Çukurova Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi
Vol: 48 No:1 Sayfa: 910-944
http://dergipark.gov.tr/cuefd

Examining Strategies Used by Pre-service Science Teachers in Stoichiometry Problems in Terms of Proportional Reasoning

Tezcan KARTAL [a*], **Büşra KARTAL** [a]

[a]Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Kırşehir/Türkiye

Article Info

DOI: 10.14812/cufej.491826

Article history:
Received 04.12.2018
Revised 26.03.2019
Accepted 22.04.2019

Keywords:
Stoichiometry problems, proportional reasoning, pre-service science teachers.

Abstract

Stoichiometry problems are one of the best examples of problem solving in chemistry education. Proportional reasoning supports correct answers in stoichiometry problems. It is needed to examine how these problems are solved as well as the accuracy of solutions because of the importance and benefits of conceptual problem solving. This study utilizes the embedded multiple case study design. The stoichiometry problem solutions of 37 pre-service science teachers (PSTs) were examined based on three units of analysis; (i) whether pre-service teachers balanced the equations correctly or not, (ii) the accuracy of solutions, and (iii) strategies used to solve problems. More than half of the PSTs balanced the equations correctly but most of them did not interpret the integers in the equations appropriately. Participants were inclined to use algorithmic approach more than proportional reasoning. The accuracy of solutions and the frequency of algorithmic approach increased while the complexity of problems decreased. PSTs had difficulties in making sense of integers of chemical reactions, using intensive units such as density, and converting units. It is thought that PSTs prefer to use strategies that they learnt in their prior learning experiences. Within the context of findings, we suggest that PSTs should be supported conceptually about the meanings of integers and should be introduced using proportional reasoning in problem solving prior to algorithms.

Fen Bilimleri Öğretmen Adaylarının Stokiyometri Problemlerinin Çözümünde Kullandıkları Stratejilerin Orantısal Akıl Yürütme Açısından İncelenmesi

Makale Bilgisi

DOI: 10.14812/cufej.491826

Makale Geçmişi:
Geliş 04.12.2018
Düzeltme 26.03.2019
Kabul 22.04.2019

Anahtar Kelimeler:
Stokiyometri problemleri, orantısal akıl yürütme, fen bilimleri öğretmen adayları.

Öz

Orantısal akıl yürütmenin doğru sonuca ulaşmayı sağladığı stokiyometri problemleri kimya eğitiminde problem çözmenin en iyi örneklerinden biridir. Kavramsal problem çözmenin önemi ve faydaları göz önüne alınarak, stokiyometri problemlerine ilişkin çözümlerin doğruluğunun yanı sıra nasıl bir yaklaşımla çözüldüğünün de incelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla araştırmada nitel araştırma yöntemlerinden bütüncül çoklu durum kullanılmıştır. Çalışmada, 37 fen bilgisi öğretmen adayının stokiyometri problemlerine ilişkin çözümleri (i) tepkimeleri doğru denkleştirilip denkleştirilmediği, (ii) çözümlerin doğruluğu ve (iii) problem çözümünde kullanılan stratejiler olmak üzere üç adımda incelenmiştir. Öğretmen adaylarının yarısından fazlasının tepkimeleri doğru denkleştirdiği ancak denkleştirilmiş tepkimelerdeki katsayıları doğru yorumlayamadığı görülmüştür. Öğretmen adayları algoritmik yaklaşımı orantısal muhakeme stratejilerinden daha fazla kullanmayı tercih etmiştir. Soruların karmaşıklık düzeyi arttıkça öğretmen adaylarının problemleri doğru çözme ve algoritmik yaklaşımı kullanma oranları azalmıştır. Öğretmen adaylarının stokiyometri problemlerini

* **Author:** tkartal@ahievran.edu.tr

çözerken tepkimelerdeki katsayıların belirttiği molar oranı tam olarak anlamlandıramadığı, tepkimeye giren maddelerden biri yoğunluk gibi intensif bir birim cinsinden verildiğinde çözüme ulaşamadıkları ve birimleri doğru dönüştüremedikleri gözlemlenmiştir. Öğretmen adayları stokiyometri problemlerini daha önceki derslerinde nasıl çözmeyi öğrenmiş iseler yine aynı şekilde çözmeyi tercih ettikleri düşünülmektedir. Bulgular çerçevesinde, kimyasal tepkime problemlerinden önce katsayıların ne anlama geldiği ile ilgili kavramsal desteğin sağlanması, problem çözümüne orantısal akıl yürütme stratejileri ile başlanarak bu desteğin işlemsel süreç ile pekiştirilmesi önerilmiştir.

Introduction

Mathematics required for science concepts may be vital in acquiring the necessary reasoning skills in order to understand scientific concepts, principles, and processes. Making sense of developments in science and technology can be difficult without mathematical competencies (Adigwe, 2013). Mathematical concepts such as number sense, proportional reasoning, measurement, and algebraic reasoning (National Research Council [NRC], 2000) have applications in many areas of science like chemistry (Gulacar, 2007). Therefore, identifying and developing mathematical concepts and thinking styles that underlie in scientific topics can support students' conceptual understanding about science.

Chemistry topics require knowledge, thinking, and skills related to mathematics. The three levels of thought to understand chemistry concepts conceptually are as follows: (i) the macroscopic (large-scale) and tangible level that is related to observable changes, (ii) the microscopic level that is related to particles (e.g. molecules, atoms, and electrons), and (iii) the symbolic level that is related to chemical changes using symbols, equations, measurement, and graphs (Johnstone, 2000). The symbolic level also includes mathematical reasoning. The concepts commonly used in chemical reactions are relative atomic mass, relative molecular mass, the percentage of an element in a component, and the percentage of purity of a substance. These concepts are often defined by ratio, proportion or percentage, and are expressed by decimal or fractional expressions.

There exists research related to the significant relationship between students' proportional reasoning and problem solving in literature (Akatugba & Wallace, 1999; Dawkins, 2000; Lesh, Post, & Northern, 1988; Tingle & Good, 1990). However, many researches emphasize the insufficient proportional reasoning of university students (Ward & Herron, 1980; Wheeler & Kass, 1977). Researchers mostly agree on the importance of proportional reasoning in chemistry education (Aydın, 2011; Heller, Ahlgren, Post, Behr & Lesh, 1989; Hwang, 1994) but yet it is still needed further research that examines how proportional reasoning occurs in solving problems of chemical reactions (Ramful & Narod, 2014). Considering the mentioned need in the literature, the authors examine how well pre-service science teachers solve chemical reaction problems and whether they use proportional reasoning in solving problems.

Chemical reactions and Stoichiometry

Stoichiometry is one of the most fundamental and abstract topics in chemistry (BouJaoude & Barakat, 2003) and it involves determining quantitative relationships between chemical reactants and evaluating the results of these relationships (Adigwe, 2013; Daley & Malley, 1988; Ramful & Narod, 2014). Stoichiometry problems usually involve two reactants and two products and can be typically expresses as follows;

$$k_1R_1 + k_2R_2 \rightarrow k_3P_1 + k_4P_2$$

where R_1 and R_2 are reactant and $P_1$and P_2 are products. k_1, k_2, k_3 and k_4 are integer constants that are used to balance chemical equations.

Solving chemical reaction problems is a critical component of science and chemistry education (Shadreck & Enunuwe, 2018). Stoichiometry exists at the core of problem solving in chemistry education (Gulacar, Overton, Bowman, & Fynewever, 2013). However, stoichiometry is one of the most challenging topics in chemistry (Kimberlin & Yezierski, 2016) because it requires conceptual understanding related to the concept of mole, balancing equations, and algebraic skills (Wagner, 2001). Problem solving depend on concepts and the rules related to these concepts, and one can only reach the desired achievement in problem solving with the help of meaningful learning between these concepts and relationships between these concepts (Huddle & Pillay, 1996). It is needed an understanding of concepts included in chemical reactions and the connections between these concepts to solve stoichiometry problems successfully.

Problem solving is a meaningful and conceptual process rather than being algorithmic (BouJaoude & Barakat, 2003). Algorithmic problem solving includes using existing processes (Shuell, 1990). Students who can solve stoichiometry problems algorithmically may not have the required conceptual understanding (Nurrenbern & Pickering, 1987). Students can tend to use algorithmic procedures because they may not have the required knowledge related to underlying chemical concepts in the problems. They may memorize a rule or formula and plug in numbers to have the correct answer (Gabel & Bunce, 1994). Students will continue memorizing formulas if instruction gives more importance to answers than students' conceptual understanding (Nakhleh & Mitchell, 1993). Therefore, educators should employ process-based instruction if they want to prepare students who criticize, interpret, and apply knowledge and are scientific literate.

On the other hand, conceptual problem solving includes using conceptual knowledge and keeping algorithms in mind. This type of problem solving contains less steps and less time and consequently it can be considered as efficient (BouJaoude & Barakat, 2003; Schmidt, 1997). Students who have low level conceptual understanding mostly use algorithmic strategies and when problems get harder, they either solve problems incorrectly or they cannot solve (BouJaoude & Barakat, 2003). The strategy employed by a student depends on the difficulty of problem (Schmidt, 1997). Students tend to use existing strategies such as a memorized rule to solve a difficult problem while they can use reasoning strategies to solve a simpler problem.

Students have difficulties in solving stoichiometry problems (Doka, 2010). Research related to stoichiometry seems to mostly evaluate student achievement based on the correctness of problem solutions but, it is necessary to further examine the difficulties and deficiencies that students have in solving stoichiometry problems (Gulacar et al., 2013). Science educators should identify these difficulties to adopt appropriate and efficient teaching strategies in order to support their students to be conceptual problem solvers (Shadreck & Enunuwe, 2018). Students can find stoichiometry problems difficult because of the important point that they have to consider. These critical features are the concept of mole, balancing chemical equations, algebraic operations and processes, and transforming worded problems into mathematical equations (BouJaoude & Barakat, 2003; Hafsah, Rosnani, Zurida, Kamaruzaman, & Yin, 2014; Musa, 2009; Schmidt & Jigneus, 2003). However, students can have difficulties in stoichiometry because of their limited knowledge of mathematics (Dahsah & Coll, 2008).

The most common difficulty students have in stoichiometry is that they are inclined to confuse the concept of mole with number of particles or mass (Furio, Azcona & Guisasola, 2002). It is crucial to realize that proportionality is valid only for mole ratio (Case & Fraser, 1999) and this enables to make correct proportional relationships in a chemical equation. Students must have a sound conceptual understanding related to proportional, multiplicative and additive reasoning. It is a misconception to apply the mole ratio if the reactants or the products are given in term of non-molar units. This misconception emphasizes the importance of proportional reasoning in stoichiometry (Huddle & Pillay, 1996; Ramful & Narod, 2014).

Stoichiometry Problems and Proportional Reasoning

Mathematical terminology is used to express some of the chemical concepts so the use of mathematics can lead to instructional difficulties in chemistry (Desjardins, 2008). Students have lack of mathematical knowledge and their ability to apply and interpret mathematical knowledge in a chemical context or to transfer their mathematical knowledge into chemistry is not at a desired level (Hoban, 2011). These deficiencies lead students to have difficulties to solve mathematical problems that exist in the chemistry topics. Research related to integrated science and mathematics (Adigwe, 2013; Anderson, 1993; diSessa, 1988; Pascarella, 2002) reports that students are not successful because they consider science and mathematics as distinct knowledge domains. Science and mathematics educators should collaborate to make students explore the connections between scientific and mathematical concepts and to help them overcome the difficulties related to transferring mathematical knowledge into science topics.

Proportional reasoning plays an important role in students' science achievement (Akatugba & Wallace, 1999; Harel, Behr, Post, & Lesh, 1992; Mitchell & Lawson, 1988) and development of formal operation skills (Inhelder & Piaget, 1958). Proportional reasoning is the mathematical reasoning process that consists of covariance and making sense of a variety of comparisons and the ability to keep knowledge in mind and use it when it is time. It also includes determining the multiplicative relationship between two quantities as well as applying the same relationship to another pair of quantities (Ramful & Narod, 2014). Proportional reasoning is closely related to interpretation and prediction and is combination of quantitative and qualitative reasoning (Lesh et al., 1988). Proportional reasoning is developed by engaging with multiple representations. Students who reason proportionally can identify the covariance, predict how variance in a quantity effect another quantity, and develop their own strategies instead of using existing algorithms to solve problems.

Proportional reasoning may be difficult to detect in chemistry yet it has a variety of complexity levels. Ramful and Narod (2014) identified five levels for stoichiometry problems based on the complexity of problems (Table 1).

Table 1.
Complexity levels of stoichiometry problems developed by Ramful and Narod (2014)

Level	Definition
1	Proportional relationship is used without converting units
2	Quantities are given in different units and these units must be converted to mole in order to use proportionality
3	Proportional relationships that include quantities given as an intensive unit (e.g. density, molar volume)
4	Two or more proportional relationships are given (there may be different chemical equations). It may include intensive quantities or unit converting.
5	Proportional reasoning between two quantities in which one of the quantities in unknown or involves one unknown element. It may include intensive quantities or unit converting.

The strategies that can be used to solve problems that involve proportional relationships, regardless of their levels of complexity, are *the unit rate strategy*, *the factor of change strategy*, *the fraction strategy* and *the cross-product algorithm*. We can describe these strategies for the problem "Ali and Ayşe were driving equally fast. If Ali takes 40 km in 20 minutes, how many minutes does it take for Ayşe to take 120 km?" as follows (Cramer & Post, 1993; p.406);

(i) Students who use *the unit rate strategy* ask themselves "if someone takes 40 km in 20 minutes, how many minutes does it take for 1 km?" and find the answer as 0,5 minutes. She/he then uses the 0,5 minutes per 1 km and find the solution for 120 km. The other way to use this strategy is to calculate the

unit rate per 1 minute. Thus, students can ask themselves "if someone takes 40 km in 20 minutes, how many kilometers does he/she take in 1 minute?".

(ii) Cramer and Post (1993) called *the factor of change strategy* as *"times as many"* strategy. One who use this strategy would realize that Ayşe took three times as far, so it must take three times as long. Then she/he can find the answer as *three times 20 minutes or 60 minutes.*

(iii) Students consider the speed of Ali and Ayşe as a fraction and then attempt to use the equivalence of fractions in *the fraction strategy.* We can express the speed of Ali as $\frac{40\ km}{20\ min}$ and Ayşe as $\frac{120\ km}{?min}$. We know that they were driving equally and to obtain equivalent fractions we should multiply the numerator and denominator of speed of Ali by 3 and find $\frac{120\ km}{60\ min}$. This shows us that driving 120 km tooks 60 minutes.

(iv) The cross-product algorithm is an effective strategy but it is difficult to make sense the solution strategy in real world. Students who use this strategy solve the above-mentioned problem as follows;

$$\frac{20\ min}{40\ km} = \frac{?\,min}{120\ km}$$

$$20\ min \times 120\ km = ?\,min \times 40\ km$$

$$\frac{20\ min \times 120\ km}{40\ km} = ?\,min$$

$$60\ min = ?\,min$$

The significance of the Study

The participants of the research related to stoichiometry problems are students from different grade levels such as secondary school students (Adigwe, 2013; Hafsah et al., 2014), high school students (BouJaude & Barakat, 2003; Shadreck & Enunuwe, 2018), and college students (Huddle & Pillay, 1996; Wagner, 2001). Adigwe (2013) addressed the relationship between secondary school students' achievement in stoichiometry problems and mathematical skills. Hafsah et al. (2014) also investigated how secondary school students' conceptual understanding of the concept of the mole, problem representation ability, and mathematical ability effected their achievement in stoichiometry problems. BouJaude and Barakat (2003) investigated the relationship between high school students' achievement in stoichiometry problems and their conceptual understanding and learning approaches. In another study conducted with high school students, Shadreck and Enunuwe (2018) identified difficulties that students had in stoichiometry problem solving. Huddle and Pillay (1996) investigated college students' achievement but they analyzed success in problem solving step by step. They identified the steps as balancing the equation, determining the amount of the reactants, determining the limiting agent, and determining the amount of the products.

It is difficult for someone who does not have a sound conceptual understanding of a topic to teach that topic well (Shulman, 1986). Science teachers should have enough and strong knowledge about stoichiometric concepts to encourage their students to be conceptual problem solvers. Solving stoichiometry problems conceptually and correctly depends on the concept of the mole, balancing the equation correctly, and interpreting and using the mole ratio appropriately (Hafsah et al., 2014). It can be seen that there are a few studies conducted with college students. Those in which college students participated usually studied the achievement in problem solving. This situation in the literature highlights the need to study with pre-service science teachers to predict their future students' performance related to stoichiometry.

This study is designed considering the complexity levels developed by Ramful and Narod (2014). We aim to investigate to what extent pre-service teachers use strategies that employ proportional reasoning

in solving problems belonging to each level of complexity. The research questions are specified as follows;

i. How well do pre-service science teachers balance the chemical equations and solve the stoichiometry problems?

ii. Which strategies (proportionality, formulas, algorithmic etc.) do pre-service science teachers use in solving problems that belong to each level of complexity?

Method

This study aims to investigate pre-service solutions of stoichiometry problems with different complexity levels and to identify whether pre-service teachers reason proportionally to solve problems or not. The multiple holistic case study was utilized (Merriam, 2009; Yin, 2003). Pre-service teachers' solutions of problems that belong to each level was taken as case and the correctness of pre-service teachers' responses and the strategies used in problem-solving were determined as the analysis unit.

Participants

37 pre-service science teachers who are juniors at a state university participated in the study. Participants were selected via purposeful sampling (Plano Clark & Creswell, 2015). Junior pre-service science teachers have learnt about chemical reactions and how to solve stoichiometry problems in their prior chemistry courses. Therefore, we thought that they may have the enough conceptual and procedural knowledge to solve stoichiometry problems. The age range of participants 20-28 and the average of ages of the participants is 22.56 (Sd=1.326). 32% of participants are male (f=12) and 68% are female (f=25).

Instrument

"The diagnostic assessment form related to stoichiometry problems" was used in the study to collect data. The form includes seven questions and developed by Ramful and Narod (2014). The questions were translated into Turkish. Then, three researchers who studies science and mathematics education were asked to evaluate the questions whether they represent the levels of complexity in the context of the study. They assessed the questions based on three criteria; *"acceptable"*, *"needs to be developed"* and *"not appropriate".* Kendall's Tau correlation coefficient was calculated as .865 considering data obtained from expert reviews.

Authors conducted a pilot interview with two pre-service teachers out of the participants to correct probable misunderstandings. Pre-service teachers were asked to read and answer the questions aloud (Bowles, 2010; Ericsson & Simon, 1998). The think aloud protocol helped authors to determine whether they and the pre-service teachers understand the questions in the same way. The pre-service teachers were also asked to write their solutions. The written explanation for each question is a way of observing to what extent they represent their thoughts in their written explanations. The questions in the data collection form is given in Table 2. It can be seen from the table that chemical reactions are not balanced, pre-service teachers must balance the equations at first.

Table 2.

Questions in the diagnostic assessment form related to stoichiometry problems

Level	Question	
1	Balance the equations.	
	1(a)	$Fe_2O_{3(k)} + CO_{(g)}$ ----------> $Fe_{(k)} + CO_{2(g)}$
	1(b)	NaN_3 ----------> $Na + N_2$
		$Na + KNO_3$ ----------> $K_2O + Na_2O + N_2$
2	**(2a)**	$ZnS + O_2$ ----------> $ZnO + SO_2$
	How many liters of oxygen gas is needed to react with completely 388 g of the ZnS? Explain your answer. (Zn=65, S=32) (1 mole gas = 22,4 liter)	
	(2b)	$NH_3 + O_2$ ----------> $NO + H_2O$

	$NO + O_2$ ----------> NO_2 $NO_2 + O_2 + H_2O$ ----------> HNO_3 Consider the successive chemical reactions above. How many grams of nitric acid is obtained from 51 gr of ammonia (NH_3)? Explain your answer. (N=14, H=1, O=16)
3	$Na_2CO_3 + HCl$ ----------> $NaCl + H_2O + CO_2$ Calculate the volume of 0.5 mol/dm^3 hydrochloric acid (HCl)that is required to react with completely 20 cm^3 of 0,5 mol/dm^3 sodium carbonate (Na2CO3). Explain your answer. (H=1, Cl=35, Na=23, C=12, O=16) (1 dm = 10 cm)
4	$I_2O_5 + CO$ ----------> $CO_2 + I_2$ $Na_2S_2O_3 + I_2$ ----------> $Na_2S_4O_6 + NaI$ How many grams of carbon monoxide (CO) is required for 20 cm^3 of 0,1 mol/dm^3 sodium thiosulfate ($Na_2S_2O_3$) to react with enough iodine (I_2)? Explain your answer. (I=127, S=32, Na=23, C=12, O=16) (1 dm = 10 cm)
5	$X(NO_3)_2$ ----------> $XO + NO_2 + O_2$ The above reaction presents the process what happens when $X(NO_3)_2$ is heated. 5g $X(NO_3)_2$ loses 3.29 gram in mass after heating. Calculate the atomic mass of the element of X. explain your answer. (N=14, O=16)

Data Analysis

Data was analyzed in three steps. We analyzed whether (i) pre-service teachers balanced the equations correctly or not and (ii) they solved problems correctly or not. Lastly, their solutions were examined in order to find evidence of proportional reasoning via content analysis. Pre-service teachers' responses were coded as *"correct response", "balanced equation only", "wrong response"* and "no response". Then, content analysis was utilized to reveal which strategies pre-service teachers use in problems of each level. Three main categories to classify strategies are *proportional reasoning strategies (the unit rate, the factor of change, the fraction, and the cross-product)* specified by Cramer and Post (1993), *algorithmic strategies,* and *formulaic approach.* If pre-service teachers used memorized rules such as chain rule, their response was coded as algorithmic strategies. If they used ready-made formulas such as $m = d \times V, n = \frac{m_a}{m}$, their response was coded as formulaic approach. It was seen that pre-service teachers might use strategies more than one. Therefore, we analyzed that how many pre-service teachers used each strategy in a problem. Quotations from pre-service teachers' responses also were given for each problem.

Authors analyzed data independently and then came together to share their own analysis and notes. They discussed the similarities and differences of their analysis and discussions continued until they reached a consensus (Miles & Huberman, 1994).

Results

The balanced equations and correctness of pre-service teachers' responses

Researchers (BouJaude & Barakat, 2003; Hafsah et al., 2014; Staver & Jacks, 1988) addressed the importance of balancing a chemical equation and applying the mole ratio obtained from balanced equation correctly. Table 3 demonstrates to what extent pre-service teachers balanced the chemical equations and solved stoichiometry problems correctly.

Table 3.
The findings that show to what extent pre-service teachers balanced the chemical equations and solved stoichiometry problems correctly

			1a	1b	2a	2b	3	4	5	Total
Balanced equation	**Correct**	f	25	23	30	24	14	13	24	153
		%	67.57	62.16	81.08	64.86	37.84	35.14	64.86	**59.07**
	Wrong	f	8	12	7	13	18	13	6	77
		%	21.62	32.43	18.92	35.14	48.65	35.14	16.22	**29.73**
	No response	f	4	2	-	-	5	11	7	29

		%	10.81	5.41	-	-	13.51	29.73	18.92	**11.20**
Problem solving	**Correct**	f	-	-	20	20	-	4	-	44
		%	-	-	74	74	-	10.81	-	**23.78**
	Wrong	f	-	-	17	14	25	13	12	81
		%	-	-	-	37.84	67.57	35.14	32.43	**43.78**
	Balanced equation only	f	-	-	-	2	7	5	14	28
		%	-	-	-	5.41	18.92	13.51	37.84	**15.14**
	No response	f	-	-	-	1	5	15	11	32
		%	-	-	-	2.70	13.51	40.54	29.73	**17.30**

It can be said that pre-service science teachers are mostly successful at balancing equations. More than half of the pre-service teachers balanced equations correctly except for the third and fourth questions. Reactants in the third and fourth questions were given in terms of volume and density that is an intensive unit. These units may be unusual for pre-service teachers. In fact, the units of reactants or products are expected not to effect how to balance the equation. It seems unusual units may affect negatively pre-service teachers. Most of the pre-service have balanced the equations correctly but it is found that most of the pre-service teachers who balanced the equations correctly could not find the right answer of the problems. Pre-service teachers' achievement in problem solving decreased as the levels of complexity increased. None of the pre-service teachers gave response to third and fifth problems.

It is important to identify what pre-service teachers have thought in their problem-solving performance. The strategies they used can reveal their reasoning. But in the first question, participants were asked to only balance the equations. The data from first question only includes how pre-service teachers balance the equations. It is seen from pre-service teachers' written performance that they tend to balance the integers of hydrogen and oxygen at last and they insisted on whether an element is alone or not. PST-5 is one of them who thought like this and her explanation for first question is given in Figure 1.

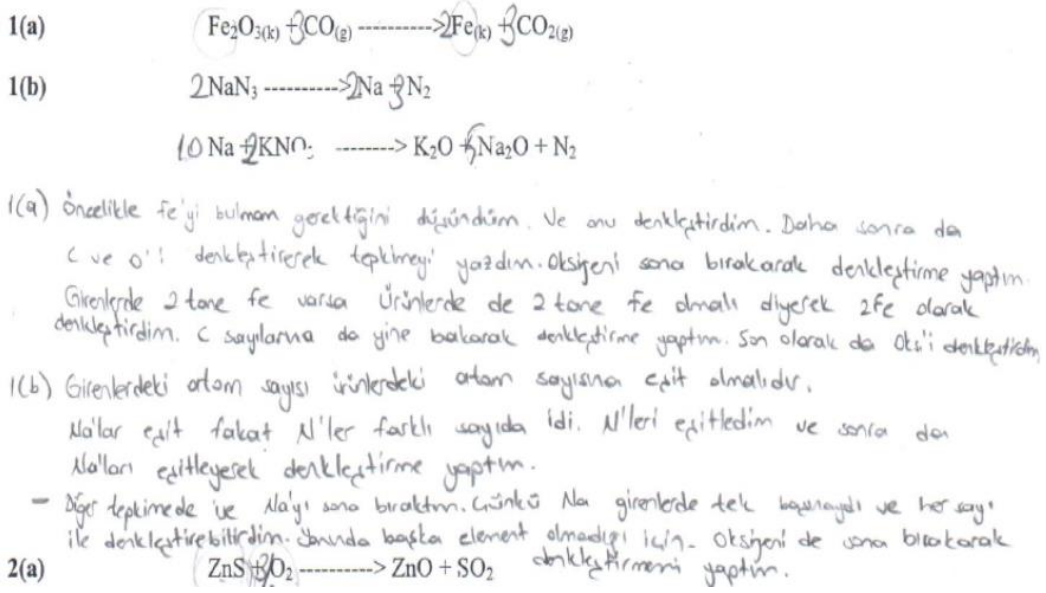


Figure 1. The written explanation of PST-5 for the first problem

Translation. (1a) I thought I should use Fe at first and balance its constant. Then I balanced the constants of C and O. I balanced the constant of O at last. If there are two Fe in the reactants, it must be two Fe in the products.

(1b) The number of the atoms in the reactants must be equal to the number of the atoms in the products. Numbers of Na were equal but, number of N was not. I balanced the constants of N and then NA.

In the other equation, I left Na for last. Because Na stays alone in the products and I thought it is easier to balance its constant. I left O at last ü, because it is alone too.

Findings related to problems in the second level

There are two different questions in the second level which contains quantities in different units and unit conversion. The quantities are given in gram in questions. Pre-service science teachers were expected to converse the unit "gram" to mol by dividing the mass to molecular mass or by reasoning proportionally. Then they should use the mole ratio in the balanced equation. Findings related to problems in the second level were given in Table 4.

Table 4.
Findings related to problems in the second level

Level	Questions	Correctness	The unit rate	The factor of change	The cross-product	The fraction	Algorithmic approach	Formulaic approach
2	2a	Incorrect response(f=17)	11	3	8	1	6	4
		Correct response (f=20)	18	9	8	-	11	5
	2b	No response(f=1)	-	-	-	-	-	-
		Only balanced the equation (f=2)	-	-	-	-	-	-
		Incorrect response (f=14)	5	4	9	-	1	2
		Correct response (f=20)	14	2	7	-	10	6

30 pre-service teachers balanced the equation in the problem (2a) correctly. But 20 of them could solve the problem correctly. Those who solved problem correctly mostly used the unit rate strategy (f=18) and the algorithmic approach (f=11). Pre-service teachers whose responses were incorrect seemed not to interpret and use the mole ratio, to write the algorithm incorrectly or to have calculation error. Figure 2 indicates the response of PST-17, one of them who solved problem correctly.

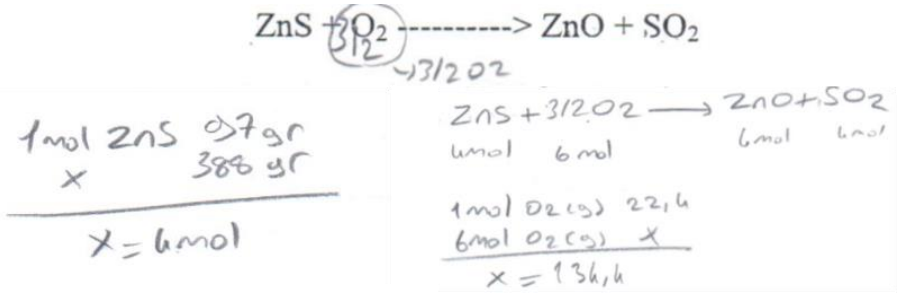


Figure 2. The written explanation of PST-17 for the problem (2a)

PST-17 balanced the equation and used the unit rate strategy to converse unit in gram for ZnS to mole. Then she found the amount of the reactants and products for 4 mol of ZnS using the fraction strategy. Lastly, unit rate strategy was employed again to find how many liters is 6 mol of O_2. PST-10 is a pre-service teacher who could not solve problem correctly and Figure 3 demonstrates her written solution and explanation for the problem (2a).

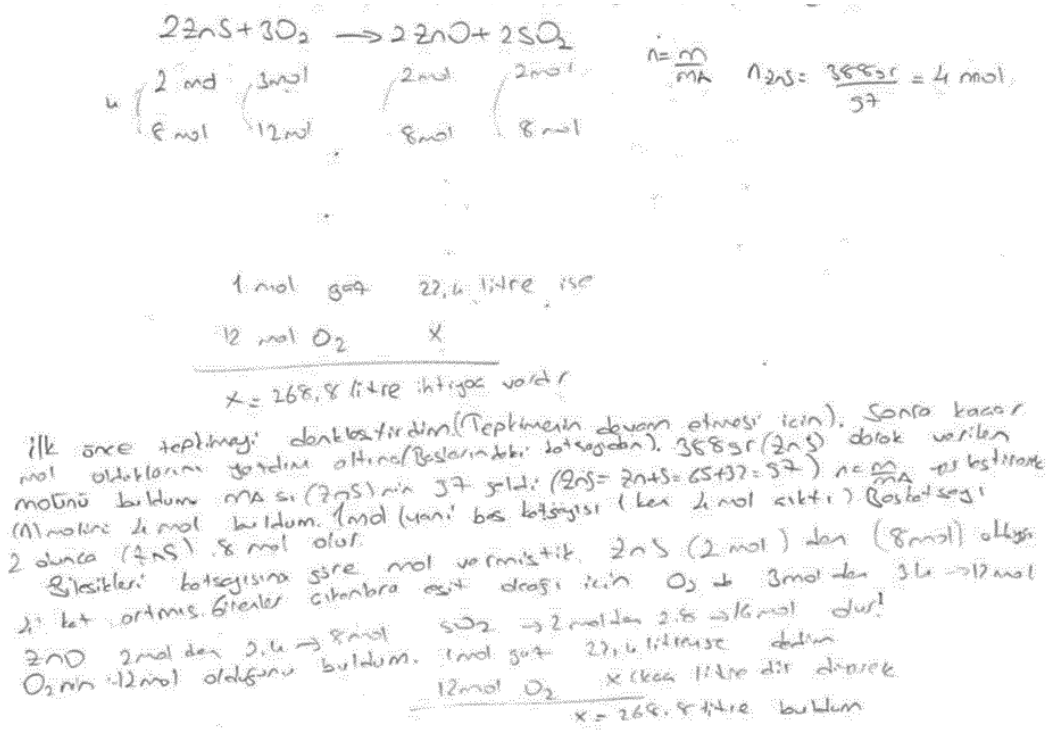


Figure 3. The written explanation of PST-10 for the problem (2a)

Translation. I first balanced the equation. Then I found how many moles of each is required. The molecular mass of ZnS is 97 (ZnS=Zn+S=65+32=97). I used the formula of $n = \frac{m}{m_A}$ and found 4 mol. The constant of ZnS is one and I found 4 mol for one and used this ratio (four times as many of them) to find other moles of quantities.

PST-10 could not interpret and use the mole ratio obtained from the balanced equation correctly. She wrote the mole ratios correctly just below of the equation and multiply all of them with four that is the amount of ZnS in mol. This made her solve problem incorrectly.

One pre-service teacher did not answer the last problem in the second level (2b) and two just balanced the equation. 54.05% of participants (f=20) solved problem correctly while 37.83% solved incorrectly (f=14). Pre-service teachers who have solved correctly mostly utilized algorithmic approach. It is important to note that those who used algorithmic approach properly also used the unit-rate strategy. Figure 4 indicates a written explanation in which correct response was found with algorithm.

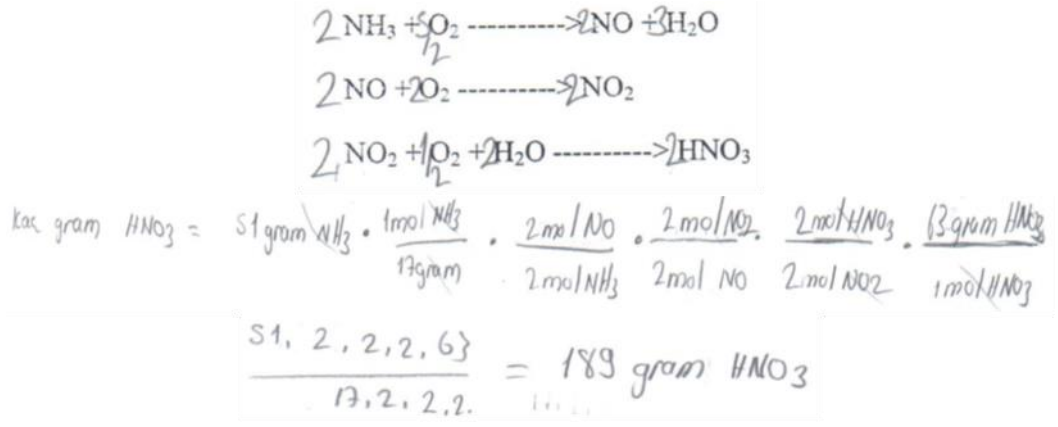


Figure 4. The written explanation of PST-11 for the problem (2b)

Pre-service teachers mostly balanced the equations separately. It can be seen that PST-11 utilized the mass of 1 mol of NH_3 and the mole ratios that he obtained from the balanced equations. We see that those who solved problem incorrectly either could not use the mole ratios properly or could not write the algorithm completely. Problem (2b) includes three chemical reactions whose product is the reactant of the other reaction. Some participants considered the equations as they are disconnected and wrote an algorithm for each of them. However, some participants regard the chemical equations as mathematical equations and obtained only one chemical reaction by eliminating. Figure 5 is an example of incorrect response that used formulaic approach.

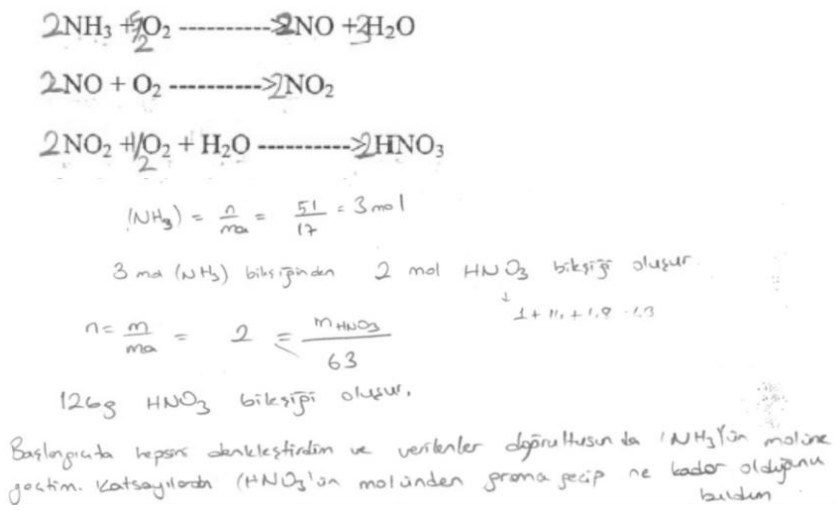


Figure 5. The written explanation of PST-6 for the problem (2b)

Translation. 3 mol of NH_3 produces 2 mol of HNO_3. I balanced the equations at first and found the mol of NH_3 from the given information. Then I determined the mol of HNO_3 using the mole ratio and calculated the mass of 2 mol of HNO_3.

PST-6 balanced the equations correctly but failed to use the mole ratio properly. After balancing the equations, it is seen that the constant of NH_3 is equal to the constant of HNO_3 but PST-6 concluded that 3 mol of NH_3 produces 2 mol of HNO_3. PST-6 may have lack of conceptual knowledge related to the mole ratio in a chemical reaction.

Findings related to problem in the third level

The third level is a bit more complicated and the problem (3) includes an intensive unit. Table 5 indicates the findings related to the problem (3).

Table 5.
Findings related to problem in the third level

Level	Questions	Correctness	The unit rate	The factor of change	The cross-product	The fraction	Algorithmic approach	Formulaic approach
3	3	No response(f=5)	-	-	-	-	-	-
		Balanced the equation only (f=7)	-	-	-	-	-	-
		Incorrect response(f=25)	8	2	11	-	4	18

None of the pre-service teachers solved the problem (3) correctly. Five of the participants (13.51%) did not answer the problem, seven of them (18.92%) only balanced the equation and 25 of them (67.57%) solved the problem incorrectly. Those who solved incorrectly mostly chose to use the formulaic approach. The volume and density of the reactant, Na_2CO_3 and the density of the product, HCl are given; the volume of HCl is asked. The density of the reactant and the product is given in mol/dm^3. It is found that pre-service teachers mostly used the formula $mass = density \times volume$. But $density \times volume$ would give the amount of mol instead of mass. Most of the pre-service teachers did not realize that they found the amount of the mole by multiplying the volume and the density. They perceived that they found the mass and as a consequent they solved the problem incorrectly. Another reason that hinder pre-service teacher to solve correctly is that most of them failed to convert dm^3 to cm^3.

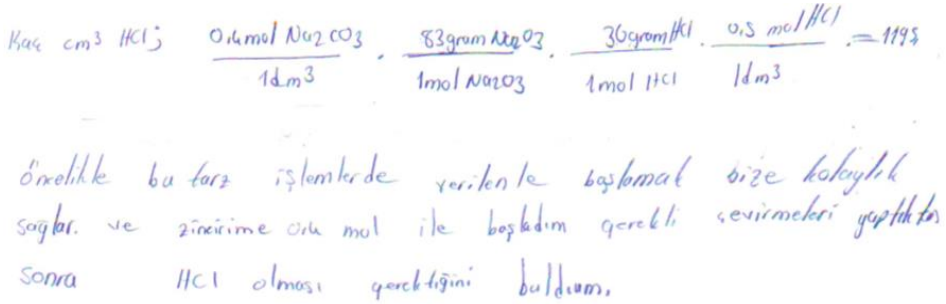


Figure 6. The written explanation of PST-11 for the problem (3)

PST-11 used the density of Na_2CO_3 properly but, she used the molar mass instead of volume in the proceeded sections of the algorithm. In other words, she failed to use the given volume of the solutions (Figure 6). PST-28 found the amount of the mole of Na_2CO_3 correctly but used the mass instead of volume. We can conclude that pre-service teachers are inclined to make calculations with mass and they could not deal with quantities given in volume successfully (Figure 7).

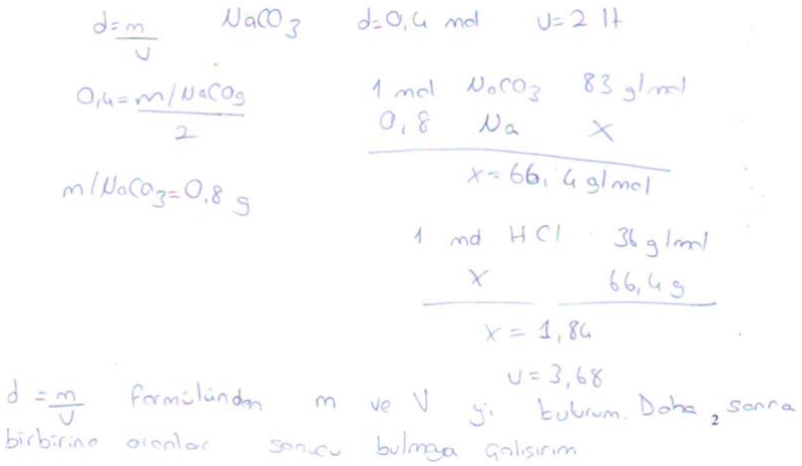


Figure 7. The written explanation of PST-28 for the problem (3)

Findings related to problem in the fourth level

Table 6 indicates the findings related to the problem that consists of two consecutive chemical reactions in which the quantities are given in volume.

Table 6.

Findings related to problem in the fourth level

Level	Questions	Correctness	The unit rate	The factor of change	The cross-product	The fraction	Algorithmic approach	Formulaic approach
4	4	No response(f=15)	-	-	-	-	-	-
		Balanced the equation only(f=5)	-	-	-	-	-	-
		Incorrect response (f=13)	4	6	7	-	2	8
		Correct response(f=4)	4	-	-	-	4	-

Pre-service teachers mostly either did not solve the problem correctly (f=13, 35.14%) or did not give any response (f=15, 40.54%). Only four pre-service teachers solved the problem correctly using the algorithmic approach. PST-22 is one of the four pre-service teachers who solved problem correctly (Figure 8).

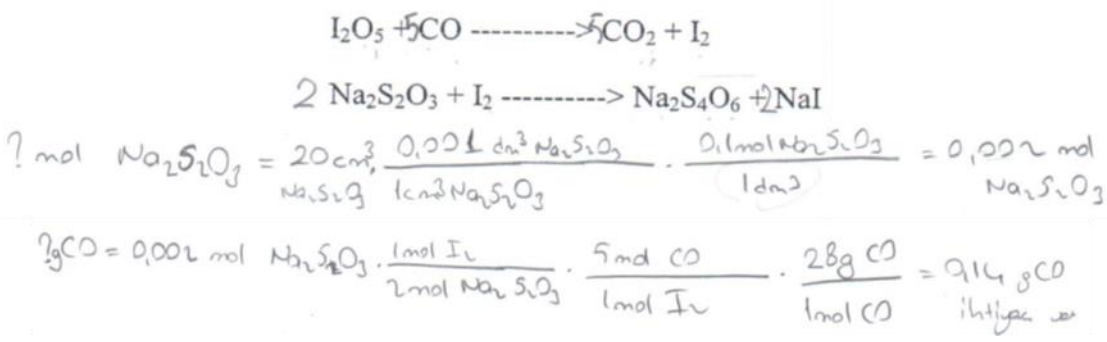


Figure 8. The written explanation of PST-22 for the problem (4)

PST-22 calculated the mole of the 20 cm^3 $Na_2S_2O_3$ to solve the problem. Then using the mole ratio obtained from the balanced equations and algorithm, she found the right response.

Findings related to problem in the fifth level

The most complex level includes an unknown quantity or unknown element. Findings related to the problem (5) is in Table 7.

Table 7.

Findings related to problem in the fifth level

Level	Question	Correctness	The unit rate	The factor of change	The cross-product	The fraction	Algorithmic approach	Formulaic approach
5	**5**	No response (f=11)	-	-	-	-	-	-
		Balanced the equation only (f=14)	-	-	-	-	-	-
		Incorrect response (f=11)	2	1	1	-	-	1

There is no correct response for the problem (5). 11 pre-service teachers solved the problem incorrectly. These pre-service teachers could not use the mole ratio properly even though they balanced the equation correctly. They mostly used the principle of the conservation of mass that emphasizes the

total mass of reactants must be equal to the total mass of the products. PST-7 is one of them who used this principle. But she made calculation error and did not use the given information (Figure 9).

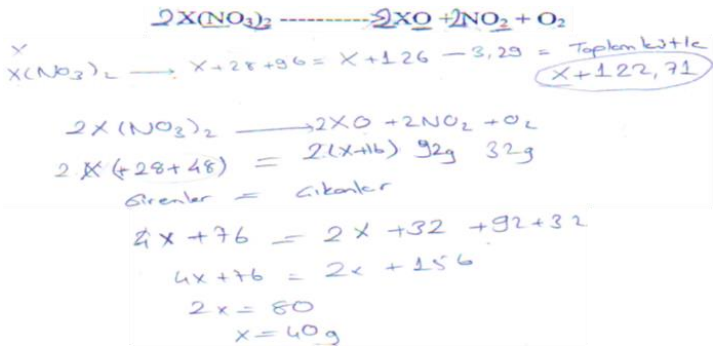


Figure 9. The written explanation of PST-7 for the problem (5)

Pre-service teachers who tried to solve the problem assumed that the decreasing amount in mass should belong to gases. But most of them did not realize that NO_2 is a gas too and determined the decreasing amount as the amount of O_2 (Figure 10).

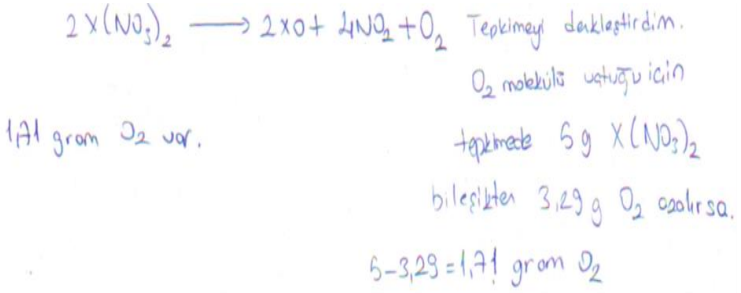


Figure 10. The written explanation of PST-21 for the problem (5)

Translation. I balanced the equation. The decreased amount in total mass belongs to O_2. 5-3029=1.71 gram of O_2

It can be said that pre-service teachers failed to solve this problem. None of them who tried to find the response did not use the algorithmic approach. This underpins the finding that students use less algorithmic procedures when questions get harder (BouJaoude & Barakat, 2003; Frazer & Servant, 1986).

Conclusion, Discussion & Implications

This study investigated how well 37 pre-service science teachers solved stoichiometry problems and which strategies including proportional reasoning, algorithmic and formulaic approach they used in solving stoichiometry problems. The problems represent different complexity levels. Solving a stoichiometry problem correctly requires balancing the equation correctly and interpreting and using the mole ratio properly (Gulacar et al., 2013; Hafsah et al., 2014; Wagner, 2001; Yarroch, 1985) and employing proportional reasoning (Akatugba & Wallace, 1999; Harel et al., 1992; Mitchell & Lawson, 1988). Considering these important points, we analyze pre-service teachers' responses to reveal (i) whether they balanced the equations correctly or not, (ii) whether they solved the problems correctly or not, and (iii) which strategies they used in stoichiometry problem-solving.

Balancing a chemical reaction correctly is the first step to identify the mole ratio between reactants and products and to identify the accurate amount of the reactants and the products (Hafsah et al., 2014). Participants of this study mostly balanced the given equations correctly except for the third and fourth problems in which quantities are given in volume. Different chemical quantities such as

concentration, density, and volume can lead to complexity (Case & Fraser, 1999). Quantities given in volume may have affected pre-service teachers' thoughts and feelings negatively and hindered their performance to solve the problem correctly.

If those who balanced the equations correctly interpreted and used the mole ratio properly, it is not too important whether they used proportional reasoning, formulas, and algorithms to find the correct answer (BouJaude & Barakat, 2003). 23.78% of the participants solved the problems correctly while 59% of them balanced the equations correctly (Table 3). This finding can be interpreted as that pre-service teachers have lack of conceptual understanding of the mole ratio in a chemical reaction (Case & Fraser, 1999; Dahsah & Coll, 2008). Pre-service teachers' achievement in problem solving decreased as long as the complexity of the problems increased. Similarly, researchers (BouJaoude & Barakat, 2003; Gulacar, 2007; Schmidt & Jigneus, 2003) reported that students had difficulties in stoichiometry problems and failed to solve more complex stoichiometry problems.

Pre-service teachers mostly used algorithmic approach in problem-solving. It is known that students rely on algorithms in stoichiometry problems (Huddle & Pillay, 1996; Ramful & Narod, 2014; Schmidt & Jignéus, 2003). The most used strategies that employ proportional reasoning are the unit rate strategy and the cross-product. Pre-service teachers may have memorized the algorithm instead of understanding why the algorithm works (Frazer & Servant, 1986) so they could not solve more complex problem correctly (BouJaude & Barakat, 2003). We can conclude that participant do not feel comfortable in using proportional reasoning to solve problems considering the fact that students are inclined to use the strategies that they are familiar with (Wagner, 2001). They may have learnt algorithmic approach in their prior courses related to chemical reaction and this can explain why they may have avoided proportional reasoning.

Pre-service teachers rarely utilized proportional reasoning strategies. This may be because pre-service teachers have a lack of mathematical knowledge and they have difficulties in transferring their mathematical knowledge into chemistry (Hoban, 2011). Akatugba and Wallace (1999) identified the reasons for which students do not use proportional reasoning as follows; (i)not realizing that they can use proportional reasoning in problem-solving, (ii)considering proportion just as a mathematical topic, (iii)not associating physics to mathematics, and (iv) over trusting on traditional methods such as algorithms. The same reasons can be valid for this study. Participants may ignore proportional reasoning as they are inclined to use the algorithmic and formulaic approaches that they are familiar with and they perceive as an easy and short way (Agudelo-Valderrama & Martinez, 2016). Pre-service teachers need to realize the interrelation between science and mathematics; science educators can help them by emphasizing and expanding on mathematical concepts that underlie specific science concepts. It is important for pre-service teachers to be trained so as to be aware the role of an integrated science and mathematics education. This will promote the conceptual change of pre-service teachers (Agudelo-Valderrama & Martinez, 2016) and will make pre-service teachers teach science in an integrated way with mathematics (Niess, 2005).

The difficulties that students had in stoichiometry problems should be identified (Gulacar et al., 2013) because identifying these difficulties help to promote students' understanding and solving problems (BouJaoude & Barakat, 2003; Nyachwaya, Warfa, Roehrig, & Schneiderd, 2014). Participants could not use the mole ratio properly event though they correctly balanced the equations. This is an evidence of that they did not understand the importance of the mole ration between reactants and products (Hafsah et al., 2014). Therefore, they failed to use the mole ratio correctly if quantities are given in an unusual unit for them such as density and volume. Another difficulty pre-service teachers had in stoichiometry problem solving is interpreting and converting units (Furio et al., 2002). They reported that they found the mass by multiplying volume and density given in mol/dm^3. But this multiplication would give the amount in mole. However, most of the participants could not make unit conversion between dm^3 and cm^3. Similarly, Aydın (2011) and Birinci Konur and Pırasa (2010) reported that pre-service teachers had difficulties in unit conversion.

The findings of the study show that pre-service teachers' lack of conceptual understanding in stoichiometry hinder their problem-solving performance regardless of the strategies they used. Teacher educators should highlight the concepts and definitions underlying the stoichiometry and demonstrate pre-service teachers how proportional reasoning works in stoichiometry problems before teaching algorithms. However, proportional reasoning practices that did not include scientific concepts can help pre-service teachers to make sense the ratio and proportion and to associate proportional reasoning to stoichiometry. Cramer and Post (1993) argued that qualitative comparison made without numerical quantities promote the conceptual understanding of proportion. The opportunity to deal with qualitative comparison is a way to encourage pre-service teachers to use strategies other than algorithms.

**Acknowledgement: This paper refers to data from the research project "Examining Preservice Science Teachers' Proportional Reasoning in the Subject of Chemical Reactions" (EGT.A4.18.027), funded by the Kirsehir Ahi Evran University Scientific Research Projects Coordination Unit.*

Türkçe Sürümü

Giriş

Fen bilimleri konuları için gerekli görülen matematik başka bir ifadeyle teknik matematik bilimsel kavram, ilke ve süreçlerin anlaşılması için gerekli muhakeme becerilerinin edinilmesinde hayati önem taşımaktadır. Matematiksel yeterlikler olmadan fen ve teknoloji alanındaki gelişmelerin anlamlı olması öngörülmemektedir (Adigwe, 2013). Sayı hissi, orantısal akıl yürütme, ölçüm hissi ve cebirsel akıl yürütme gibi matematik eğitiminin içinde barındırdığı kavramların (National Research Council [NRC], 2000) kimya gibi fen bilimlerine dair pek çok alanda uygulamaları bulunmaktadır (Gulacar, 2007). Bu nedenle fen bilimleri kavramlarının temelinde yer alan matematiksel kavram ve muhakeme biçimlerinin belirlenmesi ve geliştirilmesi öğrencilerin fen bilimlerine dair kavramsal bilgilerini destekleyecektir.

Kimya konuları matematiksel bilgi, düşünme süreci ve beceri gerektirmektedir. Kimyasal kavramları anlama (i) makroskopik (büyük ölçekli) ve somut seviye (örn. katılar, sıvılar, metaller, ametaller, asitler, bazlar, vb.), (ii) mikroskobik seviye (örn. moleküller, atomlar ve elektronlar vb.) ve (iii) sembolik seviye (örn. semboller, formüller, eşitlikler, ölçüm, matematiksel manipülasyon ve grafikler vb.) olmak üzere üç düşünme seviyesini içermektedir (Johnstone, 2000). Matematiksel muhakeme sembolik aşamada işin içine girmektedir. Kimyasal reaksiyonlarda yaygın bir biçimde kullanılan kavramlar bağıl atomik kütle, bağıl molekül kütlesi, bir bileşende bir elementin bulunma yüzdesi ve bir maddenin saflık yüzdesidir ki bu kavramlar çoğunlukla oran, orantı veya yüzde kavramları ile tanımlanmakta ve ondalık veya kesirli ifadeler ile belirtilmektedir.

Literatürde öğrencilerin orantısal akıl yürütme becerileri ile problem çözme başarıları arasında önemli ilişkilerin tespit edildiği çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Akatugba & Wallace, 1999; Dawkins, 2000; Lesh, Post, & Northern, 1988; Tingle & Good, 1990). Pek çok çalışma (Ward & Herron, 1980; Wheeler & Kass, 1977) üniversiteye yeni başlayan öğrencilerin orantısal akıl yürütme becerilerini kullanmada iyi olmadıklarını göstermektedir. Kimya eğitiminde orantısal akıl yürütmenin önemi bilinmesine rağmen (Aydın, 2011; Heller, Ahlgren, Post, Behr & Lesh, 1989; Hwang, 1994) kimya problemlerinin çözümünde orantısal akıl yürütmenin nasıl meydana geldiğini açık bir şekilde gösteren çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Ramful & Narod, 2014). Bu noktadan yola çıkarak araştırmacılar bu çalışmada fen bilgisi öğretmen adaylarının kimyasal tepkimelere dair problem çözümlerinin doğruluğunu ve bu çözümler esnasında orantısal akıl yürütme becerilerini kullanıp kullanmadıklarını incelemişlerdir.

Kimyasal Tepkimeler ve Stokiyometri

Stokiyometri en temel ve en soyut kimya konularından birisidir (BouJaoude & Barakat, 2003) ve kimyasal bir tepkimeye giren maddeler arasındaki nicel ilişkileri belirlemeyi ve bu ilişkilere dair sonuçları değerlendirmeyi kapsamaktadır (Adigwe, 2013; Daley & Malley, 1988; Ramful & Narod, 2014). Stokiyometri problemleri çoğunlukla tepkimeye giren iki madde ve iki ürün içermektedir. Tipik bir kimyasal tepkime aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$k_1R_1 + k_2R_2 \rightarrow k_3P_1 + k_4P_2$$

R_1 ve R_2 reaksiyona giren maddeleri temsil ederken P_1 ve P_2 ise reaksiyon sonucu oluşan ürünleri ortaya koymaktadır. k_1, k_2, k_3 ve k_4 ise tepkimeye giren ve oluşan ürünlerin denkleştirilmesi ile ortaya çıkan katsayılardır ve tepkimenin denkliğini sağlamaktadır.

Kimyasal problemleri çözmek fen ve kimya eğitiminin önemli bir bileşeni olarak görülmektedir (Shadreck & Enunuwe, 2018). Kimya eğitiminde problem çözmenin en iyi örneği stokiyometridir (Gulacar, Overton, Bowman, & Fynewever, 2013). Fakat stokiyometri problemleri öğrencileri en çok

zorlayan kimya konuları arasında yer almaktadır (Kimberlin & Yezierski, 2016) çünkü mol kavramına, tepkimeleri denkleştirmeye ve cebirsel becerilere ilişkin bir kavramsal anlayış gerektirmektedir (Wagner, 2001). Problem çözme kavramlar ve bu kavramlar ile ilişkili kurallara bağlıdır ve ancak kavramlar ve kavramlar arasındaki ilişkilere dair anlamlı öğrenme sayesinde problem çözümlerinde istenilen hedeflere ulaşılabilir (Huddle & Pillay, 1996). Bu nedenle stoyikometri problemlerinin çözümünde kavramsal başarı için öncelikle kimyasal tepkimelere dair kavramların ve bu kavramların birbiri ile nasıl bir bağlantı içinde olduğunun anlaşılması gerekmektedir.

Problem çözmek yalnızca algoritmik olmaktan ziyade anlamlı ve kavramsal bir süreçtir (BouJaoude & Barakat, 2003). Bir problemi algoritmik olarak çözmek önceden var olan süreçleri kullanmaktır (Shuell, 1990). Öğrencilerin stokiyometri problemlerini algoritmik olarak çözebiliyor olmaları konuyu gerekli kavramsal düzeyde anladıkları anlamına gelmemektedir (Nurrenbern & Pickering, 1987). Öğrencilerin problemin temelinde yer alan kimyasal kavram ve konulara tam hâkim olamadıkları için algoritmik yöntemleri tercih ettikleri düşünülmektedir. Öğrenciler bir formülü ezberlemiş olabilirler ve problemdeki verileri bu formülde yerine koyarak doğru cevaba ulaşmaya çalışabilirler (Gabel & Bunce, 1994). Eğer öğretim öğrencilerin kimya konularını anlamalarından ziyade cevabın doğruluğuna odaklanıyorsa formülü ezberleme yaklaşımı devam edecektir (Nakhleh & Mitchell, 1993). Bu nedenle bilimsel okuryazarlığa sahip, bilgiyi eleştirebilen, yorumlayabilen ve değişik durumlara uygulayabilen öğrencilerin yetiştirilebilmesi için eğitim-öğretimin sürece odaklanması oldukça önemlidir.

Kavramsal problem çözümü kavramsal bilginin kullanıldığı ve algoritmaların da zihinde hazır tutulduğu çözümdür. Bu şekilde problem çözümü daha verimlidir, çünkü daha az adım kullanılarak daha kısa zamanda çözüme ulaşmayı sağlamaktadır (BouJaoude & Barakat, 2003; Schmidt, 1997). Düşük seviyede kavramsal anlayışa sahip öğrencilerin algoritmik stratejileri daha çok tercih ettikleri ve sorular zorlaştıkça bu soruları ya çözemedikleri ya da yanlış çözdükleri görülmüştür (BouJaoude & Barakat, 2003). Bir öğrencinin tercih ettiği problem çözme stratejisi problemin güçlüğü ile ilgilidir (Schmidt, 1997). Öğrenciler zor bir problemi öncelikli olarak daha önce öğrendikleri stratejileri kullanarak çözmeye meyillidirler. Kolay bir problemde ise öğrenciler muhakemeye dayalı bir strateji kullanabilirler.

Öğrencilerin stokiyometri konusunda güçlükler yaşadığı bilinmektedir (Doka, 2010). Stokiyometri ile ilgili çalışmaların büyük çoğunluğu öğrenci başarısını cevapların doğruluğunu kriter alarak değerlendirmektedir. Hâlbuki stokiyometri problemlerinin çözümünde karşılaşılan güçlüklerin ve zayıf noktaların daha derinlemesine incelenmesi gerekmektedir (Gulacar et al., 2013). Kimya eğitimcilerinin öğrencilerin stokiyometri problemlerini çözerken karşılaştıkları güçlükleri tanımlaması öğrencilerin kavramsal problem çözücüler olmaları için uygun öğretim stratejilerinin geliştirilmesini sağlayacaktır (Shadreck & Enunuwe, 2018). Öğrencilerin stokiyometri hesaplamalarını zor bulmalarının nedeni, üzerinde durmaları gereken pek çok önemli noktanın bulunması olabilir. Bu önemli noktalar; mol kavramı, tepkimelerin denkleştirilmesi, cebirsel süreçler ve sözlü problemlerin matematiksel eşitliklere dönüştürülmesidir (BouJaoude & Barakat, 2003; Hafsah, Rosnani, Zurida, Kamaruzaman, & Yin, 2014; Musa, 2009; Schmidt & Jigneus, 2003). Ayrıca öğrencilerin sınırlı matematik yeterlikleri, stokiyometri problemlerinin çözümünde güçlükler yaşamalarına neden olmaktadır (Dahsah & Coll, 2008).

Mol birimini parçacık sayısı ve gram cinsinden kütle ile karıştırmaya meyilli olmaları stokiyometri konusunda öğrencilerin yaşadığı en büyük zorluk olarak belirlenmiştir (Furio, Azcona & Guisasola, 2002). Orantılılığın yalnızca mol oran için geçerli olduğunu anlamak, stokiyometri problemlerinde orantısal ilişki kurmada işe yarayacak önemli bir farkındalıktır (Case & Fraser, 1999). Bunun için de öğrencilerin orantısal, çarpımsal ve toplamsal ilişkiler için güçlü bir kavramsal anlayışa sahip olmaları gerekmektedir. Girdi ve çıktıların molar olmayan nicelikleri için orantıyı uygulamak bir kavram yanılgısıdır. Bu durum orantısal akıl yürütme becerisinin stoyikometri problemlerinin çözümünde niçin önemli olduğunu ön plana çıkarmaktadır (Huddle & Pillay, 1996; Ramful & Narod, 2014).

Stokiyometri Problemlerinin Çözümü ve Orantısal Muhakeme

Pek çok temel kimyasal kavram matematik terimleri ile ifade edildiği için kimya eğitiminde matematiğin kullanımı pedagojik sınırlılıklar oluşturabilir (Desjardins, 2008) ve üzerinde durulması gerekmektedir. Öğrencilerin matematiksel bilgilerinin eksik olması ve gerekli matematiksel bilgiyi uygulama ve yorumlama veya bu bilgiyi kimyaya transfer etme becerilerinin istenen düzeyde olmaması (Hoban, 2011) öğrencilerin kimya konularında karşılaştıkları matematiksel problemlerin çözümünde güçlük yaşamalarına neden olmaktadır. Fen ve matematik eğitiminde yapılan araştırmalar, öğrencilerin fen ve matematik bilgilerinin birbiri ile bağlantılı olmayan işlemsel parçalara ayrılmış bir biçimde bulunduğu için çoğunlukla başarısız olduklarını göstermektedir (Adigwe, 2013; Anderson, 1993; diSessa, 1988; Pascarella, 2002). Fen ve matematik eğitimcilerinin bu alanlara ait kavramların birbiri ile ilişkili olduğunu öğrencilerin keşfetmesini sağlayacak şekilde ele almaları öğrencilerin karşılaştıkları güçlüklerin üstesinden gelmesine destek olacaktır.

Orantısal muhakeme becerisi fen derslerinde öğrenci başarısı (Akatugba & Wallace, 1999; Harel, Behr, Post, & Lesh, 1992; Mitchell & Lawson, 1988) ve formal işlem becerisinin gelişimi (Inhelder & Piaget, 1958) için büyük önem taşımaktadır. Orantısal muhakeme ortak değişim ve çeşitli kıyaslamaları anlamlandırmayı içeren bir matematiksel akıl yürütme süreci ve bilginin çeşitli parçalarını zihinde tutma ve zamanı geldiğinde sürece dâhil etme yeteneğidir. İki nicelik arasındaki çarpımsal ilişkiyi fark etme yeteneğinin yanı sıra aynı ilişkiyi diğer nicelik çiftine de uyarlamayı içerebilir (Ramful & Narod, 2014). Orantısal akıl yürütme yorum ve tahmin ile yakından ilgilidir ve nicel ve nitel düşünme yöntemlerini bir arada bulundurmaktadır (Lesh et al., 1988). Öğrenciler farklı temsiller ile çalıştıkları ve bu sayede problemleri keşfettikleri ve çözdükleri zaman orantısal akıl yürütme becerileri geliştirmektedirler. Orantısal akıl yürütme becerisine sahip bireyler iki çokluğun birlikte değişimini ilişkilendirebilir, bir çokluktaki değişimin diğer çokluğu nasıl etkileyeceğini tahmin edebilir ve orantıları çözmek için önceden belirlenmiş algoritmalar yerine kendi çözüm stratejilerini geliştirebilirler.

Çok çeşitli karmaşıklık seviyeleri içerdiği için kimyada orantısal akıl yürütmenin anlaşılması daha güçtür. Ramful ve Narod (2014) stokiyometri problemlerini içerdiği karmaşıklıkları göz önüne alarak beş seviyeye ayırmıştır (Tablo 1).

Tablo 1.
Stokiyometrik problemlerin çözümünde kullanılan seviyeler

Seviye	Tanımı
1	Birimleri dönüştürmeye ihtiyaç olmadan orantısal ilişki doğrudan kullanılır.
2	Çokluklar farklı birimlerde verilir ve orantısal ilişkinin kullanılabilmesi için bu birimlerin mole dönüştürülmesi gerekmektedir.
3	İntensif birimler (örn. yoğunluk, molar hacim) şeklinde verilmiş çoklukları içeren orantısal ilişkiler
4	İki veya daha fazla orantısal ilişki verilmiştir (farklı kimyasal eşitlikler ile ifade edilebilirler). İntensif birimleri veya birim dönüştürmeyi içerebilir.
5	Çokluklardan birinin bilinmediği veya bilinmeyen bir elementi içeren iki çokluk arasındaki orantısal ilişki. İntensif birimleri veya birim dönüştürmeyi içerebilir.

Karmaşıklık seviyesi ne olursa olsun herhangi bir orantısal ilişkiyi içeren bir problemin çözümünde kullanılabilecek stratejiler *birim oran, değişim çarpanı, denk kesir* ve *içler dışlar çarpımı*dır. "Ali ve Ayşe eşit hızda yol almaktadır. Ali 40 km yolu 20 dakikada gidiyor ise Ayşe 120 km yolu kaç dakikada gider?" problemi için bu stratejiler şu şekilde açıklanabilir (Cramer & Post,1993; s. 406);

(i) Birim oran stratejisinde 40 km yolu 20 dakikada alıyor ise 1 km yolu 0,5 dakikada alır düşüncesi ile birim oran belirlenir ve buradan 120 km'nin kaç dakikada alınacağı bulunur. Diğer yandan bir dakikada kaç km yol alınacağı bulunarak da 120 km'nin kaç dakikada alınacağı bulunur.

(ii) Değişim çarpanı stratejisi "kaç katı" stratejisi olarak da ele alınabilir. Bu stratejiyi kullanan bir öğrenci şu şekilde düşünmektedir: "Eşit hızdaki Ayşe'nin aldığı yol (120 km) Ali'nin aldığı yolun (40 km) üç katı ise Ayşe'nin yol aldığı süre de Ali'nin yol aldığı sürenin (20 dakika) 3 katı yani 60 dakika olacaktır".

(iii) Denk kesir stratejisinde öğrenciler Ali ve Ayşe'nin hızlarını birer kesir gibi ele alır ve bu kesirleri denkleştirmeye çalışırlar. Ali'nin hızı $\frac{40\ km}{20\ dakika}$ ve Ayşe'nin hızı da ($\frac{120\ km}{?\ dakika}$) olarak belirlenir. Hızlar eşit ise Ali'nin hızını gösteren kesirde hem payın hem de paydanın 3 ile çarpılması ile 60 dakika cevabına ulaşırlar.

(iv) İçler-dışlar çarpımı etkili bir stratejidir ancak gerçek dünya ile ilişkilendirme yönü eksiktir. Bu stratejiyi kullanan öğrenci şu şekilde bir çözüm geliştirir;

$$\frac{20\ dakika}{40\ km} = \frac{?\ dakika}{120\ km}$$
$$20 dakika \times 120 km = ?\ dakika \times 40 km$$
$$\frac{20 dakika \times 120 km}{40 km} = ?\ dakika$$
$$60\ dakika = ?\ dakika$$

Araştırmanın Önemi

Kimyasal tepkimelere ilişkin problemlerle ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde her kademeden öğrenciler ile yapılan çalışmalar olduğu görülmektedir. Hafsah ve diğerleri (2014) ortaokul öğrencilerinin stokiyometri problemlerini çözme performanslarının mole ilişkin kavramsal anlama düzeyleri, problemleri temsil yetenekleri ve matematik yetenekleri tarafından nasıl etkilendiğini araştırmışlardır. Adigwe (2013) ise ortaokul öğrencilerinin stokiyometri problemlerindeki başarıları ile matematiksel becerileri arasındaki ilişkiyi ele almıştır. BouJaude ve Barakat (2003) ise lise öğrencilerinin stokiyometri problemlerini çözme başarıları ile öğrenme yaklaşımları ve kavramsal anlama düzeylerini karşılaştırmışlardır. Yine lise öğrencileri ile yapılan başka bir çalışmada Shadreck ve Enunuwe (2018) stokiyometri problemlerinin çözümünde karşılaşılan güçlükleri belirlemişlerdir. Huddle ve Pillay (1996) üniversite öğrencilerinin kimyasal tepkimelere ilişkin problemleri çözme adımlarındaki (tepkimeyi denkleştirme, tepkimeye giren her bir maddenin miktarını belirleme, sınırlayıcı bileşeni belirleme ve tepkime sonucu ortaya çıkan ürünlerin miktarını belirleme) başarılarını incelemişlerdir. Wagner (2001) ise mol oran akış çizelgesi stratejisi kullanımının üniversite öğrencilerinin stokiyometri problemlerini çözme başarıları üzerinde etkili olduğunu göstermişlerdir.

Bir konuyu anlamayan bir kişinin o konuyu çok iyi öğretebilmesi oldukça güçtür (Shulman, 1986). Ortaokul öğrencilerinin kimyasal denklemler konusunda iyi birer problem çözücü olabilmeleri için fen bilimleri öğretmenlerinin stokiyometri konusunu çok iyi anlamış olmaları gerekmektedir. Stokiyometri problemlerinin başarılı bir şekilde çözülmesi için ise mol kavramına dair kavramsal bir anlayış, kimyasal tepkimenin doğru denkleştirilmesi ve denkleştirilmiş tepkimedeki mol oranlarının doğru bir biçimde yorumlanması ve uygulanması gerekmektedir (Hafsah et al., 2014). Yapılan çalışmalar incelendiğinde, üniversite öğrencileri ile yapılan çalışmaların azlığı ve bu çalışmaların genellikle öğrencilerin problem çözme performanslarına odaklandığı ve çoğunlukla kimya öğrencileri ile yapıldığı görülmektedir. Bu durum, öğrencilerin gelecekte stokiyometri performanslarına ilişkin bir yordamada bulunmak ve gerekli önlemleri almak için fen bilimleri öğretmen adaylarının stokiyometri problemlerine ilişkin çözümlerini incelemeyi bir ihtiyaç olarak gözler önüne serebilir.

Orantısal muhakeme becerisinin stoyikometri problemlerinin çözümündeki önemi göz önüne alınarak bu çalışmada Ramful ve Narod (2014) tarafından oluşturulan karmaşıklık seviyelerine dair her bir problemde öğretmen adaylarının orantısal muhakeme stratejilerini ne derecede kullandıklarının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda araştırma problemleri şu şekilde belirlenmiştir;

(i) Öğretmen adaylarının kimyasal tepkimeleri denkleştirme ve problemleri çözme başarıları nasıldır?

(ii) Öğretmen adaylarının her bir karmaşıklık seviyesindeki problemlerin çözümünde kullandıkları orantısal muhakeme stratejileri nelerdir?

Yöntem

Bu çalışmada öğretmen adaylarının farklı zorluk seviyelerindeki kimyasal tepkimelere ilişkin problem çözümlerinin doğruluğu ve bu problemlerin çözümünde kullandıkları orantısal akıl yürütme stratejilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla nitel araştırma yöntemlerinden bütüncül çoklu durum çalışması kullanılmıştır (Merriam, 2009; Yin, 2003). Öğretmen adaylarının her bir seviyedeki stokiyometri problemine ilişkin çözümleri birer durum ve bu çözümlerin doğruluğu ve kullanılan orantısal akıl yürütme stratejileri analiz birimi olarak ele alınmıştır.

Çalışma Grubu

Araştırmanın çalışma grubu, bir devlet üniversitesinin eğitim fakültesinde üçüncü sınıfa devam eden 37 fen bilgisi öğretmen adayından oluşmaktadır. Çalışma grubunun belirlenmesinde amaçlı örnekleme kullanılmıştır (Plano Clark & Creswell, 2015). Üçüncü sınıfta öğrenim görmekte olan öğretmen adayları daha önce aldıkları kimya derslerinde kimyasal tepkimeleri ve bu tepkimelerle ilgili problemleri nasıl çözeceklerini öğrenmişlerdir. Bu nedenle stoyikometri problemlerini çözebilmek için gerekli kavramsal ve işlemsel bilgiye sahip oldukları düşüncesiyle çalışmanın katılımcıları olarak belirlenmiştir. Çalışmaya katılan öğretmen adaylarının yaş aralığı 20-28 arasında olup katılımcıların yaş ortalaması 22.56 (Ss=1.326) ve %32'si (f=12) erkek, geri kalan %68'i (f=25) ise bayandır.

Veri Toplama Aracı

Araştırmada veri toplama aracı olarak "Stokiyometri Problemlerine İlişkin Tanılayıcı Form" kullanılmıştır. Alan yazın taraması sonrasında, öğretmen adaylarının kimyasal tepkimeler konusunda problem çözümlerinin doğruluğu ve orantısal muhakeme stratejilerinin belirlenmesi amacıyla Ramful ve Narod (2014) tarafından her bir karmaşıklık seviyesi için örnek olarak verilen ve toplamda yedi adet sorudan oluşan bir taslak form hazırlanmıştır. Taslak formun Türkçe'ye uyarlanması sürecinde belirtilen soruların bu araştırmanın bağlamı göz önüne alınarak her bir karmaşıklık seviyesini temsil edip etmediklerinin belirlenmesi için uzman görüşü alınmıştır. Alan uzmanlarından ölçme aracının her bir maddesinin ait olduğu iddia edilen karmaşıklık seviyesine uygunluğunu "*uygun*", "*uygun değil*" ve "*geliştirilmesi gerekir*" seçeneklerini baz alarak değerlendirmeleri istenmiştir. Uzman görüşlerinden gelen dönütler doğrultusunda taslak formun Kendall'ın Tau korelasyon katsayısı ,865 olarak belirlenmiştir.

Ayrıca bu süreçte araştırmacılar ölçek maddelerinde meydana gelebilecek eksik ve yanlış anlamaları ortadan kaldırmak amacıyla iki öğretmen adayı ile pilot bir uygulama yapmışlardır. Bu pilot uygulama sürecinde öğretmen adaylarının her bir soruyu sesli bir biçimde okumaları ve cevaplamaları istenmiştir (Bowles, 2010; Ericsson & Simon, 1998). Böylece araştırmacıların ve öğretmen adaylarının soruyu aynı şekilde anlamlandırıp anlamlandırmadığının belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, öğretmen adaylarının her bir seviyedeki problemleri çözme sürecinde düşünce yapılarını ortaya koyabilmek amacıyla her bir sorunun altına öğretmen adaylarının kullanabilmeleri için boş bir alan bırakılmıştır. Öğretmen adaylarının soru çözümlerini bu alana yapmaları ve bu süreçte sorunun çözümünde nasıl bir yol izlediklerini ve çözümlerine ilişkin gerekçelerini yazmaları ve açıklamaları istenmiştir. Veri toplama aracının son hali Tablo 2' de verilmiştir. Kimyasal reaksiyonların denkleştirilmeden verildiği Tablo 2'den görülebilir. Öğretmen adaylarının problemleri doğru çözebilmeleri için ilk önce reaksiyonlardaki katsayıları denkleştirmeleri gerekmektedir.

Tablo 2.

Stokiyometri Problemlerine İlişkin Tanılayıcı Formda yer alan sorular

Seviye	Soru	
1	Aşağıdaki kimyasal tepkimeleri denkleştiriniz. Tepkimeyi oluşturan bileşikler arasında nasıl bir oran olduğunu açıklayınız.	
	1(a)	$Fe_2O_{3(k)} + CO_{(g)}$ ----------> $Fe_{(k)} + CO_{2(g)}$

	1(b)	NaN_3 ----------> $Na + N_2$ $Na + KNO_3$ ----------> $K_2O + Na_2O + N_2$
2	**2(a)**	$ZnS + O_2$ ----------> $ZnO + SO_2$ 388 gr ZnS bileşiğinin artansız bir şekilde tepkimeye girebilmesi için kaç litre oksijen gazına ihtiyaç vardır? Açıklayarak yazınız. (Zn=65, S=32) (1 mol gaz = 22,4 litre)
	2(b)	$NH_3 + O_2$ ----------> $NO + H_2O$ $NO + O_2$ ----------> NO_2 $NO_2 + O_2 + H_2O$ ----------> HNO_3 51 gr amonyak (NH_3) bileşiğinin zincirleme bir şekilde yeterince oksijen (O_2) ile tepkimeye girmesi sonucunda kaç gr nitrik asit (HNO_3) bileşiği oluşur. Her bir yaptığınız işleme ilişkin gerekçenizi yazınız. (N=14, H=1, O=16)
3		$Na_2CO_3 + HCl$ ----------> $NaCl + H_2O + CO_2$ Yoğunluğu 0,4 mol/dm^3 olan sodyumkarbonat (Na_2CO_3) çözeltisinin 20 cm^3'ünün artansız bir şekilde tepkimeye girmesi için yoğunluğu 0,5 mol/dm^3 olan hidroklorik asit (HCl) çözeltisinin hacminin ne kadar olması gerekir? (H=1, Cl=35, Na=23, C=12, O=16) (1 dm = 10 cm)
4		$I_2O_5 + CO$ ----------> $CO_2 + I_2$ $Na_2S_2O_3 + I_2$ ----------> $Na_2S_4O_6 + NaI$ Yoğunluğu 0,1 mol/dm^3 olan sodyumtiyosülfat ($Na_2S_2O_3$) çözeltisinin 20 cm^3'ünün yeterince iyot (I_2) ile tepkimeye girebilmesi için kaç gram karbonmonoksit (CO) bileşiğine ihtiyaç vardır? (I=127, S=32, Na=23, C=12, O=16) (1 dm = 10 cm)
5		$X(NO_3)_2$ ----------> $XO + NO_2 + O_2$ $X(NO_3)_2$ bileşiği ısıtıldığında yukarıdaki tepkime gerçekleşmektedir. 5g $X(NO_3)_2$ bileşiğinin ısıtılması sonucunda toplam kütlenin 3,29 gram azaldığı görülmektedir. Buna göre X metalinin atomik kütlesini hesaplayınız. (N=14, O=16)

Verilerin Analizi

Elde edilen veriler üç aşamada analiz edilmiştir. Her bir karmaşıklık seviyesine ait sorulardaki (i) tepkimelerin doğru denkleştirip denkleştirilmediği, (ii) çözümlerin doğruluğu ve (iii) kullanılan orantısal muhakeme stratejileri baz alınarak içerik analizi aracılığıyla veriler çözümlenmiştir. Öğretmen adaylarının her bir seviyedeki sorulardaki tepkimeleri doğru denkleştirip denkleştirmediğinin analiz edilmesinin ardından çözümlerinin doğruluğu "yanlış cevap", "doğru cevap", "cevap yok" ve "sadece tepkimeyi denkleştirme" temalarına göre incelenmiş, frekans ve yüzdeleri hesaplanmıştır. Cevapların doğru veya yanlış olması göz ardı edilerek öğretmen adaylarının verdikleri tüm cevaplarda kullandıkları orantısal muhakeme stratejileri Cramer ve Post (1993) tarafından ortaya konan (1) birim oran stratejisi, (2) değişim çarpanı, (3) içler-dışlar çarpımı ve (4) denk kesir stratejilerine göre analiz edilmiştir. Kullanılan stratejilerin analizi esnasında bazı öğretmen adaylarının aynı soruda birden fazla strateji kullandıkları görülmüştür. Bu nedenle her bir soruda her bir stratejinin toplam kaç öğretmen adayı tarafından kullanıldığının belirtilmesine karar verilmiştir. Öğretmen adayları orantısal akıl yürütme stratejilerinin yanı sıra zincir kuralı adını verdikleri kuralı ya da $m = dxV, n = \frac{m_a}{m}$ gibi formülleri kullanarak da problemleri çözmüşlerdir. Kullanılan stratejiler tablolaştırılırken orantısal akıl yürütme stratejileri ile birlikte algoritmik yaklaşım (zincir kuralı) ve formülsel yaklaşım da dahil edilmiştir. Ayrıca her bir temaya ilişkin öğretmen adayı cevaplarından direkt alıntılar yapılarak yapılan analiz örneklendirilmiş ve yorumlanmıştır.

Araştırmacılar veri analizini birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirmiştir ve analiz süreci sonrasında elde ettikleri kod ve temalara dair yorum ve kısa notlarını birbirleri ile paylaşmışlardır. Yapılan paylaşımlar elde edilen bulgular üzerindeki benzerlik ve farklılıkları içermektedir. Her bir soru seviyesinde elde edilen bulgular üzerinde %100 uzlaşı sağlanıncaya kadar araştırmacılar fikir alışverişine devam etmişlerdir (Miles & Huberman, 1994).

Bulgular

Tepkimelerin denkleştirilmesi ve problem çözümlerine ilişkin bulgular

Pek çok araştırmacı (BouJaoude & Barakat, 2003; Hafsah et al., 2014; Staver & Jacks, 1988) stokiyometri problemlerinin çözümünde kimyasal tepkimenin denkleştirilmesi ve denkleştirme sonucu elde edilen matematiksel eşitlikteki orantılılığın doğru kullanılmasının önemine vurgu yapmıştır. Bir stokiyometri probleminin çözümü için gerekli ilk adım olması nedeniyle öncelikli olarak öğretmen adaylarının sorularda verilen kimyasal tepkimeleri nasıl denkleştirdikleri incelenmiştir. Sorularda yer alan kimyasal tepkimelerin ne derecede doğru denkleştirildiği ve problem çözümlerinin ne derecede doğru olduğuna ilişkin betimsel analiz sonuçları Tablo 3'te yer almaktadır.

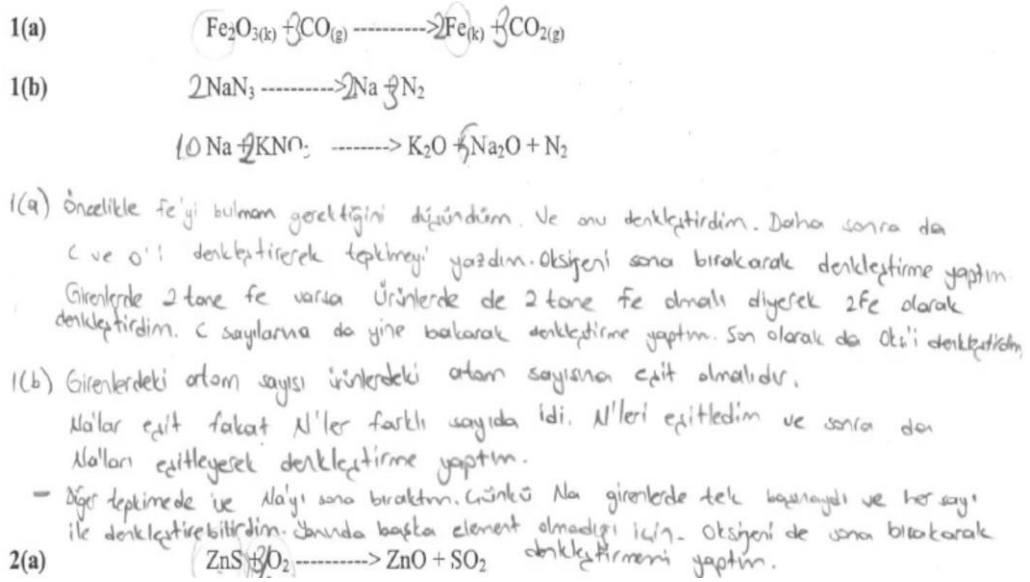
Tablo 3.
Öğretmen adaylarının denkleştirdikleri kimyasal tepkimelerin ve problem çözümlerinin doğruluğuna ilişkin betimsel analiz sonuçları

			1a	1b	2a	2b	3	4	5	Toplam
Kimyasal tepkimenin denkleştirilmesi	**Doğru**	f	25	23	30	24	14	13	24	153
		%	67.57	62.16	81.08	64.86	37.84	35.14	64.86	**59.07**
	Yanlış	f	8	12	7	13	18	13	6	77
		%	21.62	32.43	18.92	35.14	48.65	35.14	16.22	**29.73**
	Boş	f	4	2	-	-	5	11	7	29
		%	10.81	5.41	-	-	13.51	29.73	18.92	**11.20**
Problemin çözümü	**Doğru**	f	-	-	20	20	-	4	-	44
		%	-	-	74	74	-	10.81	-	**23.78**
	Yanlış	f	-	-	17	14	25	13	12	81
		%	-	-	-	37.84	67.57	35.14	32.43	**43.78**
	Sadece tepkimeyi denkleştirme	f	-	-	-	2	7	5	14	28
		%	-	-	-	5.41	18.92	13.51	37.84	**15.14**
	Boş	f	-	-	-	1	5	15	11	32
		%	-	-	-	2.70	13.51	40.54	29.73	**17.30**

Tablo 3'e göre öğretmen adaylarının kimyasal tepkimelerin denkleştirilmesinde başarılı oldukları söylenebilir. Üçüncü ve dördüncü seviyedeki sorular hariç diğer sorularda verilen kimyasal tepkimeleri öğretmen adaylarının yarısından fazlası doğru denkleştirmiştir. Üçüncü ve dördüncü sorularda giren ürünlerin miktarı hacim ve intensif bir birim olan yoğunluk cinsinden verilmiştir. Bu birimler kimyasal tepkimenin nasıl denkleştirilmesi gerektiği noktasında çok etkili olmasa da öğretmen adaylarının tepkimeyi denkleştirme performansını etkilediği yorumu yapılabilir. Öğretmen adaylarının büyük çoğunluğunun problemi doğru çözebilmek için gerekli ilk adımı attıkları söylenebilir. Ancak kimyasal tepkimeleri doğru denkleştiren öğretmen adaylarının problem çözümünde ise aynı başarıyı gösteremediği görülmektedir. Problemlerin karmaşıklık düzeyi arttıkça öğretmen adaylarının soruyu doğru cevaplama oranında önemli ölçüde azalma meydana gelmiştir. Hatta üçüncü ve beşinci soruları doğru cevaplayan hiçbir öğretmen adayı çıkmamıştır.

Öğretmen adaylarının problem çözüm sürecinde sahip oldukları düşünce yapıları önemlidir ve kullandıkları stratejilerin düşünce yapılarının açığa çıkmasını sağlayacağı düşünülmektedir. Bu nedenle her bir seviyedeki problemlere ilişkin sonuçların yanı sıra öğretmen adaylarının kullandıkları stratejiler de incelenmiş ve öğretmen adaylarının düşünce sistemleri yorumlanmıştır. Ancak birinci seviyeye ait problemlerde öğretmen adaylarının yalnızca tepkimeyi denkleştirmeleri istenmiştir. Bu nedenle bu problemlere dair çözüm stratejileri öğretmen adaylarının cevaplarında yer almamaktadır. Öğretmen adaylarının birinci seviyede yer alan tepkimeleri büyük oranda doğru denkleştirdikleri Tablo 3'ten

görülmektedir. Birinci seviyede yer alan problemlerde öğretmen adaylarının tepkimeleri denkleştirirken elementin yalnız olup olmamasına dikkat ettikleri ve oksijen ve hidrojeni en son eşitlemek gerektiği şeklinde informal bir kuralı benimsedikleri görülmüştür. Bu şekilde düşünen öğretmen adaylarından birisi ÖA-5'tir ve birinci soruya ilişkin açıklaması Şekil 1 'de yer almaktadır.



Şekil 1. ÖA-5'in birinci seviyedeki 1a ve 1b sorularına cevabı

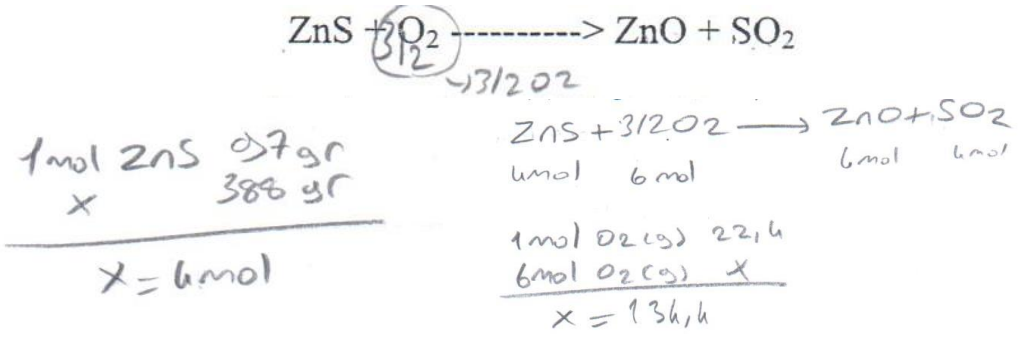
İkinci seviyedeki probleme ilişkin bulgular

Çoklukların farklı birimlerde verildiği ve mole dönüşümün gerektiği ikinci seviyede iki farklı soru yer almaktadır. Her iki soruda da tepkimeye giren ürün kütle cinsinden verilmiştir. Öğretmen adaylarından beklenen verilen kütlenin kaç mole karşılık geldiğini bularak katsayılar ile belirlenen mol oranlarını kullanmalarıdır. Öğretmen adaylarının ikinci seviyedeki sorulara verdikleri cevaplara ilişkin bulgular Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4.
Öğretmen adaylarının ikinci soruya verdikleri cevaplara ilişkin bulgular

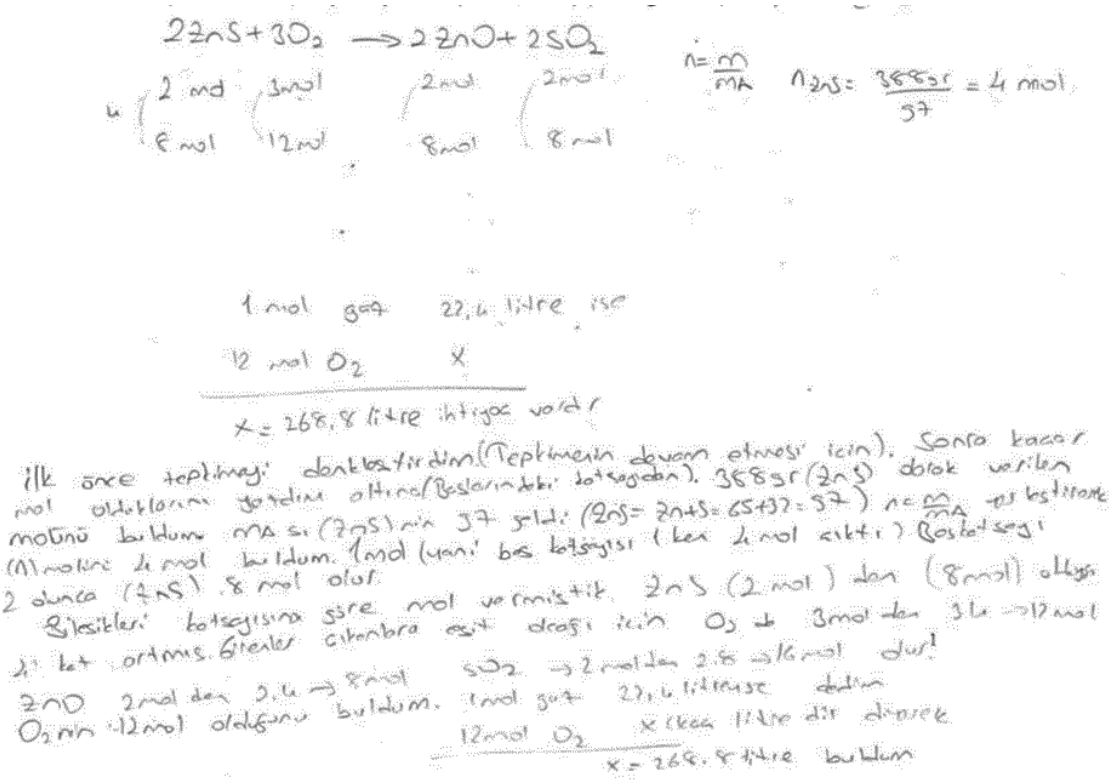
Seviye	Soru No	Temalar	Birim oran	Değişim çarpanı	İçler-dışlar	Denk kesir	Algoritmik yaklaşım	Formül
2	2a	Yanlış Cevap(f=17)	11	3	8	1	6	4
		Doğru cevap (f=20)	18	9	8	-	11	5
	2b	Cevap yok(f=1)	-	-	-	-	-	-
		Sadece tepkimeyi denkleştirme (f=2)	-	-	-	-	-	-
		Yanlış cevap (f=14)	5	4	9	-	1	2
		Doğru Cevap(f=20)	14	2	7	-	10	6

İkinci seviyede yer alan 2a sorusundaki tepkimeyi 30 öğretmen adayı doğru denkleştirmiştir. Bu öğretmen adaylarından 20'si ise soruyu doğru cevaplamıştır. Doğru cevap veren öğretmen adayları en çok birim oran (f=18) ve algoritmadan (f=11) faydalanmışlardır. Yanlış cevaplayan öğretmen adaylarının tepkimedeki katsayıların temsil ettiği molar oranı doğru kullanamadığı, algoritmayı yanlış yazdıkları veya işlem hatası yaptıkları sonucuna ulaşılmıştır. Bu soruya doğru cevap veren öğretmen adaylarından ÖA-17'nin ikinci seviyedeki birinci soruya ilişkin cevabı örnek olarak Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. ÖA-17'nin ikinci seviye birinci probleme ilişkin cevabı

Öğretmen adaylarının öncelikle kimyasal tepkime üzerinde giren ve ürünler kısmında toplam atom sayılarına bağlı olarak tepkimeyi denkleştirdiği görülmektedir. Daha sonra kütle cinsinden verilen bileşiğin kaç mol olduğunu bulmuş (birim oran) tepkime katsayılarını kullanarak değişim çarpanı stratejisi ile tüm ürünlerin mol oranını bulmuştur.

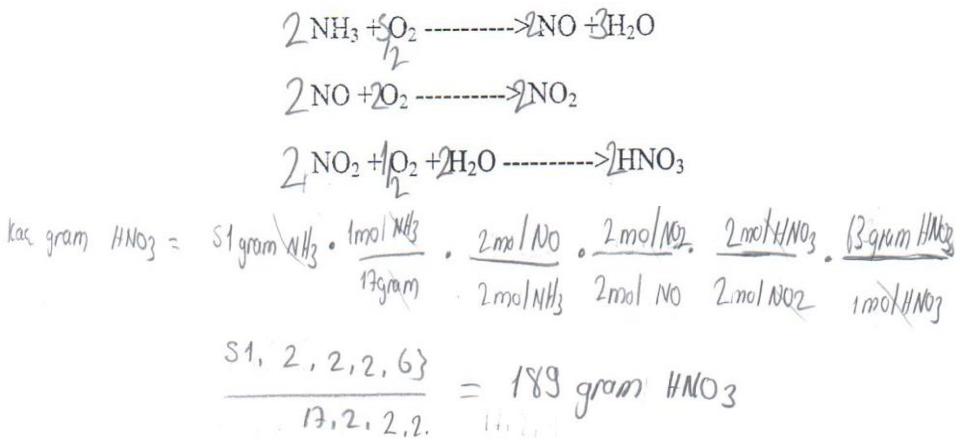


Şekil 3. ÖA-10'un ikinci seviye birinci probleme ilişkin cevabı

ÖA-10 tepkimenin denkleştirilmesi ile elde edilen molar oranı doğru bir biçimde kullanamamıştır. Tepkimenin hemen altına yazdığı mol oranları doğru olsa da ZnS bileşiğinin mol sayısı olan dördü değişim çarpanı gibi algılamış ve tüm molleri dört ile çarpmış ve yanlış cevaba ulaşmıştır.

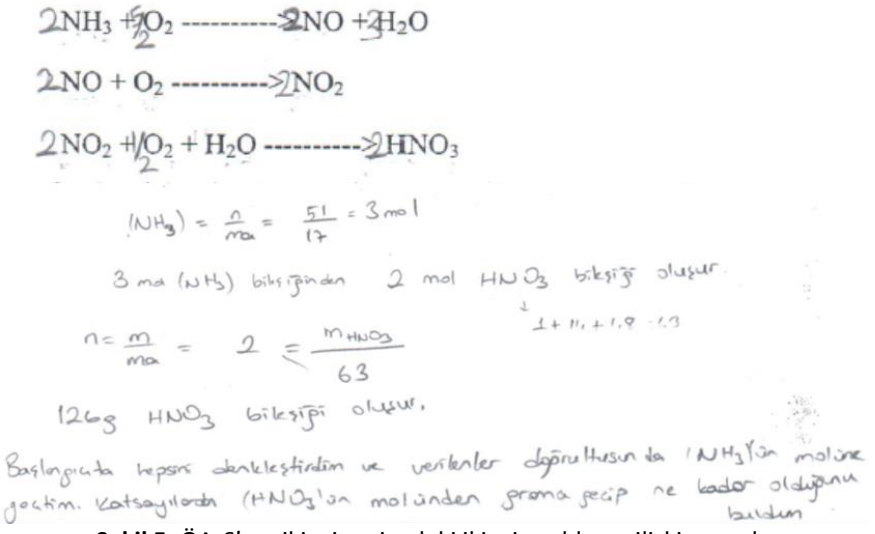
İkinci seviyedeki ikinci soruya ilişkin bulgulara bakıldığında ise 1 öğretmen adayının cevap vermediği, 2 öğretmen adayının ise sadece tepkimeyi denkleştirdiği ancak soruyu cevaplamadıkları görülmektedir. Soruyu cevaplayan öğretmen adaylarının ise %54.05'i (f=20) doğru cevap, %37.83'ü (f=14) ise yanlış

cevap vermiştir. Algoritmayı doğru kullanan öğretmen adaylarının aynı zamanda birim oran stratejisini kullandıkları göz önüne alındığında öğretmen adaylarının doğru cevaba ulaşırken çoğunlukla algoritmayı kullandıkları söylenebilir. Algoritmayı kullanan ÖA-11'in vermiş olduğu cevaba ilişkin alıntı Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. ÖA-11'in ikinci seviyedeki ikinci probleme ilişkin cevabı

Bu düzeydeki soruyu doğru cevaplayanlar incelendiğinde ilk olarak her bir tepkimenin kendi içerisinde denkleştirildiği görülmektedir. Öğretmen adayı algoritmayı yazarken kütle cinsinden verilen NH_3 bileşiğinin 1 molünün kaç gram olduğundan ve denkleştirilmiş tepkimelerdeki mol oranlarında faydalandığı görülmektedir. Yanlış cevaplayan öğretmen adaylarının mol oranlarını doğru bir biçimde kullanamadıkları, mol oranlarını kullanarak yanlış orantı kurdukları ya da algoritmayı tamamlayamadıkları görülmüştür. Bu soruda birbiri ile ilişkili üç tepkime verilmesine rağmen bazı öğretmen adayları her bir tepkime için ayrı bir orantı kurmuş veya yine her bir tepkime için ayrı algoritma yazmıştır. Ayrıca matematiksel bir eşitlik çözüyormuş gibi tepkimelerdeki girenler ve ürünlerin birbirini götürdüğünü düşünüp üç kimyasal tepkimeden tek bir kimyasal tepkime elde eden ve çözüm yapan öğretmen adayları da bulunmaktadır.



Şekil 5. ÖA-6'nın ikinci seviyedeki ikinci probleme ilişkin cevabı

ÖA-6 tepkimeleri doğru denkleştirmiş ancak katsayıların temsil ettiği molar oranı kullanamamıştır. Tepkimeleri denkleştirdikten sonra NH_3 ve HNO_3'ün katsayılarını eşit bulmuş ancak 3 mol NH_3 tepkimeye girince 2 mol HNO_3 elde edileceğini belirtmiştir. Öğretmen adayının kimyasal tepkimelerdeki molar orana ilişkin kavram bilgisinin eksik olduğu söylenebilir.

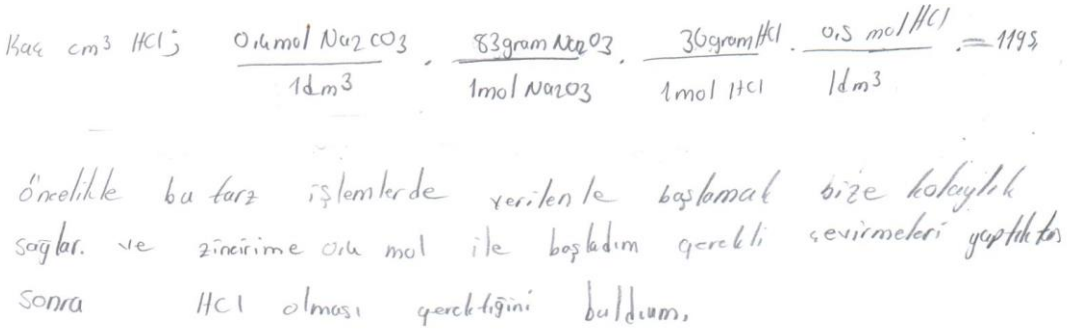
Üçüncü seviyedeki probleme ilişkin bulgular

Karmaşıklık seviyesinin biraz daha arttığı ve intensif bir birimin kullanıldığı üçüncü soruya öğretmen adaylarının verdikleri cevaplara ilişkin bulgular Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 5.
Öğretmen adaylarının üçüncü soruya verdikleri cevaplar

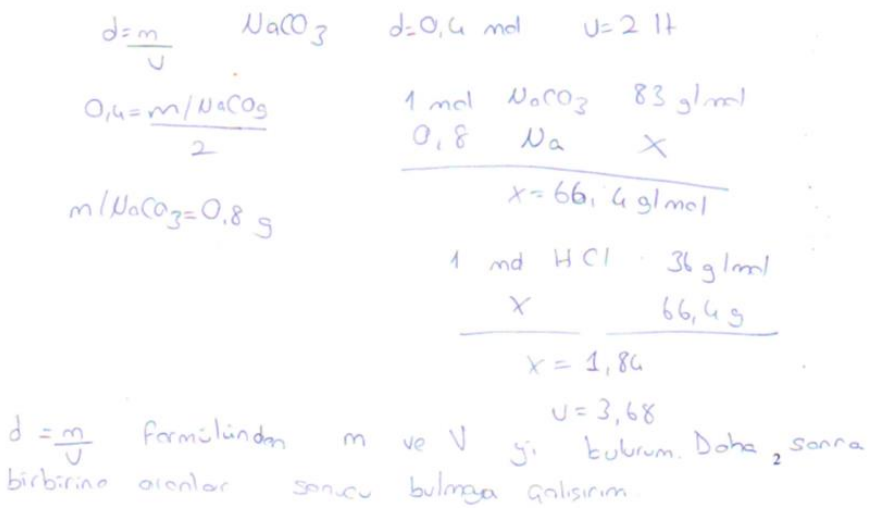
Seviye	Soru No	Temalar	Birim Oran	Değişim çarpanı	İçler-dışlar	Denk kesir	Algoritmik yaklaşım	Formülsel yaklaşım
		Cevap yok(f=5)	-	-	-	-	-	-
3	**3**	Sadece tepkimeyi denkleştirme (f=7)	-	-	-	-	-	-
		Yanlış Cevap(f=25)	8	2	11	-	4	18

Hiçbir öğretmen adayı üç numaralı soruya doğru cevap verememiştir. Beş (%13.51) öğretmen adayı cevap vermemeyi tercih etmiş, yedi (%18.92) öğretmen adayı tepkimeyi denkleştirmiş ancak problemin çözümünü bulamamış ve 25 (%67.57) öğretmen adayı ise yanlış cevap vermiştir. Soruyu cevaplayan öğretmen adayları çoğunlukla formülleri kullanmayı tercih etmiştir. Üçüncü soruda tepkimeye giren Na_2CO_3 çözeltisinin hacmi ve yoğunluğu verilmiş ve tepkime sonucu ortaya çıkan ve yoğunluğu verilen HCl çözeltisinin hacmi istenmiştir. Her iki çözeltinin de yoğunluğu mol/dm^3 cinsinden verilmiştir. Öğretmen adayları $kütle = yoğunlukxhacim$ formülünü kullanmışlardır. Ancak bu soruda $yoğunlukxhacim$ formülü kütle yerine çözeltinin molünü verecektir. Öğretmen adayları ise çoğunlukla bu ayrımı fark edememiş ve hacim ve yoğunluğun çarpımı ile elde ettikleri sayıları kütle olarak algılamış ve sonuç olarak problemi doğru çözememişlerdir. Öğretmen adaylarının bu soruda doğru sonuca ulaşamamalarının bir başka nedeni ise dm^3 ve cm^3 birimleri arasındaki dönüşümü doğru yapamamış olmalarıdır.



Şekil 6. ÖA-11'in üçüncü seviyedeki probleme ilişkin cevabı

ÖA-11, Na_2CO_3 çözeltisinin yoğunluğunu doğru yorumlamış ancak algoritmanın ilerleyen kısımlarında hacmi kullanmak yerine çözeltilerin mol kütlelerine ilişkin birim oranları yazmıştır. Başka bir deyişle, algoritmasında yoğunluktan hacime geçiş yapamamıştır. ÖA-28 ise Na_2CO_3 çözeltisinin molünü doğru bulmuş ancak hacim yerine kütleyi kullanmıştır. Öğretmen adaylarının kimyasal tepkime problemlerinde çoğunlukla kütle ile işlem yapmaya meyilli oldukları bu nedenle hacmi bir veri olarak başarılı bir şekilde kullanamadıkları söylenebilir.



Şekil 7. ÖA-28'in üçüncü seviyedeki probleme ilişkin cevabı

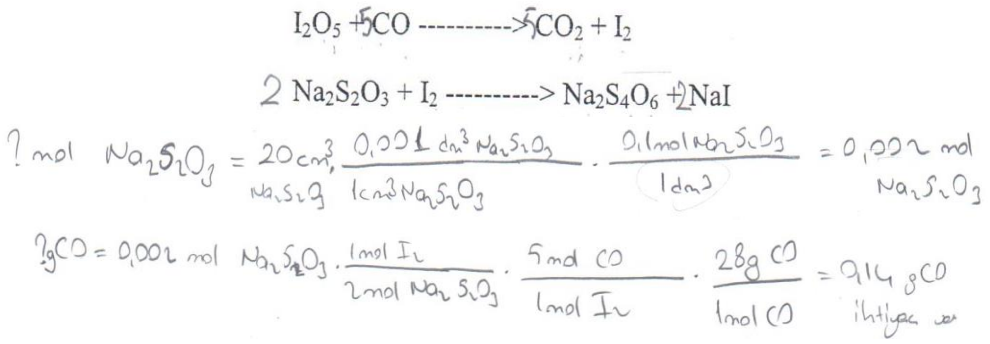
Dördüncü seviyedeki probleme ilişkin bulgular

Birbirini takip eden iki kimyasal tepkimeden oluşan ve madde miktarlarının hacim cinsinden verildiği dördüncü seviyedeki soruya öğretmen adaylarının verdikleri cevaplara ilişkin bulgular ise Tablo 6'da yer almaktadır.

Tablo 6.
Öğretmen adaylarının dördüncü soruya verdikleri cevaplar

Seviye	Soru No	Temalar	Birim Oran	Değişim çarpanı	İçler-dışlar	Denk kesir	Algoritmik yaklaşım	Formülsel yaklaşım
4	4	Cevap yok(f=15)	-	-	-	-	-	-
		Sadece tepkimeyi denkleştirmiş(f=5)	-	-	-	-	-	-
		Yanlış cevap (f=13)	4	6	7	-	2	8
		Doğru cevap(f=4)	4	-	-	-	4	-

Tablo 6'ya göre öğretmen adayları çoğunlukla bu soruya ya yanlış cevap (f=13, %35.14) vermiş ya da cevap vermemiştir (f=15, %40.54). Yalnızca dört öğretmen adayı algoritmik yaklaşımı kullanarak doğru cevabı vermiştir. ÖA-22'nin bu seviyedeki doğru cevabı Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. ÖA-22'nin dördüncü seviyedeki probleme ilişkin cevabı

Problemin çözüm sürecinde intensif değişken (20 cm^3 $Na_2S_2O_3$) olarak verilen birimin öncelikle mol olarak karşılığının bulunması gerekmektedir. Daha sonra her iki tepkimede ortak olarak verilen I_2 elementinin mol sayıları üzerinden CO bileşiğinin mol miktarına ulaşılması beklenmektedir. ÖA-22 algoritmik yaklaşım ile ilk olarak $Na_2S_2O_3$'ün molünü bulmuş ve katsayılar arasındaki mol oranını kullanarak doğru çözüme ulaşmıştır.

Beşinci seviyedeki probleme ilişkin bulgular

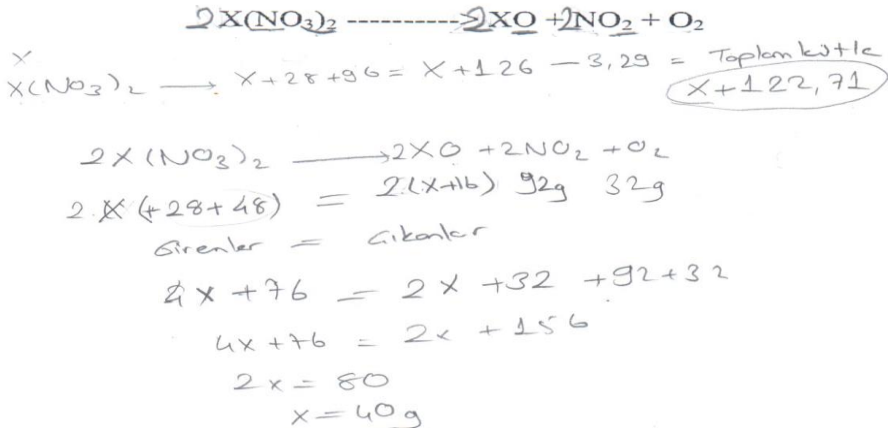
En karmaşık seviye olarak belirlenen çokluklardan birinin bilinmediği ya da bilinmeyen bir elementi içeren beşinci seviyedeki soru ile ilgili öğretmen adayı cevaplarına ilişkin bulgular Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7.

Öğretmen adaylarının beşinci soruya verdikleri cevaplar

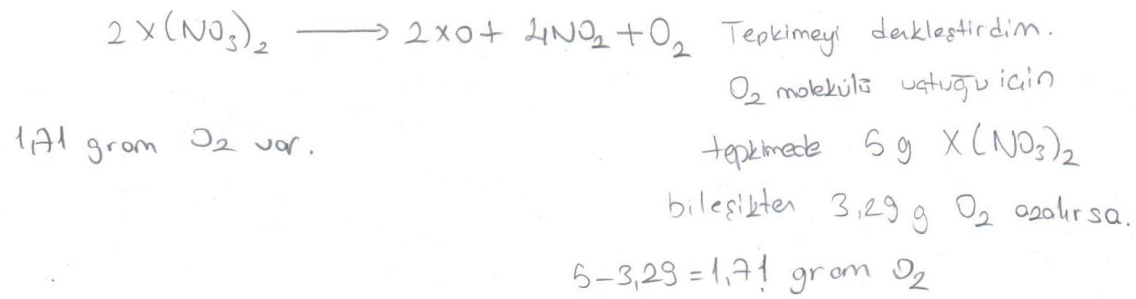
Seviye	Soru No	Temalar	Birim Oran	Değişim çarpanı	İçler-dışlar	Denk kesir	Algoritmik yaklaşım	Formülsel yaklaşım
5	5	Cevap yok(f=11)	-	-	-	-	-	-
		Sadece tepkimeyi denkleştirmiş(f=14)	-	-	-	-	-	-
		Yanlış cevap (f=11)	2	1	1	-	-	1

Beşinci soruya hiçbir öğretmen adayı doğru cevap verememiştir. Soruya cevap veren 11 öğretmen adayı ise yanlış cevap vermiştir. Öğretmen adayları kimyasal tepkimeyi eşitlemiş olsa da maddeler arasındaki mol oranını kullanmamışlardır. Tepkimeye giren ve tepkimeden çıkan ürün miktarlarının eşit olması gerektiği yani kütlenin korunumu yasasından faydalanmışlardır. ÖA-7 bu yasayı kullanan bir öğretmen adayıdır. Ancak bu öğretmen adayı hem problemde verilen verileri kullanmamış hem de işlem hatası yapmıştır.



Şekil 9. ÖA-7'nin beşinci seviyedeki probleme ilişkin cevabı

Bu soruyu cevaplayan öğretmen adaylarının bir kısmı ise tepkimenin sonunda azalan miktarın tepkime sonucu ortaya çıkan gazların miktarını vereceği düşüncesinden yola çıkmıştır. Ancak bu şekilde düşünen öğretmen adaylarının büyük bir kısmı NO_2'nin bir gaz olduğunu ayırt edememiş ve azalan kütlenin O_2'nin olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 10).



Şekil 10. ÖA-21'in beşinci seviyedeki probleme ilişkin cevabı

Öğretmen adaylarının bu problemi çözmede başarısız oldukları görülmektedir. Ayrıca bu problemde dikkat çeken bir başka husus ise soruyu cevaplayan hiçbir öğretmen adayı algoritmadan faydalanmamış Olmasıdır. Bu bulgu literatürde de (BouJaoude & Barakat, 2003; Frazer & Servant, 1986) belirtildiği gibi sorular karmaşıklaştıkça algoritmaları kullanma oranlarının düştüğünü göstermektedir.

Sonuç, Tartışma ve Öneriler

Bu çalışmada stokiyometri problemleri için oluşturulmuş karmaşıklık seviyeleri göz önüne alınarak 37 öğretmen adayının stokiyometri problemlerinin çözümündeki başarısı ve problemlerin çözümünde kullandıkları orantısal muhakeme stratejilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Kimyasal bir tepkimeyi eşitlemek ve elde edilen katsayıları doğru kullanmak (Gulacar et al., 2013; Hafsah et al., 2014; Wagner, 2001; Yarroch, 1985) ve orantısal muhakeme becerilerinden faydalanmak (Akatugba & Wallace, 1999; Harel et al., 1992; Mitchell & Lawson, 1988) stokiyometri problemlerinin çözümünde başarıya ulaştırmaktadır. Bu noktalar göz önüne alınarak, öğretmen adaylarının yedi açık uçlu soruya verdikleri cevaplar üç adımda incelenmiştir. İlk adım öğretmen adaylarının kimyasal tepkimeleri doğru denkleştirip denkleştirmediklerinin gözden geçirilmesi, ikinci adım çözümlerin doğruluğu ve son adım ise çözüm yolunda kullandıkları stratejiler idi.

Kimyasal bir tepkimenin doğru denkleştirilmesi ürünler ve çıktılar arasındaki mol oranının doğru belirlenmesi ve her bir kimyasal maddenin molünün ayrı ayrı belirlenmesi için ilk adımdır (Hafsah et al., 2014). Bu çalışmaya katılan öğretmen adaylarının büyük çoğunluğu madde miktarlarının hacim cinsinden verildiği üç ve dördüncü sorular haricindeki kimyasal tepkimeleri doğru denkleştirmişlerdir. Konsantrasyon, kütle, hacim gibi farklı kimyasal nicelikler karmaşıklığa neden olabilmektedir (Case & Fraser, 1999). Katılımcıların hacim cinsinden niceliklerin verildiği bu sorularda kafalarının karıştığı ve bu önyargıdan dolayı tepkimeleri doğru denkleştiremedikleri düşünülmektedir.

Tepkimeleri doğru denkleştiren öğretmen adayları elde ettikleri bu matematiksel eşitlikteki oranları doğru yorumladıktan sonra ister orantısal muhakeme isterseler algoritmalar aracılığıyla doğru sonuca ulaşabilirler (BouJaoude & Barakat, 2003). Öğretmen adaylarının bir kimyasal tepkime problemini çözmenin ilk adımı olarak ele alınabilecek tepkimeleri denkleştirme başarı yüzdeleri %59 iken doğru cevaba ulaşma yüzdeleri %23.78 olarak bulunmuştur (Tablo 3). Bu sonuç öğretmen adaylarının tepkimelerde yer alan maddeler arasındaki mol oranlarına dair kavram eksikliklerinin olabileceği şeklinde yorumlanabilir (Case & Fraser, 1999; Dahsah & Coll, 2008). Problemlerin karmaşıklık seviyesi arttıkça öğretmen adaylarının problemleri doğru çözme oranlarının azaldığı görülmüştür. Benzer şekilde alan yazında da (BouJaoude & Barakat, 2003; Gulacar, 2007; Schmidt & Jigneus, 2003) öğrencilerin stokiyometri problemlerinin çözümünde güçlük yaşadıkları ve özellikle karmaşık olan problemleri çözemedikleri sonucuna ulaşılmıştır.

Öğretmen adaylarının stokiyometri problemlerinde kullandıkları stratejiler incelendiğinde ise çoğunlukla algoritmaları kullandıkları görülmektedir. Öğrencilerin stokiyometri problemlerinin çözümünde algoritmalara oldukça çok güvendikleri bilinmektedir (Huddle & Pillay, 1996; Ramful & Narod, 2014; Schmidt & Jignéus, 2003). Orantısal muhakeme aracılığıyla problemleri çözen öğretmen

adayları ise birim oran ve içler-dışlar çarpımını kullanmışlardır. Öğretmen adayları kullandıkları algoritmayı anlamlandırmak yerine ezberlemiş olabilirler (Frazer & Servant, 1986) bu nedenle de karmaşıklık seviyesi arttıkça doğru cevabı verme oranı düşmüştür (BouJaoude & Barakat, 2003). Öğrencilerin kendilerine kolay gelen ve en çok aşina oldukları yöntemleri kullandıkları göz önüne alındığında (Wagner, 2001) katılımcı öğretmen adaylarının orantısal muhakeme becerilerini kullanarak stokiyometri problemlerini çözme konusunda kendilerini rahat hissetmediklerini göstermektedir. Öğretmen adaylarının büyük kısmının geçmişte stokiyometri problemlerinin çözümünü algoritma yoluyla öğrenmiş olmaları niçin rahatsız hissettiklerini de açıklayabilir.

Öğretmen adaylarının kimyasal tepkimelere ilişkin problemlerin çözümünde orantısal muhakeme becerilerini kullanamamasının sebebi olarak matematiksel bilgi birikimlerinin eksikliği ve kimyasal problemlerin karmaşıklığına bağlı olarak matematiksel bilginin transfer edilememesi gösterilebilir (Hoban, 2011). Akatugba ve Wallace (1999) fizik problemlerinde öğrencilerin orantısal muhakemeyi kullanmama nedenlerini problemin çözümünde orantısal muhakeme kullanılabileceğinin farkında olmama, orantının yalnızca bir matematik konusu olarak görülmesinden dolayı fizik konuları ile arasında bir bağlantı kurulamaması ve alışılmış yöntemleri (algoritma vb.) kullanma olarak belirlemişlerdir. Benzer durumun bu çalışma için de geçerli olduğu düşünülmektedir. Öğretmen adayları alışmış oldukları ve kendilerine daha kolay ve kısa gelen formülsel yaklaşımı kullanmaya meyilli olduklarından (Agudela-Valderrama & Martinez, 2016) orantısal muhakeme stratejilerini kullanarak problemleri çözebileceklerini düşünmemiş olabilirler. Buradan yola çıkarak fen eğitimcilerin içinde matematiksel ifadeler barındıran kavramları öğretirken veya bu kavramlarla ilgili sorular çözerken bahsi geçen matematiksel ifadeye vurgu yapmaları öğretmen adaylarının matematik ve fen bilimleri arasındaki karşılıklı ilişkiyi görmelerine yardımcı olacaktır. Öğretmen adaylarının öğrendikleri şekilde öğretecekleri de göz önüne alındığında (Niess, 2005) fen bilimleri öğretmenlerinin eğitiminde matematik ve fen bilimlerinin birbiri ile ilişkilendirilerek ele alınması büyük önem taşımaktadır ve bu ilişkilendirme kavramsal değişimi de destekleyecektir (Agudela-Valderrama & Martinez, 2016).

Stokiyometri problemlerinin çözümünde karşılaşılan güçlük ve eksiklerinin belirlenmesi önemlidir (Gulacar et al., 2013) çünkü bu güçlükler, problemlerin anlaşılmasını ve çözülmesini güçlendirmektedir (BouJaoude & Barakat, 2003; Nyachwaya, Warfa, Roehrig, & Schneiderd, 2014). Katılımcı öğretmen adaylarının doğru denkleştirdikleri tepkimelerdeki katsayıları doğru kullanamadıkları bu nedenle de orantıları yanlış kurdukları veya çözüm algoritmalarını yanlış yazdıkları görülmüştür. Öğretmen adayları tepkimelerdeki katsayıların önemini anlamamış olabilirler (Hafsah et al., 2014). Katsayıların önemini anlamamış olmaları, maddelerin miktarı mol dışındaki birimlerle (kütle, hacim, yoğunluk vb.) verildiği zaman mol oranlarını kullanamamalarına neden olmuş olabilir. Öğretmen adaylarının stokiyometri problemlerinin çözerken zorlandıkları bir başka konu ise; birimleri yorumlama ve dönüştürmedir (Furio et al., 2002). Mol/dm^3 cinsinden verilmiş bir yoğunlukla hacmi çarparak maddenin mol miktarı yerine kütleyi bulduklarını düşünmüşlerdir. Ayrıca dm^3 ve cm^3 arasındaki dönüşümü ise pek çok öğretmen adayı doğru yapamamıştır. Benzer şekilde Aydın (2011) ve Birinci Konur ve Pırasa (2010) da öğretmen adaylarının birim dönüşümlerinde güçlük yaşadıklarını belirtmişlerdir.

Bu araştırmadan elde edilen bulgular ışığında öğretmen adaylarının kimyasal tepkimelere ilişkin kavram bilgisi eksikliğinin çözüm yolları ne olursa olsun doğru sonuca ulaşmalarını engellediği söylenebilir. Bu nedenle eğitimcilerin öncelikle kimyasal tepkimelerin altında yatan kavram ve tanımların üzerinde dikkatle durmaları ve problem çözümlerine algoritmalardan önce orantısal muhakeme içeren çözüm yollarıyla başlamaları güçlüklerin giderilmesini sağlayabilir. Ayrıca, herhangi bir kimyasal kavram içermeyen oran-orantı alıştırmaları öğrencilerin orantıyı anlamlandırmalarına ve kimyasal tepkimeler ile ilişkilendirmelerine yardımcı olabilir. Cramer ve Post (1993) nitel kıyaslamanın (belirli sayısal değerlere bağlı olmadan *daha güçlü/zayıf veya eşit* şeklinde kıyaslama yapmak) orantı kavramını anlamlandırmayı teşvik ettiğini belirtmektedir. Kimyasal hesaplamalara başlamadan önce nitel kıyaslama yapılması da öğretmen adaylarını formülsel yaklaşım dışındaki stratejileri kullanma konusunda da destekleyebilir.

**Bu çalışmanın verileri Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimi tarafından desteklenen "Kimyasal Tepkimeler Konusunda Fen Bilimleri Öğretmen Adaylarının Orantısal Akıl Yürütme Becerilerinin İncelenmesi" (EGT.A4.18.027) isimli proje kapsamında toplanmıştır.*

References

Adigwe, J. C. (2013). Effect of mathematical reasoning skills on students' achievement in chemical stoichiometry. *Review of Education Institute of Education Journal, University of Nigeria Nsukka*, *23*(1), 1-22.

Agudelo-Valderrama, C., & Martínez, D. (2016). In pursuit of a connected way of knowing: The case of one mathematics teacher. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *14*(4), 719-737.

Akatugba, A. H., & Wallace, J. (1999). Sociocultural influences on physics students' use of proportional reasoning in a non-western country. *Journal of Research in Science Teaching, 36*(3), 305-320.

Anderson, J. R. (1993). *Rules of the mind.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Aydın, A. (2011). Fen Bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin bazı matematik kavramlarına yönelik hatalarının ve bilgi eksiklerinin tespit edilmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *13*(1), 78-87.

Birinci Konur, K., & Pırasa, N. (2010). Sınıf öğretmenliği adaylarının mol kavramındaki işlem becerilerinin belirlenmesi, *Çukurova Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 3,* 150-161.

BouJaoude, S., & Barakat, H. (2003). Students' problem solving strategies in stoichiometry and their relationships to conceptual understanding and learning approaches. *Electronic Journal of Science Education*, *7*(3), 1-42.

Bowles, M. A. (2010). *The think-aloud controversy in second language research*. Routledge.

Case, J. M., & Fraser, D. M. (1999). An investigation into chemical engineering students' understanding of the mole and the use of concrete activities to promote conceptual change. *International Journal of Science Education, 21(*12), 1237-1249.

Cramer, K., & Post, T. (1993). Proportional reasoning. *The Mathematics Teacher*, *86*(5), 404-407.

Dahsah, C., & Coll, R. K. (2008). Thai grade 10 and 11 students' understanding of stoichiometry and related concepts. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *6*, 573-600.

Daley, H., & Malley, R. F. (1988). *Problems in chemistry* (2nd Edition). New York: Marcel Dekker, Inc.

Dawkins, K. (2000, September). Analyzing teachers' conceptions of ratio and proportion in the context of mass/mole relationships. Paper presented at the meeting of The Association of Teacher Educators in Europe, Barcelona, Spain.

Desjardins, S. G. (2008). Disorder and chaos: Developing and teaching an interdisciplinary course on chemical dynamics. *Journal of Chemical Education, 85*(8), 1078-1082.

diSessa, A. A. (1988). Knowledge in pieces. In G. Forman and P. Pufall (Eds.) *Constructivism in the computer age*, (pp. 49-70). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Doka, M. G. (2010). Effective techniques for writing correct inorganic chemical formulae and equations in olayiwola. A. A. and Umoh, S. A. (eds). *Effective Methods for teaching Inorganic Chemistry Science,* Teachers Association of Nigeria: Ibadan.

Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1998). How to study thinking in everyday life: Contrasting think-aloud protocols with descriptions and explanations of thinking. *Mind, Culture, and Activity*, *5*(3), 178-186.

Frazer, M. J., & Servant, D. (1986). Aspects of stoichiometry titration calculations. *Education in Chemistry*, *23*(2), 54-56.

Furio, C., Azcona, R., & Guisasola, J. (2002). The learning and teaching of the concepts 'amount of substance' and 'mole': A review of the literature. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe, 3*(3), 277-292.

Gabel, D. L., & Bunce, D. M. (1994). Research on problem solving. In D. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning,* pp. 301-326. New York: Mac Millan.

Gulacar, O. (2007). *An investigation of successful and unsuccessful students' problem solving in stoichiometry*. Unpublished doctoral dissertation, Western Michigan University, Michigan.

Gulacar, O., Overton, T. L., Bowman, C. R., & Fynewever, H. (2013). A novel code system for revealing sources of students' difficulties with stoichiometry. *Chemistry Education Research and Practice*, *14*(4), 507-515.

Hafsah, T., Rosnani, H., Zurida, I., Kamaruzaman, J., & Yin, K. Y. (2014). The influence of students' concept of mole, problem representation ability and mathematical ability on stoichiometry problem solving. *Scottish Journal of Arts, Social Sciences And Siıentific Studies*, *3*, 3-21.

Harel, G., Behr, M., Post, T., & Lesh, R. (1992). The block task: Comparative analysis of the task with other proportional tasks and qualitative reasoning skills of seventh-grade children in solving tasks. *Cognition and Instruction, 9*(1), 45-96.

Heller, P. M., Ahlgren, A., Post, T., Behr, M., & Lesh, R. (1989). Proportional reasoning: The effect of two context variables, rate type, and problem setting. *Journal of Research in Science Teaching*, *26*(3), 205-220.

Hoban, R. (2011). *Mathematical transfer by chemistry undergraduate students*. Dublin: Dublin City University.

Huddle, P. A., & Pillay, A. E. (1996). An in-depth study of misconceptions in stoichiometry and chemical equilibrium at a South African university. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, *33*(1), 65-77.

Hwang, B. (1994). *A study of proportional reasoning and self-regulation instruction on students' conceptual change in conceptions of solution.* Paper presented at the National Association of Research in Science Teaching, Anaheim, CA.

Inhelder, B., & Piaget, J. (1958). *The growth of logical thinking from childhood to adolescence.* New York: Basic Books.

Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry-logical or psychological? *Chemistry education: research and practice in Europe, 1*(1), 9-15.

Kimberlin, S., & Yezierski, E. (2016). Effectiveness of inquiry-based lessons using particulate level models to develop high school students' understanding of conceptual stoichiometry. *Journal of Chemical Education.* 93, 1002-1009.

Lesh, R., Post, T., & Northern, M.B. (1988). Proportional reasoning. In J. Heibert, & M. Behr (Eds.) *Number concepts and operations in the middle grades* (pp.93-118). Reston, VA: Lawrence Erlbaum & National Council of Teachers of Mathematics.

Merriam, S. B. (2009). *Qualitative research: A guide to design and implementation* (Revised and expanded from qualitative research and case study application in education). San Francisco: Jossey-Bass.

Miles, M., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis*. Beverly Hills, California: Sage.

Mitchell, A., & Lawson, A. E. (1988). Predicting genetics achievement in non-science majors college biology. *Journal of Research in Science Teaching, 25*(1), 23-37.

Musa, U. (2009). Teaching the mole concept using a conceptual change method at college level. *Education*, *129*(4), 683-691.

Nakhleh, M., & Mitchell, R. (1993). Concept learning versus problem solving: There is a difference. *Journal of Chemical Education, 70*(3)*,* 190-192.

National Research Council (NRC). (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning.* Washington, DC: National Academy of Sciences.

Niess, M. L. (2005). Preparing teachers to teach science and mathematics with technology: Developing a technology pedagogical content knowledge. *Teaching and Teacher Education, 21*(5), 509-523.

Nurrenbern, S. C., & Pickering, M. (1987). Concept learning versus problem solving: Is there a difference? *Journal of Chemical Education*, *64*(6), 508-510.

Nyachwaya, J. M., Warfa, A. M., Roehrig, G. H., & Schneiderd, J. L. (2014). College chemistry students' use of memorized algorithms in chemical reactions. *Chemistry Education Research and Practice*, *15*, 81-93.

Pascarella, A. (2002). *CAPA (Computer-assisted personalized assignments) in a large university setting.* Doctoral Dissertation, University of Colorado, Boulder, CO. (T 2002 P2614).

Plano Clark, V. L., & Creswell, J. W. (2015). *Understanding research: A consumer's guide.* Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.

Ramful, A., & Narod, F. B. (2014). Proportional reasoning in the learning of chemistry: levels of complexity. *Mathematics Education Research Journal*, *26*(1), 25-46.

Schmidt, H. J. (1997). An alternate path to stoichiometric problem solving. *Research in Science Education, 27*, 237-249.

Schmidt, H. J., & Jigneus, C. (2003). Students' strategies in solving algorithmic stoichiometry problems. *Chemistry Education: Research and Practice, 4*(3), 305-317.

Shadreck, M., & Enunuwe, O. C. (2018). Recurrent difficulties: Stoichiometry problem-solving. *African Journal of Educational Studies in Mathematics and Sciences*, *14*, 25-31.

Shuell, T. (1990). Phases of meaningful learning. *Review of Educational Research, 60*, 531-547.

Staver, J. K., & Jacks, T. (1988). The influence of cognitive reasoning level, cognitive restructuring ability, disembedding ability, working memory capacity and prior knowledge on students' performance on balancing equations by inspection. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(9), 763 – 775.

Tingle, J. B., & Good, R. (1990). Effects of cooperative grouping on stoichiometric problem solving in high school chemistry. *Journal of Research in Science Teaching, 27*(7), 671-683.

Wagner, E. (2001). A study comparing the efficacy of a mole ratio flow chart to dimensional analysis for teaching reaction stoichiometry. *School Science and Mathematics, 101*(1), 10-22.

Ward, C., & Herron, J. (1980). Helping students understand formal chemical concepts. *Journal of Research in Science Teaching, 17*(5), 387-400.

Wheeler, A., & Kass, H. (1977). *Proportional reasoning in introductory high school chemistry.* Cincinnati, OH: National Association for Research in Science Teaching.

Yarroch, W. L. (1985). Student understanding of chemical equation balancing. *Journal of Research in Science Teaching, 22,* 449-459.

Yin, R. K. (2003). *Case study research: Design and method* (3rd Edition). Thousand Oaks, London: Sage.