۰۱۲) رایج شد؛ اما اولین بار توسط مازور^۴ (۱۹۹۱) استفاده شد. مازور آموزشی مبتنی بر کامپیوتر را برای راهنمایی فراگیران در یک واحد درسی خارج از ساعت کلاس قرار داده بود. در این مدل، مازور کلاس درس فیزیک خود را بازسازی کرد. او زمانی در دسترس فراگیران کلاس فیزیک خود بود که احساس می‌کرد بیشتر به او نیاز دارند (آرنو^۵، ۲۰۱۳). حدود ۱۰ سال بعد، مدل کلاس درس معکوس گسترش یافت. لاهگه^۶ و همکارانش (۲۰۰۰) روش کلاس درس معکوس را برای دسترسی فراگیران بیشتری به سبک‌های مختلف یادگیری ایجاد کردند. روش آن‌ها شامل چند رسانه‌ای (نوارهای ویدئویی و سخنرانی‌های پاورپوینت با صدای ضبط شده) بود که خارج از کلاس درس و در منزل مشاهده می‌شد. پس از انجام نظرسنجی از فراگیران، نتایج نشان داد که تدریس معکوس نسبت به آموزش سنتی، به دلیل افزایش تعامل فراگیران و معلم، تعامل فعال‌تر و همکاری گروهی، مطلوب‌تر است.

¹ Lawless

² Sams

³ Bergmann

⁴ Mazur

⁵ Arnaud

⁶ Lage

۳-۱. بازی در شیمی

سینتیک آنزیم از بخش‌های اساسی آموزش شیمی به‌ویژه در زمینه‌های مراقبت‌های بهداشتی مانند پرستاری است. متأسفانه، تعداد روش‌های با کیفیت کمی برای آموزش مفاهیم به فراگیران رشته‌هایی به جز علوم تجربی موجود است. در این بخش، روش اصلاح‌شده یادگیری فعال بر مبنای مفهومی برای آموزش سینتیک آنزیم به رشته‌های غیرعملی شرح داده شده است. در این روش، مواد به راحتی در دسترس هستند و خود روش هم آسان و جذاب است. رانج و همکارانش، روشی را توصیف کردند که در آن فراگیران به‌عنوان آنزیم عمل می‌کنند. در این روش فراگیران برای بازی گروه‌بندی می‌شوند. مشاهدات نشان می‌دهد که عموماً فراگیران به‌خوبی در این روش درگیر موضوع می‌شوند. قواعد بازی ساده و قابل درک است و همین موضوع باعث می‌شود که اکثر فراگیران به راحتی با هر پیچیدگی اضافه‌شده کنار بیایند. این فعالیت همچنین حس طنز و رقابت دوستانه را دارا است (هینکلی^۱، ۲۰۱۲).

۴-۱. یادگیری مبتنی بر مشکل^۲ (PBL)

به تازگی یادگیری مبتنی بر مشکل به‌عنوان یک راهبرد آموزشی در کلاس‌های شیمی، به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آن‌جاکه این روش یادگیری به‌صورت فعال انجام می‌شود، لذا جهت ارتقای مهارت‌های شناختی و اجتماعی مؤثرتر است (آییلدیز^۳ و همکاران، ۲۰۱۸).

در این روش، معلم به‌جای این‌که منبع راه حل باشد، به‌عنوان یک راهنما عمل می‌کند (وودز^۴، ۱۹۸۵). بر اساس گفته‌های باروز^۵ (۱۹۹۲)، معلم کمک می‌کند تا فراگیران با تبدیل شدن به یادگیرندگان مستقل و خودراهر، مهارت‌های تفکر و استدلال، حل مسئله، فراشناخت و تفکر انتقادی خود را توسعه دهند. در این روش معلم در طول جلسات سؤالاتی می‌پرسد که فراگیر را ملزم به تفکر عمیق و به کارگیری دانش قبلی می‌کند؛ اما نظرات خود را بیان نمی‌کند. همچنین پاسخ‌ها یا راه حل مسائل را به فراگیر نمی‌دهد.

PBL یک رویکرد یادگیری فعال است که در آن یک مشکل به‌عنوان نیروی محرکه برای یادگیری عمل می‌کند. در PBL، یادگیری حول مسائل سازماندهی می‌شود. با این حال، از آن‌جایی که فراگیران تمام اطلاعات لازم برای ارائه یک راه حل را ندارند، با این حال یک حس عدم اطمینان در مورد مسیر صحیح برای حل مشکلات و اهدافی که باید به آن دست یابند ایجاد می‌شود. در طول فرآیند PBL، فراگیران مسئله را تعریف و تجزیه و تحلیل کرده، اطلاعات لازم را

¹ Hinckley² Project Based Learning³ Ayyildiz⁴ Woods⁵ Barrows

شناسایی و جستجو نموده، نتایج تحقیقات خود را به اشتراک گذاشته و با هم کار می‌کنند تا راه‌حل‌های ممکن را در حالی که فعالانه درگیر یادگیری هستند، تدوین و ارزیابی نمایند (باروز^۱ و همکاران، ۱۹۸۰؛ وودز^۲، ۱۹۸۵؛ ساوری^۳ و دافی^۴، ۱۹۹۵؛ گرینو^۵ و همکاران، ۱۹۹۶).

شرکت در PBL فرصت‌هایی را برای فراگیران فراهم می‌کند تا (باروز و همکاران، ۱۹۸۰؛ ساوری و همکاران، ۱۹۹۵؛ گرینو و همکاران، ۱۹۹۶؛ آذر^۶، ۲۰۰۳؛ آکار^۷ و همکاران، ۲۰۰۷؛ آیلدیز^۸ و همکاران، ۲۰۱۵):

۱. مهارت‌های خود را برای به دست آوردن دانش جدید و مفاهیم کلیدی مورد نیاز برای حل مشکلات تقویت کنند و به آن‌ها اجازه داده می‌شود تا اطلاعات آموخته شده را در موقعیت‌های مشابه به کار گیرند.

۲. مهارت‌های ارتباطی خود را بهبود بخشند.

۳. مهارت‌های مربوط به استدلال، تفکر انتقادی، تجزیه و تحلیل، حل مسئله و تصمیم‌گیری را توسعه دهند.

۴. یادگیری مادام‌العمر را به‌عنوان یک یادگیرنده خودراهبر دنبال کنند.

۵-۱. رویکرد نوآورانه در تدریس^۹ در عصر دیجیتال

آموزش شیمی با استفاده از رویکردهای نوآورانه که با بهره‌گیری از ابزارهای دیجیتال صورت می‌پذیرد، علی‌رغم دست و پنجه نرم‌کردن با چالش حضور و غیاب فراگیر در جریان فرآیند آموزش، یکی از روش‌های راهبردی آموزش فعال است. آمینو^{۱۰} (۲۰۱۹) در تحقیقات خود به بررسی تکنیک‌های آموزشی و آموزش تعاملی در عصر دیجیتال در آموزش شیمی پرداخته است که در آن فراگیر به طور فعال در فعالیت‌های آزمایشگاهی مانند انجام آزمایش‌ها، حل مسئله و سایر روش‌های مرتبط شرکت می‌کند. در این روش، اثربخشی استفاده از تجهیزات، رویکرد یادگیری فرآیندگرا در آموزش شیمی برجسته است. ایشان در پژوهش خود، رویکردهای نوآورانه در تدریس را به‌عنوان مهارت‌های حل مسئله بهبودیافته در نظر گرفت که به فراگیران اجازه می‌دهد تا با سرعت بیشتری کار کنند و به طور سیستماتیک بر مفاهیم تسلط پیدا نمایند.

¹ Barrows

² Woods

³ Savery

⁴ Savery

⁵ Greeno

⁶ Azer

⁷ Acar

⁸ Ayyildiz

⁹ The innovative approaches in teaching

¹⁰ Aminu

به عقیده ایلکز^۱ و همکارانش (۲۰۰۹)، در رویکرد نوآورانه برای شروع تدریس موضوع و مسئله‌ای زمینه‌ای مانند «غذا» انتخاب می‌شود که ذهن فراگیر را درگیر کرده، در ذهن او سؤالاتی را در رابطه با آن زمینه برانگیخته و باعث ایجاد ارتباط در ذهن فراگیر بین موضوع مورد بحث با مفاهیم شیمی مورد نظر در تدریس می‌شود. در نهایت پس از ایجاد ارتباط بین موضوع مورد بحث و مطلب مورد تدریس، فرآیند زمینه‌زدایی که برای دور کردن ذهن فراگیر از موضوع زمینه‌ای صورت می‌گیرد، منجر به یادگیری انباشته مفاهیم اساسی می‌شود و پرسش‌هایی را در ذهن فراگیر برمی‌انگیزد. پاسخ این پرسش‌ها دانش شیمیایی خاصی را ایجاد می‌کند که این دانش به طرق مختلف تا زمانی که به سؤالات پاسخ داده شود، توضیح داده می‌شود. با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های رویکردهای نوآورانه، دانش بیشتری در ذهن فراگیر به وجود می‌آید و هر زمان که یک مفهوم اساسی پدیدار می‌شود، می‌توان از آن برای سازماندهی سیستماتیک دانش کسب‌شده بهره جست.

رویکردهای نوآورانه در آموزش علمی نظیر شیمی، تکنیک‌های دیجیتال را در بر می‌گیرد. به عنوان مثال، یک معلم می‌تواند از پروژه‌های ویدئویی برای آموزش گرم شدن کره زمین برای فراگیران استفاده کند تا از دانش و مهارت‌ها حداکثر بهره را ببرند. ایلکز و همکارانش (۲۰۰۹) در رابطه با اهمیت تکنیک‌های دیجیتال در آموزش شیمی عقیده دارند که بازی‌های ویدئویی، بازی‌های گروهی، بازی‌های پرسشی، پازل، بحث و بازی‌های روی میز اجازه می‌دهند تا بازی‌ها و آزمون‌ها را تصور کنیم. این تکنیک‌ها را می‌توان دیجیتالی کرد و آموزش شیمی را تقویت نمود. انواع مختلفی از فناوری را می‌توان در عصر دیجیتال برای آموزش در کلاس استفاده کرد.

۱-۶. راهبرد مطالعه موردی^۲ (CS)

راهبرد مطالعه موردی یکی از روش‌های مبتنی بر آموزش است که در آن یادگیری فعال فراگیر، تقویت می‌شود. در این روش، معلم می‌تواند با استفاده از یک داستان تخیلی و یا حتی واقعی که در زندگی روزمره فراگیر دخیل است، او را وارد فرآیند آموزش کند و با طرح یک مسئله مرتبط با موضوع، او را درگیر حل آن مسئله نماید که این امر منجر به بهبود مهارت‌های فراگیر می‌شود. بررسی نتایج مطالعات مختلف بر روی این روش، نشان‌دهنده اثربخشی مثبت این روش نسبت به روش‌های سنتی بر روی فراگیر است. همچنین روش مطالعه موردی می‌تواند دیدگاه فراگیران را نسبت به علم شیمی تغییر دهد و با بهبود مهارت‌های آن‌ها و افزایش مشارکتشان در جریان آموزش، یادگیری دانش جدید را برایشان آسان‌تر سازد. نکته قابل توجه پیرامون روش تدریس مطالعه موردی، این است که این روش، راهبردی مؤثر

¹ Eilks

² Case Study

برای آموزش مفاهیم انتزاعی و خاص شیمی است که به خوبی کاربرد این مفاهیم را در زندگی روزمره فراگیران به صورت عملی نشان می‌دهد و با افزایش کنجکاوی و انگیزه در آن‌ها، به بهبود مهارت‌های ارتباطی، تفکر انتقادی، حل مسئله و کار گروهی می‌پردازد (برناردی^۱ و پازیناتو^۲، ۲۰۲۲).

۲. راهبردهای مبتنی بر فناوری

۲-۱. آموزش در قالب فیلم

تحقیقات نشان می‌دهد که ادراک فراگیران از علم و دانشمندان، به شدت به وسیله نیروهای خارج از مدرسه، مانند فیلم‌ها و کارتون‌های تلویزیونی، کم‌دی‌ها و درام‌ها هدایت می‌شود (دینگرا^۳، ۲۰۰۳).

گریپ^۴ و همکارانش (۲۰۱۲) معتقدند که کلیپ‌هایی با بازیگران محبوب، دیالوگ‌های به یاد ماندنی و جلوه‌های شیمیایی ویژه، برای آموزش مفید هستند. همچنین هافستین و همکارانش معتقدند که یک راه حل مؤثر برای تبدیل محتوا به دانشی که فراگیران بتوانند در زمینه‌های جدید از آن استفاده کنند، ایجاد ارتباط با چیزهایی است که از قبل می‌دانند.

یکی از راه‌های مؤثر برای تثبیت یافته‌های دانش فراگیران، اتصال آن به آشنایی گسترده آن‌ها با فیلم است. از فیلم‌ها و برنامه‌های تلویزیونی، می‌توان برای آموزش همه رشته‌های علمی استفاده کرد. اولین دستورالعمل برای استفاده از فیلم‌ها برای آموزش علم در کتاب «علم در سینما» توضیح داده شده است (دوبک^۵ و همکاران، ۲۰۰۴). از آن زمان، فهرست کل فیلم‌های مناسب برای آموزش شیمی در حال افزایش است. فیلم‌هایی که بر اساس داستان‌های شیمیایی واقعی ساخته شده‌اند، بسیار مفید هستند. فیلم‌های سینمایی آپولو ۱۳^۶ و آسمان اکتبر^۷، به دلیل توانایی آن‌ها در ایجاد بحث در مورد اسکرابر^۸‌های کربن‌دی‌اکسید و لیتیوم‌هیدروکسید، مقایسه سوخت موشک، پيشرانه موشک مدل، محاسبات محموله و تداوم تلاش در مواجهه با موانع معرفی شده‌اند (گول^۹ و سایرین، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹). پارک

¹ Bernardi

² Pazinato

³ Dhingra

⁴ Griep

⁵ Dubeck

⁶ Apollo 13

⁷ October Sky

⁸ Scrubber

⁹ Goll

ژوراسیک برای ایجاد بحث در مورد شبیه سازی، ساختار پروتئین، ساختار DNA، زیست‌شناسی مولکولی و اخلاق علمی مورد استفاده قرار گرفته است (هالیس^۱ و همکاران، ۱۹۹۶).

معیارهای انتخاب کلیپ‌های فیلم برای استفاده در کلاس شیمی، آن‌هایی هستند که بالاترین امتیاز را برای کاربرد آموزشی توسط معلمان کسب کرده‌اند. معیار دیگر انتخاب این فیلم‌ها براساس پاسخ فراگیران به سؤال «چقدر شیمی یاد گرفتید؟» است (دینگرا، ۲۰۰۳).

۲-۲. استفاده از نرم افزارهای شبیه‌ساز

توسعه‌دهندگان برنامه درسی و همچنین ناشران کتاب‌های درسی در سال‌های اخیر به‌طور چشم‌گیری به استفاده از شبیه‌سازی‌ها برای آموزش مفاهیم علوم پایه پرداخته‌اند. به بیان دیگر، شبیه‌سازی‌ها می‌توانند، ابزار بسیار مؤثری برای ارائه تجربیات یادگیری قدرتمند و ماندگار به فراگیران باشند. یک مثال در زمینه شیمی، مدل‌سازی مولکولی است که بر اساس تکنیک‌های شیمی کوانتومی است. چندین برنامه به طور گسترده در دسترس است، که "Spartan" برنامه غالب در آزمایشگاه‌های آموزش شیمی آلی برای دانشجویان کارشناسی است. مانند همه برنامه‌های مدل‌سازی مولکولی، Spartan نیز برای طراحی مولکول‌ها، آزاد است. مشابه Mathematica، از این برنامه هم در تحقیقات و هم در آموزش استفاده می‌شود. یکی دیگر از محیط‌های یادگیری مخصوص شیمی، برنامه آموزشی اختصاصی "Odyssey" است. اودیسه با استفاده از یک موتور شبیه‌سازی اتمی، در درجه اول در دروس مقدماتی و شیمی عمومی استفاده می‌شود. با این حال، این نرم‌افزار در بسیاری از زمینه‌های شیمی فیزیک نیز کاربرد دارد. زیرا خواص ترمودینامیکی پایه و همچنین خواص پیشرفته‌تر مانند چگالی برخورد و انرژی‌های آزاد با آن قابل محاسبه و تحلیل هستند (اشنیتکر^۲، ۲۰۰۷).

۲-۳. نرم‌افزار "همه چیز را شرح دهید" (EE)

نرم‌افزار «همه چیز را شرح دهید»، یک برنامه تعاملی، کاربرپسند و قابلیت دسترسی آسان در دستگاه‌های تلفن همراه است. این برنامه به مربیان اجازه می‌دهد تا از اسلایدهای تخته سیاه و پاورپوینت بر روی یک پلتفرم بهره ببرند و فیلم‌هایی را برای ضبط سخنرانی و کلاس‌های آنلاین یا آفلاین ایجاد کنند. همچنین برنامه EE به مربیان اجازه می‌دهد تا یک فایل PDF، ارائه پاورپوینت، سند Word یا یک تصویر از هر سایت اشتراک گذاری فایل را نمایش دهند. این

¹ Hollis

² Schnitker

³ Explain Everything

برنامه شامل انواع ابزارهای آموزشی تعاملی داخلی است. پس از نمایش اسلاید، با استفاده از برنامه، مربی می‌تواند، اسلایدها را به صورت پیدیاف یا فایل ویدیویی ارسال کند. کاربردهای این برنامه عبارت است از: (الف) تخته سیاه تعاملی، (ب) ویدئو و (ج) بازخورد در مورد اسناد (رنگا^۱، ۲۰۱۸).

۲-۳-الف: تخته سیاه تعاملی^۲

تخته سیاه تعاملی، ارائه سخنرانی‌ها با بهره‌گیری از تخته سیاه سنتی و اسلایدهای پاورپوینت بر روی یک پلت فرم واحد است. همه فایل‌های پاورپوینت پس از تبدیل به فایل‌های PDF، از طریق Dropbox می‌توانند به برنامه EE وارد شوند.

۲-۳-ب: ویدئو

افزودن صدا به یک نمایش تخته سیاه تعاملی امکان ایجاد ضبط سخنرانی و ویدیوهای یوتیوب^۳ را فراهم می‌کند. ویدئوهای بارگزاری شده در یوتیوب، ارائه‌های کوتاه تعاملی با تخته سیاه هستند که خارج از کلاس، ضبط شده و در یک کانال یوتیوب بارگذاری شده‌اند. سخنرانی‌های ضبط شده و لینک‌های مربوط به ویدیوهای یوتیوب، در یک سیستم مدیریت یادگیری^۴ (LMS) در اختیار فراگیران قرار می‌گیرند. این ویدئوها به فراگیران این امکان را می‌دهد تا محتوایی فراتر از کلاس را با سرعت، خودشان در هر زمان ممکن مرور کنند.

۲-۳-ج: بازخورد در مورد اسناد

یکی از اهداف کلیدی سمینارهای دوره‌ای سطح بالا، آموزش مهارت‌هایی همچون مهارت ارائه به فراگیران است که برای موفقیت آن‌ها برای ادامه تحصیل در مقطع کارشناسی بسیار مهم است. برای این امر می‌توان از برنامه‌هایی مانند Doceri و Notability برای ارائه بازخورد در مورد مطالبی که در طول ارائه به نمایش گذاشته می‌شوند، با امکان استفاده از حاشیه نویسی استفاده کرد (سیلوربرگ^۵، ۲۰۱۳؛ آمیک^۶ و کروس^۷، ۲۰۱۴). برای مثال، در یک سمینار دوره‌ای، یک مقاله به فراگیران ارائه شد و از آن‌ها خواسته شد تا براساس این مقاله، پاورپوینتی با کیفیت ارائه نمایند.

¹ Ranga

² Interactive Blackboard

³ YouTube

⁴ Learning Management System

⁵ Silverberg

⁶ Amick

⁷ Cross

سپس ارائه‌های فراگیران وارد برنامه «همه چیز را شرح دهید»، (EE) شد و اصلاحات فایل‌های پاورپوینت با استفاده از ابزار قلم رنگی به نمایش گذاشته شد؛ درنهایت پاورپوینت به همراه اصلاحات به صورت فایل PDF برای فراگیران ارسال شد. همچنین استدلال‌های پشت اصلاحات نیز به صورت ویدئو ضبط شد که این امکان را به همه فراگیران می‌داد تا بازخورد شخصی در مورد ارائه‌های پاورپوینت خود را در قالب یک فایل PDF به همراه یک فایل ویدئویی در اختیار داشته باشند. پس از دریافت بازخورد، فراگیران نسخه‌های متعددی از اسناد خود را دوباره ارسال کردند تا این که نسخه نهایی و رضایت‌بخشی از فایل ارائه‌شان به دست آمد. مزیت این سبک بازخورد این است که از مسائل رایجی مانند از دست دادن نسخه کاغذی فایل اصلاح شده جلوگیری می‌شود. همچنین بازخورد ویدئویی استدلال پشت هر یک از اصلاحات برای ارائه، پیشنهادی ایده‌آل است. یادآوری می‌شود که به طور معمول، کیفیت اسناد ارسالی مجدد توسط فراگیران، با هر دور اصلاح به طور قابل توجهی بهبود می‌یابد. از همه مهمتر این است که فراگیران درک بهتری از این-که چرا اصلاحات توصیه می‌شود؛ پیدا کردند.

۲-۴. نرم افزارهای تجسم سه بعدی مولکول

در رشته شیمی، فراگیر باید مهارت تفسیر و همچنین درک فضایی ساختارها و فرآیندها برای درک و حل مسئله را کسب کند (استیف^۱ و همکاران، ۲۰۱۲). درک مفاهیمی مانند استریوشیمی، هیبریداسیون، پیوند شیمیایی و تشکیل پلیمر نیازمند تجزیه و تحلیل همزمان عوامل مختلف است. فراگیر ابتدا باید به طور دقیق شی سه بعدی را از نمایش دو بعدی داده شده (تجسم فضایی) تشخیص دهد، سپس باید یک نمایش داخلی از مدل سه بعدی را در حافظه خود (جهت گیری فضایی) تجسم نماید (سولاز پورتولز^۲ و همکاران، ۲۰۰۹) و در نهایت، ملزم به دستکاری ذهنی اشیاء و تجسم اثرات عملیاتی مانند وارونگی، انعکاس و چرخش (روابط فضایی) آن‌ها خواهد بود (هارل^۳ و تونز^۴، ۲۰۱۱).

فراگیر برای درک کامل و کاربرد دانش شیمی خود، باید بتواند مهارت‌های فضایی و دانش مفهومی خود را ادغام کند. با این حال، درک مدل سه بعدی، انتزاع، درک ساختار فضایی مولکول‌ها و دستکاری‌های فضایی برای بسیاری از فراگیران شیمی دشوار است (کاردلینی^۵، ۲۰۱۲؛ سیرهان^۶، ۲۰۰۷). لذا معلمان برای کمک به فرآیند یادگیری فضایی فراگیران، به دلیل ناتوانی روش‌های دو بعدی معمولی برای کمک به درک فضایی، مدل‌های سه بعدی را در کلاس‌های

¹ Stieff

² Solaz-Portolès

³ Harle

⁴ Towns

⁵ Cardellini

⁶ Sirhan

درس خود معرفی می‌کنند (دوری و همکاران^۱، ۲۰۰۱؛ پنی^۲ و سایرین، ۲۰۱۷). بررسی‌های انجام‌شده در مورد نرم‌افزارهای تجسم مولکولی در آموزش شیمی، نشان می‌دهد که نرم‌افزارهای PyMol و Jmol از همه محبوب‌تر هستند. با این حال این نرم‌افزارها امکان تبدیل خودکار از نمایش دو بعدی به تجسم سه بعدی را ندارند. در حال حاضر، بیشتر نرم‌افزارهای مدل‌سازی شیمی از فراگیر می‌خواهند که به صورت دستی یک ساختار دوبعدی برای تجسم بهتر ترسیم کند (فاطمه^۳ و سایرین، ۲۰۲۰).

نرم‌افزارهای تجسم، مانند برنامه‌های مدل‌سازی مولکولی، برای تعداد زیادی از فراگیران در تمام سنین به جهت یادگیری ویژگی‌های فضایی مولکول‌ها مفید هستند. در طول سال‌ها، ابزارهای تجسمی متعددی توسعه یافته‌اند. نرم‌افزارهای MAGE (ریچاردسون^۴ و همکاران، ۱۹۹۲) و RasMol (سایل^۵ و میلنر- وایت^۶، ۱۹۹۵) دو مورد از اولین نرم‌افزارهایی هستند که توسعه یافتند و به طور مداوم توسط مربیان و محققان از آن‌ها استفاده شده است. در نهایت برنامه‌های Jmol (مک ماهون^۷ و هانسون^۸، ۲۰۰۸) و PyMol به دلیل سهولت استفاده، تطبیق پذیری و ارائه برخی ویژگی‌های اضافی، جایگزین این دو برنامه شدند که رایج‌ترین ویژگی این دو برنامه، قابلیت استفاده در ابزارهای قابل حملی مانند تبلت و تلفن‌های همراه است (کریگ^۹ و همکاران، ۲۰۱۳).

بیشتر اطلاعات ساختار مولکول‌های شیمیایی در کتاب‌های درسی به صورت تصاویری است که در متن جاسازی شده‌اند. در حالی که این تصاویر ساختاری به وسیله کامپیوتر، قابل درک نیستند. بنابراین نمی‌توان از آن در برنامه‌های کاربردی شیمی استفاده کرد. لذا نیاز به ابزاری برای تبدیل خودکار تصاویر به ساختارها وجود دارد. از تعدادی برنامه تحقیقاتی مانند Kekule، CLiDE و OSRA برای این منظور استفاده می‌شود (مک دنیل^{۱۰} و همکاران، ۱۹۹۲؛ ایبسون^{۱۱} و همکاران، ۱۹۹۳؛ فیلیپوف^{۱۲} و نیکلاوس^{۱۳}، ۲۰۰۹).

¹ Dori

² Penny

³ Fatemah

⁴ Richardson

⁵ Sayle

⁶ Milner-White

⁷ McMahon

⁸ Hanson

⁹ Craig

¹⁰ McDaniel

¹¹ Ibison

¹² Filippov

¹³ Nicklaus

۲-۵. نرم افزارهای تعاملی

از برنامه‌های تعاملی نه تنها به عنوان برنامه‌های کاربردی نرم‌افزاری استفاده می‌شود، بلکه برای ارتباطات و سرگرمی نیز قابل استفاده هستند (ژانگ و همکاران^۱، ۲۰۱۲؛ کارچ^۲، ۲۰۱۶). از دیدگاه جامعه آموزشی می‌توان از برنامه‌های تعاملی به عنوان کانال‌های ارتباطی برای به اشتراک‌گذاری اطلاعات، پشتیبانی اجتماعی و یادگیری و همچنین برای حل مشکلات آموزشی استفاده کرد (آقای^۳، ۲۰۱۵). در ادامه، ۱۳ نرم‌افزار کاربردی یا اپلیکیشن^۴ محبوب و عمدتاً رایگان را که در ۵ زمینه موجود است و از آن‌ها می‌توان برای یادگیری شیمی استفاده کرد، مورد بررسی قرار می‌دهیم (سادیکوف^۵ و همکاران، ۲۰۲۱).

۲-۵-الف. نمایشگرهای مولکول شیمیایی

این نوع برنامه‌ها می‌توانند، مدل‌های سیستم‌های مولکولی را شبیه‌سازی کنند و کاربران می‌توانند، مدل مولکولی را برای تجسم آن در شرایط مختلف دستکاری نمایند. علاوه بر این، فراگیران می‌توانند، مفاهیم انتزاعی را تجسم نموده و نیز مدل‌سازی علمی را برای ترویج یادگیری عمیق و درک مفهومی در علم، کاوش و آزمایش کنند (ژانگ^۶ و همکاران، ۲۰۱۲). سه نمونه از این نرم‌افزارها عبارت است از: Jmol، ACD و Chem Tutor.

۲-۵-ب: برنامه‌های جدول تناوبی و پایگاه داده

اگرچه مرورگرهای وب در دستگاه‌های تلفن همراه می‌توانند به جدول تناوبی مدرن و پایگاه‌های داده آنلاین برای مرور دسترسی داشته باشند، با این حال این نوع برنامه‌ها، نیاز به دستگاه‌های قابل حمل را به عنوان راهنمای شیمی برطرف می‌کنند (خان^۷، ۲۰۱۱). Periodic Table، iElements و Mobile Reagents نمونه‌هایی از این برنامه‌ها هستند.

¹ Zhang

² Karch

³ Aghaee

⁴ Application software

⁵ Sadykov

⁶ Zhang

⁷ Khan

۲-۵-ج: برنامه‌های محاسبه و واکنش شیمیایی

علاوه بر ترکیبات شیمیایی و واکنش‌های شیمیایی مرتبط، تعادل آن‌ها، محاسبات رایج، جستجو و جزئیات مربوطه در این نوع نرم‌افزارها قطعاً مورد توجه شیمیدانان است. MolWeight، Reaction101 و Chemical reaction نمونه‌هایی از این نوع نرم‌افزارها هستند (سادیکوف و همکاران، ۲۰۲۱).

۲-۵-د: برنامه‌های آزمایشگاهی شیمی مجازی

در کارهای آزمایشگاهی سنتی، فراگیران معمولاً زمان زیادی را صرف جمع‌آوری داده‌ها می‌کنند. درحالی‌که فقط دستکاری و تجزیه و تحلیل ساده داده‌ها را انجام می‌دهند. با این حال، این تجربه لمسی یادگیری، ممکن است توضیح ساده و اشتباهی توسط فراگیران ایجاد کند. چنین تجربه‌ای برای آماده‌سازی آن‌ها برای آینده کافی نخواهد بود. در نتیجه، آزمایشگاه‌های کاربردی مجازی همچنان مؤثرترین رویکرد در نظر گرفته می‌شوند؛ زیرا فراگیران می‌توانند به سرعت یک آزمایشگاه با کیفیت بالا را راه‌اندازی کنند و در زمان جمع‌آوری و پردازش داده‌ها، تغییر پیکربندی سیستم که اغلب در یک آزمایشگاه واقعی قابل تغییر نیست، صرفه‌جویی کنند (لیمن^۱ و هوانگ^۲، ۲۰۱۳). مزیت اصلی یک آزمایشگاه مجازی، ایمنی آن است که در مقابل دست‌زدن به تجهیزات و مواد شیمیایی خطرناک ایجاد می‌شود. Chem Collective و ChemLab دو نمونه از این نوع نرم‌افزارها هستند (سادیکوف و همکاران، ۲۰۲۱).

۲-۵-ه: برنامه‌های یادگیری مبتنی بر بازی

برنامه‌های یادگیری مبتنی بر بازی می‌توانند، به فراگیران کمک کنند تا بازنمایی‌های واضح‌تری از دانش خود تولید کنند. در نتیجه این فرآیند می‌تواند، بر دسترسی، یادآوری و انتقال دانش آن‌ها تأثیر مثبت بگذارد (سریساوادی^۳، ۲۰۱۲). علاوه بر این، یادگیری مبتنی بر بازی، شامل استفاده از ویژگی‌هایی مانند امتیازات، نشان‌ها، رتبه‌بندی‌ها و پاداش‌ها است که بازخورد فوری را ممکن می‌سازد و فراگیران را به مشارکت در محیط آموزشی تشویق می‌کند و به آن‌ها اجازه می‌دهد تا وظایف خود را به درستی انجام دهند (سادیکوف^۴ و همکاران، ۲۰۲۱). سادیکوف و چیناتزدوا^۵ (۲۰۱۹) در تحقیقات خود نشان دادند که فراگیران از کار با این نرم‌افزارها لذت می‌برند و این تأثیر مثبتی بر نگرش آن‌ها نسبت به آموزش دارد. Kahoot و Learningapps.org نمونه‌هایی از نرم‌افزارهای یادگیری مبتنی بر بازی هستند.

¹ Libman

² Huang

³ Srisawasdi

⁴ Sadykov

⁵ Čtrnáctová

۶-۲. آموزش شیمی تعاملی مبتنی بر فناوری ارتباطات اطلاعات^۱ (ICT)

آموزش شیمی تعاملی مشکلات مربوط به بهبود کیفیت آموزش، رشد فردی فراگیران و مشکلات راهبردهای تدریس را حل می‌کند. این موضوع سبب افزایش علاقه و تعهد فراگیران به علوم طبیعی می‌شود. تأکید بر آموزش تعاملی، در واقع استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات به صورت عملی است. هدف سادیکوف و چیناتزدوا (۲۰۱۹) در تحقیقاتشان، ایجاد یک دوره شیمی تعاملی برای مدارس متوسطه اول بر اساس ویژگی‌های آموزش تعاملی مرتبط با فناوری اطلاعات و ارتباطات و ارائه جالب‌تر موضوع بوده است.

اصطلاح ICT شامل تمام ابزارهای فنی است که می‌توانند اطلاعات را از طریق فناوری پردازش و توزیع کنند (ورشافل^۲ و همکاران، ۲۰۱۹). ICT جنبه‌های مختلفی دارد: جنبه اول فناوری اطلاعات است که به استفاده از وسایل کمکی و مدیریت اطلاعات موجود مربوط می‌شود. جنبه دوم فناوری ارتباطات است که به انتشار یا توزیع اطلاعات از طریق فناوری مربوط می‌شود. همه رشته‌ها می‌توانند از فناوری اطلاعات و ارتباطات، مانند کار، تجارت، مدیریت صنعتی، امکانات تبلیغاتی و تحصیلی استفاده کنند. فناوری اطلاعات و ارتباطات به دلیل مزایای فوق‌العاده و کارآمد، تأثیر مثبتی بر همه حوزه‌ها دارد و می‌توان گفت تقریباً همه از فناوری اطلاعات و ارتباطات برای تسهیل امور خود از جمله در یادگیری شیمی استفاده می‌کنند.

یادگیری شیمی تلفیقی ICT به‌طور چشمگیری بر پیشرفت فراگیران تأثیر می‌گذارد و آن‌ها را فعالانه در یادگیری مشارکت می‌دهد. معلمان می‌توانند به‌طور مستقیم بر استفاده فراگیران از فناوری اطلاعات و ارتباطات و همچنین باورهای آن‌ها در مورد آن اثرگذار باشند (کورنیاواتی^۳ و همکاران، ۲۰۲۱). استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات در صورتی می‌تواند موفقیت‌آمیز باشد که معلمان نیاز به مهارت بالایی در دانش آموزشی و علمی آن داشته باشند. مدارس می‌توانند آموزش استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات را انجام دهند تا معلمان آینده‌نگر با استفاده مکرر از فناوری اطلاعات و ارتباطات در مدارس به خوبی آموزش ببینند.

در آموزش شیمی تعاملی، مرحله اول کار شامل تجزیه و تحلیل مطالعات قبلی برای ایجاد مبانی نظری است که اساس آن استفاده از ICT می‌باشد. در مرحله بعد، برخی از گزینه‌های روش شناختی توسعه یافته ارائه شده که توانایی استفاده از روش‌های تعاملی را نشان می‌دهد. در مرحله سوم، با توجه به برنامه‌های مختلف شیمی تعاملی و تجزیه و تحلیل برنامه درسی شیمی در جمهوری چک و قزاقستان، مواد آموزشی تعاملی برای درس‌های شیمی با محتوای

¹ Information Communications Technology

² Verschaffel

³ Kurniawati

جالب برای مدارس متوسطه دوم توسعه داده شده است. در مرحله آخر تمامی مطالب آماده شده تأیید و در نهایت به فرم نهایی برای استفاده در آموزش شیمی تبدیل شدند (سادیکوف و چیناتزدوا، ۲۰۱۹).

دوره تعاملی در مجموع شامل ۱۴ کل موضوعی است که هر کدام شامل ۲ تا ۶ موضوع فرعی است. تمام مضامین با توجه به کاربرد عملی موضوع با استفاده از روش‌های آموزشی تعاملی ذکر شده، پردازش می‌شوند. مواد تعاملی دوره شامل متن، تصاویر، انیمیشن، سؤالات و وظایف در تمرینات تعاملی است که در هر مرحله از درس موجود است. مشکلاتی که بیشتر در این زمینه ظاهر می‌شود، مربوط به درک منطق درس است. بنابراین، یک ماده آموزشی قابل توجه، در عمل مستلزم تحقیقات کاملاً سخت و گسترده است. موضوع دوم مربوط به این سؤال است: «از چه ابزارهای فناوری اطلاعات و ارتباطات در تدریس دوره تعاملی استفاده کنیم؟». پژوهشگران در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که فراگیران برای اولین بار که از تجهیزات مختلف استفاده می‌کنند، ممکن است مشکلاتی برایشان پیش آید. این امر به‌ویژه زمانی صدق می‌کند که آن‌ها مجبورند پروژه‌ای را به صورت گروهی انجام دهند و یاد بگیرند که آن را با استفاده از فناوری‌ها در کلاس ارائه دهند. دلیل آن احتمالاً مربوط به این واقعیت است که فراگیران در یک محیط آموزشی با پشتیبانی معلم، بیشتر از فناوری هیجان‌زده می‌شوند.

اعتقاد سادیکوف و چیناتزدوا بر این است که ترکیب تلفن همراه و تبلت به فراگیران اجازه می‌دهد تا همزمان فعالیت‌ها را انجام دهند و این باعث تشویق آن‌ها به تعامل با یکدیگر می‌شود. به‌عنوان مثال، آن‌ها پاسخ‌های صحیح فعالیت‌ها را مورد بحث و بررسی قرار می‌دهند و اگر شرکای خود پاسخ صحیح را نمی‌دانند، با کمال میل به آن‌ها کمک می‌کنند.

۷-۲: راهبرد مبتنی بر بازی‌های رایانه‌ای

بهره‌گیری از رویکرد بازی در محیط کلاس، راهبردی پویا و تعاملی است که معلمان می‌توانند تجربه‌ای جذاب از آموزش شیمی را برای فراگیران رقم بزنند تا کنجکاوی، تفکر انتقادی و مهارت حل مسئله را در آن‌ها بهبود بخشند. در این بخش به دو راهبرد مبتنی بر بازی که عضوی از دسته راهبردهای مبتنی بر فناوری است، اشاره می‌کنیم (کوچکارووا^۱ و تورگونف^۲، ۲۰۲۳).

¹ Kochkarova

² Turgunov

۷-۲-الف: شبیه‌سازی دیجیتال

شبیه‌سازی دیجیتال یک آزمایشگاه مجازی را برای فراگیران فراهم می‌کند که در آن می‌توانند آزمایش‌های مختلف را انجام دهند، واکنش‌های شیمیایی را مشاهده کنند و مفاهیم پیچیده را در یک محیط امن و کنترل شده کشف نمایند. این شبیه‌سازی‌ها نه تنها درک فراگیر از مفاهیم را افزایش می‌دهند، بلکه به او اجازه می‌دهند تا مفاهیم انتزاعی را تجسم نموده و یادگیری برایش ملموس‌تر باشد. علاوه بر این، از عناصر بازی‌سازی شده‌ای مانند دستاوردها، تابلوهای امتیازات و پاداش‌ها را می‌توان برای ارتقای یک رقابت سالم و ایجاد انگیزه در فراگیران به جهت مشارکت فعال در یادگیری بهره گرفت (کوچکارووا و تورگونف، ۲۰۲۳).

۷-۲-ب: بازی‌های رومیزی

بازی‌های رومیزی که به‌طور اختصاصی برای آموزش شیمی طراحی شده‌اند، به‌عنوان ابزار ارزشمندی جهت تقویت دانش و ترویج یادگیری مشارکتی عمل می‌کنند. این بازی‌ها فراگیران را تشویق می‌کنند تا درک خود از اصول شیمیایی را به شیوه‌ای سرگرم‌کننده و مشارکتی به کارگیرند. آن‌ها با همکاری گروهی می‌توانند در تفکر راهبردی، ارتباط و حل مسئله شرکت کنند و یک محیط یادگیری مشارکتی را تقویت نمایند (کوچکارووا و تورگونف، ۲۰۲۳).

بحث و نتیجه‌گیری

شیمی، یکی از اساسی‌ترین مباحث موجود در علوم پایه است. از طرفی، مباحث انتزاعی که در سرتاسر شیمی با آن روبه‌رو می‌شویم، یادگیری این درس را برای فراگیران با مشکل مواجه می‌کند. برای آسان‌سازی این مباحث، لازم است تا فرآیند تدریس را از حالت مستقیم و غیرفعال خارج کنیم و نقش فعالیت فراگیر را در جریان تدریس بیشتر نماییم. برای این منظور می‌توان از دو نوع راهبرد مبتنی بر خلاقیت و مبتنی بر فناوری بهره جست. در روش مبتنی بر خلاقیت، معلم از روش تدریسی بهره می‌گیرد که در آن فراگیر نقش فعالی دارد و معلم به تنهایی نقش محوریت کلاس را بازی نمی‌کند. ادغام سه روش تدریس یادگیری مشارکتی، بحث‌های کلاسی و نقشه‌های مفهومی با مدل کلاس درس معکوس، بازی در شیمی، یادگیری مبتنی بر مشکل و راهبرد مطالعه موردی، مثال‌هایی از این نوع راهبرد تدریس هستند که آن‌ها را بررسی کردیم. آموزش در قالب فیلم، استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز، نرم‌افزار همه چیز را توضیح دهید، نرم‌افزارهای تجسم سه بعدی مولکول و نرم‌افزارهای تعاملی و همین‌طور راهبردهای مبتنی بر بازی‌های

رایانه‌ای، مثال‌هایی از راهبردهای مبتنی بر فناوری هستند. هر یک از این راهبردها، یکی از مشکلات فراگیران در مبحث شیمی را مورد هدف قرار می‌دهد و سعی می‌کند تا مسیر یادگیری را برای آن‌ها تسهیل کند.

با توجه به این که در کشور ما، فراگیران زیادی با یادگیری درس شیمی مشکل دارند و یادگیری این درس برای آن‌ها دشوار است، لذا به دلیل سهولت و مؤثر بودن راهبردهای ذکر شده، معلمان می‌توانند برای خارج کردن جریان کلاس از حالت غیرفعال و مستقیم و وارد کردن فراگیران به فرآیند تدریس، مفاهیم انتزاعی شیمی را برای آن‌ها آسان-تر کرده و میزان یادگیری را برای آن‌ها بیشتر کنند. از طرفی نه تنها این راهبردها جذابیت شیمی را برای فراگیران بیشتر می‌کند، بلکه زمانی که در آن‌ها نسبت به یک مبحث علاقه ایجاد می‌شود، آن مطلب را با جدیت بیشتری دنبال می‌کنند و یادگیری برای آن‌ها مؤثرتر شده که این همان هدفی است که معلم از تدریس خود دارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله، لازم می‌دانند، مراتب تشکر و قدردانی خود را از دانشگاه فرهنگیان برای حمایت از این کار پژوهشی به عمل آورند.

منابع

- Abulhul, Z. (2021). Teaching Strategies for Enhancing Student's Learning. *Journal of Practical Studies in Education*, 2(3), 1-4.
- Acar, B., Tarhan, L. (2007). Effect of Cooperative Learning Strategies on Students' Understanding of Concepts in Electrochemistry. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 5(2), 349-374.
- Aghaee, N. (2015). Finding potential problems in the thesis process in higher education: analysis of e-mails to develop a support system. *Education and Information Technologies*, 20(1), 21-36.
- Akpan, J. P., Beard, L.A. (2016). Using constructivist teaching strategies to enhance academic outcomes of students with special needs. *Universal Journal of Educational Research*, 4(2), 392-398.
- Amick, A. W., Cross, N. (2014). An Almost Paperless Organic Chemistry Course with the Use of iPads. *Journal of Chemical Education*, 91 (5), 753-756.
- Aminu, A. (2019). Innovative Approaches in Teaching Chemistry in Digital Era at Secondary School Level in Nigeria: Issues and Prospects. *International Journal of Pure and Applied Science Research*, 11 (5), 69-75.

- Arimba, A. M., Wamukuru, David, K. A., Zachary, O. (2024). Effect of case-based learning, team-based learning, and regular teaching methods on secondary school students' Self-concept in chemistry in Maara sub-county, Tharaka Nithi county, Kenya, *Physical Sciences Reviews*, 9(7), 2405-2417.
- Arnaud, C. H. (2013). Flipping Chemistry Classrooms. *Chemical & Engineering News*, 91 (12), 41–43.
- Ayyildiz, Y., Tarhan, L. (2018). Problem-based learning in teaching chemistry: enthalpy changes in systems. *Journal of Research in Science & Technological Education*, 36(1), 35-54.
- Ayyildiz, Y., Tarhan, L. (2015). Development of the Self-Directed Learning Skills Scale." *International Journal of Lifelong Education*, 34 (6), 663–679.
- Azer, S. A. (2003). Assessment in a Problem-Based Learning Course: Twelve Tips for Constructing Multiple Choice Questions That Test Students' Cognitive Skills. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 31 (6), 428–434.
- Barrows, H. S. (1992). *"The Tutorial Process"*. Published by Southern Illinois University School of Medicine.
- Barrows, H. S., Tamblyn, R. M. (1980). Problem-Based Learning: An Approach to Medical Education. New York: Springer.
- Bergmann, J., Sams, A. (2012). Flip your classroom: Reach Every Student in Every Class Every Day. *ASCD: Eugene, OR*. Printed in the United States of America.
- Bernardi, F., M., Pazinato, M. S. (2022). The Case Study Method in Chemistry Teaching: A Systematic Review, *Journal of Chemical Education*. 99(3), 1211-1219.
- Berhe, G. G., Tesfemariam, G. M., Hagos, G. (2024). Challenges for effective teaching of chemistry in secondary schools of developing countries: A review, *African Journal of Chemical Education*. 14(2), 61-100.
- Cardellini, L. (2012). Chemistry: Why the Subject is Difficult? *Educación Química*, 23(2), 305–310.
- Cicuto, C., Torres, B. (2016). Implementing an active learning environment to influence students' motivation in biochemistry. *Journal of Chemical Education*, 93(6), 1020-1026.
- Collard, P., Looney, J. (2014). Nurturing creativity in education. *European Journal of Education*, 49(3), 348–64.
- Craig, P. A., Michel, L. V., Bateman, R. C. (2013). A Survey of Educational Uses of Molecular Visualization Freeware. *Biochem. Molecular Biology Education*, 41(3), 193–205.
- Dhingra, K. (2003), Thinking about Television Science: How Students Understand the Nature of Science from Different Program Genres. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 234–256.
- Dori, Y. B., Barak, M. (2001). Virtual and Physical Molecular Modeling: Fostering Model Perception and Spatial Understanding. *Educational Technology & Society*, 4, 61-74.
- Dubeck, L. W., Fantastic, V. (2004), Learning Science through Science Fiction Films, 2nd ed.; Springer-Verlag: New York, NY.
- Eilks, I., Byers, B. (2009). *"Innovative Methods of Teaching and Learning Chemistry in Higher Education"*. London RSC Publishing. 958-978.

- Eilks, I., Rauch, F., Ralle, B., Hofstein, A. (2013). How to Allocate the Chemistry Curriculum Between Science and Society. *Teaching Chemistry – A Studybook*, 1-36.
- Fatemah, A., Rasool, S., Habib, U. (2020). Interactive 3D Visualization of Chemical Structure Diagrams Embedded in Text to Aid Spatial Learning Process of Students. *Journal of Chemical Education*, 97(4), 992-1000.
- Filippov, I. V., Nicklaus, M. C. (2009). Optical Structure Recognition Software To Recover Chemical Information: OSRA - An Open Source Solution. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 49(3), 740-743.
- Flaherty A. A. (2020). A review of affective chemistry education research and its implications for future research. *Chemistry Education Research and Practice*, 21, 698–713.
- Francisco, J. S., Nicoll, G., Trautmann, M. (1998). Integrating Multiple Teaching Methods into a General Chemistry Classroom. *Journal of Chemical Education*, 75(2), 210-212.
- Frey, C. A., Mikasen, M. L., Griep, M. A. (2012). Put Some Movie Wow! in Your Chemistry Teaching. *Journal of Chemical Education*, 89 (9), 1138-1143.
- Glynn, S. M., Yeany, R. H., Britton, B. K. (2009). *"The Psychology of Learning Science"*, Published by Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers 365 Broadway Hillsdale, New Jersey 07642.
- Goll, J. G., Woods, B. J. (1999). Teaching Chemistry Using the Movie Apollo 13. *Journal of Chemical Education*, 76, 506–508.
- Goll, J. G.; Wilkinson, L. J.; Snell, D. M. (2009). Teaching Chemistry Using October Sky. *Journal of Chemical Education*, 86, 177–180.
- Greeno, J. G., A. M. Collins., Resnick, L. B. (1996). *"Cognition and Learning"*. In *Handbook of Educational Psychology*, edited by D. C. Berliner and R. C. Calfee, 15–46. New York: MacMillan.
- Grove, N. P., Bretz, S. L. (2012). A Continuum of Learning: From Rote Memorization to Meaningful Learning in Organic Chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 13, 201–208.
- Gutek, G. L. (2013). Philosophical, theoretical, and ideological perspectives on education (2nd ed.). Boston: Allyn & Bacon. Hoch, L. (1961). Classroom grouping for effective leaning. New York University.
- Harle, M., Towns, M. (2011). A Review of Spatial Ability Literature, Its Connection to Chemistry, and Implications for Instruction. *Journal of Chemical Education*, 88 (3), 351–360.
- Hinckley, Glen, (2012). A Method for Teaching Enzyme Kinetics to Nonscience Majors. *Journal of Chemical Education*, 89(9), 1213–1214.
- Hollis, W. G. (1996). Jurassic Park as a Teaching Tool in the Chemistry Classroom. *Journal of Chemical Education*, 73, 61–62.
- Hofstein, A., Mamlok-Naaman, R. (2021). The laboratory in chemistry learning and teaching 50 years of development. *Implementation, and Researchlong-term research and development in science education, chapter*, 1, 3-28.

- Ibison, P., Jacquot, M., Kam, F., Neville, A. G., Simpson, R. W., Tonnelier, C., Venczel, T., Johnson, A. P. (1993). Chemical Literature Data Extraction: The CLiDE project. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 33, 338-344.
- Karch, M. (2016). What are apps? Definitions and examples. Livewire. Retrieved from <https://www.lifewire>.
- Karpudewan, M. (2020). Malaysian Experiences of Incorporating Green Chemistry into Teaching and Learning of Chemistry across Secondary and Tertiary Education. *Chemistry Education for a Sustainable Society Volume 1: High School, Outreach, & Global Perspectives*, Chapter 11, 161-174.
- Khan, S. (2011). New pedagogies on teaching science with computer simulations. *Journal of Science Education and Technology*, 20(3), 215-232.
- Kochkarova, R. R., Turgunov, E. (2023). Improving the methodology of teaching chemistry lessons at school with the help of different games, *American Journal of Applied Science And Technology*. 3(10), 15-19.
- Kolil, V. K., Muthupalani S, Achuthan K. (2020). Virtual experimental platforms in chemistry laboratory education and its impact on experimental self-efficacy. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 1, 17(1).
- Kurniawati, Y., Wigati, M. R., Hasri, S. (2021). Information and communications technology (ICT) based of chemistry instructional learning design for students with multiple intelligence. *Journal of Physics: Conference Series*, 1779, 012062.
- Kwangmuang, P., Jarutkamolpong, S., Sangboonraung, W., Daungtod, S. (2021). The development of learning innovation to enhance higher-order thinking skills for students in Thailand junior high schools. *Heliyon*, 7(6), e07309.
- Lage, M. J., Platt, G. J., Treglia, M. (2000). Inverting the Classroom: A Gateway to Creating an Inclusive Learning Environment. *The Journal of Economic Education*, 31(1), 30-43.
- Lawless, C. (1994). Fishing with the net for research data. *British Journal of Educational Technology*, 25(3), 198-216.
- Lazarowitz, R., Hertz, R. L., Baird, J. H., and Bowlden, V. (1988). Academic Achievement and On-Task Behavior of High School Biology Students Instructed in a Cooperative Small Investigative Group. *Science Education*, 72, 475-487.
- Libman, D., Huang, L. (2013). Chemistry on the Go: Review of Chemistry Apps on Smartphones. *Journal of Chemical Education*, 90(3), 320-325.
- Lohman, M. C., Finkelstein, M. (2000). Designing Groups in Problem-Based Learning to Promote Problem-Solving Skill and Self-Directedness. *Instructional Science*, 28(4), 291-307.
- Lonning, R. A. (1993). Effect of Cooperative Learning Strategies on Student Verbal Interactions and Achievement during Conceptual Change Instruction in 10th Grade General Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(9), 1087-1101.
- Mazur, E. (1991). Can We Teach Computers to Teach? *Computer in Physics*, 5, 31-38.

- McMahon, B., Hanson, R. M. (2008). A toolkit for publishing enhanced figures. *Applied Crystallography*, 41(4), 811–814.
- Miller, A. M., Callam, C. S., Irving, K. E. (2019). Combining Pedagogical Methods with Hands-On Chemistry Demonstrations. *Best Practices in Chemistry Teacher Education*, Chapter 4, 35-50.
- Nahum, T. L., Hofstein, A., Mamlok-Naaman, R., Bar-Dov, Z. (2004). Can Final Examinations Amplify Students' Misconceptions in Chemistry? *Chemistry Education Research and Practice*, 5, 301-325.
- Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry: Chemical misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 69, 191–196.
- Penny, M. R., Cao, Z. J., Patel, B., Sil dos Santos, B., Asquith, C. R. M., Szulc, B. R., Rao, Z. X., Muwaffak, Z., Malkinson, J. P., Hilton, S. T. (2017). Three-Dimensional Printing of a Scalable Molecular Model and Orbital Kit for Organic Chemistry Teaching and Learning. *Journal of Chemical Education*, 94 (9), 1265–1271.
- Ranga, J. S. (2018). Multipurpose Use of Explain Everything iPad App for Teaching Chemistry Courses. *Journal of Chemical Education*, 95(5), 895-898.
- Richardson, D. C., Richardson, J. S. (1992). The kinemage: a tool for scientific communication. *Protein Science*, 1, 3–9.
- Sams, A., Bergmann, J., Daniels, K., Bennett, B., Marshall, H. W., Arfstrom, K. M. (2014). The four pillars of F-L-I-P. *Teaching English with Technology*, 19(1), 36-55.
- Sadykov, T., Ctrnactova, H., Kokibasova, G.T. (2021). Students' opinions toward interactive apps used for teaching chemistry. *Bulletin of the University of Karaganda – Chemistry*, 103(3), 103-114.
- Sadykov, T., Čtrnáctová, H. (2019). Application interactive methods and technologies of teaching chemistry. *Journal of Chemistry Teacher International*, 1(2), 1–7.
- Sarıtaş, E. (2016). Relationship between philosophical preferences of classroom teachers and their teaching styles. *Educational Research and Reviews*, 11(16), 1533-1541.
- Savery, J. R., Duffy, T. M. (1995). Problem Based Learning: An Instructional Model and Its Constructivist Framework. *Educational Technology*, 35(5): 31–38.
- Sayle, R. A., Milner-White, E. J. (1995). RASMOL: biomolecular graphics for all. *Trends Biochemical Sciences*, 20(9), 374-376.
- Schnitker, J. (2007). Molecular-Level Simulations as a Chemistry Teaching Tool. *Advances in Teaching Physical Chemistry*, Chapter 12. 207-219.
- Silverberg, L. J. (2013). Use of Doceri Software for iPad in Polycom and Resident Instruction Chemistry Classes. *Journal of Chemical Education*, 90(8), 1087–1089.
- Sirhan, G. (2007). Learning difficulties in Chemistry: An Overview. *Journal of Turkish Science Education*, 4(2), 2–20.
- Sivarajah, R. T., Curci, N. E., Johnson, E. M., Lam, D. L., Lee, J. T., Richardson, M. L. (2019). A Review of Innovative Teaching Methods. *Academic Radiology*, 26(1), 101–113.
- Solaz-Portolès, J., López, V. (2009). Working memory in science problem solving: A review of research. *Revista Mexicana de Psicología, Enero*, 26 (1), 79–90.

- Soon, T. K. (1997). Chemical Education in Malaysia. *Chemical Education in Asia-Pacific*, <http://www.t.soka.ac.jp/chem/CEAP/Malaysia.html> (accessed Dec 15, 2019).
- Srisawasdi, N. (2012). Student teachers' perceptions of computerized laboratory practice for science teaching: A comparative analysis. *Procedia — Social and Behavioural Sciences*, 46, 4031–4038.
- Stieff, M., Ryu, M., Dixon, B., Hegarty, M. (2012). The Role of Spatial Ability and Strategy Preference for Spatial Problem Solving in Organic Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 89 (7), 854–859.
- Tsaparlis, G. (2016). The Logical and Psychological Structure of Physical Chemistry and Its Relevance to Graduate Students' Opinions About the Difficulties of the Major Areas of the Subject. *Chemistry Education Research and Practice*, 17, 320–336.
- Tümay, H. (2016). Reconsidering Learning Difficulties and Misconceptions in Chemistry: Emergence in Chemistry and Its Implications for Chemical Education. *Chemistry Education Research and Practice*, 17, 229–245.
- Verschaffel, L., Depaepe, F. Mevarech, Z. (2019). Learning Mathematics in Metacognitively Oriented ICT-Based Learning Environments: A Systematic Review of the Literature. *Education Research International*, 402035.
- Webb, N. M., Troper, J. D., Fall, R. (1995). Constructive Activity and Learning in Collaborative Small Groups. *Journal of Educational Psychology*, 87 (3), 406-423.
- White, T., (2001). *"Investing in People. Higher Education in Ireland from 1960 to 2000"*. Dublin: Institute of Public Administration.
- Woldemariam, D. Y. Ayele, H. S., Kedanemariam, D. A., Mengistie, S. M., Beyene, B. B. (2023). Effects of technology-assisted chemistry instruction on students' achievement, attitude, and retention capacity: A systematic review, *Education and Information Technologies*, 29, 13763–13785.
- Woods, D. (1985). *"Problem-Based Learning and Problem-Solving."* In *Problem-Based Learning in Education for the Professions*, edited by D. Boud, 19–42. Sydney: HERDSA.
- Zhang, L., Gupta, D., Mohapatra, P. (2012). How expensive are free smartphone apps? *Mobile Computing and Communications Review*, 16(3), 21–32.