



Study of the cognitive levels of chemistry questions of the final exam of 1398-1402 based on the model of Smith, Nakhleh, and Bretz with the integrated method of Shannon and Topsis entropy

Elnaz Rashtizadeh ^{1,*}, Sepideh Norouzi ², Sara Baseri ¹

¹ Department of Chemistry Education, Farhangian University, Tehran, Iran

² Department of Educational Sciences, Farhangian University, Tehran, Iran

* Corresponding author: () e.rashtizadeh@cfu.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objectives: Analyzing exam questions through a framework specific to chemistry is essential and has rarely been examined. The purpose of the present study is to investigate the level of application of Smith, Nakhleh, and Bratz cognitive framework in the final exams of 2019 to 2023, given the importance of evaluation in the twelfth grade of high school. This framework is a brief analysis of chemistry and has a superficial and secondary appearance. **Methods:** The research method was descriptive and based on the analysis of all questions. The statistical population included all questions from the final exams of June, September, and December of the textbook, and according to the purpose of the present study, all questions from 2019 to 2023 were selected. The data collection tool was the Smith, Nakhleh, and Bartz index question analysis List. Descriptive statistical indices and inferential statistical method of Shannon-Topsis entropy were used to analyze the data. **Findings:** Regarding data analysis, in each exam round, the secondary level, image analysis followed by data analysis, has the highest amount. In some rounds, macroscopic-microscopic, macroscopic-analytical and prediction of survey results levels had not been taken into account. **Conclusion:** Considering the role of the final exam in the career life of students, it is suggested to use them in specialized design questions in a balanced manner.

Keywords: Smith, Nakhleh and Bretz model, Shannon-Tapsis entropy, Content analysis, Cognitive levels, 12th chemistry.

RESEARCH ARTICLE

Received: 24 October 2024

Revised: 13 December 2024

Accepted: 20 January 2025

Published online: 20 January 2025

Print ISSN: [3041-9271](#)

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

Citation: Rashtizadeh, E.; Norouzi, S.; Baseri, S. (2025). Study of the cognitive levels of chemistry questions of the final exam of 1398-1402 based on the model of Smith, Nakhleh, and Bretz with the integrated method of Shannon and Topsis entropy. *Research in Chemistry Education*, 7(3), 1-28.

<https://doi.org/10.48310/chemedu.2025.17479.1277>



© The author(s)

Publisher: Farhangian University



Extended Abstract

Introduction

Evaluation is one of the most important and sensitive components of curriculum development, playing a key role in its design and development. It helps identify its strengths and weaknesses. Evaluation for any content area, including chemistry, is designed with the specific goals of that area in mind. It also influences the revision of those goals, demonstrating a close relationship between objectives and the aspects being evaluated. Additionally, when designing any curriculum, it's essential to specify the intended objectives, their scope, and their sequence from the outset. Achieving a conceptual cognitive level is the primary goal of education. One of the most well-known frameworks is Bloom's taxonomy, which addresses the cognitive, emotional, and psychomotor domains. The cognitive domain encompasses processes related to human mental and intellectual activities. Bloom identifies six levels within the cognitive domain: knowledge, comprehension, application, analysis, synthesis, and evaluation.

In Iran, Bloom's taxonomy is more widely embraced in research and evaluations compared to other approaches. For instance, Ghalkhani and colleagues, in 2016, analyzed the end-of-term chemistry exam questions of high schools in Boukan (2011-2013) and the university entrance exam questions (2006-2013) based on Bloom's cognitive levels. Similarly, Barari and colleagues, in 2019, utilized Bloom's taxonomy to design educational standards aimed at providing feedback in e-learning environments.

However, Bloom's cognitive levels have certain limitations. For example, some researchers argue that the hierarchical nature of the learning levels does not necessarily reflect the reality of learning processes. They also contend that the taxonomy does not adequately address the advancement of science or emerging fields of knowledge, leaving gaps in coverage. Some of these limitations stem from the inherent differences in content areas, such as chemistry. For instance, terms like "analysis" and "synthesis" hold specific meanings in chemistry that correspond to levels four and five in Bloom's taxonomy, leading to potential misunderstandings. Considering these challenges, the development of a cognitive taxonomy specifically tailored for chemistry, offering greater clarity and alignment with chemistry concepts, seems essential to resolve these inconsistencies.

In the field of chemistry, various experts such as Zoller, Stamovlasis, Dori and Hameiri, Wolfskill & Hanson, Johnstone, Mahaffy and Smith, Nakhleh, and Bretz have proposed diverse cognitive objective taxonomies. Among these, the Smith, Nakhleh, and Bretz (2010) taxonomy stands out as one of the most comprehensive chemistry-specific cognitive frameworks. This taxonomy builds upon Zoller's framework and the work of other influential chemistry educators over the past three decades. It also integrates the Bloom-Anderson taxonomy with the specific needs of chemistry as a discipline. Within this framework, macroscopic quantities like volume and mass, microscopic quantities like moles and particle counts, and symbolic representations such as formulas and equations are emphasized. Chemistry questions are categorized into three primary levels: Definition, algorithmic, and conceptual, each further divided into sublevels.

The "definition" level includes questions requiring students to recall, comprehend, or identify a definition, subdivided into recall and recognition of definitions.

The "algorithmic" level involves tasks where students must apply prior knowledge and experiences to macroscopic phenomena, microscopic particles, and symbolic representations like formulas and equations. This level encompasses four sublevels: macroscopic-microscopic conversions, Macroscopic-dimensional analysis, Microscopic-symbolic conversions, and multi-step analyses.

The "conceptual" level tasks students with non-algorithmic analysis, with four sublevels: Explanation of underlying ideas, Analysis of pictorial representations, Analysis/interpretation of data and Prediction of outcomes.

In-depth evaluations of exam questions using frameworks specifically tailored to chemistry are rare, both in Iran and globally, yet they are considered crucial. Given that the educational content of our textbooks closely mirrors that of many other countries, our exams hold potential for international comparisons. Moreover, the 12th-grade chemistry textbook is designed based on a contextual approach. Considering the aforementioned points, as well as the significance of evaluation in the 12th grade, this study aims to assess the application of the Smith, Nakhleh, and Bretz cognitive framework levels in the final exam questions from 2019 to 2023 (common to the mathematics-physics and experimental sciences tracks). The primary research question is: Which levels of the Smith, Nakhleh, and Bretz cognitive taxonomy, and to what extent, have been addressed in the 2019-2023 final exams?

Methodology

This study adopts a descriptive approach, analyzing all questions in its scope. The research is applied in nature and focuses on quantitative analysis of exam questions (evaluative content). The statistical population encompasses all final exam questions from June, September, and December across the target years. Given the study's objective, all questions from 2019 to 2023 were selected, employing a full enumeration strategy. Data collection was guided by the Smith, Nakhleh, and Bretz question analysis checklist. To ensure the validity of the study and selection of components, categories from the Smith, Nakhleh, and Bretz model were validated by experts. Reliability was established using Holsti's formula. Data analysis began with descriptive statistics to determine the frequency of questions at each level. Based on the total number of questions, the percentage frequency of each level for each exam was calculated. This process was applied to the entire statistical population, and the mean percentage frequencies were derived. Analytical statistics and Shannon-TOPSIS entropy analysis were employed for detailed examination using Excel.

Results and Discussion

Among the levels of the Smith, Nakhleh, and Bretz model, the highest percentage frequency in the December exams (28.8%) corresponded to the secondary level of image analysis, followed by data analysis at 22.1%. Macroscopic and microscopic levels and outcome prediction were not addressed. In June, image analysis (29.1%) and explanation of fundamental ideas (22.6%) were the most frequent, yet outcome prediction was overlooked. In September, image analysis dominated (32.8%), followed by data analysis (21.1%), with macroscopic and microscopic levels again neglected. Shannon entropy determined the criteria weights, serving as input for the TOPSIS method.

Data analysis revealed that across all three exam sessions, secondary levels of image analysis and data analysis were of the highest importance. Some sessions neglected macroscopic-microscopic levels, macroscopic-analytical levels, and outcome prediction, indicating a lack of balance in attention to all levels.

In all three examination sessions, the highest rank for secondary levels of Smith, Nakhleh, and Bertz's model corresponded to the analysis of images, followed by data analysis. Moreover, in all three sessions, the conceptual primary level held the greatest significance. Brooke and Towns, in their study examining chemistry exam questions after implementing Smith, Nakhleh, and Bertz's model, emphasized the use of the conceptual level, aligning their research findings with the present study. Questions related to interpreting and analyzing images and data hold importance in subjects like chemistry.

Smith, Nakhleh, and Bertz (2010) associated questions at the definition and algorithmic levels with traditional objectives, while conceptual-level questions were aligned with modern learning principles. Given the similarity in educational content across textbooks globally, their comparison is feasible. Smith, Nakhleh, and Bertz (2010) used the standard tests for General Chemistry I and II of the American Chemical Society to examine their classification. The results for the initial definition, algorithmic, and conceptual levels were 24%, 23%, and 53%, respectively for the first semester and 38%, 16%, and 46%, respectively, for the second semester. Both tests roughly had equal proportions of traditional and conceptual components, designed as a blend of both aspects.

The analysis of final exams from 2010 to 2023 across different sessions shows that the conceptual level had a frequency between 61% and 78%. Contrary to Smith, Nakhleh, and Bertz (2010), more emphasis was placed on the conceptual level in 12th-grade final exams, leaving lower traditional levels (i.e., algorithmic and definition) neglected.

A balanced exam should address all skills. The analysis of the January, May, and September final exams revealed uneven distribution, with some levels entirely overlooked. The result prediction level represents the highest level in this classification. To achieve balance, final exams must include questions requiring students' analytical and creative thinking skills, albeit in moderation.

On the other hand, conceptual-level questions are generally more challenging. Overemphasizing difficult questions in final exams with limited time is unfair and problematic for students with weaker analytical abilities. Standardized tests should balance their total composition so that the number of complex questions requiring higher cognitive capacity remains fewer than other questions.

A review of 12th-grade chemistry textbooks reveals that more basic and straightforward topics are introduced in lower grades. For example, converting mass to the number of moles is a topic covered in 10th-grade chemistry. As a result, in 12th-grade final exams, the secondary macroscopic-microscopic conversion level related to moles and macroscopic quantities (volume or mass) ranks lowest. Similarly,

macroscopic-analytical levels involving conversions between macroscopic quantities like mass and volume are learned in earlier grades.

This indicates that applying Smith, Nakhleh, and Bertz's model provides more precise and balanced results for exams, encompassing all chemistry topics, similar to university entrance exams. This concept can be extended to other specialized chemistry models, such as Johnston's (2000) model with algorithmic and symbolic levels. On the flip side, maintaining the longitudinal connection of chemistry topics in final exams by embedding foundational topics like mole and mass conversion within other questions can ensure attention to algorithmic levels like macroscopic-microscopic conversions, thereby maintaining a balance of all levels in final exams. Since 12th-grade chemistry textbooks are designed with a contextual approach, students should be able to relate what they learn to their surroundings, finding meaning in their knowledge. This aligns with Zoller and Stamoulakis' emphasis. However, the study's findings indicate that the share of final exam questions in this area from 2019 to 2023 has been insufficient, highlighting the need for revisions.

In conclusion, the study suggests that exam design should assign balanced weight to all skills, ensuring a broader representation of components and fostering a comprehensive skill set among students. Given that content analysis research in Iran concerning chemistry textbooks and exams with specialized models like Zoller, Stamoulakis, Johnston, and Smith, Nakhleh, and Bertz is limited, it is recommended that chemistry textbooks and other science subjects be analyzed using these models. Furthermore, all final exams, entrance exams, and formative assessments should also be evaluated using specialized frameworks such as the Smith, Nakhleh, and Bertz model.

Conclusion

For all three exam sessions, the highest-ranking secondary level in the Smith, Nakhleh, and Bretz model was image analysis, followed by data analysis. Furthermore, conceptual levels received the most emphasis across all sessions. Questions related to interpreting and analyzing images and data are particularly significant in a subject like chemistry, as they not only gauge students' comprehension but also evaluate analytical skills that impact their future capabilities. Hence, adequate attention to these questions in final exams is valuable.

An analysis of final exam questions (2000-2023) across various sessions highlights that the frequency of conceptual levels ranged between 61% and 78%. Unlike the findings of Smith, Nakhleh, and Bretz (2010), 12th-grade final exams placed greater focus on conceptual levels, neglecting traditional lower levels such as algorithmic and defining. Since achieving a conceptual cognitive level is the primary educational goal, evaluation in chemistry education aims to reach conceptual and analytical levels. As a result, it can be claimed that final exams, with the exception of the "outcome prediction" indicator, have addressed other conceptual-level indicators. However, the study critiques the excessive emphasis on these questions to the detriment of other areas.

پژوهش در آموزش شیمی، سال هفتم، شماره سوم، صفحات ۱-۲۸



پژوهش در آموزش شیمی

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


بررسی سطوح شناختی سؤالات شیمی امتحان نهایی ۱۴۰۲-۱۳۹۸ بر اساس الگوی اسمیت و نخله و برتز با روش تلفیقی آنتروپی شانون و تاپسیس

الناز رشتی زاده^۱، سپیده نوروزی^۲، سارا باصری^۱

^۱ گروه آموزش شیمی، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران،

^۲ گروه علوم تربیتی، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران،

* نویسنده مسئول: e.rashtizadeh@cfu.ac.ir

چکیده

پیشینه و اهداف: تحلیل سؤالات امتحانی از طریق چهارچوبی مختص علم شیمی امری ضروریست که به ندرت مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از پژوهش حاضر، بررسی میزان به کارگیری سطوح چهارچوب شناختی اسمیت، نخله و برتز در مورد سؤالات امتحانات نهایی سال های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۲، در پایه دوازدهم است. این چهارچوب مختص تحلیل سؤالات شیمی و دارای سطوح اولیه و ثانویه است. **روش ها:** روش انجام پژوهش، توصیفی و بر مبنای تحلیل تمام سؤالات انجام شد. جامعه آماری، شامل کلیه سؤالات امتحانات نهایی خرداد، شهریور و دی ماه کتاب درسی بوده و با توجه به هدف پژوهش حاضر، تمامی پرسش های مربوط به سال های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۲ انتخاب شدند. ابزار گردآوری داده ها با توجه به فهرست تحلیل سؤالات شاخص اسمیت، نخله و برتز بود. برای تجزیه و تحلیل داده ها از شاخص های آماری توصیفی و روش های آماری استنباطی آنتروپی شانون-تاپسیس استفاده شد. **یافته ها:** با توجه به تحلیل داده ها، در هر سه نوبت امتحانی، سطوح ثانویه تجزیه و تحلیل تصاویر و سپس تجزیه و تحلیل داده ها، بیشترین اهمیت را داشتند. در برخی نوبت ها، سطوح ماکروسکوپی-میکروسکوپی، ماکروسکوپی-تحلیلی و پیش بینی نتایج مورد توجه قرار نگرفته بود و تعادلی در میزان توجه به کلیه سطوح دیده نمی شد. **نتایج:** با توجه به نقش آزمون نهایی در سرنوشت شغلی دانش آموزان، پیشنهاد می شود در طراحی سؤالات از معیارهای تخصصی محتوایی و به صورت متوازن استفاده شود.

واژه های کلیدی: الگوی اسمیت، نخله و برتز، آنتروپی شانون-تاپسیس، تحلیل محتوا، سطوح شناختی، شیمی دوازدهم.

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱

تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱

شاپا چاپی: ۳۰۴۱-۹۲۷۱

شاپا الکترونیکی: ۲۷۱۷-۲۲۷۹



ارجاع: رشتی زاده، الناز؛ نوروزی، سپیده؛ باصری، سارا (۱۴۰۴). بررسی سطوح شناختی سؤالات شیمی امتحان نهایی ۱۴۰۲-۱۳۹۸ بر اساس الگوی اسمیت و نخله و برتز با روش تلفیقی آنتروپی شانون و تاپسیس. پژوهش در آموزش شیمی، ۷(۳)، ۱-۲۸.

<https://doi.org/10.48310/chemedu.2025.17479.1277>

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه فرهنگیان



مقدمه

ارزشیابی یکی از مهم‌ترین و حساس‌ترین مؤلفه‌های برنامه‌ی درسی است که نقش کلیدی در طراحی و توسعه‌ی آن دارد و به شناسایی نقاط قوت و ضعف آن کمک می‌کند (تایی^۱، ۲۰۲۳). با کمک ارزشیابی از مراحل مختلف برنامه - درسی می‌توان کارایی و اثربخشی آن را در حوزه‌های موضوعی مختلف، مانند شیمی، افزایش داد (هوسر^۲ و مک کلین^۳، ۲۰۲۲). هم‌زمان که روش‌های تدریس نوین، مانند روش‌های شهودی و راهبردهای یادگیری فعال در کلاس‌های شیمی جای پای خود را محکم می‌کنند، این مسئله که آیا این اقدامات انجام شده با پیامدهای مورد انتظار دوره هماهنگ هستند، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (حسن، ۲۰۲۴) و ارزشیابی مناسب و صحیح برای پاسخ به این سؤال به کمک ما می‌آید.

ارزشیابی از هر حوزه محتوایی از جمله شیمی، با توجه به اهداف آن حوزه طراحی می‌شود و البته بر بازنگری آن اهداف نیز اثر می‌گذارد و رابطه تنگاتنگی میان اهداف و آنچه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد وجود دارد (سیف، ۱۴۰۲)؛ به این معنا که پس از طراحی اهداف، روش‌ها و فرصت‌های ارزشیابی، طراحی شده و با جمع‌آوری نتایج ارزشیابی، این احتمال وجود دارد که هدف‌های طراحی شده مورد بازنگری قرارگیرند. بعد از تعیین اهداف، یکی از اولویت‌های برنامه درسی، توجه به فرصت‌های ارزشیابی از آن است (او^۴ و همکاران، ۲۰۲۴).

در طراحی هر برنامه درسی لازم است از همان ابتدا مشخص کنیم که چه اهدافی، با چه وسعت و توالی‌ای مدنظر ما قرار دارد. پژوهشگران دسته‌بندی‌های متنوعی را برای هدف‌های یادگیری ارائه کرده‌اند که این دسته‌بندی‌ها به طور مستقیم بر فرصت‌های یادگیری و ارزشیابی اثرگذار است (فردانش، ۱۳۹۰)؛ به عنوان مثال، گانیه^۵ مهارت‌های ذهنی، راهبردهای شناختی، اطلاعات کلامی، مهارت‌های یدی و گرایش‌ها را به عنوان اهداف معرفی کرده‌اند (جدیدی محمدآبادی و احمدی ده قطب الدینی، ۲۰۲۳). رسیدن به سطح شناختی مفهومی هدف اصلی آموزش است (نورماتوا و آلتن^۵، ۲۰۲۳). یکی از معروف‌ترین طبقه‌بندی‌های موجود متعلق به بلوم است که به هدف‌های حوزه شناختی، عاطفی و روانی - حرکتی می‌پردازد. منظور از هدف‌های حوزه شناختی، جریان‌هایی است که با فعالیت‌های ذهنی و فکری انسان سروکار دارد (سیف، ۱۴۰۲). هدف‌های حوزه شناختی که از طریق آزمون‌های شناختی سنجش می‌شوند، یکی از مهم‌ترین حوزه‌های یادگیری به حساب می‌آیند و در آینده شغلی و مسیر حرفه‌ای دانش‌آموزان ایرانی اثرگذار است.

¹ Tai² Hooser & McClain³ Oo⁴ Gagne⁵ Nurmatova & Altun

نمرات آزمون‌های شناختی علاوه بر اثرگذاری بر آینده تحصیلی و شغلی افراد، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در ارتباط با نقطه مناسب طراحی واحدهای یادگیری به معلمان نیز ارائه دهد (فردانش، ۱۳۹۰). دسته‌بندی‌های متنوعی در ارتباط با توسعه سطوح شناختی در متون طراحی آموزشی ارائه شده است (باربیر^۱ و همکاران، ۲۰۲۳). بلوم، برای هدف‌های شناختی ۶ سطح دانش، فهم، کاربست، تحلیل، ترکیب و ارزشیابی قائل شده است (دوتا^۲ و همکاران، ۲۰۲۴). پژوهشگران دیگری مانند سولو^۳، سطوح پیش‌ساختاری، تک‌ساختاری، چندساختاری، رابطه‌ای و انتزاع تعمیم‌یافته را معرفی کرده است (بیگز و کلیس^۴، ۲۰۱۴). مارزانو^۵، در طبقه‌بندی خود برای سطوح نظام شناختی، مراحل بازیابی، فهمیدن، تحلیل و بهره‌برداری از دانش را قائل شده است (ایروین^۵، ۲۰۲۰). در مجموع، می‌توان گفت دسته‌بندی‌های متنوعی در ارتباط با توسعه سطوح شناختی در متون طراحی آموزشی ارائه شده است (نوروزی و رضوی، ۱۳۹۸).

در کشور ایران طبقه‌بندی بلوم نسبت به سایر رویکردها از اقبال بیشتری در پژوهش‌ها و ارزیابی‌ها برخوردار است. برای مثال قلخانی و همکارانش (۲۰۱۶) سؤالات امتحانی پایان ترم شیمی دبیرستان‌های شهر بوکان را طی سال‌های ۹۲ - ۹۰ و سؤالات آزمون ورودی کنکور دانشگاه سراسری در بازه زمانی سال‌های ۸۵ الی ۹۲ را مطابق با سطوح شناختی بلوم بررسی و تحلیل کرده‌اند. براری و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از طبقه‌بندی اهداف بلوم اقدام به طراحی استانداردهای آموزشی به منظور طراحی بازخورد در محیط‌های یادگیری الکترونیک کردند. ستوده و مدرسی (۱۴۰۰) با توجه به طبقه‌بندی بلوم، الگوی برنامه آموزشی کارآفرینی برای کودکان پیش‌دبستانی ارائه دادند. عسگری و خلیلی (۱۳۹۹) با استفاده از طبقه‌بندی بلوم محتوای کتاب ریاضی نهم را تحلیل کردند.

سطوح شناختی بلوم دارای نواقصی است؛ به عنوان مثال، بعضی پژوهشگران معتقدند که سلسله مراتبی بودن سطوح یادگیری نمی‌تواند منعکس‌کننده واقعیت یادگیری باشد یا این دسته‌بندی، پاسخگوی پیشرفت علم و حوزه‌های جدید دانش نیست و نمی‌تواند برخی حوزه‌های دانشی را آن‌گونه که باید، پوشش دهد (کراسول^۶، ۲۰۰۲). نقد دیگر که توسط مارزانو به طبقه‌بندی بلوم وارد شد، این است که در طبقه‌بندی بلوم، سطح دشواری فرایندهای ذهنی، مبنایی برای طبقه‌بندی هدف‌های آموزشی است؛ به این معنا که دستیابی به هدف‌های طبقات بالا، دشوارتر است. این در حالی است که برخی فرایندهای ذهنی بسیار پیچیده، به صورت ناآگاهانه و به راحتی انجام می‌شوند (مارزانو^۷، ۲۰۰۷). برای رفع این نواقص در بازنگری‌های بعدی، که به سطوح شناختی بلوم-اندرسون معروف است، تغییراتی ارائه شد. نسخه

¹ Barbier² Dutta³ Structure of the Observed Learning Outcome.⁴ Biggs & Collis.⁵ Irvine⁶ Krathwohl.⁷ Marzano

اصلاح شده طبقه‌بندی بلوم نتایج یادگیری را به صورت سلسله مراتبی در امتداد دو بعد متقابل، بعد دانش و بعد فرایند شناختی طبقه‌بندی می‌کند. بعد دانش شامل مقوله‌های سلسله مراتبی دانش واقعی، دانش مفهومی، دانش روندی و دانش فراشناختی است. بعد فرآیند شناختی شامل مقوله‌های سلسله یادآوری، کاربرد، فهم، تحلیل، ارزشیابی و خلق است (اندرسون و کراسول^۱، ۲۰۰۱).

همانطور که کراسول (۲۰۰۲) اشاره می‌کند بخشی از محدودیت‌های طبقه‌بندی بلوم به واسطه ماهیت متفاوت حوزه‌های محتوایی از جمله شیمی است؛ به عنوان مثال، اصطلاحات تجزیه و تحلیل کردن^۲ و سنتز کردن^۳ (ترکیب) در شیمی معانی تخصصی دارند، که هم نام با سطوح چهارم و پنجم حیطه شناختی بلوم است و این مشابهت می‌تواند بدفهمی‌هایی را با خود همراه داشته باشد. اگر در یک آزمون شیمی آلی از دانش‌آموز خواسته شود که یک مولکول را سنتز کند، منظور قابلیت ترکیب که در سطوح شناختی بلوم آمده است، نمی‌باشد. بسیاری از فرایندها در شیمی، نیاز به تجزیه و تحلیل یا به اصطلاح آنالیز دارند، ولی متناظر با سطوح پایین بلوم است. به علاوه، در علم شیمی هم با دنیای ماکروسکوپی و هم میکروسکوپی و کوانتومی در ارتباط هستیم که درک آن برای دانش‌آموزان مشکل است و همچنین برخی سؤالات مفهومی در شیمی با یادگیری یک الگوریتم قابل حل هستند.

با توجه به موارد ذکر شده، وجود یک طبقه‌بندی سطوح شناختی مختص رشته شیمی که شفافیت بیشتری متناسب با مفاهیم شیمی برای کاربران داشته باشد، ضروری به نظر می‌رسد و می‌تواند این ناهماهنگی را برطرف کند. یکی از مزایای استفاده از دسته‌بندی‌های تخصصی، پوشش کامل حوزه محتوایی، درک و به‌کارگیری آسان‌تر آن برای ارزشیابی است و محتوای آموزشی را می‌توان متناسب با مفاهیم درس مربوطه با دقت و جزئیات بیشتری تحلیل کرد.

پیشینه پژوهش

در شیمی، صاحب‌نظرانی از جمله زولر^۴، استامولاسیس^۵، دُری و حمیری^۶، ولفسکیل و هانسون^۷، جانستون^۸، ماهافی^۹ و اسمیت، نخله و برتز طبقه‌بندی‌های مختلفی از اهداف شناختی ارائه کرده‌اند (باصری، ۱۴۰۲). زولر به عنوان یکی از اولین صاحب‌نظران، اهداف شناختی درس شیمی را به چهار دسته کلی تقسیم کرد؛ دسته نخست: مهارت‌های

¹ Anderson

² Analyzing

³ Synthesizing

⁴ Zoller

⁵ Stamovlasis

⁶ Dori & Hameiri

⁷ Wolfskill & Hanson

⁸ Johnstone

⁹ Mahaffy

شناختی درجه پایین شامل سؤالات حفظی و ساده هستند. دسته دوم: مهارت‌های شناختی درجه بالا که نیاز به تجزیه و تحلیل یا تفکر انتقادی دارند. دسته سوم: سؤالات طرحواره‌ای یا الگوریتمی که برای پاسخ نیاز به استفاده از طرحواره‌های حفظی دارند و در بالاترین سطح، سؤالات مفهومی که مبتنی بر متن یا نمودار هستند و دانش‌آموزان را ملزم به استناد به مفاهیم اصلی کنند. هدف اصلی آموزش شیمی از نظر زولر کسب مهارت‌های شناختی درجه بالا و تسلط بر مهارت‌های شناختی درجه پایین است (زولر و همکاران، ۱۹۹۵).

استامولاسیس با گسترش نظریه زولر سطح شناختی سؤالات شیمی را به چهار دسته طبقه‌بندی کرد: دانش-یادآوری، الگوریتم ساده، الگوریتمی پیچیده و مفهومی. او معتقد بود که در آموزش شیمی معلمان بر مراحل از پیش تعیین‌شده‌ای که منجر به راه حل می‌شود، تمرکز می‌کنند. در این دیدگاه، دانش‌آموز مانند رایانه‌ای است که با اضافه کردن طرحواره‌هایی به حل مسئله می‌پردازد. در صورتی که مغز مجموعه‌ای غنی از طرحواره‌ها است که با ایجاد بستر مناسب می‌تواند عملکرد بهتری را در حل مسئله از خود نشان دهد (استامولاسیس، ۲۰۰۵).

جانسون سطوح کلی مفاهیم شیمی را به سه سطح میکروسکوپی، ماکروسکوپی و نمادین تقسیم کرده است. سطح ماکروسکوپی، به مشاهده عینی مواد شیمیایی و تغییرات آنها با استفاده از فعالیت‌های آزمایشگاهی می‌پردازد (ویژگی‌های ملموس و قابل مشاهده مانند تغییر رنگ یا جرم). سطح دوم، سطح میکروسکوپی یا مولکولی است. این سطح به بررسی یون‌ها، اتم‌ها و یا مولکول‌ها در واکنش‌های شیمیایی می‌پردازد. سطح سوم، سطح نمادین است که با استفاده از فرمول‌ها و معادلات به خواص ماده می‌پردازد (جانستون، ۲۰۰۰).

چهارچوب دیگری که در حوزه آموزش شیمی مطرح است، طبقه‌بندی اسمیت، نخله و برتز^۱ (۲۰۱۰) می‌باشد که از جامع‌ترین شاخص‌های پیشنهاد شده تخصصی شیمی در حیطه طبقه‌بندی اهداف شناختی است. این شاخص در واقع نمونه کامل شده طبقه‌بندی زولر و سایر محققین تاثیرگذار در آموزش شیمی طی سه دهه گذشته می‌باشد و همچنین، در این چهارچوب، تلاش بر انطباق طبقه بندی بلوم- اندرسون با نیازهای رشته شیمی صورت گرفته است. در طبقه‌بندی کمیت‌های مربوط به سطح ماکروسکوپی شامل حجم و جرم، میکروسکوپی شامل مول و تعداد ذرات و نمادهای شیمیایی شامل فرمول‌ها و معادلات مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این طبقه‌بندی، سؤالات شیمی در سه سطح اولیه تعریف کردن^۲، الگوریتمی^۳ و مفهومی^۴ طبقه‌بندی می‌شود که در ادامه معرفی شده‌اند.

¹ Smith, Nakhleh & Bretz

² Definition

³ Algorithmic

⁴ Conceptual

سطح تعریف کردن: شامل سؤالاتی که دانش‌آموزان می‌بایست یک تعریف را به یاد بیاورند، درک کنند و یا تشخیص دهند که شامل دو سطح ثانویه یادآوری^۱ و تشخیص تعریف^۲ است.

سطح الگوریتمی: دانش‌آموزان را ملزم به استفاده از دانش و تجربیات پیشین خود در مسائل و موقعیت‌های ماکروسکوپی (پدیده‌های مرئی)، زیر میکروسکوپی (ذرات نامرئی) و نمادین (فرمول‌ها و معادلات) می‌کند. کمیت‌های جرم و حجم مربوط به سطح ماکروسکوپی، مول و تعداد ذرات کمیت‌های مربوط به سطح میکروسکوپی و نمادهای شیمیایی از جمله فرمول‌ها و معادلات مربوط سطح نمادین هستند. بر این اساس، چهار سطح ثانویه زیرمجموعه سطح الگوریتمی وجود دارد: تبدیل‌های ماکروسکوپی- میکروسکوپی^۳، تجزیه و تحلیل ماکروسکوپی- بعدی^۴، تبدیل‌های میکروسکوپی- نمادین^۵ و چند مرحله‌ای^۶.

سطح مفهومی: دانش‌آموزان را ملزم به انجام نوعی تحلیل غیرالگوریتمی می‌کند. چهار سطح ثانویه زیرمجموعه سطح مفهومی وجود دارد: تبیین ایده‌های بنیادی^۷، تحلیل نمایش تصویری نمادها یا معادلات شیمیایی^۸، تجزیه و تحلیل یا تفسیر داده‌ها^۹ پیش‌بینی نتایج^{۱۰} (اسمیت و دیگران، ۲۰۱۰).

اسمیت، نخله و برتر (۲۰۱۰) معتقدند که متن یک سؤال خوب علاوه بر اینکه باید نوع داده‌های ارائه شده به دانش‌آموز در سؤال (متن، اعداد، نمودارها) را به خوبی نمایش دهد، لازم است که بتواند نوع تفکری را که دانش‌آموز احتمالاً برای پاسخ‌دادن به کار می‌گیرد، آشکار سازد. مهارت تجزیه و تحلیل در آینده و موفقیت تحصیلی و شغلی دانش‌آموزان اثرگذار است (رحمان^{۱۱} و همکاران، ۲۰۲۱).

هر یک از سطوح اولیه و ثانویه و توضیحات آن‌ها در جدول شماره (۱) قابل مشاهده است. همچنین برای هر مورد یک سؤال به عنوان نمونه از بین سؤالات امتحانات نهایی پایه دوازدهم ذکر شده است.

¹ Recall, understand, or apply a definition

² Recognize a definition

³ Macroscopic-microscopic conversions

⁴ Macroscopic-dimensional analysis

⁵ Microscopic-symbolic conversions

⁶ Multi-step

⁷ Explanation of underlying ideas

⁸ Analysis of pictorial representations

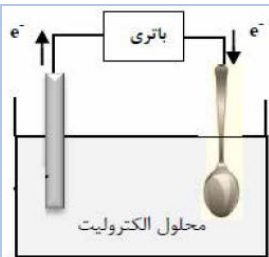
⁹ Analysis/interpretation of data

¹⁰ Prediction of outcomes

¹¹ Rahman

جدول ۱- اهداف شناختی (سطوح اولیه و ثانویه) الگوی اسمیت، نخله و برتز (اسمیت و دیگران، ۲۰۱۰) همراه با مثال‌هایی از سؤالات پایه دوازدهم

سطوح اولیه	سطوح ثانویه	توضیحات	مثالی از سؤالات امتحانات نهایی پایه دوازدهم
تعریف کردن	یادآوری	شامل به خاطر آوردن، درک، یا به کار بردن یک تعریف و شناخت یک تعریف است.	مونومرهای سازنده پلی‌اتیلن ترفتالات را نام ببرید؟ (خرداد ۱۴۰۰)
	تشخیص تعریف	این سؤالات چند گزینه‌ای هستند و نیاز به شناخت یک تعریف دارند.	واژه درست را از داخل کمانک انتخاب کنید. یه موادی که انجبال آنها در آب مولکولی است گفته می‌شود. (الکترولیت/ غیر الکترولیت). (خرداد ۱۴۰۲)
الگوریتمی	تبدیل ماکروسکوپی- میکروسکوپی	نیاز به تبدیل بین مول و مقادیر ماکروسکوپی (حجم یا جرم) دارد.	محلولی از باریوم هیدروکسید با غلظت ۰/۰۱ مول بر لیتر در دمای اتاق موجود است. شمار مول‌های یون هیدرونیوم در ۰/۵ لیتر این محلول را محاسبه کنید. (خرداد ۱۴۰۲).
	تحلیل ماکروسکوپی- بعدی	این سؤالات نیاز به تبدیل بین واحدهای مقادیر ماکروسکوپی دارد.	یک ظرف دارای ظرفیت ۴۰۰۰ سی سی است. ظرفیت این قوطی بر حسب لیتر چقدر است؟ (مولف)
	تبدیل میکروسکوپی نمادین	این سؤالات مستلزم تبدیل استوکیومتری مقادیر ذره یا مول مواد است که به طور معمول بر اساس فرمول‌ها یا معادلات شیمیایی است.	محلولی از باریوم هیدروکسید با غلظت ۰/۰۱ مول بر لیتر در دمای اتاق موجود است. غلظت یون هیدروکسید را در این محلول به دست آورید (خرداد ۱۴۰۲). $\text{Ba(OH)}_2 \rightarrow \text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{OH}^{-}(\text{aq})$
	چند مرحله‌ای	این سؤالات شامل تمرین‌ها و مسائل چند مرحله‌ای است، که اغلب بر اساس استفاده و به کارگیری جبری فرمول‌های ریاضی است.	در نمونه‌ای از آب انار غلظت یون هیدرونیوم 2×10^{-4} مول بر لیتر است. pH این محلول را محاسبه کنید؟ (دی ۹۹)
مفهومی	تبیین ایده‌های بنیادی	در این سطح سؤالاتی مطرح می‌شود که در آن لازم است در مورد چرایی پدیده‌های شیمیایی توضیحاتی ارائه شود.	استفاده از صابون مراغه عوارض جانبی کمتری دارد و برای موهای چرب متناسب‌تر است. علت را توضیح دهید (خرداد ۱۴۰۲)
	تحلیل نمایش تصویری نمادها یا معادلات شیمیایی	این سؤالات نمایشی تصویری از نمادها یا معادلات شیمیایی را ارائه می‌دهند و نیاز به تجزیه و تحلیل موقعیت دارند.	شکل روبرو آبکاری یک قاشق فولادی را با قلز مس نشان می‌دهد. قاشق نقش کدام الکترود را دارد (آند یا کاتد)؟ (خرداد ۹۹)



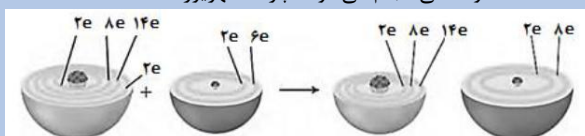
آیون / کاتیون	F^-	O^{2-}
Na^+	۹۲۶	?
Mg^{2+}	۲۹۶۵	۳۷۹۸

با توجه به جدول زیر که آنتالپی فروپاشی شبکه را برای برخی ترکیب‌های یونی، بر حسب $KJmol^{-1}$ نشان می‌دهد، به پرسش زیر پاسخ دهید.
به جای علامت سؤال کدام یک از اعداد (۲۴۸۸، ۸۴۰ یا ۴۲۳۵) را باید قرار داد، دلیل بنویسید (شهریور ۱۴۰۱).

این سؤالات داده‌ها را در قالب یک جدول، نمودار یا توصیفات کیفی ارائه می‌دهد و نیاز به تجزیه و تحلیل یا تفسیر داده‌ها دارد.

تجزیه و تحلیل یا تفسیر داده‌ها

با توجه به شکل زیر که الگوی ساده‌ای از واکنش بین اتم‌های آهن و اکسیژن را با ساختار لایه‌ای نشان می‌دهد، اگر بجای آهن از پلاتین استفاده شود، آیا واکنشی انجام می‌شود؟ چرا؟ (شهریور ۱۴۰۱)



این سؤالات یک موقعیت شیمیایی را ارائه می‌کنند و نیاز به پیش‌بینی یک نتیجه دارند.

پیش‌بینی نتایج

در یک پژوهش سانابریا^۱ و برتز (۲۰۱۰) طبقه‌بندی بلوم را با طبقه‌بندی اسمیت، نخله و برتز مقایسه کرد. سطح اول الگوی اسمیت، نخله و برتز که تعریفی نام دارد با سطوح تعریف، دانش و درک مطلب در طبقه‌بندی بلوم مشابه هستند. سطح کاربردی در طبقه‌بندی بلوم که دانش‌آموز باید ارتباط بین اطلاعات و قوانین را برای رسیدن به راه حل سؤالات به کار ببرد با قسمت یادآوری و تشخیص تعریف در الگوی اسمیت، نخله و برتز ارتباطی ندارد، اما این سطح را می‌توان با قسمت الگوریتمی الگوی اسمیت، نخله و برتز مشابه دانست. سؤالاتی که نیاز به تجزیه و تحلیل دارند، با سؤالات مفهومی الگوی اسمیت، نخله و برتز در ارتباط هستند. سطوح ارزشیابی و ترکیب در طبقه‌بندی بلوم نیز با سطح مفهومی در الگوی اسمیت، نخله و برتز در ارتباط است. همچنین بروک و تاونز^۲ (۲۰۰۹) از این طبقه‌بندی برای تحلیل سؤالات ارائه شده توسط معلمان شیمی استفاده نمودند و نشان دادند زمانی که معلمان با این الگو آشنا شده و در ارزیابی سؤالاتشان از آن استفاده می‌کنند، دیگر بر سؤالات تعریف‌محور تأکید نداشته و توجه خود را روی سؤالات الگوریتمی و مفهومی معطوف می‌کنند. همچنین، این اقدام هماهنگی بهتری بین پوشش سؤالات مفهومی در طول تدریس و امتحانات ایجاد می‌کند.

اسمیت، نخله و برتز (۲۰۱۰)، معتقدند که اجزای سؤالات مربوط به سطوح تعریف و الگوریتمی را می‌توان به عنوان تأمین‌کننده اهداف سنتی در نظر گرفت و اجزای سؤالات مربوط به سطح مفهومی را به عنوان تأمین‌کننده اصول جدید یادگیری لحاظ نمود که با هدف اصلاح برنامه درسی شیمی ارائه شده است. در روش تدریس سنتی دانش‌آموزان

¹ Sanabria

² Bruck & Towns

کتاب‌ها و مفاهیم آن را می‌خوانند، حفظ می‌کنند و سعی دارند که آن را در حافظه خود بسپارند و سپس هنگام آزمون از آنچه به خاطر سپرده‌اند، استفاده می‌کنند و معلم بیشتر در تدریس خود از روش سخنرانی استفاده می‌کند، اما در مدل جدید یادگیری، دانش‌آموزان تجربه یادگیری عمیق‌تری به دست می‌آورند، درک و توانایی خود را برای به‌کاربردن یادگیری در موقعیت‌های جدید بهبود بخشیده، تفکر انتقادی و مهارت‌های تجربی خود را تقویت می‌کنند و اشتیاقشان را برای یادگیری افزایش می‌دهند و کلاس دانش‌آموز محور است (کاچار^۱ و همکاران، ۲۰۲۱).

تلاش برای بهبود نظام آموزشی کشورها از وظایف مهم پژوهشگران عرصه تعلیم و تربیت در هر کشوری است (سربازمولان و عظمت، ۱۴۰۲)؛ در کشور ایران براساس سند تحول بنیادین جمهوری اسلامی در افق ۱۴۰۴، شایسته است ایران کشوری توسعه‌یافته و دارای جایگاه اول اقتصادی علمی و فناوری در سطح منطقه و دارای اشتغال کامل باشد (ملکی و همکاران، ۱۴۰۲). بنابراین، برای تربیت نیروهای کارآمد و آینده‌ساز لازم است که تمامی مؤلفه‌های برنامه درسی از جمله ارزشیابی مورد بررسی و پایش قرار گیرد. همچنین، در کنکور نظام جدید از سال ۱۳۹۸ سهم سوابق تحصیلی و نمرات آزمون نهایی در نظر گرفته شده است. از آنجا که سوابق تحصیلی همان دروس تخصصی و عمومی پایه دوازدهم است، پس امتحانات نهایی به‌عنوان سهمی اصلی در کنکور باید دارای روایی و پایایی مناسب باشد و تعادل مناسبی از سطوح اهداف شناختی را در برگیرند. از این رو، ارزیابی از سؤالات درس شیمی سال دوازدهم، موضوعیت پیدا می‌کند و با کمک نتایج می‌توان به نقاط قوت و ضعف ساخت آن‌ها پی برد.

همان‌طور که اشاره شد، بررسی سؤالات امتحانی با طبقه‌بندی یا چهارچوبی مختص علم شیمی به ندرت در سطح ایران و حتی در سطح کشورهای دیگر انجام گرفته و امری ضروری به‌نظر می‌رسد. با توجه به اینکه محتوای آموزشی کتاب‌های درسی ما مشابه بسیاری از کشورهای دیگر جهان است (بروجنی، شعبانی و تقی‌پور، ۱۴۰۱) در نتیجه با آزمون‌های آن‌ها قابلیت مقایسه دارد. همچنین، کتاب شیمی دوازدهم براساس رویکرد زمینه محور طراحی شده است (حذرخانی و همکاران، ۱۳۹۹). لذا، با توجه به مطالب مذکور و همچنین اهمیت و ضرورت ارزشیابی در سال دوازدهم، در پژوهش حاضر به بررسی میزان به‌کارگیری سطوح چهارچوب شناختی اسمیت، نخله و برتز در سؤالات امتحانات نهایی سال ۱۴۰۲-۱۳۹۸ (مشترک بین رشته ریاضی فیزیک و علوم تجربی) پرداخته شده است. از این رو، هدف پژوهش حاضر، بررسی کیفیت سؤالات امتحانات نهایی سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۲ با کمک یکی از چهارچوب‌های تخصصی آموزش شیمی است. در این خصوص تحقیق حاضر درصدد پاسخگویی به این پرسش است: کدام یک از

¹ Kaçar

سطوح طبقه‌بندی حیطه شناختی اسمیت، نخله و برتز و به چه میزان در امتحانات نهایی سال ۱۳۹۸ تا سال ۱۴۰۲ مورد توجه قرار گرفته‌اند؟

روش پژوهش

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی است. روش پژوهش توصیفی و بر مبنای تحلیل کمی سؤالات امتحانی (محتوای ارزشیابی) است. جامعه آماری شامل کلیه سؤالات امتحانات نهایی شیمی پایه دوازدهم است که با توجه به نقش نمره آزمون نهایی بر قبولی کنکور انتخاب شدند. از طرفی، به دلیل تغییر کتاب درسی پایه دوازدهم از سال ۱۳۹۸ در نظام جدید آموزشی، تمامی سؤالات امتحانات نهایی خرداد، شهریور و دی ماه سال‌های ۱۴۰۲-۱۳۹۸ به‌عنوان نمونه این پژوهش تعیین گردیدند. تعداد این سؤالات شامل ۶۸۳ پرسش بود. همچنین، انتخاب داده‌ها هدفمند و یا تصادفی نبوده و همه سؤالات مورد بررسی قرار گرفت و از استراتژی تمام‌شماری استفاده شد. با توجه به ماهیت پژوهش، برای دستیابی به پاسخ، از روش تحلیل محتوای کمی که در دسته روش‌های اسنادی قرار می‌گیرد، استفاده شد تا با استفاده از تحلیل‌های کمی، نتایج به دست آمده از ویژگی‌های عینیت، نظام‌مندی و تعمیم‌پذیری برخوردار باشند و از نتایج ارائه شده در تصمیم‌گیری‌های کلان بتوان استفاده نمود.

در این پژوهش، هر سؤال امتحان نهایی به عنوان یک واحد تحلیل در نظر گرفته شد. بنابراین، محتوای هر سؤال با توجه به ملاک‌های ارائه شده در شاخص اسمیت، نخله و برتز مورد بررسی قرار گرفت و فراوانی آن ثبت گردید. علاوه بر این، از جداول ثبت اطلاعات آنتروپی شانون-تاپسیس نیز استفاده شد.

به منظور تعیین روایی پژوهش حاضر جهت انتخاب مؤلفه، از مقوله‌های الگوی اسمیت، نخله و برتز استفاده شد که مورد تأیید صاحب‌نظران بود؛ در نتیجه از روایی برخوردار است. برای تعیین پایایی از فرمول هولستی استفاده شده - است. برای این منظور ۲۰ درصد از محتوای مدنظر به روش نمونه‌گیری تصادفی انتخاب شد و به همراه تعاریف عملیاتی در اختیار چهار نفر از ارزیابان آموزشی قرار داده شد. سپس درصد توافق بین ارزیابان با استفاده از جداول فراوانی به‌دست آمده، تعیین شد. طبق محاسبات انجام شده، ضریب توافق بین ارزیابان برای فرم‌های تحلیل محتوا بر طبق فرمول هولستی ۸۶ درصد به‌دست آمد که مورد پذیرش است.

پس از مشخص شدن توافق میان ارزیابان، کلیه سؤالات امتحانات نهایی سال‌های ۱۴۰۲-۱۳۹۸ با توجه به ملاک‌های ارائه شده در شاخص اسمیت، نخله و برتز مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تعیین اهداف شناختی این

سؤالات، سطح هر سؤال با توجه به سطوح اولیه و ثانویه الگوی اسمیت، نخله و برتر تعیین گردید. در این پژوهش، هر پرسش به عنوان یک سؤال در نظر گرفته، و سطح هر سؤال مشخص گردید.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از شاخص‌های آماری توصیفی و روش‌های آماری استنباطی استفاده شد. ابتدا بر طبق شاخص‌های آماری توصیفی، فراوانی سؤالات در هر سطح مشخص و با توجه به مجموع کل سؤالات، درصد فراوانی هر سطح در هر آزمون به دست آمد. این روند برای کل جامعه آماری بررسی شد. سپس، میانگین همه درصد فراوانی‌ها گرفته شد.

در مرحله بعد برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و آمار تحلیلی و به منظور پاسخ دقیق به سؤال پژوهش از روش تحلیل آنتروپی شانون-تاپسیس^۱ در بستر نرم‌افزار اکسل استفاده گردید. از این روش تلفیقی در پژوهش‌های مختلف بارها استفاده شده، ولی در امر آموزش کمتر به آن توجه شده است (سعیدصباغی و همکاران، ۱۴۰۰). وزن‌دهی یکی از گام‌های مهم در تصمیم‌گیری چندمعیاره است و مشخص می‌کند که اهمیت معیارهای پژوهش به چه میزان است. آنتروپی شانون، روشی برای سنجش وزن عناصر بر اساس میزان پراکندگی و فراوانی‌های مشاهده شده در یک جدول از مقادیر است. از این روش، بیشتر برای سنجش میزان اهمیت معیارها در یک ماتریس تصمیم در تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده می‌شود. در این روش، شاخص‌هایی که دارای پراکندگی بیشتر هستند، نسبت به دیگر شاخص‌ها از اهمیت بیشتری برخوردارند و تأثیر آنها در انتخاب گزینه بهینه بیشتر است. ابتدا به روش آنتروپی شانون، معیارها وزن-دهی (W_j) شدند. برای استفاده از آنتروپی شانون به فراوانی‌ها (F_j) در هر نوبت امتحانی نیاز است. در گام اول، ابتدا با استفاده از فراوانی‌ها، ماتریس داده‌های بهنجار شده فراوانی‌ها (P_j) از طریق رابطه شماره (۱) به دست آمد (j تعداد معیارهاست که در ستون‌ها قرار می‌گیرد و در این پژوهش معادل نوبت امتحانی‌ها است). در گام دوم، وزن داده‌ها (آنتروپی‌ها) از طریق رابطه شماره (۲) به دست می‌آید. $K = \frac{1}{\ln j}$ به عنوان مقدار ثابت، مقدار E_j را بین ۰ و ۱ نگه می‌دارد. در گام سوم، درجه انحراف (d_j) از طریق رابطه شماره (۳) محاسبه می‌شود که بیان می‌کند شاخص مربوطه (d_j) چه میزان اطلاعات مفید برای تصمیم‌گیری در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد. هر چه مقادیر اندازه‌گیری شده شاخصی به هم نزدیک باشند، نشان‌دهنده آن است که گزینه‌های رقیب از نظر آن شاخص تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. در گام نهایی وزن معیارهایی که نتیجه نهایی آنتروپی شانون است از طریق رابطه شماره (۴) به دست می‌آید (اکرمی، ۱۴۰۳).

¹ Integrated Shannon's Entropy-TOPSIS methodology

$$\begin{aligned}
 E_j &= -k \sum_j (P_j \ln P_j) & \text{(رابطه شماره ۲)} & P_j = \frac{F_j}{\sum F_j} & \text{(رابطه شماره ۱)} \\
 W_j &= \frac{d_j}{\sum d_j} & \text{(رابطه شماره ۴)} & d_j &= 1 - E_j & \text{(رابطه شماره ۳)}
 \end{aligned}$$

سپس در روش تاپسیس رتبه‌بندی سطوح انجام می‌گیرد (پسندیده‌کار، عیسی‌آبادی و نوروزی، ۱۴۰۲). با استفاده از این روش، سطوح بر اساس هر نوبت امتحانی رتبه‌بندی شد. از آنجایی که با آنتروپی شانون فقط وزن معیارها مشخص می‌شود، به روش مکملی برای رتبه‌بندی سطوح نیاز است که در این پژوهش از روش تاپسیس استفاده شد. روش تاپسیس یکی از تکنیک‌های مورد استفاده در تصمیم‌گیری چند معیاره است. در این روش تصمیم‌گیری، تعدادی گزینه و تعدادی معیار برای تصمیم‌گیری وجود دارد که باید با توجه به معیارها، گزینه‌ها رتبه‌بندی شوند، و یا اینکه به هر یک از آنها یک نمره کارایی اختصاص داده شود. فلسفه کلی روش تاپسیس این است که با استفاده از گزینه‌های موجود، دو گزینه فرضی تعریف می‌شوند. یکی از این گزینه‌ها مجموعه‌ای از بهترین مقادیر مشاهده شده در ماتریس تصمیم‌گیری است. این گزینه را به اصلاح ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) می‌نامند. ضمن اینکه یک گزینه فرضی دیگر تعریف می‌شود که شامل بدترین حالت‌های ممکن باشد. این گزینه ایده‌آل منفی نام دارد. معیارها می‌تواند دارای ماهیت مثبت یا منفی باشند، همچنین واحد اندازه‌گیری آنها نیز می‌تواند متفاوت باشد. معیار محاسبه نمرات در روش تاپسیس این است که گزینه‌ها تا حد امکان به گزینه ایده‌آل مثبت نزدیک و از گزینه ایده‌آل منفی دور باشد. بر این اساس یک نمره برای هر گزینه محاسبه می‌شود و گزینه‌ها مطابق این نمرات رتبه‌بندی می‌شوند.

در گام نخست روش تاپسیس، ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل می‌شود. در سطرهای ماتریس سطوح اهداف شناختی و در ستون‌های آن معیارها که نوبت امتحانی هستند، قرار می‌گیرد. در گام دوم، برای بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم (نرمال‌سازی ماتریس تصمیم) از طریق اعمال رابطه شماره (۵) بر روی اعداد، فراوانی یک ستون به دست آمد. در گام سوم، جهت تعیین ماتریس بی‌مقیاس وزن‌دار، وزن معیارها که از روش آنتروپی شانون به دست آمده است، در ماتریس نرمال ضرب شد تا ماتریس وزن‌دار حاصل گردد. در گام چهارم، بیشترین و کمترین مقدار هر ستون ماتریس سوم به ترتیب به عنوان مقدار ایده‌آل مثبت (V^+) و مقدار ایده‌آل منفی (V^-) انتخاب شد. فاصله نسبی هر گزینه از ایده‌آل مثبت و منفی به ترتیب توسط روابط شماره (۶) و (۷) به دست آمد. در گام پنجم، شاخص شباهت که نشان‌دهنده امتیاز هر گزینه است بر اساس رابطه شماره (۸) محاسبه گردید. در گام ششم، رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس شاخص شباهت انجام شد. مقدار شاخص شباهت بین صفر و یک تغییر می‌کند. هرچه گزینه به ایده‌آل مشابه‌تر باشد، شاخص شباهت به یک نزدیک‌تر خواهد بود (اکرمی، ۱۴۰۳).

در جدول شماره (۲) درصد فراوانی هر سه سطح اولیه و سطوح ثانویه به تفکیک هر امتحان بررسی شده است؛ همان طور که مشخص است در تمام امتحانات بیشترین درصد فراوانی سؤالات به ترتیب مربوط به سطح مفهومی و تعریفی است و در آخر سطح الگوریتمی قرار دارد.

از بین سطوح الگوی اسمیت، نخله و برتز، در امتحانات نوبت دی ماه بیشترین درصد فراوانی با ۲۸/۸ درصد مربوط به سطح ثانویه تحلیل تصاویر و بعد از آن با ۲۲/۱ درصد مربوط به تحلیل داده‌ها است. همچنین به سطوح ماکروسکوپی و میکروسکوپی و پیش‌بینی نتایج توجه نشده است. در خرداد ماه بیشترین فراوانی مربوط به تحلیل تصاویر با ۲۹/۱ درصد و پس از آن تبیین ایده‌های بنیادی با ۲۲/۶ درصد است که سطوح ثانویه مفهومی به شمار می‌آیند. همچنین به سطح پیش‌بینی نتایج توجه نشده است. در نوبت شهریور ماه بیشترین فراوانی سطوح با استفاده از الگوی اسمیت، نخله و برتز، با ۳۲/۸ درصد مربوط به سطح ثانویه تحلیل تصاویر و پس از آن با ۲۱/۱ درصد مربوط به تحلیل داده‌ها است. همچنین به سطح ماکروسکوپی و میکروسکوپی نتایج توجه نشده است.

در گام بعد، برای پاسخ‌گویی به پرسش پژوهش و تعیین اهمیت و رتبه هر یک از سطوح، از روش ترکیبی آنتروپی شانون-تاپسیس استفاده شده است.

جهت تحلیل سؤالات امتحانی خرداد ماه با کمک طبقه‌بندی اسمیت، نخله و برتز از آنتروپی شانون کمک گرفته شد. ابتدا ماتریس فراوانی‌ها بهنجار شده و وزن معیارها (W_j) مشخص گردید (معیارها در این‌جا نوبت‌های امتحانی هستند). برای استفاده از آنتروپی شانون به فراوانی‌ها (F_j) در هر نوبت امتحانی نیاز است (جدول شماره ۳).

جدول ۳- ماتریس داده‌های امتحانات خرداد - الگوی اسمیت، نخله و برتز

سطوح ثانویه	خرداد ۹۸	خرداد ۹۹	خرداد ۱۴۰۰	خرداد ۱۴۰۱	خرداد ۱۴۰۲
یادآوری	۶	۱	۱	۰	۲
تشخیص تعریف	۶	۴	۸	۷	۶
ماکروسکوپی-میکروسکوپی	۰	۰	۰	۰	۱
ماکروسکوپی-تحلیلی	۰	۲	۰	۰	۰
میکروسکوپی نمادین	۰	۲	۰	۰	۰
چند مرحله ای	۵	۴	۴	۳	۶
تبیین ایده‌های بنیادی	۱۰	۱۲	۵	۱۱	۱۳
تجزیه و تحلیل داده‌ها	۵	۶	۱۰	۱۳	۱۱
تجزیه و تحلیل تصاویر	۱۴	۲۳	۱۱	۹	۱۰
پیش‌بینی نتایج	۰	۰	۰	۰	۰
مجموع	۴۶	۵۴	۳۹	۴۳	۴۹

سپس، با استفاده از فراوانی‌های ثبت شده در جدول شماره (۳)، ماتریس داده‌های بهنجار شده فراوانی‌ها (P_j) از طر

یق رابطه شماره (۱)، $P_j = \frac{F_j}{\sum F_j}$ ، به دست آمد. نتایج در جدول شماره (۴) قابل مشاهده است.

جدول ۴- ماتریس نرمال شده امتحانات خرداد- الگوی اسمیت، نخله و برتز

سطوح ثانویه	خرداد ۹۸	خرداد ۹۹	خرداد ۱۴۰۰	خرداد ۱۴۰۱	خرداد ۱۴۰۲
یادآوری	۰/۱۳۰۴	۰/۰۱۸۵	۰/۰۲۵۶	۰/۰۰۰۰	۰/۰۴۰۸
تشخیص تعریف	۰/۱۳۰۴	۰/۰۷۴۱	۰/۲۰۵۱	۰/۱۶۲۸	۰/۱۲۲۴
ماکروسکوپی-میکروسکوپی	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۲۰۴
ماکروسکوپی-تحلیلی	۰/۰۰۰۰	۰/۰۳۷۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
میکروسکوپی نمادین	۰/۰۰۰۰	۰/۰۳۷۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
چند مرحله ای	۰/۱۰۸۷	۰/۰۷۴۱	۰/۱۰۲۶	۰/۰۶۹۸	۰/۱۲۲۴
تبیین ایده‌های بنیادی	۰/۲۱۷۴	۰/۲۲۲۲	۰/۱۲۸۲	۰/۲۵۵۸	۰/۲۶۵۳
تجزیه و تحلیل داده‌ها	۰/۱۰۸۷	۰/۱۱۱۱	۰/۲۵۶۴	۰/۳۰۲۳	۰/۲۲۴۵
تجزیه و تحلیل تصاویر	۰/۳۰۴۳	۰/۴۲۵۹	۰/۲۸۲۱	۰/۲۰۹۳	۰/۲۰۴۱
پیشبینی نتایج	۰/۱۳۰۴	۰/۰۱۸۵	۰/۰۲۵۶	۰/۰۰۰۰	۰/۰۴۰۸

سپس آنتروپی‌ها از طریق رابطه شماره (۲)، $(E_j = -k \sum_j (P_j \ln P_j))$ ، به دست آمد ($k=۰/۵۵۸۱$). در گام بعد، درجه انحراف (d_j) از طریق رابطه شماره (۳)، $(d_j = 1 - E_j)$ ، محاسبه شد. در گام چهارم، وزن معیارهای که نتیجه نهایی آنتروپی شانون است از طریق رابطه شماره (۴)، $(W_j = \frac{d_j}{\sum a_j})$ ، به دست آمد که نتایج در جدول شماره (۵) قابل مشاهده است.

جدول ۵- وزن معیارها امتحانات خرداد- الگوی اسمیت، نخله و برتز

	خرداد ۹۸	خرداد ۹۹	خرداد ۱۴۰۰	خرداد ۱۴۰۱	خرداد ۱۴۰۲
آنتروپی (E_j)	۰/۹۵۳۰	۰/۹۱۸۴	۰/۹۰۵۱	۰/۸۴۷۸	۰/۹۶۸۹
درجه انحراف (d_j)	۰/۰۴۷۰	۰/۰۸۱۶	۰/۰۹۴۹	۰/۱۵۲۲	۰/۰۳۱۱
وزن معیارها (W_j)	۰/۱۱۵۵	۰/۲۰۰۷	۰/۲۳۳۲	۰/۳۷۴۲	۰/۰۷۶۵

به کارگیری روش تاپسیس برای امتحانات نهایی نوبت خرداد- الگوی اسمیت، نخله و برتز

از طریق آنتروپی شانون وزن معیارها مشخص شد که ورودی برای روش تاپسیس می‌باشد. در گام نخست، ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل شد. در این ماتریس گزینه‌ها که در اینجا سطوح اهداف شناختی می‌باشند، در سطر جدول قرار دارند و معیارها که نوبت امتحانی هستند، در ستون‌ها قرار گرفت. سپس، برای بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم، هر یک از داده‌های ستونی ماتریس فراوانی بر جذر مجموع مجذور فراوانی‌ها تقسیم و در آن ثبت شد؛ یعنی از طریق اعمال

رابطه شماره (۵)، $(r_j = \frac{F_j}{\sqrt{\sum_j (F_j)^2}})$ ، بر روی اعداد فراوانی یک ستون به دست آمد (جدول شماره ۶).

جدول ۶- ماتریس بی‌مقیاس شده امتحانات خرداد- الگوی اسمیت، نخله و برتز

سطوح شناختی ثانویه	خرداد ۹۸	خرداد ۹۹	خرداد ۱۴۰۰	خرداد ۱۴۰۱	خرداد ۱۴۰۲
یادآوری	۰/۲۹۳	۰/۰۳۷	۰/۰۵۵	۰/۰۰۰	۰/۰۹۳
تشخیص تعریف	۰/۲۹۳	۰/۱۴۶	۰/۴۴۲	۰/۳۳۸	۰/۲۷۸
ماکروسکوپی-میکروسکوپی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۴۶
ماکروسکوپی-تحلیلی	۰/۰۰۰	۰/۰۷۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
میکروسکوپی نمادین	۰/۰۰۰	۰/۰۷۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
چند مرحله ای	۰/۲۴۵	۰/۱۴۶	۰/۲۲۱	۰/۱۴۵	۰/۲۷۸
تبیین ایده‌های بنیادی	۰/۴۸۹	۰/۴۳۸	۰/۲۷۷	۰/۵۳۱	۰/۶۰۲
تجزیه و تحلیل داده‌ها	۰/۲۴۵	۰/۲۱۹	۰/۵۵۳	۰/۶۲۸	۰/۵۰۹
تجزیه و تحلیل تصاویر	۰/۶۸۵	۰/۸۴۰	۰/۶۰۸	۰/۴۳۵	۰/۴۶۳
پیشبینی نتایج	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

در گام سوم، جهت تعیین ماتریس بی‌مقیاس وزن‌دار، باید وزن معیارها که از روش آنتروپی شانون به‌دست آمده است، در ماتریس بی‌مقیاس‌شده (جدول شماره ۶) ضرب شود تا ماتریس وزن دار حاصل گردد (جدول شماره ۷) و در گام چهارم، بیشترین و کمترین مقدار هر ستون ماتریس سوم به ترتیب به‌عنوان مقدار ایده‌آل مثبت (V^+) و مقدار ایده‌آل منفی (V^-) انتخاب گردید.

جدول ۷- ماتریس بی‌مقیاس شده وزن‌دار امتحانات خرداد- الگوی اسمیت، نخله و برتز.

سطوح شناختی ثانویه	خرداد ۹۸	خرداد ۹۹	خرداد ۱۴۰۰	خرداد ۱۴۰۱	خرداد ۱۴۰۲
یادآوری	۰/۰۳۴	۰/۰۰۷	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۷
تشخیص تعریف	۰/۰۳۴	۰/۰۲۹	۰/۱۰۳	۰/۱۲۶	۰/۰۲۱
ماکروسکوپی-میکروسکوپی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۴
ماکروسکوپی-تحلیلی	۰/۰۰۰	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
میکروسکوپی نمادین	۰/۰۰۰	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
چند مرحله ای	۰/۰۲۸	۰/۰۲۹	۰/۰۵۲	۰/۰۵۴	۰/۰۲۱
تبیین ایده‌های بنیادی	۰/۰۵۶	۰/۰۸۸	۰/۰۶۴	۰/۱۹۹	۰/۰۴۶
تجزیه و تحلیل داده‌ها	۰/۰۲۸	۰/۰۴۴	۰/۱۲۹	۰/۲۳۵	۰/۰۳۹
تجزیه و تحلیل تصاویر	۰/۰۷۹	۰/۱۶۹	۰/۱۴۲	۰/۱۶۳	۰/۰۳۵
پیشبینی نتایج	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
V^+	۰/۰۷۹	۰/۱۶۹	۰/۱۴۲	۰/۲۳۵	۰/۰۴۶
V^-	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

فاصله نسبی هر گزینه از ایده‌آل مثبت و منفی به ترتیب توسط رابطه شماره (۶)، $(d_i^+ = \sqrt{\sum_i (v_i - v^+)^2})$ ،

و رابطه شماره (۷)، $(d_i^- = \sqrt{\sum_i (v_i - v^-)^2})$ ، به دست آمد. مقدار $(v_i - v^+)^2$ و $(v_i - v^-)^2$ در جداول

(۸) و (۹) قابل مشاهده است (i در واقع معادل گزینه‌ها است). فواصل نهایی در جدول (۱۰) قابل مشاهده است.

جدول ۸- مجذور فاصله از ایده آل مثبت، $(v_i - v^+)^2$ ، امتحانات خرداد- الگوی اسمیت، نخله و برتز

سطوح شناختی ثانویه	خرداد ۹۸	خرداد ۹۹	خرداد ۱۴۰۰	خرداد ۱۴۰۱	خرداد ۱۴۰۲
یادآوری	۰/۰۰۲۰۳۵	۰/۰۲۶۱۳۸	۰/۰۱۶۶۶۷	۰/۰۵۵۲۲۵	۰/۰۰۱۵۱۵
تشخیص تعریف	۰/۰۰۲۰۳۵	۰/۰۱۹۵۱۳	۰/۰۰۱۵۰۷	۰/۰۱۱۷۸۳	۰/۰۰۰۶۱۳
ماکروسکوپی-میکروسکوپی	۰/۰۰۶۲۴۱	۰/۰۲۸۵۶۱	۰/۰۲۰۱۶۴	۰/۰۵۵۲۲۵	۰/۰۰۱۸۰۳
ماکروسکوپی-تحلیلی	۰/۰۰۶۲۴۱	۰/۰۲۳۸۲۲	۰/۰۲۰۱۶۴	۰/۰۵۵۲۲۵	۰/۰۰۲۱۱۶
میکروسکوپی نمادین	۰/۰۰۶۲۴۱	۰/۰۲۳۸۲۲	۰/۰۲۰۱۶۴	۰/۰۵۵۲۲۵	۰/۰۰۲۱۱۶
چند مرحله ای	۰/۰۰۲۵۷۷	۰/۰۱۹۵۱۳	۰/۰۰۸۱۷۴	۰/۰۳۲۶۹۱	۰/۰۰۰۶۱۳
تبیین ایده‌های بنیادی	۰/۰۰۰۵۰۷	۰/۰۰۶۵۷۳	۰/۰۰۶۰۰۸	۰/۰۰۱۳۱۷	۰/۰۰۰۰۰۰
تجزیه و تحلیل داده‌ها	۰/۰۰۲۵۷۷	۰/۰۱۵۶۳۴	۰/۰۰۰۱۷۰	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۵۰
تجزیه و تحلیل تصاویر	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۵۲۴۴	۰/۰۰۰۱۱۳
پیشبینی نتایج	۰/۰۰۶۲۴۱	۰/۰۲۸۵۶۱	۰/۰۲۰۱۶۴	۰/۰۵۵۲۲۵	۰/۰۰۲۱۱۶

جدول ۹- مجذور فاصله از ایده آل منفی، $(v_i - v^-)^2$ ، امتحانات خرداد- الگوی اسمیت، نخله و برتز

سطوح شناختی ثانویه	خرداد ۹۸	خرداد ۹۹	خرداد ۱۴۰۰	خرداد ۱۴۰۱	خرداد ۱۴۰۲
یادآوری	۰/۰۰۱۱۴۸	۰/۰۰۰۰۵۴	۰/۰۰۰۱۶۶	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۵۰
تشخیص تعریف	۰/۰۰۱۱۴۸	۰/۰۰۰۸۵۹	۰/۰۱۰۶۴۷	۰/۰۱۵۹۹۰	۰/۰۰۰۴۵۱
ماکروسکوپی-میکروسکوپی	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۱۳
ماکروسکوپی-تحلیلی	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۲۱۵	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰
میکروسکوپی نمادین	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۲۱۵	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰
چند مرحله ای	۰/۰۰۰۷۹۷	۰/۰۰۰۸۵۹	۰/۰۰۲۶۶۲	۰/۰۰۲۹۳۷	۰/۰۰۰۴۵۱
تبیین ایده‌های بنیادی	۰/۰۰۳۱۹۰	۰/۰۰۷۷۳۱	۰/۰۰۴۱۵۹	۰/۰۳۹۴۸۶	۰/۰۰۲۱۱۶
تجزیه و تحلیل داده‌ها	۰/۰۰۰۷۹۷	۰/۰۰۱۹۳۳	۰/۰۱۶۶۳۵	۰/۰۵۵۱۵۰	۰/۰۰۱۵۱۵
تجزیه و تحلیل تصاویر	۰/۰۰۶۲۵۱	۰/۰۲۸۴۰۲	۰/۰۲۰۱۲۹	۰/۰۲۶۴۳۳	۰/۰۰۱۲۵۲
پیشبینی نتایج	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰

جدول ۱۰- فاصله از ایده آل امتحانات خرداد- الگوی اسمیت، نخله و برتز

گزینه‌ها	$d_i^+ \sum_i (v_i - v^+)^2$	$d_i^- \sum_i (v_i - v^-)^2$		
یادآوری	۰/۱۰۱۵۸۱	۰/۳۱۹	۰/۰۰۱۴۱۸	۰/۰۳۸
تشخیص تعریف	۰/۰۳۵۴۵۲	۰/۱۸۸	۰/۰۲۹۰۹۵	۰/۱۷۱
ماکروسکوپی-میکروسکوپی	۰/۱۱۱۹۹۴	۰/۳۳۵	۰/۰۰۰۰۱۳	۰/۰۰۴
ماکروسکوپی-تحلیلی	۰/۱۰۷۵۶۸	۰/۳۲۸	۰/۰۰۰۲۱۵	۰/۰۱۵
میکروسکوپی نمادین	۰/۱۰۷۵۶۸	۰/۳۲۸	۰/۰۰۰۲۱۵	۰/۰۱۵
چند مرحله ای	۰/۰۶۳۵۶۸	۰/۲۵۲	۰/۰۰۷۷۰۶	۰/۰۸۸
تبیین ایده‌های بنیادی	۰/۰۱۴۴۰۵	۰/۱۲۰	۰/۰۵۶۶۸۲	۰/۲۳۸
تجزیه و تحلیل داده‌ها	۰/۰۱۸۴۳۰	۰/۱۳۶	۰/۰۷۶۰۳۰	۰/۲۷۶
تجزیه و تحلیل تصاویر	۰/۰۰۵۳۵۷	۰/۰۷۳	۰/۰۸۲۴۶۷	۰/۲۸۷
پیشبینی نتایج	۰/۱۱۲۳۰۷	۰/۳۳۵	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰

در گام پنجم، شاخص شباهت که نشان‌دهنده امتیاز هر گزینه است بر اساس رابطه شماره (۸)،

$$CIA_i = \frac{a_i^-}{a_i^+ + a_i^-}$$
 محاسبه گردید. در گام ششم، رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس شاخص شباهت انجام شد و هرچه
 گزینه به ایده‌آل مشابه‌تر باشد شاخص شباهت به یک نزدیک‌تر خواهد بود. در واقع نزدیک‌ترین شاخص شباهت به عدد
 یک، رتبه اول را دارد (جدول شماره ۱۱).

جدول ۱۱- رتبه‌بندی سطوح امتحانات خرداد- الگوی اسمیت، نخله و برتز

گزینه‌ها	سطوح اولیه	سطوح ثانویه	شاخص شباهت	رتبه‌بندی گزینه‌ها
تعرفی		یادآوری	۰/۱۰۶	۶
		تشخیص تعریف	۰/۴۷۵	۳
		ماکروسکوپی-میکروسکوپی	۰/۰۱۰	۸
الگوریتمی		ماکروسکوپی-تحلیلی	۰/۰۴۳	۷
		میکروسکوپی نمادین	۰/۰۴۳	۷
		چند مرحله‌ای	۰/۲۵۸	۵
مفهومی		تبیین ایده‌های بنیادی	۰/۶۶۵	۴
		تجزیه و تحلیل داده‌ها	۰/۶۷۰	۲
		تجزیه و تحلیل تصاویر	۰/۷۹۷	۱
		پیشبینی نتایج	۰/۰۰۰	-

همانطور که در جدول شماره (۱۱) مشاهده می‌شود، شاخص شباهت گزینه «تجزیه و تحلیل تصاویر» عدد بسیار
 نزدیکی به ۱ را نشان می‌دهد که بیانگر بیشترین رتبه محاسبه شده سؤالات امتحان نهایی خرداد ماه در میان سایر
 سطوح است. بنابراین در طرح سؤالات امتحان نهایی نوبت خرداد ماه، سطح ثانویه تجزیه و تحلیل تصاویر از الگوی
 اسمیت، نخله و برتز بیشترین اهمیت را دارد. پس از آن سطوح ثانویه تجزیه و تحلیل داده‌ها، تشخیص تعریف و تبیین
 ایده‌های بنیادی و درواقع سطح اولیه مفهومی از بیشترین اهمیت برخوردار هستند.

روش آنتروپی شانون - تاپسیس همچنین در مورد بررسی رتبه الگوی اسمیت، نخله و برتز تمامی نوبت‌های
 امتحانی خرداد، شهریور و دی سال ۱۳۹۸-۱۴۰۲ با همین روال ذکر شده، به کار گرفته شد. به خاطر گستردگی و تعدد
 داده‌ها و نتایج در اینجا به اختصار تنها نتایج نهایی این روش تلفیقی در جداول شماره (۱۲) به نمایش گذاشته شده
 است.

جدول ۱۲- رتبه‌بندی سطوح الگوی اسمیت، نخله و برتز

سطوح	گزینه‌ها	شاخص شباهت			رتبه‌بندی گزینه‌ها		
		خرداد	شهریور	دی	خرداد	شهریور	دی
تعرفی	یادآوری	۰/۱۰۶	۰/۱۱۶	۰/۲۲۶	۶	۶	۶
	تشخیص تعریف	۰/۴۷۵	۰/۲۴۸	۰/۴۴۶	۳	۴	۴
الگوریتمی	ماکروسکوپی-میکروسکوپی	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۸	-	-
	ماکروسکوپی-تحلیلی	۰/۰۴۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۷	-	-
	میکروسکوپی نمادین	۰/۰۴۳	۰/۰۹۵	۰/۰۵۴	۷	۷	۷
	چند مرحله ای	۰/۲۵۸	۰/۱۸۲	۰/۳۰۲	۵	۵	۵
مفهومی	تبیین ایده‌های بنیادی	۰/۶۶۵	۰/۳۱۳	۰/۵۶۵	۴	۳	۳
	تجزیه و تحلیل داده‌ها	۰/۶۷۰	۰/۳۶۹	۰/۵۷۵	۲	۲	۲
	تجزیه و تحلیل تصاویر	۰/۷۹۷	۰/۸۶۷	۰/۶۹۷	۱	۱	۱
	پیش‌بینی نتایج	۰/۰۰۰	۰/۰۱۹	۰/۰۰۰	-	۸	-

نتیجه نهایی محاسبات آماری انجام شده در جدول شماره (۱۲) قابل مشاهده است. در این جدول هر کدام از سطوح ثانویه الگوی اسمیت، نخله و برتز رتبه‌بندی شده و به ترتیب رتبه ۱ پرکاربردترین سطح و رتبه ۸ کم‌کاربردترین سطح ثانویه در امتحانات نهایی بوده و برای برخی از سطوح که اصلاً به کار گرفته نشده‌اند، رتبه‌ای لحاظ نشد. با توجه به شاخص‌های شباهت به دست آمده از جدول (۱۲)، در مورد هر سه نوبت امتحانی رتبه ۱ سطوح یادگیری در الگوی اسمیت، نخله و برتز مربوط به تجزیه و تحلیل تصاویر، رتبه ۲ مربوط به تجزیه و تحلیل داده‌ها است. به طور کلی تحلیل کمی سطوح، با استفاده از الگوی اسمیت، نخله و برتز نشان می‌دهد که در هر سه نوبت امتحانی بیشترین اهمیت را سطح اولیه مفهومی داشته‌است.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر بررسی میزان توجه به سطوح اهداف آموزشی اسمیت، نخله و برتز در امتحانات نهایی سال ۱۳۹۸ تا سال ۱۴۰۲ بود که تحلیل داده‌ها با استفاده از روش ترکیبی آنتروپی شانون-تاپسیس صورت گرفت. در مورد هر سه نوبت امتحانی رتبه اول سطوح ثانویه الگوی اسمیت، نخله و برتز مربوط به تجزیه و تحلیل تصاویر و رتبه بعدی تجزیه و تحلیل داده‌ها تعلق گرفته است. به علاوه، در هر سه نوبت امتحانی، بیشترین اهمیت را سطح اولیه مفهومی داشته‌است. بروک و تاونز هم در پژوهش خود در بررسی سؤالات امتحانی شیمی بعد از به‌کارگیری الگوی اسمیت، نخله و برتز به استفاده از سطح مفهومی تأکید داشتند (بروک و تاونز، ۲۰۰۹) که نتایج تحقیق اشاره شده با

پژوهش حاضر در یک راستا بود. سؤالاتی که مرتبط با بخش تفسیر و تحلیل تصاویر و داده‌هاست، در درسی مانند شیمی دارای اهمیت بوده و با بررسی عملکرد دانش‌آموزان در آن، علاوه بر بررسی میزان فهم آن‌ها می‌توان مهارت تجزیه و تحلیلشان در آینده‌شان تأثیرگذار است را نیز مورد ارزیابی قرار داد (رحمان و همکاران، ۲۰۲۱). از این رو، توجه کافی به این سؤالات در آزمون‌های نهایی ارزشمند است.

اسمیت، نخله و برتز (۲۰۱۰) سؤالات مربوط به سطوح تعریف و الگوریتمی را مرتبط با اهداف سنتی و سؤالات مربوط به سطح مفهومی را مرتبط با اصول جدید یادگیری می‌دانند و با توجه به مشابهت محتوای آموزشی کتاب‌های درسی ما و دیگر کشورهای جهان قابلیت مقایسه دارند (بروجنی، شعبانی و تقی‌پور، ۱۴۰۱). اسمیت، نخله و برتز (۲۰۱۰) برای بررسی طبقه‌بندی خود از آزمون استاندارد ویژه شیمی عمومی ترم اول و دوم انجمن شیمی آمریکا استفاده کردند. نتایج برای سطوح اولیه تعریف کردن، الگوریتمی و مفهومی برای ترم اول و دوم به ترتیب برابر ۲۴، ۲۳ و ۵۳ و برای ترم دوم برابر ۳۸، ۱۶ و ۴۶ درصد بوده است. هر دو آزمون تقریباً دارای نسبت‌های مساوی از مؤلفه‌های سنتی و مفهومی بودند. این آزمون‌ها به گونه‌ای طراحی شده بودند که ترکیبی از مؤلفه‌های سنتی و مفهومی را داشته باشند. بررسی نتایج سؤالات آزمون‌های نهایی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۴۰۲ در سال‌ها و نوبت‌های مختلف نشان می‌دهد که درصد فراوانی سطح مفهومی بین ۶۱ تا ۷۸ درصد است. بر خلاف نتایج کار اسمیت، نخله و برتز (۲۰۱۰)، در امتحانات نهایی پایه دوازدهم به سطح مفهومی بیشتر توجه شده و سطوح پایین‌تر سنتی یعنی الگوریتمی و تعریف کردن مغفول مانده‌اند.

آزمون متعادل، آزمونی است که به کلیه مهارت‌ها توجه داشته باشد. تحلیل نتایج آزمون‌های نهایی دی، خرداد و شهریور نشان‌دهنده این موضوع است که توزیع به صورت متوازن نبوده و حتی سطوحی مورد توجه قرار نگرفته است. به عنوان مثال، در هیچ‌یک از آزمون‌های نهایی دی‌ماه سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۲ پرسش‌های مرتبط با سطوح ماکروسکوپی- میکروسکوپی، ماکروسکوپی- تحلیلی و پیش‌بینی نتایج وجود ندارد. همچنین، در آزمون‌های خردادماه سؤالات مرتبط با پیش‌بینی نتایج و در آزمون‌های شهریورماه سؤالات سطوح ماکروسکوپی- میکروسکوپی، ماکروسکوپی- تحلیلی دیده نمی‌شود. سطح پیش‌بینی نتایج بالاترین سطح این طبقه‌بندی است و برای رسیدن به تعادل نیاز است در امتحانات نهایی سؤالاتی که نیاز به تجزیه و تحلیل و استفاده از مهارت تفکر خلاق دانش‌آموزان دارد هم به‌طور محدود مورد توجه قرار گیرد.

از طرفی سؤالات مربوط به سطوح مفهومی، به طور معمول دشوارتر بوده و استفاده بیش از حد از سؤالات دشوار در آزمون نهایی با زمان امتحانی محدود، غیرمنصفانه بوده و برای دانش‌آموزانی که قدرت تجزیه و تحلیل ضعیف‌تری

دارند، مشکل‌آفرین است. در آزمون‌های استاندارد باید سؤالات در مجموع به گونه‌ای باشند که تعداد سؤالاتی که پیچیده بوده و به ظرفیت شناختی بیشتری نیاز است کمتر از سایر سؤالات باشد (اندرسون و کراسول، ۲۰۰۱).

البته با بررسی مباحث کتاب درسی شیمی پایه دوازدهم، می‌توان به این نتیجه دست یافت که مباحث پایه‌ای‌تر و ساده‌تر در پایه‌های پایین‌تر مطرح شده است؛ برای مثال تبدیل جرم به تعداد مول ترکیب از مباحث شیمی پایه دهم است و به همین علت در امتحان نهایی پایه دوازدهم سطح ثانویه تبدیل ماکروسکوپی- میکروسکوپی مربوط به تبدیل بین مول و مقادیر ماکروسکوپی (حجم یا جرم) در پایین‌ترین رتبه قرار گرفته است. همچنین سطح ثانویه تحلیل ماکروسکوپی- بعدی مربوط به تبدیل بین واحدهای مقادیر ماکروسکوپی از جمله جرم و حجم است که یادگیری آن در پایه‌های پایین‌تر اتفاق می‌افتد. از این موضوع می‌توان نتیجه گرفت که به کارگیری الگوی اسمیت، نخله و برتر در مورد آزمون‌هایی پاسخ دقیق‌تر و متعادل‌تر در اختیار می‌گذارد که مانند کنکور سراسری تمامی مباحث شیمی را دربرگیرد. این موضوع را می‌توان به سایر الگوهای تخصصی شیمی مانند الگوی جانستون (۲۰۰۰) که دارای سطوح الگوریتمی و نمادین هستند هم تعمیم داد. اما از سویی دیگر، می‌توان این نتیجه‌گیری را انجام داد که در با حفظ ارتباط طولی مباحث شیمی حتی در آزمون‌های نهایی و گنجاندن مباحث پایه‌ای مانند تبدیل مول و جرم در دل سؤالات دیگر می‌توان به سطوح الگوریتمی مثل تبدیل ماکروسکوپی- میکروسکوپی هم توجه نمود و از این طریق تعادل تمام سطوح را در آزمون نهایی حفظ کرد، که تحقیقات بیشتر در این زمینه با تحلیل دقیق محتوای کتاب و آزمون‌ها در آینده پیشنهاد می‌شود. با توجه به اینکه کتاب شیمی دوازدهم براساس رویکرد زمینه محور طراحی شده است، طبق این رویکرد دانش‌آموز باید بتواند برای آنچه یاد می‌گیرد دلیل و معنایی در محیط اطرافش بیابد؛ به عبارت دیگر، آنچه که فرامی‌گیرد به زندگی روزمره ارتباط داشته‌باشد (حذرخانی و همکاران، ۱۳۹۹). این همان هدفی است که زولر و استامولاسیس به آن تأکید دارند (باصری، ۱۴۰۲). نتایج بررسی این پژوهش نشان می‌دهد، سهم سؤالات آزمون نهایی سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۲ در این حوزه کافی نبوده و نیاز به بازنگری آن دیده می‌شود.

زولر عقیده داشت که یادگیری مهارت‌های شناختی درجه بالا توسط دانش‌آموزان باید هدف آموزشی اصلی باشد و لازم است امتحانات، به عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از فرآیند یاددهی-یادگیری، وسیله‌ای برای رسیدن به این هدف آموزشی باشد. به بیان دیگر، یکی از اهداف امتحانات، مهارت‌های شناختی درجه بالا و یا حل تمرین‌های درس شیمی به صورت مفهومی است، نه به صورت طرحواره‌ای که دانش‌آموز با حفظ فرمول به پاسخ آن دست یابد (باصری، ۱۴۰۲). با توجه به اینکه رسیدن به سطح شناختی مفهومی هدف اصلی آموزش است (نورماتوا و آلتن، ۲۰۲۳) در نتیجه، هدف از ارزشیابی آموزش شیمی رسیدن به سطوح مفهومی و تحلیلی است. از این رو، می‌توان ادعا کرد آزمون‌های نهایی در

ارتباط با سطح اولیه مفهومی، به جز شاخص «پیش‌بینی نتایج» به سایر شاخص‌ها توجه کرده است. آنچه که به صورت جدی مورد نقد این پژوهش قرار دارد، توجه بیش از اندازه به این دست سؤالات و بی‌مهری سایر بخش‌هاست. در مجموع، پیشنهاد می‌شود در طراحی سؤالات، وزنی متعادل به تمامی مهارت‌ها اختصاص داده شود، تا تعادل بیشتری میان تمامی مؤلفه‌ها دیده شود و تمامی مهارت‌های دانش‌آموزان تقویت شود. با توجه به این‌که در ایران تحقیقات در زمینه تحلیل محتوای کتب درسی با الگوهای تخصصی شیمی مانند زولر، استامولاسیس، جانستون و اسمیت، نخله و برتز که پیشتر معرفی شدند، خیلی مورد توجه قرار نگرفته است، پیشنهاد می‌شود کتاب‌های درسی شیمی و دیگر دروس علوم پایه با الگوهای تخصصی تحلیل شوند و کلیه سؤالات امتحانات نهایی، کنکور و ارزشیابی‌های تکوینی نیز با الگوهایی تخصصی از جمله الگوی اسمیت، نخله و برتز بررسی شوند.

مشارکت نویسندگان

مقاله حاضر توسط نویسنده اول و مسئول نگارش شده و توسط نویسنده دوم بازبینی و نظرات اصلاحی اعمال گشته و پژوهش توسط نویسنده سوم با راهنمایی و هدایت نویسنده اول به‌عنوان استاد راهنمای اول و نویسنده دوم به‌عنوان استاد راهنمای دوم انجام گرفته است.

تشکر و قدردانی

مقاله ارسالی حاصل پایان‌نامه خانم سارا باصری بوده و تأمین‌کننده منابع مالی نداشته است. همچنین نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر خود را از دانشگاه فرهنگیان به عمل آورند.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است»

منابع

- Akrami, Z. (2024). Identification and prioritization of basic competencies for chemistry major student-Teachers. *Quarterly Journal of Education*, 40(1), 49-66.
- Anderson, L. W., Krathwohl, D.R. (2001). A taxonomy for learning, teaching, and assessing: a revision of Bloom's taxonomy of educational objectives, New York: Longman.

- Askari Robati, Gh., Khalili Kalaki, Z. (2019). Content analysis of the ninth-grade mathematics textbook using the William Rumi technique and Bloom's taxonomy. *Progress in Basic Science Education*, 6(19), 30-39.
- Barari, N., Alami, F., Rezaeizadeh, M., Khorasani, A. (2019). Evaluating the goals of high levels of learning in E-learning environments. *Journal of Instruction and Evaluation*, 12(45), 111-132.
- Barbier, K., Struyf, E., Verschueren, K., Donche, V. (2023). Fostering cognitive and affective-motivational learning outcomes for high-ability students in mixed-ability elementary classrooms: a systematic review. *European Journal of Psychology of Education*, 38(1), 83-107.
- Baseri, S. (2022). Frameworks for classifying educational goals in chemistry. *Research In Chemistry Education*, 4(3), 158-171.
- Biggs, J. B., Collis, K. F. (2014). Evaluating the quality of learning: The SOLO taxonomy (Structure of the Observed Learning Outcome). Academic Press.
- Boroujeni, H., Shabani, M., Taghipour, A. (2022). An active student has a better understanding of chemistry. *Research In Chemistry Education*, 4(3), 458-466.
- Bruck, A. D., Towns, M. H. (2009). Analysis of classroom response system questions via four lenses in a general chemistry course. *Chemistry Education Research and Practice*, 10(4), 291-295.
- Dutta, A., Chatterjee, P., Dey, N., Moreno, P., Sen, S. (2024). Cognitive evaluation of examinees by dynamic question set generation based on bloom's taxonomy. *IETE Journal of Research*, 70(3), 2570-2582.
- Fardanesh, H. (2003). Theoretical foundations of educational technology. Tehran: Publishing: samt.
- Ghalkhani, M., Karami, A.R., Soleimanzadeh, Gh. (2016). Study and comparison of chemistry exam questions in high schools in Bukan city and national university entrance exam questions according to Bloom's cognitive levels. *Progress in Basic Science Education*, 2(3), 7-11.
- Hassan, I. Y. (2024). Linguistic opinions according to Al-rawasi in the interpretations of Ibn Atiyya Al-Andalusi, Al-Qurtubi, And Abu Hayyan Al-Andalusi. *Zanco Journal of Human Sciences*, 28(2), 206-216.
- Hazarkhani, H., Kamyabi, Sh., Abedin, A., Abdullah, R., Samiei, D. M. (2019). Chemistry teacher's guide (3) - 12th grade of the second cycle of secondary education. Educational Research and Planning Organization, 10, 22-35.
- Hooser, A., McClain, J. (2022). Curriculum, assessment, and instruction. EESE 2010 Introduction to Education.
- Irvine, J. (2020). Marzano's new taxonomy as a framework for investigating student affect. *Journal of Instructional Pedagogies*, 24.
- Jadidi Mohammadabadi, A., Ahmadi Deh Ghotbaddini, M. (2023). Effect of gagne's learning hierarchy on cognitive and metacognitive skills of high school students. *Iranian Journal of Learning and Memory*, 6(22), 67-74.
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry-logical or psychological?. *Chemistry Education Research and Practice*, 1(1), 9-15.
- Kaçar, T., Terzi, R., Arıkan, İ., Kırıkçı, A. C. (2021). The effect of inquiry-based learning on academic success: A meta-analysis study. *International Journal of Education and Literacy Studies*, 9(2), 15-23.
- Krathwohl, D. R. (2002). A revision of Bloom's taxonomy: An overview. *Theory into practice*, 41(4), 212-218.
- Maleki, P., Zohrabi, C., Sadafi, Z. Jahangiri, A. (2022). Sociological factors affecting the attitude towards the development performance of government officials in Iran (From the Perspective of the students of Islamic Azad University and State University - Zanjan). *Strategic Studies on Youth and Sports*, 21(56), 369-393.
- Nurmatova, S., Altun, M. (2023). A Comprehensive review of Bloom's taxonomy integration to enhancing novice EFL educators' pedagogical impact. *Arab World English Journals*, 14(3).

- Oo, C. Z., Alonzo, D., Asih, R., Pelobillo, G., Lim, R., San, N. M. H., O'Neill, S. (2024). Implementing school-based assessment reforms to enhance student learning: a systematic review. *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, 36(1), 7-30.
- Pasandidehkar, M. S., Isaabadi, M. and Noruzi, M. (2023). The effectiveness of training and development methods to develop digital competencies using thematic analysis techniques, Shannon Entropy and Topsis. *Strategic Management Thought*, 17(1), 167-196.
- Rahman, M. M., Watanobe, Y., Kiran, R. U., Thang, T. C., Paik, I. (2021). Impact of practical skills on academic performance: A data-driven analysis. *IEEE Access*, 9, 139975-139993.
- Saeed Sabae, M., Pourrajab, A., Sedigh, M. and Saeed Sabae, E. (2021). Training course assessment with Shannon Entropy and Fuzzy TOPSIS. *Educational Measurement and Evaluation Studies*, 11(34), 7-25.
- Sarbaz molan, A., Azamat, J. (2023). Investigating chemistry teaching topics in Iranian and Finnish schools in order to achieve sustainable development and improve the chemistry education system. *Research in Chemistry Education*, 4(2), 146-162.
- Seif, A.A. (2023). Modern educational psychology (Psychology and Education) (1st ed.). Duran.
- Smith, K. C., Nakhleh, M. B., Bretz, S. L. (2010). An expanded framework for analyzing general chemistry exams. *Chemistry Education Research and Practice journal*, 11(3), 147–153.
- Sotoudeh, M. R., Modarresi, M. (2022). Providing an entrepreneurship education program for preschool children in Iran based on Bloom's Taxonomy. *Journal of Entrepreneurship Development*, 14(4), 639-655.
- Stamovlasis, D., Tsapalis, G., Kamilatos, C., Papaoikonomou, D., Zarotiadou, E. (2005). Conceptual understanding versus algorithmic problem solving: Further evidence from a national chemistry examination. *Chemistry Education Research and Practice*, 6(2), 104-118.
- Tai, J., Ajjawi, R., Bearman, M., Boud, D., Dawson, P., Jorre de St Jorre, T. (2023). Assessment for inclusion: Rethinking contemporary strategies in assessment design. *Higher Education Research & Development*, 42(2), 483-497.
- Zoller, U., Lubezky, A., Nakhleh, M. B., Tessier, B., Dori, Y. J. (1995). Success on algorithmic and LOCS vs. conceptual chemistry exam questions. *Journal of Chemical Education*, 72(11), 987-989.