

A Structural equation model of students' learning mind maps on the topic of ionic bonds and ionic compounds in high school chemistry

Alireza Karami gazafi *, Mahnaz Dehghani 

Department of chemistry, Faculty of science, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

* Corresponding author: (✉) a.karami@sru.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objectives: The present research aims to examine the concepts that constitute the “ionic bonds and ionic compounds” topic in high school chemistry. The relationships between these concepts are discovered using structural equation modeling as a concept map. **Methods:** This fundamental research is descriptive-correlational, and its statistical population includes all high school students in Qom, Varamin, and Kuhdasht, Iran in the academic year 2014-2015, out of which 208 individuals participated using the convenience sampling method. The tool was a researcher-made exam consisting of 35 four-choice items, the validity of which was assessed using content and face validity, and the Cronbach's alpha was calculated as 0.934. The data were analyzed using “Factor Analysis” and “Path Analysis of SPSS 21 and AMOS software. **Findings:** After the factor analysis, 7 factors or concepts were extracted: naming of atoms, ions, and their effect on reactivity; naming of ions and changes in ionic radius in periodic table; ionic bonding and properties of ionic compounds; properties of ionic compounds and the definition of lattice energy; properties of ionic compounds, their identifications, and factors affecting lattice energy; properties and characteristics of polyatomic ions and ionic compounds; and lastly, the chemical formula of ionic compounds. In the final experimental model, the correlation matrix for all direct and indirect relationships were calculated. The beta coefficients for direct relationships were obtained in the range of 0.163 to 0.473. The fitting of the model was evaluated using RMR, GFI, and AIC, obtaining the values of 0.032, 0.99, and 53.244, respectively suggesting that the proposed model is appropriate. **Conclusion:** The model shows that seven specific concepts are effective in learning this topic. This model indicates which concept directly or indirectly influences the learning of other concepts, and which concept serves as a prerequisite and facilitates understanding other concepts.

Keywords: Ionic compounds, Ionic bond, Concept map, Structural equation modeling, Chemistry education.

RESEARCH ARTICLE

Received: 07 January 2025

Revised: 26 February 2025

Accepted: 30 April 2025

Published online: 30 April 2025

Print ISSN: [3041-9271](https://doi.org/10.48310/chemedu.2025.17994.1297)

ISSN (Online): [2717-2279](https://doi.org/10.48310/chemedu.2025.17994.1297)

Citation: Karami gazafi, A.; Dehghani, M (2025). A Structural equation model of students' learning mind maps on the topic of ionic bonds and ionic compounds in high school chemistry. *Research in Chemistry Education*, 7(2), 1-25.

 <https://doi.org/10.48310/chemedu.2025.17994.1297>



© The author(s)
Publisher: Farhangian University



Extended Abstract

Introduction

Sperry, Nobel Prize winner, published the outcomes of his research on the cerebral cortex. According to the outcomes of Sperry's research, the left hemisphere is for analytical skills; logic, language, words, analysis, and numbers are governed by the left brain. The right hemisphere is for emotions and creativity; correlations, images, imagination, holistic thinking, dimensions, and colors are governed by the right brain. In the early 1970's, Tony Buzan, who used the studies of Sperry as a basis, developed the Mind Mapping technique which enabled the use of the right lobe and left lobe of the brain together (Balim, Evrekli, & Aydin, 2006). It should be ensured that mind mapping is systematically and clearly structured. The steps in creating mind mapping are as follows: a) studying a reading text from a source book, b) determining relevant concepts, c) sorting the concepts embedded in the text hierarchically, starting from the most inclusive to specific concepts, d) arranging the sorted concepts on paper by placing the most inclusive concepts at the top, and e) connecting the concepts with conjunctions (Utami, Yuliyanto, & Hidayah, 2021). Several theories can explain the effectiveness of concept maps. First, concept mapping was initially linked to meaningful learning, a concept formulated by Ausubel within the framework of his subsumption (assimilation) learning theory. Second, since concept maps contain graphical elements and sometimes symbols and pictures, Dual Coding Theory (DCT) is relevant to understanding the effectiveness of concept mapping. According to DCT, information can be stored in two distinct but interconnected coding systems: a verbal system that deals with language and a non-verbal system that deals with information concerning nonverbal objects i.e., images and symbols (Anastasiou, Wirngo, & Bagos, 2024). Third, John Sweller (2020) and his colleagues developed Cognitive Load Theory (CLT), to explain the functioning and usefulness of concept mapping. The starting point of The CLT is that there is limited working memory to code information. The limitations of working memory can be circumvented by organizing schemas (mental frameworks) of knowledge that allow students to work on complex material without exceeding their cognitive capacity (Kirschner & Hendrick, 2020).

Methodology

The present research is fundamental and descriptive-correlational. The data collection tool was a researcher-made exam consisting of 35 multiple-choice questions. Initially, a table of objectives-content for the topic of ionic compounds was designed based on Bloom's levels of learning. After this table was approved with content validity by 7 experts, several multiple-choice questions were created, which were revised and adjusted based on the feedback from seven experienced specialists. By examining the difficulty coefficients, discrimination, and the overall Cronbach's alpha coefficient after removing each question, inappropriate questions were eliminated, resulting in a final test comprising 35 multiple-choice questions. The validity of this exam was assessed using content validity, and its reliability was evaluated using Cronbach's alpha method, yielding a value of 0.934, indicating excellent reliability. The statistical population of this research included all high school students in Qom, Varamin, and Kuhdasht, who were studying in the fields of experimental sciences and mathematical and technical sciences. A total of 208 students voluntarily participated in this research and took the test. For the correct answer of each test item, number 1 was assigned, and for incorrect answers, zero was assigned. These data were analyzed using factor analysis of SPSS, resulting in the extraction of seven main factors for this topic. In collaboration with a group of experienced teachers, university professors, and chemistry education researchers, in the next stage, a theoretical model was designed in consultation and collaboration with senior chemistry education experts based on these seven factors. The analysis of the findings of this research was conducted using path analysis (structural equation modeling). To discover and formulate the model of structural relationships for the topic, the correlation matrix of all the concepts was first calculated. Then, using the results of statistical calculations, the empirical model was developed, and both direct and indirect relationships were measured. Finally, the model fit was examined using AMOS software.

Results and Discussion

After conducting the exam, the students' answer sheets were analyzed using factor analysis, and seven main factors were obtained. These factors include:

Concept 1: Properties of ionic compounds, their identification, and factors affecting lattice energy,

Concept 2: Nomenclature and electron configuration of atoms, ions, and their impact on reactivity,
 Concept 3: Chemical formula of ionic compounds,
 Concept 4: Properties and characteristics of polyatomic ions and ionic compounds,
 Concept 5: Nomenclature of ions and changes in ionic radius in the periodic table,
 Concept 6: Properties of ionic compounds and the definition of lattice energy,
 Concept 7: Ionic bond and properties of ionic compounds.

Then, the initial theoretical model of this research for these seven factors was designed based on the opinions of eight chemistry education experts. In the next stage, using path analysis and structural equation modeling, the final empirical model for the topic of ionic compounds was obtained (Figure 1). As shown in Fig. 1, "Nomenclature and electron configuration of atoms, ions, and their impact on reactivity" is the first and fundamental concept and prerequisite of the topics that students learn, and it is the primary educational objective that should be taught. The arrows indicated in Fig. 1 demonstrate that "Ionic bond and properties of ionic compounds" directly influence learning four other concepts or factors.

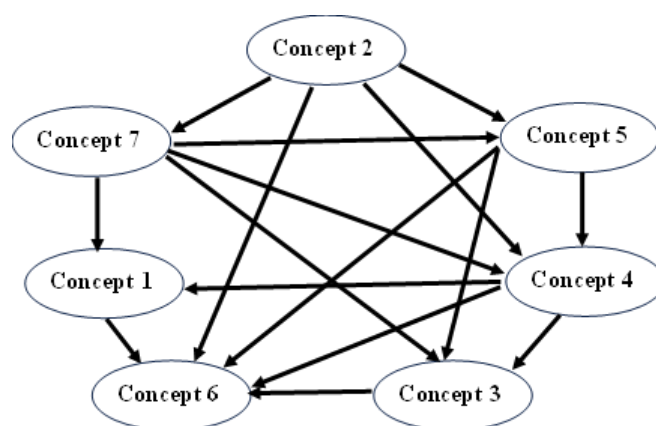


Fig. 1- Empirical model for ionic compounds topics

Table 1- Matrix of Correlation Coefficients of Direct and Total Relationships Concepts

Relationships of concepts	Direct Relationships			Total Relationships		
	Estimated Value	t	P	Estimated Value	t	P
CONCEPT 2 → CONCEPT 7	0.240	3.947	P<0.01	0.240	3.934	P<0.01
CONCEPT 2 → CONCEPT 5	0.219	3.447	P<0.01	0.268	4.178	P<0.01
CONCEPT 7 → CONCEPT 5	0.203	2.899	P<0.01	0.203	2.9	P<0.01
CONCEPT 5 → CONCEPT 4	0.190	2.28	P<0.05	0.190	2.289	P<0.05
CONCEPT 7 → CONCEPT 4	0.252	2.939	P<0.01	0.290	3.372	P<0.01
CONCEPT 2 → CONCEPT 4	0.193	2.465	P<0.05	0.304	3.897	P<0.01
CONCEPT 7 → CONCEPT 6	0.184	2.634	P<0.01	0.163	2.910	P<0.01
CONCEPT 5 → CONCEPT 3	0.318	3.479	P<0.01	0.372	4.033	P<0.01
CONCEPT 4 → CONCEPT 3	0.280	3.686	P<0.01	-	-	-
CONCEPT 4 → CONCEPT 6	0.163	2.933	P<0.01	0.163	2.910	P<0.01
CONCEPT 7 → CONCEPT 3	0.239	2.502	P<0.05	-	-	-
CONCEPT 6 → CONCEPT 1	0.041	0.355	P<0.05	0.041	0.356	P<0.05
CONCEPT 3 → CONCEPT 1	0.338	3.954	P<0.01	0.338	3.93	P<0.01
CONCEPT 2 → CONCEPT 1	0.473	4.351	P<0.01	0.735	6.743	P<0.01
CONCEPT 4 → CONCEPT 1	0.301	2.993	P<0.01	0.402	4.02	P<0.01
CONCEPT 5 → CONCEPT 1	0.336	2.814	P<0.01	0.520	4.369	P<0.01

Table 1 shows the direct and total impact of each factor on other factors based on the estimated value (correlation coefficients matrix b), t and significance level P values. If the estimated value of the relationship between two concepts or factors is larger, learning the first concept has a greater impact on learning the next concept. For example, the coefficients of knowledge regarding the nomenclature and electron configuration of atoms, ions, and their impact on reactivity with knowledge of Ionic bond and properties of ionic compounds are ($0.240 = b$ & $P < 0.01$). Because the significance level is less than 0.01, learning this concept impacts the learning of "Ionic bond and properties of ionic compounds" with 99% confidence level.

Similar results can be extended to other information in the table. Based on the data in the table 1, all relationships between variables, except for the relationship "Ionic bond and properties of ionic compounds with the chemical formula of ionic compounds," are significant at a significance level of less than 0.05. This means that learning the independent variable (concept 1) affects the learning of the dependent variable (concept 2).

Table 1 presents 20 relationships between 7 factors derived from factor analysis. Except for three cases, all other relationships are statistically significant at a 95% confidence level with a significance level of less than 0.05, indicating that the independent variable (Concept 1) affects the dependent variable (Concept 2) in terms of learning.

Finally, to assess the overall fit of the final empirical model, ten different statistical indices were used, and their values are presented in Table 2. By observing these index values and comparing them with the acceptable range for each index, it can be concluded that the final model is validated according to all these indices, thus indicating that the model has a good fit.

Table 2- Model fitness indices

	Index	Amount	Acceptable Domain	Results
Absolute	χ^2/df	1.449	<2	Model Approved
	RMR	0.032	Close to zero	Model Approved
	GFI	0.99	>0.9	Model Approved
	AGFI	0.943	>0.9	Model Approved
	TLI	0.957	>0.9	Model Approved
Relative	YOUTH	0.991	>0.9	Model Approved
	CFI	0.990	>0.9	Model Approved
	RMSEA	0.047	<0.05	Model Approved
Modified	PCLOSE	0.455	>0.05	Model Approved
	AIC	53.244	$\neq 0$	Model Approved

Conclusion

In the experimental model of ionic compounds, the factors of nomenclature and the electron configuration of atoms and ions, and their impact on reactivity are prerequisites for other factors. After familiarizing with the nomenclature and electron configuration of atoms, ions, and their impact on reactivity, and understanding how metals and nonmetals achieve stable configurations, the knowledge of Ionic bond, and the properties of ionic compounds is presented. This factor is a prerequisite for learning four concepts, which are: the nomenclature of ions and changes in ionic radius in the periodic table, the properties and characteristics of polyatomic ions and ionic compounds, the properties of ionic compounds and the definition of lattice energy, and the chemical formula of ionic compounds. If learners understand the concept of Ionic bond and can explain how this type of bond forms, then they can justify the properties of ionic compounds based on such bonding. Knowing the knowledge of Ionic bond and the properties of ionic compounds leads to learning the nomenclature of ions and changes in ionic radius in the periodic table, which is a prerequisite for learning the concepts of properties and characteristics of polyatomic ions and ionic compounds and their chemical formulas. By knowing the nomenclature of monatomic and polyatomic ions, the learner can write the chemical formula of ionic compounds. The knowledge of the properties of ionic compounds and the definition of lattice energy is a prerequisite for learning the concept of identifying them and the factors affecting lattice energy in crystals. Knowing that one of the important factors in the formation of a crystal is its lattice energy, which depends on the charge and radius of the ions, the learner can compare the lattice energy of ionic compounds and, through its value, identify the bond strength in ionic compounds. Based on this model, learning the properties of ionic compounds, identifying them, and the factors affecting lattice energy in crystals is not a prerequisite for learning other factors. By comparing the two experimental and theoretical models of this research, it can be said that the theoretical model presented at the beginning of the article is confirmed by the experimental model obtained. Therefore, it can be concluded that the experimental model obtained is a suitable structural model of the learner's knowledge in this lesson. Additionally, proper attention should be paid to this map.

پژوهش در آموزش شیمی، سال هفتم، شماره دوم، صفحات ۲۵-۱



پژوهش در آموزش شیمی

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


مطالعه نقشه‌های ذهنی یادگیری دانش‌آموزان در مبحث پیوندهای یونی و ترکیبات یونی در شیمی دبیرستان با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری

علیرضا کرمی گزافی^۱ ID، مهناز دهقانی^۱ ID^۱ گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.* نویسنده مسئول: a.karami@sru.ac.ir (✉)

چکیده

پیشینه و اهداف: هدف این پژوهش، بررسی مفاهیم تشکیل‌دهنده‌ی مبحث پیوند یونی و ترکیب‌های یونی (شیمی پایه ۱۲) با روش مدل‌سازی معادلات ساختاری در قالب یک نقشه مفهومی است. **روش‌ها:** این پژوهش بنیادی، توصیفی-همبستگی است. تعداد ۲۰۸ نفر از دانش‌آموزان شهرستان‌های قم، ورامین و کوه‌دشت به‌روش نمونه‌گیری در دسترس در این پژوهش شرکت کردند. ابزار پژوهش یک آزمون محقق ساخته ۳۵ سؤالی بود که روایی محتوایی و صوری آن بررسی و پایایی آن با روش ضریب آلفا کرونباخ ۰/۹۳۴ به‌دست آمد. ابتدا با روش تحلیل عامل هفت مفهوم اصلی این مبحث به‌دست آمد. سپس مدل فرضی یا نقشه ذهنی این مفاهیم طراحی شد و با روش تحلیل مسیر تجزیه و تحلیل شد. **یافته‌ها:** هفت عامل موجود در مدل تجربی نهایی عبارت‌اند از: نام‌گذاری اتم‌ها، یون‌ها و تأثیر آن بر واکنش‌پذیری؛ نام‌گذاری یون‌ها و تغییرات شعاع یونی در جدول تناوبی؛ پیوند یونی و خواص ترکیبات یونی؛ خواص ترکیبات یونی و تعریف انرژی شبکه؛ خواص ترکیبات یونی، تشخیص آنها و عوامل مؤثر بر انرژی شبکه بلور؛ خواص و ویژگی‌های یون‌های چنداتمی و ترکیبات یونی و عامل هفتم فرمول شیمیایی ترکیبات یونی. مقدار برآورد یا ضریب بتا برای روابط مستقیم برای مدل در محدوده ۰/۱۶۳ تا ۰/۴۷۳ به‌دست آمد. برازش مدل با شاخص‌های مختلف مانند GFI، RMR و AIC انجام گرفت که مقدار این شاخص‌ها به‌ترتیب عبارتند از: ۰/۹۹ و ۵۳/۲۴۴. **نتیجه‌گیری:** این مدل سلسله مراتب مفاهیم و چگونگی ارتباط هر یک از این هفت عامل را نشان می‌دهد و این نتایج می‌تواند علاوه بر تدریس دبیران، مورد استفاده مؤلفان کتاب درسی و طراحان آزمون‌های نهایی و سراسری نیز قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پیوند یونی، ترکیب یونی، نقشه مفهومی، شیمی دبیرستان، مدل‌سازی معادلات ساختاری، آموزش شیمی.

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۰

تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۰۲/۱۰

شاپا چاپی: ۳۰۴۱-۹۲۷۱

شاپا الکترونیکی: ۲۷۱۷-۲۲۷۹



ارجاع: کرمی گزافی، علیرضا؛ دهقانی، مهناز (۱۴۰۴). مطالعه نقشه‌های ذهنی یادگیری دانش‌آموزان در مبحث پیوندهای یونی و ترکیبات یونی در شیمی دبیرستان با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری. پژوهش در آموزش شیمی، ۷(۲)، ۱-۲۵.

doi <https://doi.org/10.48310/chemedu.2025.17994.1297>

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه فرهنگیان



مقدمه

توسعه سریع علم و فناوری در سال‌های اخیر، باعث تحول در نظام‌های آموزشی کشورها شده‌است. یکی از اهداف کلی آموزش متوسطه در نظام آموزشی بیشتر کشورها، پرورش نسلی از افرادی است که می‌توانند، به‌طور مستقل فکر کنند، به نظرات و احساسات دیگران و همچنین به کرامت کار احترام بگذارند، به ارزش‌هایی که در اهداف ملی مشخص شده‌اند، ارج نهند و به‌عنوان شهروندان خوب زندگی کنند. اهداف ملی فوق، تنها در صورتی محقق می‌شوند که شیمی و هر درس دیگری به‌طور معنادار تدریس شود تا علاقه مداوم یادگیرندگان به این موضوع تضمین شود (بامیدله^۱ و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین کشورها شروع به استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های یادگیری فعال کرده‌اند تا مهارت‌های خلاقانه را در دانش‌آموزان کشف کنند و یادگیری معنادار را در فرآیند تدریس تحقق بخشند زیرا برای همگام شدن با عصر علم و فناوری چنین افرادی مورد نیاز هستند. آموزش علوم و شیمی در تربیت چنین افرادی جایگاه مهمی دارد. شیمی، مطالعه ماده و خواص آن، چگونگی و چرایی ترکیب یا جدا شدن مواد برای تشکیل مواد دیگر و نحوه تعامل مواد با انرژی است (نینگیس^۲ و سید، ۲۰۱۸) و در مشاغل زیاد و مهمی مانند خدمات بهداشتی، داروسازی، صنایع نفت و پتروشیمی، کشاورزی، فرآوری غذا، خدمات آموزشی و صنایع استخراجی و... نقش محوری دارد (بامیدله و همکاران، ۲۰۱۳). از دیدگاه کین (میدل کمپ^۳ و کین، ۱۹۸۵) مباحث شیمی دارای چندین ویژگی هستند، از جمله: اکثر آنها انتزاعی هستند؛ شیمی ساده سازی واقعیت‌های جهان است. علم شیمی همیشه و به‌سرعت در حال تکامل است و شیمی چیزی بیش از حل یک تمرین یا مسئله است (تای^۴، ۲۰۱۴). اولین چالش در آموزش شیمی، انتزاعی بودن این علم است که سبب شده‌است تا شیمی که انتظار می‌رود، یک موضوع جالب علوم تجربی باشد، امروزه تهدید بزرگی برای بسیاری از دانش‌آموزان شود (بهرامی و عظمت، ۱۴۰۲). برخی از دانش‌آموزان به‌دلیل نمرات ضعیف یا شکست پیاپی در امتحانات، دچار هراس شده‌اند. شواهد نشان داده است که یادگیری بیشتر مفاهیم در شیمی برای اکثر دانش‌آموزان دشوار است (ازه و اوککه، ۲۰۱۸). جک^۵ و چند دانشمند دیگر باور دارند، تعدادی از موضوعات در شیمی شامل برخی مفاهیم هستند که چالش‌های منحصربه‌فرد و قابل توجهی برای دانش‌آموزان ایجاد می‌کنند (جک، ۲۰۰۵). بی‌تردید، این چالش‌ها منجر به عملکرد ضعیف دانش‌آموزان در این زمینه‌ها و عملکرد کلی آنها در شیمی سایر آزمون‌های ملی و بین‌المللی شود (جک، ۲۰۱۳). با توجه به موارد فوق، هر محتوای آموزشی شیمی دارای ویژگی‌ها و چالش‌های منحصر به فردی است

¹ Bamidele² Ningsih³ Middlecamp⁴ Thaie⁵ Jack

که نیاز به استفاده از روش مناسب در ارائه آن دارد. از نظر ویاتسیه^۱ (۲۰۱۱) با توجه به انتزاعی بودن شیمی، انتخاب مدلی که سبب مشارکت در فعالیتهای دانشجویان در یافتن مفاهیم شود، مهم است. دومین چالش، دانش یادگیرندگان مدارس متوسطه و دانشگاهها در درس علوم است که غالباً با کمبود انسجام مشخص می‌شود و اکثریت دانش‌آموزان به‌طور عمده به یادگیری حفظ مشغول هستند (جک، ۲۰۱۳). دانش‌آموزان به‌جای داشتن ساختارهای دانش خاص حوزه‌ای ساختارمند و یکپارچه، مفاهیم مختلف را به‌عنوان عناصر جدا شده از دانش در نظر می‌گیرند. اکثر دانش‌آموزان دارای یک چارچوب اصولی نیستند که در آن مفاهیم تازه به‌دست آمده بتوانند، ادغام شوند. این عدم یکپارچگی گمان می‌رود که اساس مشکلات دانش‌آموزان در مورد شکل‌گیری مفهوم و کاربرد دانش کسب‌شده در تمرینات و کارهای عملی باشد (ازه و اوککه، ۲۰۱۸). سومین چالش در آموزش شیمی نگرش دانش‌آموزان است. به باور سالو^۲ (۲۰۰۳) و نجوکو^۳ (۲۰۰۴) نگرش دانش‌آموزان نسبت به یادگیری، بر عملکرد آنها تأثیر می‌گذارد بنابراین مربیان باید به نگرش فراگیران اهمیت دهند زیرا متغیرهای عاطفی و بادوام هستند. اغلب اعتقاد بر این است که برای هر دستاوردی در هر تلاشی، سه عنصر اساسی فرصت، توانایی و علاقه وجود دارد که علاقه در آنها مهم است (ازه و اوککه، ۲۰۱۸). چهارمین چالش، معلمان و روش تدریس آنهاست. در حال حاضر در مدارس متوسطه، بسیاری از معلمان شیمی به‌شدت به‌روش تدریس توضیحی پایبند هستند. این ممکن است تا حدی به‌دلیل تمایل آنها به پوشش دادن سرفصل‌ها و تا حدی به نگرش منفی آنها نسبت به تدریس، به‌دلیل وضعیت اقتصادی در اکثر کشورها باشد که معلم را تشویق نمی‌کند تا روش‌های جدید تدریس را امتحان کند (ایفیکور^۴، ۲۰۰۶). پنجمین چالش درک الگوریتمی و عدم درک عمیق مفاهیم شیمی است. دانش‌آموزان باید نه‌تنها بر جنبه کمی، بلکه بر مفاهیم کیفی نیز تسلط داشته‌باشند. زولر (۲۰۰۱) نشان داد که اکثر دانش‌آموزان در حل مسائل الگوریتمی موفق می‌شوند اما به‌هیچ‌وجه درک مفهومی خوبی در شیمی ندارند (سیه مانی^۵، ۲۰۱۹). با وجود دشواری مبحث پیوندها در شیمی دبیرستان و بدفهمی زیاد آن، تاکنون هیچ پژوهشی برای پیدا کردن نقشه ذهنی این مبحث از دیدگاه دانش‌آموزان انجام نشده است. بنابراین این پژوهش با هدف یافتن نقشه مفهومی این مبحث بر اساس ساختار شناختی دانش‌آموزان با استفاده مدل‌سازی معادلات ساختاری انجام شده‌است تا با استفاده از آن، بتوان سلسله مراتب شناختی این مبحث در ذهن دانش‌آموزان و همچنین بهترین روش برای تدریس و تألیف این مبحث در کتاب شیمی دبیرستان را یافت.

¹ Wiyatsih² Salau³ Njoku⁴ Ifeakor⁵ Syahmani

پیشینه

آموزش زمانی مؤثر است که رویکرد مورد استفاده تغییری مطلوب در رفتار یادگیرنده ایجاد کند اما با توجه به ناکارآمدی نظام‌های آموزشی کنونی و همچنین مشکلات یادگیری دانش‌آموزان و دشواری آموزش مفاهیم انتزاعی شیمی، رویکردهای کنونی معلم محور منسوخ شده‌اند (عظمت و خدایی، ۱۳۹۹) و اکثر کشورها برای حل بحران آموزش عمومی به پژوهش‌ها و راهکارهای نوین گوناگون منتج از علوم تربیتی، علوم شناختی و فناوری آموزشی روی آورده‌اند. به عنوان مثال ترکیه از سال تحصیلی ۲۰۰۶-۲۰۰۷، برنامه درسی جدید مبتنی بر رویکرد یادگیری سازنده‌گرایی را در تمام دانشگاه‌های خود، مؤسسات آموزش ابتدایی و متوسطه و همچنین دانشکده‌های تربیت معلم قرار داده است (بالیم^۱، اورکلی و آیدین، ۲۰۰۶). با توجه به تحولات بزرگ و سریع، باید در قرن بیست و یکم مهارت‌هایی مانند تفکر انتقادی، حل مسئله، فراشناخت، مهارت‌های ارتباطی، همکاری و... در هنگام آموزش و فعالیت‌های یادگیری روزانه تقویت شود. تعریف یودیانا تفکر انتقادی را، توانایی تفکر واضح و منطقی می‌داند که به دانش‌آموزان اجازه می‌دهد، مشکلات را بهتر درک کنند و بهترین راه‌حل‌ها را برای مشکلاتی که با آن روبرو هستند، پیدا کنند (اوتامی^۲، یولیانتو و هیدایه، ۲۰۲۱). اما ریشه این تحولات بزرگ را باید تغییر رویکرد معرفت‌شناسی در فلسفه آموزش و پرورش و نظریه‌های یادگیری جستجو کرد. در نیمه اول این قرن، ایده‌های مربوط به ماهیت دانش علمی به دلیل کار معرفت‌شناسان و مورخان علمی مانند باشلارد، کاسیرر، پوپر، کوهن، لاکاتوس، فایرابند، لاودان و... به طور اساسی تغییر کرد. در آغاز این قرن، معرفت‌شناسان یک برداشت تجربه‌گرا / پوزیتیویستی از علم داشتند. این گروه علم را یک توصیف واقع‌گرایانه از جهان و مجموعه‌ای از دانش تثبیت شده با استنباط‌های استقرایی می‌دانستند که با کشف اصول علمی (مفاهیم، قوانین و نظریه‌ها) "پنهان" در طبیعت به دست می‌آید اما بر اساس دیدگاه‌های فلسفی معاصر علم نتیجه استنتاج استقرایی نیست و به عنوان یک فعالیت انسانی توسط دانشمندان برای تدوین «مدل‌هایی» برای تفسیر جهان تجربی و ارائه آزمایش‌های جدید تصور می‌شود. اصول علمی توسط دانشمندان ساخته می‌شوند تا به واقعیت‌ها اهمیت بدهند. این تغییرات انقلابی معرفت‌شناسی در مفهوم ماهیت علم با تغییرات اساسی در درک چگونگی یادگیری (در حوزه روانشناسی تربیتی) همراه بوده است. امروزه دیدگاه غالب، روانشناسی رفتاری نیست بلکه دیدگاه شناختی است و فراگیران به طور فعال در ساخت دانش، درگیر هستند. کسب دانش جدید باید به طور محکم به مفاهیم موجود متصل باشد و چارچوب‌های مفهومی نقش کلیدی در کسب، نگهداری، کاربرد دانش مفهومی جدید و در تمرینات، حل مسئله و آزمایشگاه مدرسه ایفا می‌کنند. پس

¹ Balim² Utami

معرفت‌شناسی و فلسفه تربیتی زمینه مشترکی دارند و همان گونه که علم توسط دانشمندان به‌منظور درک جهان و پیش‌بینی پدیده‌ها ساخته شده‌است، یادگیری علمی نیز توسط دانش‌آموزان ساخته می‌شود که از تصورات "اولیه" آنها از یک موضوع شروع می‌شود (رگیس^۱، آلبرتازی و رولتو، ۱۹۹۶). سازنده‌گرایی یک مدل شناختی یادگیری است که فرض می‌کند دانش توسط افراد تولید می‌شود (امانی و زمانی، ۱۳۹۸) و این دانش تحت تأثیر پیشینه، نگرش‌ها، توانایی‌ها و تجربه است بنابراین، ساخت دانش به تعامل تجربیات شخصی با درک خصوصی بستگی دارد (فرانسیسکو^۲ و همکاران، ۲۰۰۲). در اواخر دهه ۱۹۶۰ اسپری^۳ برنده جایزه نوبل نتایج تحقیقات خود در مورد مطالعات بر روی قشر مغز را منتشر کرد. اولین یافته‌های او نشان می‌دهد که هر دو نیمکره مغز از نظر وظایف ذهنی اساسی خود با یکدیگر متفاوت هستند (بوزان^۴ و بوزان، ۲۰۰۶). مهارت‌های تحلیلی مانند منطق، زبان، تجزیه و تحلیل و اعداد توسط مغز چپ اداره می‌شوند اما نیمکره راست برای پردازش احساسات و خلاقیت، همبستگی، تصاویر، تخیل، تفکر جامع، ابعاد و رنگ‌ها توسط مغز راست است (بالیم، اورکلی و آیدین، ۲۰۰۶). در اوایل دهه ۱۹۷۰، تونی بوزان^۵، بر مبنای مطالعات راجر اسپری تکنیک نقشه‌برداری ذهنی را توسعه داد که امکان استفاده از لوب راست و لوب چپ مغز را با هم فراهم می‌کرد، بنابراین نقشه مفهومی یک تکنیک گرافیکی قدرتمند برای کشف توانایی مغز است (امما^۶، ۲۰۰۵). پنج مرحله ایجاد نقشه ذهنی به شرح زیر است: (۱) مطالعه یک متن خواندنی از یک کتاب یا منبع، (۲) تعیین مفاهیم مرتبط، (۳) مرتب‌سازی مفاهیم تعبیه شده در متن به‌صورت سلسله‌مراتبی، شروع از فراگیرترین مفاهیم تا مفاهیم خاص، (۴) مرتب‌کردن مفاهیم مرتب‌شده روی کاغذ با قراردادن فراگیرترین مفاهیم در بالا، و (۵) اتصال مفاهیم با حروف ربط (اوتامی، یولیانتو و هیدایه، ۲۰۲۱). دانش‌آموزان در پایان نقشه‌برداری مفهومی، یک تصویر دو بعدی از مفاهیم و روابط آنها با یکدیگر و مفهوم مرکزی ایجاد می‌کنند. در نقشه مفهومی هر دو مفهوم در قالب کلمه یا جملات کوتاه در یک دایره نوشته می‌شوند و این دو دایره با یک فلش همراه با نوشته روی آن به هم ربط داده می‌شوند و این ارتباط در جملات کوتاه و ضمنی رمزگذاری شده‌است. هدف اصلی استفاده از نقشه‌های مفهومی نماد کردن روابط معتبر بین مفاهیم در قالب گزاره‌های معنادار است (تان^۷، اردیمز و زیمرمن، ۲۰۱۷). نقشه‌های مفهومی به دانش‌آموزان کمک می‌کنند (الف) ارتباطات بین اصطلاحات علمی را در حال یادگیری در نظر بگیرند، (ب) افکار خود را سازماندهی کنند (ج) روابط بین مفاهیم کلیدی را به روشی منطقی

¹ Regis² Francisco³ Roger Wolcott Sperry⁴ Buzan⁵ Tony Buzan⁶ Amma⁷ Tan

تجسم کنند، و (د) در درک خود تأمل کنند (رویز پریمو^۱، شولتز و شاولسون، ۱۹۹۷). نقشه‌برداری مفهومی این امکان را به دانش‌آموزان می‌دهد که تفکر شفاف و درک خود از دانش در مورد یک هدف آموزشی یا موضوع خاص را با استفاده از سلسله مراتب و دسته‌بندی‌های مفاهیم جزئی مرتبط با آن هدف آموزشی یا موضوع مرکزی، به صورت منظم و سازمان‌یافته بر روی یک تکه کاغذ نمایش دهند (جک، ۲۰۱۳). هنگام تفکر و تلاش برای طراحی این نقشه، این سلسله مراتب و همبستگی‌ها به طور معناداری از یک تصویر مرکزی بدون نظم خاص گسترش می‌یابد سپس دستیابی به مفاهیم بیشتر را با استفاده از آن مفاهیم تسهیل می‌کنند و امکان نشان دادن آن همبستگی‌ها را به ترتیب فراهم می‌کنند. این پدیده به طور طبیعی و خودبه‌خود در عملکردهای مغز همه افراد اتفاق می‌افتد (بالیم^۲، اورکلی و آیدین، ۲۰۰۶). سونارتو و سوماجی باور دارند، روش‌های یادگیری مبتنی بر مشارکت فعال دانش‌آموزان می‌توانند، درک دانش‌آموزان از موضوع را بهبود بخشند (اوتامی، یولیانتو و هیدایه، ۲۰۲۱). به نظر می‌رسد راهبردهای مؤثری که برای ترویج یادگیری کارآمد و معنادار طراحی شده‌اند به ارتباط دانش قبلی با مفاهیم جدید وابسته باشند. مطالعات پژوهشی نشان داده‌اند که نقشه‌برداری مفهومی نمونه‌ای از چنین راهبردهایی است (بامیدله و همکاران، ۲۰۱۳). نقشه‌های مفهومی این فرصت را برای دانش‌آموزان فراهم می‌کند تا از طریق تأمل دقیق در نقشه‌های مفهومی ساخته شده خود، بین ایده‌ها ارتباط برقرار کنند. این بازخوردها فرصت‌هایی را برای دانش‌آموزان فراهم می‌کند تا ارتباطات فعلی یا گمشده را دوباره بررسی کنند، در نتیجه احتمالاً به دانش‌آموزان کمک می‌کند تا ساختار دانش بسیار متقابل و مناسب‌تری ایجاد کنند (فرانسیسکو^۳ و همکاران، ۲۰۰۲). پژوهش‌های زیادی بر روی استفاده از نقشه مفهومی به عنوان یک ابزار ارزشیابی انجام شده‌است و همبستگی معنی‌داری بین عملکرد دانش‌آموزان در حل مسئله و نمره نقشه‌های مفهومی آنها یافته‌اند. این پژوهش‌ها توانسته‌اند به اختلاف نظرهای متخصصان و مخالفت دانش‌آموزان در مورد نحوه امتیازدهی به نقشه‌ها پاسخ‌های مناسبی ارائه دهند (زیمرم و همکاران، ۲۰۱۱). نقشه‌برداری مفهومی یک ابزار تربیتی/فراشناختی است که به دانش‌آموزان کمک می‌کند چگونه یاد گرفتن را بیاموزند (جک، ۲۰۱۳). نقشه ذهنی یک تکنیک گرافیکی است که ایده‌ها و مفاهیم را توسعه می‌دهد، افکار را سازماندهی می‌کند، تفکر خلاق را تشویق می‌کند و مهارت‌های حل مسئله و یادداشت برداری را افزایش می‌دهد (پولسون^۴، ۲۰۰۴). چندین پژوهشگر دریافته‌اند که نقشه مفهومی به دانش‌آموزان کمک می‌کند تا مفاهیم مهم جدید را درونی کنند و همچنین آن مفاهیم را با دانش قبلی ادغام کنند، در حالی که سطح دانش و تصورات

¹ Ruiz-Primo

² Balim

³ Francisco

⁴ Polson

غلط دانش‌آموزان را آشکار می‌کند (باتاکاریا^۱ و هان، ۲۰۰۱). پژوهشی در نیجریه نیز نشان داد استفاده از نقشه‌های مفهومی در آموزش مبحث پیوند شیمیایی موجب رفع بدفهمی در پایان تدریس و همچنین آشکارسازی بدفهمی‌های قبلی دانش‌آموزان در شروع رسم نقشه مفهومی می‌شود (اتوکرن و همکاران، ۲۰۲۲). به باور آزوبل یادگیری معنادار می‌تواند با تغییر ساختار شناختی یادگیرنده تسهیل می‌شود. او تأکید کرد که اگر ساختار شناختی موجود روشن، پایدار و به‌خوبی سازماندهی شده باشد، یادگیری و حفظ موضوعات جدید را تسهیل می‌کند (بامیدله و همکاران، ۲۰۱۳). این نقشه‌ها که طرح‌های پیچیده و انحصاری هر دانش‌آموز است به آنها کمک می‌کند تا فکر کنند و دانش جدید را جذب نمایند. نقشه‌برداری مفهومی به‌عنوان یک راه حل برای برقراری اجزای یک موضوع یا مفهوم چندبعدی معرفی شده است و این ویژگی در شیمی که یادگیری در سه سطح رخ می‌دهد مهم است: سطح ماکروسکوپی، سطح میکروسکوپی و سطح نمادین (جان ستون^۲، ۲۰۰۰). مفاهیم شیمیایی جزئی و پایه می‌توانند در هر سطح نمایش داده شوند که معمولاً منجر به این می‌شود که دانش‌آموزان در انتقال مفهوم از یک سطح به سطح دیگر به‌دلیل دشواری‌های یادگیری در شیمی مشکل داشته‌باشند. دانش‌آموزان باید دانش سطح میکروسکوپی را به‌دست آورند تا بتوانند پدیده‌ها را در سطح ماکروسکوپی توضیح دهند. نقشه‌های مفهومی می‌توانند به‌عنوان یکی از وسایل تسهیل این انتقال دیده شوند، چه با پیوندزدن مفاهیم در سطح ماکروسکوپی با آن‌هایی که در سطح میکروسکوپی هستند و چه کمک به دانش‌آموزان برای پیوند دادن فقط مفاهیم زیرین در سطح میکروسکوپی. این فرآیند همیشه به‌عنوان ساخت‌گرایی در نظر گرفته می‌شود، به این معنا که یادگیرنده با پیوند دادن مفاهیم مرتبط، دانش را می‌سازد (جک، ۲۰۰۳). نتایج دو تحلیل کلیدی در زمینه یادگیری آموزش علوم نشان‌دهنده اثرات مثبت نقشه‌برداری مفهومی بر پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان است (نس بیت^۳ و آدزوپ، ۲۰۰۶). مطالعات متعددی استفاده از نقشه‌برداری مفهومی را در آموزش علوم و یادگیری مفاهیم دشوار در علوم بسیار مؤثر یافته‌اند، هرچند که در شیمی بسیار کم بوده است. همچنین از نقشه‌های مفهومی برای ارزشیابی رسمی و غیررسمی دانش‌آموزان در طول چندین دوره مطالعه استفاده کرده‌اند (اوتامی، یولیانتو و هیدایه، ۲۰۲۱). کاراکویو^۴ (۲۰۱۰) در پژوهش خود اظهار کرده است یکی از مزایای بزرگ استفاده از نقشه‌های مفهومی این است که در طی فرآیند فرموله کردن، فهمی مشخص و دقیق از معانی و ارتباطات مفاهیم را تقویت می‌کند. بنابراین، یادگیری را به یک فرآیند فعال تبدیل می‌کند. در قبرس شمالی ۱۰۰ نفر از دانش‌آموزان را با روش تدریس ترکیبی نقشه مفهومی-کاوشری 5E در قالب یک پژوهش تجربی آموزش دادند و در پایان پژوهش دریافتند که این روش سبب یادگیری مفهومی مباحث

¹ Bhattacharya² Johnstone³ Nesbit⁴ Karakuyu

اسید و باز، فلز و غیرفلز، و پیوند کووالانسی شده است (واروگلو و همکاران، ۲۰۲۳). با توجه به نظر پیازه، نقشه مفهومی از طریق همبستگی‌های بین مفاهیم سبب استقرار و دایمی شدن مفاهیم آموخته شده و آسان شدن یادگیری مفاهیم جدید می‌شود (بالیم، اورکلی و آیدین، ۲۰۰۶). یکی از تلاش‌هایی که می‌تواند برای بهبود اثربخشی یادگیری انجام شود، درگیر کردن ذهن بالقوه خود دانش‌آموزان در یادگیری است (اوتامی، یولیانتو و هیدایه، ۲۰۲۱). طراحی نقشه مفهومی سبب قرارگرفتن دانش‌آموزان در موقعیت‌هایی می‌شود که ممکن است تصورات قبلی آنها را به چالش بکشد و تضادهایی ایجاد کند تا آنها را در مسیر کشف تلاش‌های فردی خود تشویق کند یا با همسالان، معلم یا بزرگان خود در بحث شرکت کند (ولدیمانوئل^۱، آباته و برهانه، ۲۰۲۰). همچنین استادان و مدرسان می‌توانند، نقشه‌های مفهومی را برای مشاهده توانایی دانشجویان در ارتباط بین جهان‌های میکروسکوپی و ماکروسکوپی تجزیه و تحلیل کنند و نادرستی، ناقص یا کاملاً ناقص بودن یادگیری آنها را تشخیص دهند (فرانسیسکو و همکاران، ۲۰۲۲). معلمان از طریق بررسی نقشه‌های مفهومی دانش‌آموزان می‌توانند از وجود تصورات غلطی که "موانع" بالقوه برای ساخت دانش جدید و معنادار هستند، آگاه باشند (رگیس^۲، آلبرتازی و رولتو، ۱۹۹۶). علاوه بر این، نقشه ذهنی مغز را قادر می‌سازد تا از فرآیندهای ایجاد همبستگی استفاده کند، بنابراین خلاقیت و رشد افراد را تسهیل می‌کند (بالیم، اورکلی و آیدین، ۲۰۰۶). زیرا هرچه شاخه‌های بیشتری در نقشه مفهومی ایجاد کنند، مسیرهای بیشتری در سامانه عصبی مغز آنها وجود دارد و به عبارت دیگر دانش بیشتری دارند (آیال^۳ و همکاران، ۲۰۱۶). فعالیت اتصال مفاهیم از طریق استفاده از نقشه ذهنی می‌تواند منجر به افزایش درک دانش‌آموزان و تفکر در سطح عمیق‌تر شود (آریاتون^۴ و اوکتاویانیلیس، ۲۰۲۰) این تکنیک ضمن کمک به سازماندهی اطلاعات قبل از یادگیری، مهارت‌های تفکر انتقادی دانش‌آموزان را بهبود می‌بخشد. بنابراین نقشه ذهنی سبب سازماندهی ایده‌ها و افکار به گونه‌ای واضح‌تر و منطقی‌تر می‌شود. یک پژوهش بر روی معلمان ابتدایی نشان داد، استفاده از نقشه‌های مفهومی موجب افزایش مهارت‌های تفکر انتقادی و خلاقیت معلمان می‌شود (سیلوا و همکاران، ۲۰۲۲). پژوهشگران دریافته‌اند که نقشه مفهومی به دانش‌آموزان کمک می‌کند تا عملکرد سؤالات سطح شناختی بالا را بهبود بخشند، دقت و پیچیدگی دانش دانش‌آموزان را افزایش دهند و نگرش مثبت‌تری نسبت به یادگیری علم داشته باشند (تان^۵، اردیمز و زیمرمن، ۲۰۱۷). به گفته بوزان استفاده از نقشه‌های ذهنی به افراد به شرح زیر کمک می‌کند: خلاقیت و تفکر خلاقانه؛ حل مسئله؛ تمرکز بر موضوع؛ سازماندهی افکار؛ به‌خاطر سپردن بهتر؛ کار مؤثرتر و سریع‌تر؛ کار ساده؛ توانایی دیدن نقشه

¹ Woldeamanuel² Regis³ Ayal⁴ Ariyatun⁵ Tan

کامل موضوع آموزشی در یک نگاه (بوزان، ۲۰۰۵). پژوهشی دیگر نشان داد استفاده از نقشه مفهومی توسط دانش‌آموزان سبب افزایش تمایل و انگیزه بیشتر آنان به آموزش شیمی شد (نینگیش و سید، ۲۰۱۸). نقشه مفهومی ضمن مزایای فراوانی که اشاره شد در اجرا با مشکلاتی روبه‌رو است. چونگ موانع ناشی از اجرای این روش پژوهش را در یک مطالعه با معلمان شیمی به شرح زیر فهرست کرده است: زمان ناکافی، باورهای معلمان، کمبود مواد آموزشی مؤثر، مشکلات آموزشی، مشکلات مدیریتی، کلاس‌های شلوغ، مسائل امنیتی، ترس از تشویق دانش‌آموزان به سوءتفاهم، شکایات دانش‌آموزان، ترس از ارزیابی، و غیره (چونگ^۱، ۲۰۰۸). متأسفانه، برخی دانش‌آموزان نقشه‌های مفهومی را محدودکننده می‌دانند و این تصور ممکن است منجر به ایجاد نگرش منفی نسبت به استفاده از نقشه‌های مفهومی شود. به نظر می‌رسد برخی از دانش‌آموزان از یک رویکرد الگوریتمی برای طراحی نقشه‌برداری مفهومی استفاده می‌کنند. متأسفانه این دانش‌آموزان نمی‌دانند که نقشه‌های مفهومی قالب خاصی ندارند و هر دانش‌آموز با توجه به میزان درک و یادگیری و خلاقیت خود نقشه مفهومی منحصر به خود را طراحی می‌کند (فرانسیسکو و همکاران، ۲۰۰۲). فرا تحلیل بر روی ۵۸ مقاله چاپ شده در مجلات معتبر نشان داد که استفاده از این روش در دانش‌آموزان در کشورهای گوناگون و با توانایی‌های یادگیری مختلف موجب افزایش پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان در آموزش علوم شده است (آناستاسیو و همکاران، ۲۰۲۴). با وجود پژوهش‌های زیاد در مورد کارایی نقشه‌های مفهومی، تحقیقات کمی در مورد میزان کارایی انواع نقشه‌های مختلف انجام شده است (ونگ^۲ و همکاران، ۲۰۲۱).

روش پژوهش

پژوهش حاضر، بنیادی بوده و روش انجام آن از نوع توصیفی-همبستگی است. ابزار گردآوری داده‌ها یک آزمون محقق‌ساخته بود. ابتدا جدول هدف-محتوای مبحث ترکیب‌های یونی براساس سطوح یادگیری بلوم، طراحی شد و پس از تایید این جدول، تعدادی سؤال چهارگزینه‌ای طراحی شد که پس از اصلاح و اعمال نظرات هفت متخصص باتجربه، با بررسی ضرایب دشواری، تمیز و مقدار ضریب آلفا کلی آزمون پس از حذف هر سؤال، سؤالات نامناسب حذف و در آزمون نهایی ۳۵ سؤال باقی‌ماند که در جدول ۱ مقادیر این شاخص‌ها نشان داده شده است. روایی این آزمون به روش روایی محتوایی و پایایی آن نیز با روش ضریب کودرچاردسون ۲۰ بررسی شد که مقدار آن ۰/۹۳۴ به دست آمد که بیانگر پایایی عالی آن است. جامعه آماری این پژوهش کلیه دانش‌آموزان دبیرستان شهرهای قم، ورامین و کوه‌دشت در رشته‌های علوم تجربی و ریاضی - فیزیک در حال تحصیل بود که تعداد ۲۰۸ دانش‌آموز براساس مطالعات کلان^۳ (۲۰۰۵) به عنوان

¹ Cheung

² Wang

³ Kline

نمونه آماری به صورت داوطلبانه در این پژوهش شرکت کردند و به سؤالات آزمون پاسخ دادند. براساس دیدگاه کلاین، حجم نمونه در پژوهش‌های همبستگی بر اساس حاصل ضرب هر متغیر یا سؤال در ۲/۵ الی ۵ به دست می‌آید (صالح صدق‌پور و همکاران، ۱۳۸۹). برای پاسخ‌های درست به هر سؤال عدد ۱ و برای پاسخ‌های غلط عدد صفر منظور شد و این داده‌ها با نرم‌افزار SPSS تحلیل عامل شدند و هفت عامل اصلی این مبحث استخراج شد. سپس مدل نظری بر مبنای نظرات کارشناسان ارشد آموزش شیمی طراحی شد و این مدل با روش تحلیل مسیر و با نرم‌افزار AMOS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. از بین روش‌های مختلف تحلیل مسیر، روش مدل‌یابی معادلات ساختاری به کار گرفته شده است. جهت کشف و تدوین مدل روابط ساختاری مبحث، ابتدا ماتریس همبستگی کلیه مفاهیم تشکیل دهنده محاسبه شد، سپس با استفاده از نتایج محاسبات آماری، مدل تجربی تدوین و روابط مستقیم و غیرمستقیم اندازه‌گیری شده است. همچنین برازش مدل مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها

در جدول ۱ مقادیر شاخص‌های ضریب دشواری، تمیز و آلفا پس از حذف هر سؤال آورده است. با توجه به این سه شاخص سؤالات نامناسب حذف و ۳۵ سؤال به عنوان ابزار اصلی در آزمون باقی ماندند.

جدول ۱- ضریب دشواری، تمیز و آلفا سؤالات آزمون

شماره سؤال	ضریب همبستگی	ضریب دشواری	ضریب آلفا	شماره سؤال	ضریب همبستگی	ضریب دشواری	ضریب آلفا
۱	۰/۵۴۰	۰/۷۲	۰/۸۸۰	۱۹	۰/۰۹۲	۰/۵۹	۰/۸۸۶
۲	۰/۳۸۳	۰/۳۸	۰/۸۹۳	۲۰	۰/۵۸۰	۰/۷۲	۰/۸۷۹
۳	۰/۵۷۵	۰/۸۱	۰/۸۷۹	۲۱	۰/۵۵۸	۰/۴۲	۰/۸۷۸
۴	۰/۴۹۱	۰/۸۵	۰/۸۸۱	۲۲	۰/۳۰۳	۰/۵۳	۰/۸۸۳
۵	۰/۵۱۳	۰/۷۳	۰/۸۷۹	۲۳	۰/۶۱۵	۰/۴۳	۰/۸۷۷
۶	۰/۵۰۷	۰/۸۷	۰/۸۸۰	۲۴	۰/۵۲۷	۰/۷۲	۰/۸۷۹
۷	۰/۴۲۴	۰/۵۶	۰/۸۸۱	۲۵	۰/۶۲۵	۰/۷۱	۰/۸۷۸
۸	۰/۵۹۳	۰/۵۰	۰/۸۷۸	۲۶	۰/۱۷۱	۰/۶۴	۰/۸۸۵
۹	۰/۴۶۸	۰/۵۷	۰/۸۸۰	۲۷	۰/۷۱۲	۰/۵۷	۰/۸۷۶
۱۰	۰/۵۲۷	۰/۲۹	۰/۸۷۹	۲۸	۰/۵۷۵	۰/۷۶	۰/۸۷۹
۱۱	۰/۶۳۶	۰/۴۸	۰/۸۷۷	۲۹	۰/۳۸۹	۰/۶۳	۰/۸۸۱
۱۲	۰/۳۸۲	۰/۷۲	۰/۸۸۱	۳۰	۰/۴۰۵	۰/۶۱	۰/۸۸۱
۱۳	۰/۴۵۱	۰/۷۷	۰/۸۸۰	۳۱	۰/۴۲۸	۰/۷۸	۰/۸۸۱
۱۴	۰/۵۸۹	۰/۳۴	۰/۸۷۸	۳۲	۰/۳۸۰	۰/۴۹	۰/۸۸۱
۱۵	۰/۴۸۳	۰/۶۸	۰/۸۸۰	۳۳	۰/۸۵۷	۰/۴۴	۰/۸۷۳
۱۶	۰/۸۰۸	۰/۵۲	۰/۸۷۴	۳۴	۰/۶۲۶	۰/۶۷	۰/۸۷۸
۱۷	۰/۵۴۱	۰/۳۰	۰/۸۷۹	۳۵	۰/۰۸۵	۰/۴۸	۰/۸۸۶
۱۸	۰/۴۰۷	۰/۵۷	۰/۸۸۱				

پس از برگزاری آزمون پاسخ‌نامه‌های دانش‌آموزان تحلیل عامل شد و هفت عامل اصلی به‌دست آمد که این عوامل و ماتریس همبستگی آنها در جدول ۲ نشان داده شده‌است.

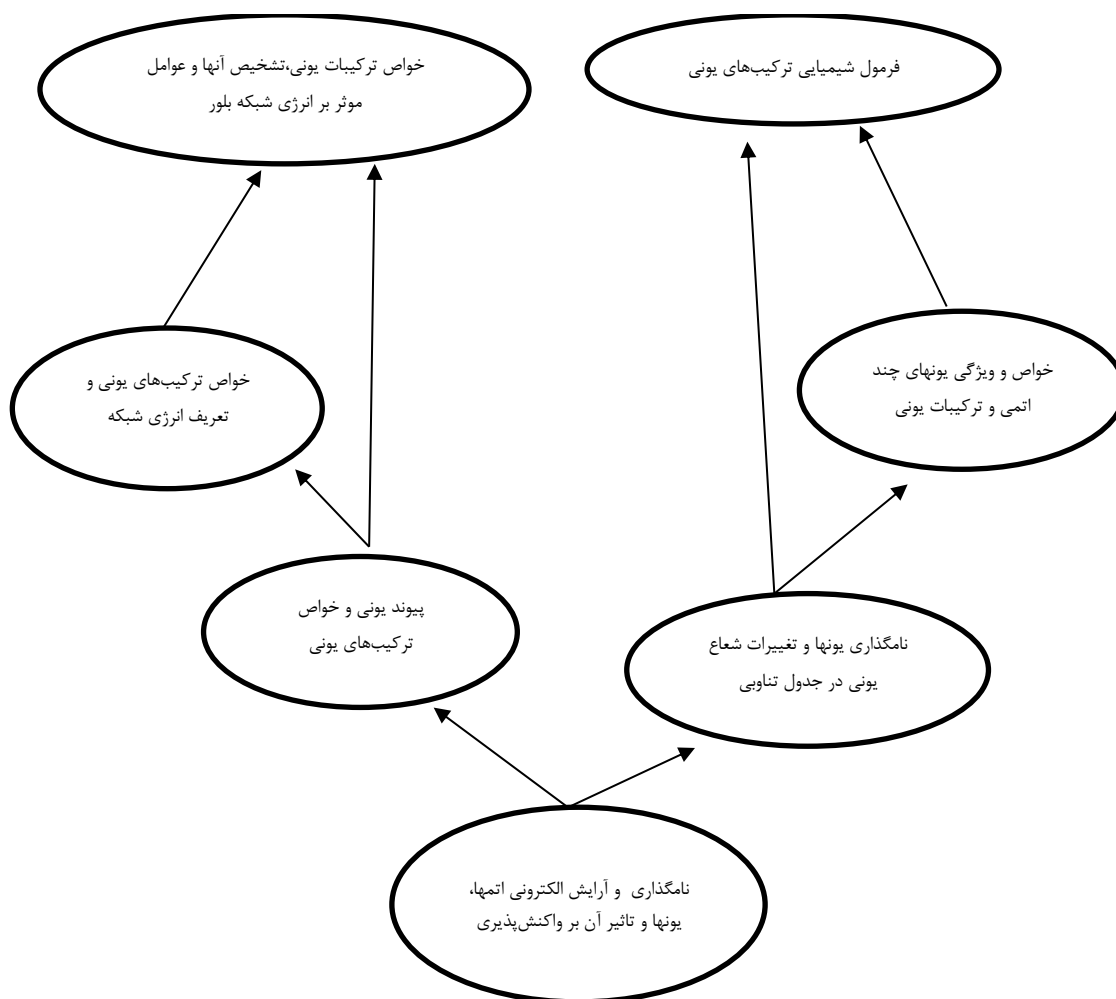
جدول ۲- ماتریس همبستگی عوامل مربوط به مبحث ترکیب‌های یونی

متغیر	بلور	خواص ترکیب‌های یونی، تشخیص آنها و عوامل مؤثر بر انرژی شبکه	نام‌گذاری و آرایش الکترونی اتم‌ها، یون‌ها و تأثیر آن بر واکنش‌پذیری	فرمول شیمیایی ترکیب‌های یونی	خواص و ویژگی‌های یون‌های چنداتی و ترکیب‌های یونی	نام‌گذاری یون‌ها و تغییرات شعاع یونی در جدول تناوبی	خواص ترکیب‌های یونی و تعریف انرژی شبکه	پیوند یونی و خواص ترکیب‌های یونی
خواص ترکیب‌های یونی، تشخیص آنها و عوامل مؤثر بر انرژی شبکه بلور	۱	۰/۴۳۲**	۰/۴۴۶**	۰/۳۹۰**	۰/۳۷۷**	۰/۱۷۶*	۰/۲۶۰**	
نام‌گذاری و آرایش الکترونی اتم‌ها، یون‌ها و تأثیر آن بر واکنش‌پذیری	-	۱	۰/۲۹۵**	۰/۲۶۷**	۰/۲۸۵**	۰/۱۵۱*	۰/۲۶۵**	
فرمول شیمیایی ترکیب‌های یونی	-	-	۱	۰/۳۴۸**	۰/۳۳۲**	۰/۲۱۲**	۰/۲۹۳**	
خواص و ویژگی‌های یون‌های چنداتی و ترکیب‌های یونی	-	-	-	۱	۰/۲۵۶**	۰/۲۵۴**	۰/۲۸۵**	
نام‌گذاری یون‌ها و تغییرات شعاع یونی در جدول تناوبی	-	-	-	-	۱	۰/۱۰۴	۰/۲۵۸**	
خواص ترکیب‌های یونی و تعریف انرژی شبکه	-	-	-	-	-	-	۱	۰/۲۳۹**
پیوند یونی و خواص ترکیب‌های یونی	-	-	-	-	-	-	-	۱

* مربوط به ضریب همبستگی بین عواملی است که $P < 0.05$ ، است.

** مربوط به ضریب همبستگی بین عواملی است که $P < 0.01$ ، است.

در جدول ۲، وزن و اندازه‌ی کلیه‌ی روابط بین متغیرهای مکنون با یکدیگر و روابط بین متغیرهای مکنون با متغیرهای اندازه‌گیری شده براساس ماتریس همبستگی متغیرها مشخص شده‌است. ماتریس همبستگی نشان‌دهنده‌ی همبستگی‌های دو متغیری بین متغیرهای پژوهش است. سپس مدل نظری اولیه این پژوهش برای این هفت عامل براساس نظرات هشت متخصص آموزش شیمی طراحی شد که شکل ۱ مفاهیم تشکیل‌دهنده‌ی مبحث ترکیب‌های یونی و روابط میان آنها را در قالب یک مدل نظری و اولیه نشان می‌دهد.



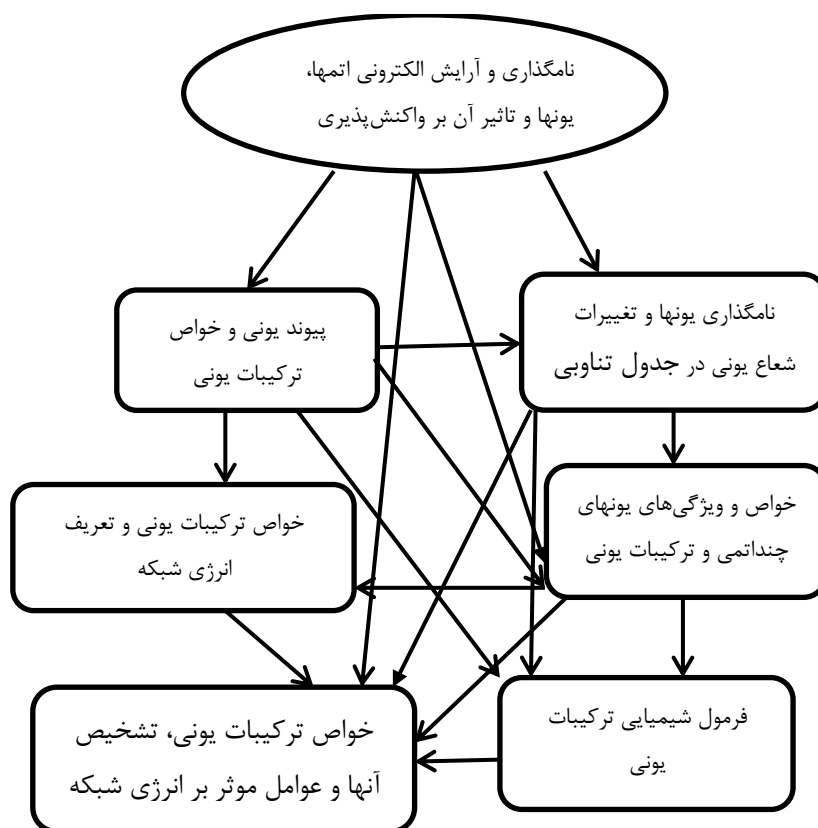
شکل ۱- مدل نظری مبحث ترکیبهای یونی

اولین موضوعی که در کتاب درسی شیمی دوم دبیرستان و در این پژوهش به آن پرداخته شده نامگذاری اتم و یونها و تأثیر آن بر واکنش پذیری است که در واقع پیش‌نیاز سایر مباحث ترکیبهای یونی می‌باشد. در کتاب شیمی دوم دبیرستان برای آموزش و یادگیری مبحث آرایش الکترونی و تأثیر آن بر واکنش پذیری به مقایسه آرایش الکترونی اتم‌های کلر، آرگون و پتاسیم پرداخته شده‌است و مفهوم قاعده‌ی هشتایی (اوکت) را بیان می‌کند. همچنین چگونگی رسیدن فلزات و نافلزات به آرایش پایدار و تبدیل آن‌ها به یون (کاتیون و آنیون) را بررسی کرده و به نامگذاری یون‌های تک‌اتمی پرداخته شده‌است. عامل نامگذاری اتم و یونها، آرایش الکترونی و تأثیر آن بر واکنش پذیری به‌طور مستقیم هم بر عامل پیوند یونی و خواص ترکیبهای یونی و هم بر عامل نامگذاری یونها، تغییرات شعاع یونی در جدول تناوبی تأثیرگذار است. عامل دوم در مدل نظری نامگذاری یونها، تغییرات شعاع یونی در جدول تناوبی است که در کتاب شیمی دوم دبیرستان به نامگذاری یون‌های تک‌اتمی و چنداتمی و یون‌های فلزات واسطه پرداخته شده‌است و سپس با ذکر مثال

سدیم کلرید برای ترکیب‌های یونی تغییرات شعاع یون‌ها در مقایسه با شعاع اتم‌ها هنگام تشکیل ترکیب یونی را بیان می‌کند. عامل سوم در مدل نظری پیوند یونی و خواص ترکیب‌های یونی است که تشکیل پیوند یونی بین اتم‌ها و تعریف عدد کوئوردیناسیون و ترکیب یونی (نمک) را بیان می‌کند و به خواص ترکیب‌های یونی (رسانایی ترکیب‌های یونی در حالت محلول و مذاب، نقطه‌ی ذوب و جوش بالا، شکنندگی، انرژی شبکه) پرداخته شده‌است. عامل چهارم در مدل نظری خواص ترکیب‌های یونی و تعریف انرژی شبکه است که خواص ترکیب‌های یونی و تعریف انرژی شبکه را بیان می‌کند. این عامل بازخوردی از عامل پیوند یونی و خواص ترکیب‌های یونی است. عامل پنجم خواص ترکیب‌های یونی، تشخیص آنها و عوامل مؤثر بر انرژی شبکه بلور است که خواص ترکیب‌های یونی و تشخیص آنها از ترکیب‌های کووالانسی را بیان می‌کند و به عوامل مؤثر بر انرژی شبکه بلور (بار یون و شعاع یون) پرداخته شده‌است که انرژی شبکه بلور یک ترکیب یونی با بار یون رابطه‌ی مستقیم و با شعاع یون رابطه‌ی عکس دارد. عامل پیوند یونی و خواص ترکیب‌های یونی و عامل خواص ترکیب‌های یونی و تعریف انرژی شبکه به‌طور مستقیم بر عامل خواص ترکیبات یونی، تشخیص آنها و عوامل مؤثر بر انرژی شبکه بلور تأثیرگذار است. عامل ششم در مدل نظری خواص و ویژگی یون‌های چنداتمی و ترکیبات یونی است که به تعریف یون چنداتمی پرداخته شده‌است و همچنین نوع پیوند را در ساختار یون‌های چنداتمی بیان می‌کند. این عامل بازخوردی از عامل نام‌گذاری یون‌ها، تغییرات شعاع یونی در جدول تناوبی است. عامل هفتم در مدل نظری فرمول شیمیایی ترکیب‌های یونی است که فرمول شیمیایی ترکیب‌های یونی دو اتمی و چنداتمی را بیان می‌کند. عامل نام‌گذاری یون‌ها، تغییرات شعاع یونی در جدول تناوبی و عامل خواص و ویژگی یون‌های چنداتمی و ترکیبات یونی به‌طور مستقیم بر فرمول شیمیایی ترکیبات یونی تأثیرگذار هستند.

در مرحله بعد با استفاده از تحلیل مسیر و مدل‌سازی معادلات ساختاری با استفاده از نرم‌افزار *AMOS* مدل تجربی

نهایی برای مبحث ترکیب‌های یونی به‌دست آمد که در شکل ۲ نشان داده شده‌است.



شکل ۲- مدل تجربی مبحث ترکیب های یونی

شکل ۲ نشان می دهد که "نام گذاری و آرایش الکترونی اتمها، یونها و تاثیر آن بر واکنش پذیری" اولین و مفهوم و پیش نیاز این مبحث است که دانشجویان یاد می گیرند و در آموزش و این اولین هدف آموزشی است که باید تدریس شود. فلش های نشان داده شده در شکل ۲ نشان می دهد که این مفهوم به صورت مستقیم بر یادگیری ۴ مفهوم یا عامل دیگر مانند "پیوند یونی و خواص ترکیبات یونی" و... تاثیر می گذارد که میزان تاثیر آن در جدول ۳ ماتریس ضرایب همبستگی b و β مستقیم نشان داده شده است. بزرگی این ضرایب بیانگر تاثیر بیشتر آن در یادگیری مفهوم بعدی است به عنوان مثال ضرایب دانش نام گذاری و آرایش الکترونی اتمها، یونها و تاثیر آن بر واکنش پذیری با دانش پیوند یونی و خواص ترکیبات یونی ($b=0/240$ و $\beta=0/265$ ، $P<0/01$)، است و با توجه به مقدار سطح معنی داری که کوچکتر از $0/01$ است، یادگیری این مفهوم به اطمینان ۹۹ درصد بر یادگیری "پیوند یونی و خواص ترکیبات یونی" تاثیر می گذارد. در مورد سایر اطلاعات جدول نیز می توان این نتایج را بسط داد. جدول ۳ ضرایب همبستگی روابط مستقیم بین عوامل هفتگانه مبحث پیوند یونی و ترکیب های یونی را نشان می دهد. بر اساس داده های جدول تمامی روابط بین متغیرها به غیر از رابطه "پیوند یونی و خواص ترکیبات یونی با فرمول شیمیایی ترکیبات یونی" با سطح معنی داری کمتر از $0/05$ معنی دار هستند و این بدان معنی است که یادگیری متغیر مستقل (اول) بر یادگیری متغیر وابسته (دوم) تاثیر می گذارد اما بین دانش خواص

ترکیبات یونی و تعریف انرژی شبکه و دانش خواص ترکیبات یونی، تشخیص آنها و عوامل مؤثر بر انرژی شبکه بلور یک رابطه مستقیم ($b=0.041$ و $\beta=0.021$ و $t=0.355$ و $P>0.05$) وجود دارد که از نظر آماری معنادار نیست.

جدول ۳- ماتریس ضرایب همبستگی روابط مستقیم بین عوامل مبحث پیوند یونی و ترکیب‌های یونی

روابط مستقیم متغیرها در مدل	مقدار برآورد	خطای استاندارد	مقدار استاندارد شده	مقدار t	سطح معناداری
رابطه نام‌گذاری و آرایش الکترونی اتم‌ها، یون‌ها و تأثیر آن بر واکنش‌پذیری با پیوند یونی و خواص ترکیبات یونی	۰/۲۴۰	۰/۰۶۱	۰/۲۶۵	۳/۹۴۷	$P<0.01$
رابطه نام‌گذاری و آرایش الکترونی اتم‌ها، یون‌ها و تأثیر آن بر واکنش‌پذیری با نام‌گذاری یون‌ها و تغییرات شعاع یونی در جدول تناوبی	۰/۲۱۹	۰/۰۶۴	۰/۲۳۳	۳/۴۴۷	$P<0.01$
رابطه پیوند یونی و خواص ترکیبات یونی با نام‌گذاری یون‌ها و تغییرات شعاع یونی در جدول تناوبی	۰/۲۰۳	۰/۰۷۰	۰/۱۹۶	۲/۸۹۹	$P<0.01$
رابطه نام‌گذاری یون‌ها و تغییرات شعاع یونی در جدول تناوبی با خواص و ویژگی‌های یون‌های چنداتمی و ترکیبات یونی	۰/۱۹۰	۰/۰۸۳	۰/۱۵۶	۲/۲۸۰	$P<0.05$
رابطه پیوند یونی و خواص ترکیبات یونی با خواص و ویژگی‌های یون‌های چنداتمی و ترکیبات یونی	۰/۲۵۲	۰/۰۸۶	۰/۲۰۰	۲/۹۳۹	$P<0.01$
رابطه نام‌گذاری و آرایش الکترونی اتم‌ها، یون‌ها و تأثیر آن بر واکنش‌پذیری با خواص و ویژگی‌های یون‌های چنداتمی و ترکیبات یونی	۰/۱۹۳	۰/۰۷۸	۰/۱۶۹	۲/۴۶۵	$P<0.05$
رابطه پیوند یونی و خواص ترکیبات یونی با خواص ترکیبات یونی و تعریف انرژی شبکه	۰/۱۸۴	۰/۰۷۰	۰/۱۸۲	۲/۶۳۴	$P<0.01$
رابطه نام‌گذاری یون‌ها و تغییرات شعاع یونی در جدول تناوبی با فرمول شیمیایی ترکیبات یونی	۰/۳۱۸	۰/۰۹۲	۰/۲۲۷	۳/۴۷۹	$P<0.01$
رابطه خواص و ویژگی‌های یون‌های چنداتمی و ترکیبات یونی با فرمول شیمیایی ترکیبات یونی	۰/۲۸۰	۰/۰۷۶	۰/۲۴۳	۳/۶۸۶	$P<0.01$
رابطه خواص و ویژگی‌های یون‌های چنداتمی و ترکیبات یونی با خواص ترکیبات یونی و تعریف انرژی شبکه	۰/۱۶۳	۰/۰۵۶	۰/۲۰۲	۲/۹۳۳	$P<0.01$
رابطه پیوند یونی و خواص ترکیبات یونی با فرمول شیمیایی ترکیبات یونی	۰/۲۳۹	۰/۰۹۶	۰/۱۶۵	۲/۵۰۲	$P<0.05$
رابطه خواص ترکیبات یونی و تعریف انرژی شبکه با خواص ترکیبات یونی، تشخیص آنها و عوامل مؤثر بر انرژی شبکه بلور	۰/۰۴۱	۰/۱۱۵	۰/۰۲۱	۰/۳۵۵	$P>0.05$
رابطه فرمول شیمیایی ترکیبات یونی با خواص ترکیبات یونی، تشخیص آنها و عوامل مؤثر بر انرژی شبکه بلور	۰/۳۳۸	۰/۰۸۶	۰/۲۴۵	۳/۹۵۴	$P<0.01$
رابطه نام‌گذاری و آرایش الکترونی اتم‌ها، یون‌ها و تأثیر آن بر واکنش‌پذیری با خواص ترکیبات یونی، تشخیص آنها و عوامل مؤثر بر انرژی شبکه بلور	۰/۴۷۳	۰/۱۰۹	۰/۲۶۰	۴/۳۵۱	$P<0.01$
رابطه خواص و ویژگی‌های یون‌های چنداتمی و ترکیبات یونی با خواص ترکیبات یونی، تشخیص آنها و عوامل مؤثر بر انرژی شبکه بلور	۰/۳۰۱	۰/۱۰۰	۰/۱۸۹	۲/۹۹۳	$P<0.01$

رابطه نام‌گذاری یون‌ها و تغییرات شعاع یونی در جدول تناوبی و با خواص ترکیبات یونی، تشخیص آنها و عوامل مؤثر بر انرژی شبکه بلور	۰/۳۳۶	۰/۱۱۹	۰/۱۷۳	۲/۸۱۴	$P < ۰/۰۱$
--	-------	-------	-------	-------	------------

جدول ۴- ماتریس ضرایب همبستگی روابط کلی بین عوامل مبحث پیوند یونی و ترکیب‌های یونی

روابط کلی متغیرها در مدل	مقدار برآورد	خطای استاندارد	مقدار استاندارد شده	مقدار t	سطح معناداری
رابطه نام‌گذاری و آرایش الکترونی اتم‌ها، یون‌ها و تأثیر آن بر واکنش‌پذیری با پیوند یونی و خواص ترکیبات یونی	۰/۲۴۰	۰/۰۶۱	۰/۲۶۵	۳/۹۳۴	$P < ۰/۰۱$
رابطه نام‌گذاری و آرایش الکترونی اتم‌ها، یون‌ها و تأثیر آن بر واکنش‌پذیری با نام‌گذاری یون‌ها و تغییرات شعاع یونی در جدول تناوبی	۰/۲۶۸	۰/۰۶۴	۰/۲۸۵	۴/۱۸۷	$P < ۰/۰۱$
رابطه پیوند یونی و خواص ترکیبات یونی با نام‌گذاری یون‌ها و تغییرات شعاع یونی در جدول تناوبی	۰/۲۰۳	۰/۰۷۰	۰/۱۹۶	۲/۹	$P < ۰/۰۱$
رابطه نام‌گذاری و آرایش الکترونی اتم‌ها، یون‌ها و تأثیر آن بر واکنش‌پذیری با خواص و ویژگی‌های یون‌های چنداتمی و ترکیبات یونی	۰/۳۰۴	۰/۰۷۸	۰/۲۶۷	۳/۸۹۷	$P < ۰/۰۱$
رابطه پیوند یونی و خواص ترکیبات یونی با خواص و ویژگی‌های یون‌های چنداتمی و ترکیبات یونی	۰/۲۹۰	۰/۰۸۶	۰/۲۳۱	۳/۳۷۲	$P < ۰/۰۱$
رابطه نام‌گذاری یون‌ها و تغییرات شعاع یونی در جدول تناوبی با خواص و ویژگی‌های یون‌های چنداتمی و ترکیبات یونی	۰/۱۹۰	۰/۰۸۳	۰/۱۵۶	۲/۲۸۹	$P < ۰/۰۵$
رابطه نام‌گذاری و آرایش الکترونی اتم‌ها، یون‌ها و تأثیر آن بر واکنش‌پذیری با فرمول شیمیایی ترکیبات یونی	۰/۲۲۸	۰/۰۹۶	۰/۱۷۳	۲/۳۷۵	$P < ۰/۰۵$
رابطه پیوند یونی و خواص ترکیبات یونی با فرمول شیمیایی ترکیبات یونی	۰/۳۸۵	۰/۰۹۶	۰/۲۶۵	۴/۰۱۰	$P < ۰/۰۱$
رابطه نام‌گذاری یون‌ها و تغییرات شعاع یونی در جدول تناوبی با فرمول شیمیایی ترکیبات یونی	۰/۳۷۲	۰/۰۹۲	۰/۲۶۵	۴/۰۴۳	$P < ۰/۰۱$
رابطه خواص و ویژگی‌های یون‌های چنداتمی و ترکیبات یونی با فرمول شیمیایی ترکیبات یونی	۰/۲۸۰	۰/۰۷۶	۰/۲۴۳	۳/۶۸۴	$P < ۰/۰۱$
رابطه نام‌گذاری و آرایش الکترونی اتم‌ها، یون‌ها و تأثیر آن بر واکنش‌پذیری با خواص ترکیبات یونی و تعریف انرژی شبکه	۰/۰۹۴	۰/۰۷۸	۰/۱۰۲	۱/۲۰۵	$P > ۰/۰۵$
رابطه پیوند یونی و خواص ترکیبات یونی با خواص ترکیبات یونی و تعریف انرژی شبکه	۰/۲۳۱	۰/۰۷۰	۰/۲۲۸	۳/۳	$P < ۰/۰۱$
رابطه نام‌گذاری یون‌ها و تغییرات شعاع یونی در جدول تناوبی با خواص ترکیبات یونی و تعریف انرژی شبکه	۰/۰۳۱	۰/۰۸۳	۰/۰۳۲	۰/۳۷۳	$P > ۰/۰۵$
رابطه خواص و ویژگی‌های یون‌های چنداتمی و ترکیبات یونی با خواص ترکیبات یونی و تعریف انرژی شبکه	۰/۱۶۳	۰/۰۵۶	۰/۲۰۲	۲/۹۱۰	$P < ۰/۰۱$
رابطه نام‌گذاری و آرایش الکترونی اتم‌ها، یون‌ها و تأثیر آن بر واکنش‌پذیری با خواص ترکیبات یونی، تشخیص آنها و عوامل مؤثر بر انرژی شبکه بلور	۰/۷۳۵	۰/۱۰۹	۰/۴۰۵	۶/۷۴۳	$P < ۰/۰۱$
رابطه پیوند یونی، خواص ترکیبات یونی، تشخیص آنها و عوامل مؤثر بر انرژی شبکه بلور	۰/۲۹۵	۰/۱۱۹	۰/۱۴۷	۲/۴۷۸	$P < ۰/۰۵$
رابطه نام‌گذاری یون‌ها و تغییرات شعاع یونی در جدول تناوبی با خواص ترکیبات یونی، تشخیص آنها و عوامل مؤثر بر انرژی شبکه بلور	۰/۵۲۰	۰/۱۱۹	۰/۲۶۹	۴/۳۶۹	$P < ۰/۰۱$
رابطه خواص و ویژگی‌های یون‌های چنداتمی و ترکیبات یونی با خواص ترکیبات یونی، تشخیص آنها و عوامل مؤثر بر انرژی شبکه بلور	۰/۴۰۲	۰/۱۰۰	۰/۲۵۳	۴/۰۲	$P < ۰/۰۱$
رابطه فرمول شیمیایی ترکیبات یونی با خواص ترکیبات یونی، تشخیص آنها و عوامل مؤثر بر انرژی شبکه بلور	۰/۳۳۸	۰/۰۸۶	۰/۲۴۵	۳/۹۳۰	$P < ۰/۰۱$
رابطه خواص ترکیبات یونی و تعریف انرژی شبکه با خواص ترکیبات یونی، تشخیص آنها و عوامل مؤثر بر انرژی شبکه بلور	۰/۰۴۱	۰/۱۱۵	۰/۰۲۱	۰/۳۵۶	$P > ۰/۰۵$

در جدول ۴ بیست رابطه بین هفت عامل به دست آمده از تحلیل عامل بیان شده است و جز ۳ مورد سایر روابط با سطح معنی داری کمتر از ۰/۰۵ با اطمینان ۹۵ درصد معنی دار هستند و به معنی آن است که یادگیری متغیر مستقل (عامل اول) بر یادگیری متغیر وابسته (عامل دوم) مؤثر است. اما بین دانش خواص ترکیبات یونی و تعریف انرژی شبکه و دانش خواص ترکیبات یونی، تشخیص آنها و عوامل مؤثر بر انرژی شبکه بلور ($b=0/041$ و $\beta=0/021$ و $t=0/356$ و $P>0/05$)، دانش نام گذاری و آرایش الکترونی اتمها، یونها و تأثیر آن بر واکنش پذیری با دانش خواص ترکیبات یونی و تعریف انرژی شبکه ($b=0/094$ و $\beta=0/102$ و $t=1/205$ و $P>0/05$)، دانش نام گذاری یونها و تغییرات شعاع یونی در جدول تناوبی با دانش خواص ترکیبات یونی و تعریف انرژی شبکه ($b=0/031$ و $\beta=0/032$ و $t=0/373$ و $P>0/05$) روابطی کلی وجود دارد که از نظر آماری معنادار نیستند. در نهایت برای بررسی برازش کلی مدل تجربی نهایی از ۱۰ شاخص آماری مختلف استفاده شد که در جدول ۵ مقادیر این شاخصها آمده است. با مشاهده مقادیر این شاخصها و مقایسه آن با دامنه قابل قبول هر شاخص می توان دریافت که از نظر تمامی این شاخصها مدل نهایی مورد تایید است. بنابراین مدل از برازش مناسبی برخوردار است

جدول ۵- شاخصهای برازندگی مدل

شاخص	مقدار	دامنه مورد قبول	نتیجه
χ^2/df	۱/۴۴۹	< 2	تایید مدل
RMR	۰/۰۳۲	نزدیک به صفر	تایید مدل
GFI	۰/۹۹	$> 0/9$	تایید مدل
AGFI	۰/۹۴۳	$> 0/9$	تایید مدل
TLI	۰/۹۵۷	$> 0/9$	تایید مدل
IFI	۰/۹۹۱	$> 0/9$	تایید مدل
CFI	۰/۹۹۰	$> 0/9$	تایید مدل
RMSEA	۰/۰۴۷	$< 0/05$	تایید مدل
PCLOSE	۰/۴۵۵	$> 0/05$	تایید مدل
AIC	۵۳/۲۴۴	$\neq 0$	تایید مدل

بحث و نتیجه گیری

در مدل تجربی مبحث ترکیبهای یونی، عامل نام گذاری و آرایش الکترونی اتمها، یونها و تأثیر آن بر واکنش پذیری پیش نیاز سایر عوامل است. بعد از آشنایی با نامگذاری و آرایش الکترونی اتمها، یونها و تأثیر آن بر واکنش پذیری و اینکه فلزها و نافلزها چگونه به آرایش پایدار می رسند، دانش پیوند یونی و خواص ترکیبات یونی بیان می شود. این عامل، پیش نیازی برای یادگیری چهار مفهوم است که عبارتند از: نام گذاری یونها و تغییرات شعاع یونی در جدول تناوبی، خواص و ویژگیهای یونهای چند اتمی و ترکیبات یونی، خواص ترکیبات یونی و تعریف انرژی شبکه، فرمول شیمیایی

ترکیبات یونی. اگر فراگیران مفهوم پیوند یونی را درک کنند و بتوانند چگونگی تشکیل این نوع پیوند را شرح دهند، آنگاه می‌توانند، خواص ترکیبات یونی را بر مبنای چنین پیوندی توجیه کنند. دانستن دانش پیوند یونی و خواص ترکیبات یونی باعث یادگیری دانش نام‌گذاری یون‌ها و تغییرات شعاع یونی در جدول تناوبی می‌شود که این عامل پیش‌نیازی برای یادگیری مفاهیم خواص و ویژگی‌های یون‌های چنداتمی و ترکیبات یونی و فرمول شیمیایی آنها هستند. فراگیر با دانستن نام‌گذاری یون‌های تک‌اتمی و چنداتمی می‌تواند، فرمول شیمیایی ترکیبات یونی را بنویسد. دانش خواص ترکیبات یونی و تعریف انرژی شبکه، پیش‌نیازی برای یادگیری مفهوم تشخیص آنها و عوامل مؤثر بر انرژی شبکه بلور است. فراگیر با دانستن اینکه یکی از عوامل مهم در تشکیل یک بلور انرژی شبکه‌ای آن است که به بار یون‌ها و شعاع یون‌ها بستگی دارد، می‌تواند انرژی شبکه ترکیب‌های یونی را با هم مقایسه کند و از طریق مقدار آن قدرت پیوند را در ترکیب‌های یونی تشخیص دهد. براساس این مدل، یادگیری عامل خواص ترکیبات یونی، تشخیص آنها و عوامل مؤثر بر انرژی شبکه بلور پیش‌نیاز یادگیری سایر عوامل نمی‌باشد. با مقایسه دو مدل تجربی و نظری این پژوهش، می‌توان گفت که مدل نظری ارائه شده در ابتدای مقاله به وسیله‌ی مدل تجربی به‌دست آمده مورد تایید قرار می‌گیرد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل تجربی به‌دست آمده یک مدل ساختاری مناسب از دانش یادگیرنده در این درس است. همچنین با توجه به این نقشه، می‌توان علاوه بر فرایند تدریس، تألیف کتاب درسی را نیز سازماندهی نمود و مطالب را بر اساس روابط مستقیم بین عوامل نوشت و در پایان تدوین هر مفهوم با نگارش یک مثال یا توضیح و... تأثیر آن را بر مفهوم بعدی بیان نمود تا این روابط به‌خوبی روشن و مورد تأکید قرار گیرند.

محدودیت‌های پژوهش

آزمون استاندارد علمی در ایران یا کشورهای دیگر برای این مبحث وجود نداشت و از یک آزمون محقق ساخته استفاده شد و با وجود بهره‌مندی از دانش و تجربه استادان و دبیران، ممکن است این آزمون خطاهایی داشته‌باشد. همچنین ممکن است دانش‌آموزان به آزمون، با علاقه و مطالعه کافی پاسخ نداده باشند البته برای کاهش این مسئله، امتیاز آزمون به‌عنوان نمره مستمر و زمان کافی نیز برای مطالعه آنان اعلام شد. به‌دلیل محدودیت در ورود به مدارس، این آزمون فقط برای دانش‌آموزان دختر اجرا شد و اگر دانش‌آموزان بیشتری و همچنین پسران در این پژوهش شرکت می‌کردند، بهتر بود. پیشنهاد می‌شود، این پژوهش در مدارس با جنسیت‌های مختلف و شهرهای مختلف و برای دانش‌آموزان با توانایی‌های علمی و اجتماعی و فرهنگی مختلف اجرا شود.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی طبق ابلاغ گزینش شماره ۵۹۷۳/۱۴۰ مورخ ۱۴۰۳/۰۴/۱۴ انجام گردیده است.

تعارض منافع

«هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است».

منابع

- صالح صدق پور، بهرام؛ اسدی، مسعود؛ میری، میرنادر (۱۳۸۹). رابطه نیازهای بنیادین و حمایت اجتماعی در سازگاری آموزشی. *اجتماعی و عاطفی دانش آموزان*. مجله روانشناسی، ۱۴(۴)، ۴۰۱-۴۱۶.
- Amani, V. and Zamani, K. (2019). Overview of the Application of Conceptual Mapping Software in Facilitating and Improving the Quality of Teaching and Learning of Chemistry. *Research in Chemistry Education*, 1(1), 15-34.
- Amma, C. (2005). Effectiveness of Computer Based Mind Maps in The Learning of Biology at The Higher Secondary Level. New Delhi: ICDE International Conference.
- Anastasiou, D., Wirngo, C. N., & Bagos, P. (2024). The Effectiveness of Concept Maps on Students' Achievement in Science: A Meta-Analysis. *Educational Psychology Review*, 36(2), 39.
- Ariyatun, A., & Octavianelis, D. F. (2020). Pengaruh model problem based learning terintegrasi stem terhadap kemampuan berpikir kritis siswa. *JEC: Journal of Educational Chemistry*, 2(1), 33. (In Indonesian)
- Ayal, C. S., Kusuma, Y. S., Sabandar, J., & Dahlan, J. A. (2016). The Enhancement of Mathematical Reasoning Ability of Junior High School Students by Applying Mind Mapping Strategy. *Journal of Education and Practice*, 7(25), 50-58.
- Azamat, J. and Khodaei, A. (2020). Investigating Students' Common Misconceptions on Concepts Related to Chemical Bonds. *Research in Chemistry Education*, 1(4), 73-89.
- Bahrami maddah, A. M. , Azamat, J. and Serkan, Z. (2023). The importance of teaching chemistry through practical work and its role in students' understanding. *Research in Chemistry Education*, 4(2), 336-354.
- Balim, A. G., Evrekli, E., & Aydin, G. (2006). The use of mind mapping technique in chemistry teaching. In *The 5th International Conference of the Chemical Societies of the South-East European Countries (10—14 Eylül 2006)* (pp. 1-7).

- Bamidele, E. F., Adetunji, A. A., Awodele, B. A., & Irinoye, J. (2013). Attitudes of Nigerian secondary school chemistry students towards concept mapping strategies in learning the mole concept. *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*, 2(2), 475-484.
- Bhattacharya, K. & Han, S. (2001) Piaget and Cognitive Development. In M. Orey (Ed.) *Emerging perspectives on learning, teaching, and technology*. Athens, GA: University of Georgia Press.
- Buzan, T. (2005). *Mind Map Handbook*. Great Britain: Thorsons
- Buzan, T., & Buzan, B. (2006). *The mind map book*. Pearson Education.
- Cheung, D. (2008). Facilitating chemistry teachers to implement inquiry-based laboratory work. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 6, 107-130.
- Etokeren, I. S., & ABOSEDE, O. O. (2022). Effect of Concept Mapping Teaching Strategy on Students' Misconceptions about Chemical Bonding in Rivers State. *International Journal of Chemistry Education Research*, 16-28.
- Ezeh, d. N., & okeke, o. J. (2018). Effect of mind mapping teaching strategy (MMTS) on chemistry students 'achievement, interest, and retention in Enugu. *International Journal of Research in Medical and Basic Sciences*, 4(11), 48-70.
- Francisco, J. S., Nakhleh, M. B., Nurrenbern, S. C., & Miller, M. L. (2002). Assessing student understanding of general chemistry with concept mapping. *Journal of chemical education*, 79(2), 248.
- Ifeakor, A. C. (2006). The status of resources for effective teaching of Chemistry in Nigeria Secondary Schools. In Resources for science technology and mathematics (STM) education. 47th annual conference of the science teacher's association of Nigerian proceedings (pp. 91-96).
- Jack, G. U. (2005). A comparative study of teachers' and students' perceptions of difficulty levels of topics in secondary school chemistry. An unpublished M. Ed (Doctoral dissertation, thesis: Delta State University, Abraka).
- Jack, G. U. (2013). Concept mapping and guided inquiry as effective techniques for teaching difficult concepts in chemistry: effect on students' academic achievement. *Journal of Education and practice*, 4(5), 9-15.
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry-logical or psychological? *Chemistry Education Research and Practice*, 1(1), 9-15.
- Karakuyu, Y. (2010). The effect of concept mapping on attitude and achievement in a physics course. *International journal of the physical sciences*, 5(6), 724-737.
- Middlecamp, C., & Kean, E. (1985). *Panduan belajar kimia dasar*.
- Nesbit, J. C., & Adesope, O. O. (2006). Learning with concept and knowledge maps: A meta-analysis. *Review of educational research*, 76(3), 413-448.
- Ningsih, P., & Said, I. (2018, February). Application of Guided Inquiry Learning Model with Mind Map toward Students' Learning Outcomes in Chemistry Material: Reaction Rate. In First Indonesian Communication Forum of Teacher Training and Education Faculty Leaders International Conference on Education 2017 (ICE 2017) (pp. 582-585). Atlantis Press.

- Njoku, Z. C. (2004). Fostering the Application of Science Education Research Findings Nigerian Classrooms. Strategies and Need for Teachers' Professional Development. STAN 2005, 45th Annual Proceedings. Pp 217-222
- Polson, K. (2004). *Mind mapping in learning and teaching: Pupil and teacher perspectives*. Gtc Scotland.
- Regis, A., Albertazzi, P. G., & Roletto, E. (1996). Concept maps in chemistry education. *Journal of Chemical Education*, 73(11), 1084.
- Ruiz-Primo, M. A., Schultz, S. E., & Shavelson, R. J. (1997). *On the validity of concept map-base assessment interpretations: An experiment testing the assumption of hierarchical concept maps in science* (Vol. 6511). CRESST.
- Salau, M.O. (2003). Constraint against life coping skills in the implementation of the National policy on Education at the SecoSchool Level and Strategies for Redress. *Journal of CON*, 10(2), 465-470.
- Silva, H., Lopes, J., Dominguez, C., & Morais, E. (2022). Lecture, cooperative learning and concept mapping: any differences on critical and creative thinking development?. *International Journal of Instruction*, 15(1), 765-780.
- Taie, E. S. (2014). Concept mapping as an innovative teaching strategy to enhance cognitive learning in nursing administration course. *International Journal for Innovation Education and Research*, 2(7), 11-25.
- Tan, S., Erdimez, O., & Zimmerman, R. (2017). Concept Mapping as a Tool to Develop and Measure Students' Understanding in Science. *Acta Didactica Napocensia*, 10(2), 109-122.
- Utami, A. D., Yuliyanto, E., & Hidayah, F. F. (2021). Mind Mapping: Teaching Students to Think Critically on Basic Chemical Law Material. *Journal of Educational Chemistry (JEC)*, 3(1), 1-10.
- Varoglu, L., Yilmaz, A. Y. H. A. N., & Şen, Ş. E. N. O. L. (2023). Effect of 5E learning cycle assisted with concept maps on conceptual understanding. *Pedagogical Research*, 8(3).
- Wang, Z., Adesope, O., Sundararajan, N., & Buckley, P. (2021). Effects of different concept map activities on chemistry learning. *Educational Psychology*, 41(2), 245-260.
- Wiyatsih, K. (2011). Pengaruh penerapan model pembelajaran inkuiri terbimbing terhadap prestasi dan motivasi belajar siswa kelas X SMA Negeri 1 Purwosari pada materi reaksi redoks (Doctoral dissertation, Universitas Negeri Malang).
- Woldeamanuel, Y. W., Abate, N. T., & Berhane, D. E. (2020). Effectiveness of Concept Mapping Based Teaching Methods on Grade Eight Students' Conceptual Understanding of Photosynthesis at Ewket Fana Primary School, Bahir Dar, Ethiopia. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(12).
- Zimerman, R., Maker, C. J., Gomez-Arizaga, M. P., & Pease, R. (2011). The use of concept maps in facilitating problem solving in earth science. *Gifted education international*, 27(3), 274-287.