

THE EFFECT OF METACONCEPTUAL TEACHING INSTRUCTION ON 10TH GRADE  
STUDENTS' UNDERSTANDING OF STATES OF MATTER, SELF-EFFICACY  
TOWARD CHEMISTRY, AND THE NATURE OF METACONCEPTUAL PROCESSES

A THESIS SUBMITTED TO  
THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
OF  
MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY

BY

ZÜBEYDE DEMET KIRBULUT

IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS  
FOR  
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY  
IN  
SECONDARY SCIENCE AND MATHEMATICS EDUCATION

MARCH 2012

Approval of the thesis:

**THE EFFECT OF METACONCEPTUAL TEACHING INSTRUCTION ON 10TH  
GRADE STUDENTS' UNDERSTANDING OF STATES OF MATTER, SELF-  
EFFICACY TOWARD CHEMISTRY, AND THE NATURE OF  
METACONCEPTUAL PROCESSES**

submitted by **ZÜBEYDE DEMET KIRBULUT** in partial fulfillment of the requirements  
for the degree of **Doctor of Philosophy in Secondary Science and Mathematics  
Education Department, Middle East Technical University** by,

Prof. Dr. Canan Özgen \_\_\_\_\_  
Dean, Graduate School of **Natural and Applied Sciences**

Prof. Dr. Ömer Geban \_\_\_\_\_  
Head of Department, **Secondary Science and Mathematics Edu.**

Prof. Dr. Ömer Geban \_\_\_\_\_  
Supervisor, **Secondary Science and Mathematics Edu. Dept., METU**

**Examining Committee Members:**

Prof. Dr. Ayhan Yılmaz \_\_\_\_\_  
Secondary Science and Mathematics Edu. Dept., Hacettepe University

Prof. Dr. Ömer Geban \_\_\_\_\_  
Secondary Science and Mathematics Edu. Dept., METU

Assoc. Prof. Dr. Esen Uzuntiryaki \_\_\_\_\_  
Secondary Science and Mathematics Edu. Dept., METU

Assoc. Prof. Dr. Yezdan Boz \_\_\_\_\_  
Secondary Science and Mathematics Edu. Dept., METU

Assist. Prof. Dr. Ömer Faruk Özdemir \_\_\_\_\_  
Secondary Science and Mathematics Edu. Dept., METU

**Date:** 30/03/2012

**I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.**

Name, Last name: Zübeyde Demet Kirbulut

Signature:

**ABSTRACT****THE EFFECT OF METACONCEPTUAL TEACHING INSTRUCTION ON 10TH GRADE STUDENTS' UNDERSTANDING OF STATES OF MATTER, SELF-EFFICACY TOWARD CHEMISTRY, AND THE NATURE OF METACONCEPTUAL PROCESSES**

Kırbulut, Zübeyde Demet

Ph.D., Department of Secondary Science and Mathematics Education

Supervisor: Prof. Dr. Ömer Geban

March 2012, 357 pages

The purpose of this study is to examine the effect of Metaconceptual Teaching Instruction (MTI) compared to Traditional Instruction (TI) on 10th grade students' understanding and durability of states of matter concepts, self-efficacy toward chemistry, and to portray the nature of students' metaconceptual processes and the change in students' ideas of states of matter.

There were 53 students in the experimental group instructed by the MTI and 49 students in the control group instructed by the TI. Three students from the experimental group were selected for case study to explore their metaconceptual processes and conceptual understanding.

To examine the effect of treatment, States of Matter Diagnostic Test (SMDT) and Self-efficacy toward Chemistry (SETC) were administered to the students before and after the treatment. Treatment implementation continued for seven weeks. The instruments were also given eight weeks after the treatment. In case study design, the data were collected through video recordings of classroom discussions, audio recordings of group discussions, journal writings, and interviews. Quantitative data analysis was conducted using MANCOVA.

It was found that there was a significant difference between groups on the posttest and retention-test scores of the SMDT and retention-test scores of the SETC on behalf of the experimental group. However, there was no significant difference between groups on the posttest scores of the SETC. In terms of the nature of metaconceptual processes, it was

documented that the students who had few alternative conceptions mostly engaged in metaconceptual evaluation. Also, the students changed their ideas of states of matter.

Keywords: Science Education, Constructivism, Metacognition, Metaconceptual Teaching  
Instruction, States of Matter

**ÖZ****ÜSTKAVRAMSAL ÖĞRETİM FAALİYETLERİNİN 10. SINIF  
ÖĞRENCİLERİNİN MADDENİN HALLERİ KAVRAMLARINI ANLAMALARI  
İLE KİMYA ÖZ-YETERLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ VE ÜSTKAVRAMSAL  
SÜREÇLERİN DOĞASI**

Kırbulut, Zübeyde Demet

Doktora, Ortaöğretim Fen ve Matematik Alanları Eğitimi Bölümü

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Ömer Geban

Mart 2012, 357 sayfa

Bu çalışmanın amacı, Klasik Anlatım Yöntemi (KAY) ile kıyaslandığında, Üstkavramsal Öğretim Yönteminin (ÜÖY) 10. sınıf öğrencilerinin maddenin halleri kavramlarını anlamaları, bu kavramların kalıcılığı ve kimya öz-yeterlikleri üzerine nasıl bir etkisi olduğunu araştırmaktır. Ayrıca bu çalışmada, öğrencilerin üstkavramsal süreçlerinin doğası ile uygulamadan önce ve sonra hangi kavramlara sahip oldukları araştırılmıştır.

Deney grubunda 53 öğrenci bulunup ÜÖY ile öğretim yapılırken kontrol grubunda 49 öğrenci olup KAY ile öğretim yapılmıştır. Öğrencilerin üstkavramsal süreçlerinin doğası ile uygulamadan önce ve sonra maddenin halleri ile ilgili kavramlarındaki değişimi belirlemek için ise deney grubundan üç öğrenci durum çalışması için seçilmiştir.

ÜÖY'nin 10. sınıf öğrencilerinin maddenin halleri kavramlarını anlamaları ve kimya öz-yeterlikleri üzerine nasıl bir etkisi olduğunu incelemek için deney ve kontrol grubu öğrencilerine uygulamaya başlamadan önce ve sonra Maddenin Halleri Kavram Testi (MHKT) ile Kimya Öz-yeterlik Ölçeği (KÖÖ) uygulanmıştır. Uygulama yedi hafta sürmüştür. Ayrıca öğrencilerin kavramlarının kalıcılığını incelemek için MHKT ve KÖÖ uygulamadan sekiz hafta sonra tekrar verilmiştir. Durum çalışması için sınıf tartışması, video kayıtları, grup tartışması ses kayıtları, günlük yazma ve mülakat gibi çoklu veri kaynakları kullanılmıştır. Nicel verilerin analizinde MANCOVA kullanılmıştır.

Nitel verilerin analizi sonucunda deney ve kontrol grubu öğrencilerinin sontest MHKT, kalıcılık testi MHKT ve kalıcılık testi KÖÖ puanları arasında deney grubu lehine anlamlı bir farklılık bulunmuştur. Ancak deney ve kontrol grubu öğrencilerinin sontest KÖÖ

puanları arasında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır. Ayrıca öğrencilerin üstkavramsal süreçlerinin doğasına bakıldığında alternatif kavramları az olan öğrencilerin üstkavramsal değerlendirme sürecine daha fazla dahil oldukları görülmüş ve uygulama sonunda öğrencilerin birçok alternatif kavramını değiştirdiği tespit edilmiştir.

Keywords: Fen Eğitimi, Yapılandırmacılık, Üstbiliş, Üst Kavramsal Öğretim Yöntemi,  
Maddenin Halleri

To my Dad, Mom, Sister, and Niece İrem



## ACKNOWLEDGMENTS

I would like to express my thanks and deepest gratitude to my supervisor Prof. Dr. Ömer Geban for his guidance and support throughout my doctoral experience. I also deeply appreciate the members of my committee, Prof. Dr. Ayhan Yılmaz, Assoc. Prof. Dr. Esen Uzuntiryaki, Assoc. Prof. Dr. Yezdan Boz, and Assist. Prof. Dr. Ömer Faruk Özdemir for their invaluable guidance, feedback, and support during my doctoral education. I would also like to thank to Assoc. Prof. Dr. Ali Eryılmaz, Prof. Dr. Giray Berberoğlu, and Assist. Prof. Dr. Nejla Yürük for their constructive feedback and insightful comments during my doctoral study. I am so lucky to recognize and study with all these precious people.

I have been to the University of Wisconsin as a visiting researcher in years 2008-2009. I am extremely grateful to Dr. Michael Edward Beeth whom I studied with there for his good heart, kindness, caring, helpful comments, and endless support. I would also like to thank to Theresa Beeth, Quentin Beeth, and Eva Beeth for opening their home to me and see me as a family member. I was very fortunate to study with Dr. Michael Edward Beeth during my study abroad. Also, I wish to express my deepest thanks and gratitude to the Duren's family-Kitty, Amy, Cathy, Dan, Liz, Mary, Meg, Megan, and Mike. They are so special people for me and like my family. I will always feel myself so lucky to recognize them. Thank you very much for everything.

Words are inadequate to sufficiently express my thanks and gratitude to my friends, Ayla Çetin Dindar, Berrak Başbuğ, Bülent Akar, Bülent Dindar, Cansel Kadioğlu, Derya Bektaş, Fatih Titrek, Gülsüm Gül Cömert, Haki Peşman, Mehmet Aydeniz, Muhammed Sait Gökcalp, Nurgül Düzenli Gökcalp, Oktay Bektaş, Sevim Sevgi, and Uğur Taşdelen, for their enduring friendship and endless support. They were always there for me whenever I needed. I will always be thankful to them.

I am grateful to the METU Subaqua Society for its enduring motivation during my doctoral study. I also met with my dearest buddies, Özge Alaçam, Selda Eren Kanat, and Sevda Altay, there. We shared lots of things in life. They also motivated me throughout my dissertation writing as honorary committee members. I will always be thankful to them for their treasured friendship.

I am extremely thankful to the teachers/schools who volunteered to conduct this study in their classrooms/schools. During the study, they spent lots of time and effort. Without them, this study could not be achieved.

I also owe my deepest thanks to two precious people, Birgen Deniz and Yücel Alparslan, who behave like my mom. I am so lucky to have you in my life.

I do not think that words are enough to express my thanks and gratitude to my dad, mom, sister, and niece. I dedicated this study to them. They are my soul and heart. I love you endlessly.

I acknowledge The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) for supporting this work through the National Scholarship Program for PhD students and International Research Fellowship Program for PhD students.

## TABLE OF CONTENTS

ABSTRACT.....	iv
ÖZ .....	vi
ACKNOWLEDGMENTS .....	ix
TABLE OF CONTENTS.....	xi
LIST OF TABLES .....	xvi
LIST OF FIGURES .....	xix
LIST OF ABBREVIATIONS .....	xxi
CHAPTERS .....	1
1. INTRODUCTION .....	1
1.1 The Main Problems and Sub-problems .....	5
1.1.1 The Main Problems .....	5
1.1.2 The Sub-Problems .....	6
1.2 Hypotheses.....	6
1.3 Definition of Important Terms.....	8
1.4 Significance of the Study.....	9
2. REVIEW OF THE RELATED LITERATURE .....	11
2.1 Alternative Conceptions .....	11
2.1.1 Alternative Conceptions in States of Matter.....	12
2.2 Constructivism.....	17
2.3 Conceptual Change.....	19
2.3.1 Conceptual Change Model .....	21
2.3.2 The Revisionist Model of Conceptual Change.....	26
2.3.3 Intentional Conceptual Change .....	27
2.3.4 Other Conceptual Change Models.....	28
2.4 Metacognition.....	32
2.4.1 Historical View of Metacognition .....	32
2.4.2 The Definitions of Metacognition and the Fuzziness of the Concept.....	34
2.4.3 The Components of Metacognition .....	35
2.4.4 Metacognitive Research .....	41
2.5 Self-efficacy.....	47

2.6 Summary of the Related Literature.....	50
3. METHODS .....	53
3.1 Research Design .....	53
3.1.1 Quasi-Experimental Design.....	54
3.1.2 Case Study Design.....	54
3.2 Population and Sample .....	56
3.3 Variables .....	58
3.4 Instruments .....	59
3.4.1 States of Matter Diagnostic Test (SMDT).....	59
3.4.2 Self-efficacy Scale toward Chemistry (SETC).....	69
3.4.3 Interviews .....	74
3.4.4 Other Data Sources.....	76
3.4.5 Classroom Observation Checklist .....	76
3.5 Instructional Materials .....	77
3.5.1 Metaconceptual Teaching Activities .....	77
3.5.2 Lesson Plans .....	79
3.6 Procedure .....	82
3.7 Treatment Implementation.....	85
3.7.1 Treatment in the Experimental Group .....	85
3.7.2 Treatment in the Control Group .....	90
3.8 Treatment Fidelity .....	91
3.9 Data Analysis.....	91
3.9.1 Quantitative Data Analysis.....	91
3.9.2 Qualitative Data Analysis.....	93
3.10 Power Analysis .....	94
3.11 Unit of Analysis.....	95
3.12 Threats to Internal Validity.....	95
3.13 Ethical Concerns.....	98
3.14 Trustworthiness of the Qualitative Study .....	98
3.15 Assumptions and Limitations .....	100
4. RESULTS .....	101
4.1 Descriptive Statistics .....	101
4.2 Inferential Statistics .....	107
4.2.1 Determination of Covariates.....	107
4.2.2 Assumptions of MANCOVA .....	109

4.2.3 Results of MANCOVA .....	114
4.2.3.1 Null hypothesis 1 .....	115
4.2.3.2 Null hypothesis 2 .....	116
4.2.3.3 Null hypothesis 3 .....	117
4.2.3.4 Null hypothesis 4 .....	117
4.2.3.5 Null hypothesis 5 .....	118
4.2.3.6 Null hypothesis 6 .....	119
4.3 Results of the Classroom Observation Checklist.....	119
4.4 The Percentages of Alternative Conceptions for the pre-SMDT, post-SMDT, and r-SMDT Scores.....	122
4.5 Results of the Qualitative Data Analysis .....	126
4.5.1 The Nature of the Metaconceptual Processes .....	126
4.5.1.1 The case of Sertan.....	129
4.5.1.1.1 Metaconceptual awareness of Sertan .....	130
4.5.1.1.1.1 Metaconceptual awareness of aims of activities of Sertan.....	131
4.5.1.1.1.2 Metaconceptual awareness of existing experience of Sertan.....	131
4.5.1.1.1.3 Metaconceptual awareness of everyday applications of a topic of Sertan .....	132
4.5.1.1.1.4 Metaconceptual awareness of what you learned of Sertan.....	132
4.5.1.1.2 Metaconceptual monitoring of Sertan.....	132
4.5.1.1.2.1 Metaconceptual monitoring understanding of an idea of Sertan.....	132
4.5.1.1.2.2 Metaconceptual monitoring the consistency between existing idea and ideas from other people/sources of Sertan .....	133
4.5.1.1.2.3 Metaconceptual monitoring the consistency between existing experience and new experience of Sertan.....	137
4.5.1.1.2.4 Metaconceptual monitoring change in ideas of Sertan .....	137
4.5.1.1.3 Metaconceptual evaluation of Sertan.....	138
4.5.1.1.3.1 Metaconceptual evaluation of existing idea of Sertan .....	138

4.5.1.1.3.2 Metaconceptual evaluation of existing experience of Sertan.....	139
4.5.1.1.3.3 Metaconceptual evaluation of ideas from other people/sources of Sertan.....	141
4.5.1.2 The case of Esin.....	151
4.5.1.2.1 Metaconceptual awareness of Esin .....	152
4.5.1.2.1.1 Metaconceptual awareness of aims of activities of Esin .....	152
4.5.1.2.1.2 Metaconceptual awareness of existing experience of Esin.....	153
4.5.1.2.1.3 Metaconceptual awareness of everyday applications of a topic of Esin.....	154
4.5.1.2.1.4 Metaconceptual awareness of what you learned of Esin .....	154
4.5.1.2.1.5 Metaconceptual awareness of what you did not know of Esin.....	155
4.5.1.2.2 Metaconceptual monitoring of Esin .....	156
4.5.1.2.2.1 Metaconceptual monitoring understanding of an idea of Esin.....	156
4.5.1.2.2.2 Metaconceptual monitoring the consistency between existing idea and ideas from other people/sources of Esin.....	157
4.5.1.2.2.3 Metaconceptual monitoring the consistency between existing experience and new experience of Esin.....	158
4.5.1.2.2.4 Metaconceptual monitoring change in ideas of Esin .....	159
4.5.1.2.3 Metaconceptual evaluation of Esin .....	161
4.5.1.2.3.1 Metaconceptual evaluation of existing idea of Esin. ....	161
4.5.1.2.3.2 Metaconceptual evaluation of existing experience of Esin.....	162
4.5.1.2.3.3 Metaconceptual evaluation of ideas from other people/sources of Esin.....	163
4.5.2 Ideas of the Students Before and After the MTI.....	165
4.5.2.1 Esin's ideas related to states of matter prior to the MTI.....	168
4.5.2.2 Esin's ideas related to states of matter after the MTI .....	175
4.6 Summary of the Results .....	181
5. DISCUSSION, CONCLUSIONS, AND IMPLICATIONS .....	184

5.1 Discussion.....	184
5.2 External Validity of the Study .....	195
5.3 Conclusions.....	195
5.4 Implications .....	197
5.5 Recommendations for Further Study .....	198
REFERENCES .....	200
APPENDICES	
A. STATES OF MATTER INSTRUMENTS.....	218
A1. States of Matter Diagnostic Test and Its Answer Key.....	218
A2. States of Matter Interview Questions for the SMDT.....	228
A3. States of Matter Open-Ended Questions for the SMDT.....	232
B. SELF-EFFICACY SCALE TOWARD CHEMISTRY (SETC).....	236
C. INTERVIEW QUESTIONS ON CONCEPT LEARNING.....	238
D. STATES OF MATTER INTERVIEW QUESTIONS.....	239
E. CLASSROOM OBSERVATION CHECKLIST .....	243
F. POSTER DRAWING AND JOURNAL WRITING SAMPLE ACTIVITIES FOR PILOT STUDY.....	245
G. SAMPLE STUDENT WORKSHEETS OF METACONCEPTUAL TEACHING ACTIVITIES.....	246
H. EXPERIMENTAL GROUP LESSON PLAN.....	254
I. CONTROL GROUP LESSON PLAN.....	314
J. KEYWORD LIST.....	352
K. PERMISSION DOCUMENT.....	353
L. RAW DATA.....	354
CURRICULUM VITAE.....	357

## LIST OF TABLES

### TABLES

Table 2.1 Theory-like and fragmentation and contextualization of conceptions perspectives .....	19
Table 2.2 A model of conceptual change.....	25
Table 3.1 Quasi-experimental research design of the study .....	54
Table 3.2 Case study design of the study.....	56
Table 3.3 Sample size and gender distribution related to each school for the experimental and control groups .....	57
Table 3.4 Students' average previous semester chemistry course grades related to each school for the experimental and control groups.....	57
Table 3.5 Identification of the variables .....	58
Table 3.6 Objectives of the SMDT .....	62
Table 3.7 The alternative conceptions probed by the SMDT .....	62
Table 3.8 Descriptive statistics of the SMDT for three-tier scores.....	64
Table 3.9 The percentages of false negatives, false positives, and lack of knowledge for the pilot study .....	66
Table 3.10 Descriptive statistics of the post-SMDT for three-tier scores.....	67
Table 3.11 The percentages of false negatives, false positives, and lack of knowledge for the post-SMDT .....	68
Table 3.12 Eigenvalues and total variance explained for the factors.....	70
Table 3.13 Factor loadings of the SETC for the pilot study .....	72
Table 3.14 Factor loadings of the pre-SETC, post-SETC, and r-SETC.....	73
Table 3.15 States of matter interview questions across the topics .....	75
Table 3.16 Lesson plans, sources, and metaconceptual activities for the experimental group .....	80
Table 3.17 Lesson plans and sources for the control group.....	82
Table 3.18 The percentages of agreement for metaconceptual categorization of metaconceptual processes .....	99
Table 3.19 The percentages of agreement for the categorization of students' understanding of states of matter .....	100



Table 4.1 Descriptive statistics for the pre-SMDT, pre-SETC, post-SMDT, post-SETC, r-SMDT, and r-SETC scores in terms of groups .....	101
Table 4.2 The gain scores and effect sizes for the SMDT and SETC scores in terms of groups .....	106
Table 4.3 The correlations between the covariates and the dependent variables of the post-SMDT and post-SETC scores .....	108
Table 4.4 The correlations between the covariates and the dependent variables of the r-SMDT and r-SETC scores .....	108
Table 4.5 Kolmogorov-Smirnov test for the experimental group.....	109
Table 4.6 Kolmogorov-Smirnov test for the control group .....	109
Table 4.7 Mahalanobis distance.....	110
Table 4.8 MRC analysis for the post-SMDT .....	111
Table 4.9 MRC analysis for the post-SETC .....	111
Table 4.10 MRC analysis for the r-SMDT .....	112
Table 4.11 MRC analysis for the r-SETC.....	112
Table 4.12 Levene's test of equality of error variances for the dependent variables of the post-SMDT and post-SETC scores.....	112
Table 4.13 Levene's test of equality of error variances for the dependent variables of the r-SMDT and r-SETC scores .....	112
Table 4.14 Box's test of equality of covariance matrices for the dependent variables of the post-SMDT and post-SETC scores.....	113
Table 4.15 Box's test of equality of covariance matrices for the dependent variables of the r-SMDT and r-SETC scores .....	113
Table 4.16 The correlations between the dependent variables of the post-SMDT and post-SETC scores/r-SMDT and r-SETC scores.....	114
Table 4.17 The results of MANCOVA for the dependent variables of the post-SMDT and post-SETC scores.....	115
Table 4.18 The results of the follow-up ANCOVAs the dependent variables of the post-SMDT and post-SETC scores .....	116
Table 4.19 The results of MANCOVA for the dependent variables of the r-SMDT and r-SETC scores.....	117
Table 4.20 The results of the follow-up ANCOVAs the dependent variables of the r-SMDT and r-SETC scores .....	118
Table 4.21 Descriptive statistics of each item for the experimental and control group .....	119
Table 4.22 One-Way ANOVA results for the items related to the MTI, TI, and Common. ....	120

Table 4.23 One-Way ANOVA results for the items related to the MTI, TI, and Common for School A .....	121
Table 4.24 One-Way ANOVA results for the items related to the MTI, TI, and Common for School B.....	122
Table 4.25 The correlations between observers.....	122
Table 4.26 The percentages of alternative conceptions for one-tier, two-tier, and three-tier scores of the pre-SMDT.....	123
Table 4.27 The percentages of alternative conceptions for one-tier, two-tier, and three-tier scores of the post-SMDT .....	124
Table 4.28 The percentages of alternative conceptions for one-tier, two-tier, and three-tier scores of the r-SMDT.....	125
Table 4.29 Metaconceptual processes of Sertan .....	129
Table 4.30 Excerpts for metaconceptual awareness of aims of activities of Sertan .....	131
Table 4.31 Metaconceptual processes of Esin .....	151
Table 4.32 Excerpts for metaconceptual awareness of aims of activities of Esin.....	153
Table 4.33 Excerpts for metaconceptual awareness of what you did not know of Esin.....	155
Table 4.34 The coding scheme and criteria used for categorization.....	165
Table 4.35 The ideas of students related to states of matter prior to and after the MTI .....	168

## LIST OF FIGURES

### FIGURES

Figure 3.1 Scree Plot for the factorial structure of the SETC for the pilot study.....	71
Figure 4.1 Histograms with normal curve for the PRESMDT and POSTSMDT scores in terms of groups.....	103
Figure 4.2 Histograms with normal curve for the PRESETC and POSTSETC scores in terms of groups.....	104
Figure 4.3 Histograms with normal curve for the RSMDT and RSETC scores in terms of groups.....	105
Figure 4.4 Profile plot for the mean values of the SMDT in terms of three administrations .....	106
Figure 4.5 Sertan's drawing of the distribution of the particles in the bottle with balloon at three temperatures .....	135
Figure 4.6 Esin's drawing of evaporation in terms of particles.....	155
Figure 4.7 Esin's drawing of the picture of solids, liquids, and gases in terms of the particles before the MTI.....	169
Figure 4.8 Esin's drawing of the picture of air particles in the syringe before and after the plunger is pushed in before the MTI.....	169
Figure 4.9 Esin's drawing of pressure-volume graph before the MTI.....	170
Figure 4.10 Esin's drawing of temperature-volume graph before the MTI.....	171
Figure 4.11 Esin's drawing of evaporation in terms of particles before the MTI.....	172
Figure 4.12 Esin's drawing of phase change graph for water before the MTI.....	172
Figure 4.13 Esin's drawing of condensation in terms of particles before the MTI.....	173
Figure 4.14 Esin's drawing of condensation in terms of particles for everyday phenomenon before the MTI.....	173
Figure 4.15 Esin's drawing of boiling in terms of particles before the MTI.....	174
Figure 4.16 Esin's drawing of the picture of solids, liquids, and gases in terms of the particles after the MTI.....	175
Figure 4.17 Esin's drawing of the picture of air particles in the syringe before and after the plunger is pushed in after the MTI.....	176
Figure 4.18 Esin's drawing of pressure-volume graph after the MTI.....	177

Figure 4.19 Esin's drawing of temperature-volume graph after the MTI.....	177
Figure 4.20 Esin's drawing of phase change graph for water after the MTI.....	178
Figure 4.21 Esin's drawing of evaporation in terms of particles after the MTI.....	179
Figure 4.22 Esin's drawing of condensation in terms of particles after the MTI.....	180
Figure 4.23 Esin's drawing of boiling in terms of particles after the MTI.....	180

**LIST OF ABBREVIATIONS**

EG:	Experimental Group
CG:	Control Group
TM:	Teaching Method
TI:	Traditional Instruction
MTI:	Metaconceptual Teaching Instruction
SMDT:	States of Matter Diagnostic Test
SETC:	Self-efficacy Scale toward Chemistry
pre-SMDT:	States of Matter Diagnostic Pretest Scores
pre-SETC:	Self-efficacy Scale toward Chemistry Pretest Scores
post-SMDT:	States of Matter Diagnostic Posttest Scores
post-SETC:	Self-efficacy Scale toward Chemistry Posttest Scores
r-SMDT:	States of Matter Diagnostic Retention-test Scores
r-SETC:	Self-efficacy Scale toward Chemistry Retention-test Scores
CSCS:	Chemistry Self-efficacy for Cognitive Skills
SCL:	Self-efficacy for Chemistry Laboratory
post-CSCS:	Chemistry Self-efficacy for Cognitive Skills Posttest Scores
post-SCL:	Self-efficacy for Chemistry Laboratory Posttest Scores
LP:	Lesson Plan
DVs:	Dependent Variables
IVs:	Independent Variables
MANCOVA:	Multivariate Analysis of Covariance
df:	degrees of freedom

## CHAPTER 1

### INTRODUCTION

According to Albert Einstein, the essential aim of education is “to produce independently thinking and acting individuals” (as cited in National Research Council, 2007, p. 34). Hartman (2001) stated that “learning is best when it is active, meaningful, retained over time, and transfers to a variety of contexts” (p. 34). What are the means to satisfy the above aim and learning explanation? Metacognition and conceptual change lie at the heart of the answer of this question and of this study.

Conceptual change research has remained a significant research area in science education over the past several decades based on the foundations of constructivist learning. During this time, several conceptual change models have been proposed (e.g., Carey, 1991, 1999; Chi, 1992; Chi & Slotta, 1993; diSessa, 1988, 1993, 2008; Hewson & Thorley, 1989; Linder, 1993; Mortimer, 1995; Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982; Vosniadou, 1992, 1994). One of the foundational theories of conceptual change in education was proposed by Posner et al. (1982) based on Kuhn’s (1970) notion of “paradigm shift”, Lakatos’ (1970) research programs, and Piaget’s notion of “accommodation”. Posner et al. (1982) proposed that if a learner’s current conception was adequate to deal with a new concept, then, the learner’s existing conceptions were functional for her/him and the new concept could be incorporated with her/his existing conceptions. This process was called as “assimilation” by Posner et al. (1982) and “conceptual capture” by Hewson (1981). On the other hand, if the learner’s current conception was inadequate to grasp the new concept, then, the learner has to restructure her/his existing conceptions. This was called as “accommodation” by Posner et al. (1982) and “conceptual exchange” by Hewson (1981). There are two fundamental components of conceptual change: conditions for conceptual change including dissatisfaction, intelligibility, plausibility, and fruitfulness and conceptual ecology consisting of anomalies, analogies and metaphors, epistemological commitments, metaphysical beliefs and concepts, and other knowledge. Conceptual change model was expanded by Hewson (1981), Hewson and Lemberger (2000), and Hewson and Thorley (1989) with the notion of status construct recognized as the “hallmark” of conceptual change. Hewson (1981) defined “status” as the measurement of intelligibility, plausibility, and fruitfulness of a conception/concept. In this expanded model, conceptual change was characterized as raising

or lowering the status of conceptions/concepts. Researchers agreed that metacognition was an essential element underlying conceptual change models (e.g., Hewson & Thorley, 1989; Linder, 1993; Mortimer, 1995; Posner et al., 1982; Vosniadou, Vamvakoussi, & Skopeliti, 2008). Metacognition is widely believed to make students responsible for their learning, hence more actively involved in the learning process, and there is growing literature advocating positive impact of metacognitive activities on student thinking skills and conceptual understanding (Adey, Shayer, & Yates, 1989; Beeth, 1998b; Blank, 2000; Georghiades, 2000, 2004a; Gunstone & Mitchell, 1998; Hennessey, 1999; Hewson, Beeth, & Thorley, 1998; Hewson & Hewson, 1991; Mittlefehldt & Grotzer, 2003; Vosniadou et al., 2008). In the guidelines of teaching for conceptual change, Hewson et al. (1998) emphasized that being aware of one's own conceptual ecology and monitoring one's own ideas, which were metacognitive in nature, were important for conceptual change by considering that knowledge was individually constructed and socially mediated. They stated that students' ideas should be made explicit within the part of metacognitive classroom discourse, the status of students' ideas should be discussed, and the students should be provided opportunities to make justifications for the status of their conceptions/concepts. Hewson (1996) indicated that metaconceptual activities aiming at raising and lowering the status of particular ideas were crucial in teaching for conceptual change. Similarly, Hewson and Thorley (1989) emphasized the importance of monitoring the status of learners' own conceptions/concepts in effective conceptual change teaching. Besides, White and Gunstone (1989) indicated that "if metalearning can be taught, then the problem of how to bring about conceptual change may be solved" (p. 581). Above all, metacognition is one of the pillars for intentional conceptual change. Researchers contended that conceptual change was not always intentional (Sinatra & Pintrich, 2003; Vosniadou, 2003); however, intentional conceptual change brought deeper and enduring change (Hennessey, 2003; Sinatra & Pintrich, 2003). Even, Hennessey (2003) advocated that students who engaged in more sophisticated levels of metacognition were intentional learners, and thus, they restructured their ideas easily and had less alternative conceptions.

The pioneering studies on metacognition were conducted in the area of developmental psychology in 1970s. The term "metacognition" was first introduced by John Flavell based on his study of metamemory in the early 1970s (Flavell, 1971). Metacognition was called as "fuzzy" concept by researchers (Brown, 1987; Flavell, 1981; Hacker, 1998) because of the vagueness of its definition, characteristics and lots of different historical roots. There are various definitions for metacognition in the literature. According to Flavell (1971), metacognition refers to "the active monitoring and consequent regulation and orchestration

of these processes in relation to the cognitive objects” (p. 232). Flavell (1979) defined metacognition as “knowledge and cognition about cognitive phenomena” (p. 906). Brown (1987) defined metacognition as “one’s knowledge and control of own cognitive system” (p. 66). White (1988) explained metacognition as “inner awareness or process, not an overt behavior (p. 73). Due to multidimensional character of metacognition, many researchers proposed different categorizations of the components of metacognition (Chi, 1987; Flavell, 1979; Pintrich, Wolters, & Baxter, 2000; Schraw & Moshman, 1995). Flavell (1979) proposed that metacognition consisted of the components of “metacognitive knowledge” and “metacognitive experience”. Chi (1987) identified three types of metaknowledge: meta-declarative knowledge, meta-procedural knowledge, and meta-strategies. However, researchers commonly elaborated on three components of metacognition: metacognitive knowledge/awareness, metacognitive monitoring and evaluation, and metacognitive regulation (e.g., Flavell, 1979; Pintrich, et al., 2000; Schraw, 2001; Schraw & Moshman, 1995). Metacognitive knowledge was divided into three components: person, task, and strategy (Flavell, 1979) or declarative, procedural, and conditional knowledge (Pintrich, et al., 2000; Schraw, 2001; Schraw & Moshman, 1995). Thorley (1990) made a distinction between the terms “metacognition” and “metaconceptual” in that he considered that metacognition was more inclusive term and subsumed metaconceptual and metaconceptual included metacognitive knowledge and processes acting on a learner’s conceptual system. Taking the categorizations of metacognition and the difference between metacognition and metaconceptual into consideration, Yuruk (2005) proposed a different categorization for metacognition. In line with Thorley’s (1990) study, Yuruk (2005) used the term “metaconceptual” to represent learners’ metaconceptual knowledge and processes. She categorized metaconceptual knowledge and processes into four components: metaconceptual knowledge, metaconceptual awareness, metaconceptual monitoring, and metaconceptual evaluation. In this study, Yuruk’s (2005) categorization of metaconceptual knowledge and processes served as a theoretical stance in developing metaconceptual teaching activities.

There is also growing literature investigating the relationship between metacognition and motivational constructs. For example, the relationship between metacognition and self-efficacy was first dubbed by Flavell (1987). Paris and Winograd (1990) emphasized the importance of self-efficacy in the definition of metacognition. In line with these studies, several researchers have reported that students’ use of metacognitive strategies played a crucial role in their self-efficacy beliefs of their performance in a course (Pintrich & De Groot, 1990; Pintrich & Garcia, 1991; Pintrich, Smith, Garcia, & McKeachie, 1991; Sungur, 2007). However, the literature lacks the studies examining the effect of metaconceptual



teaching activities on students' self-efficacy beliefs. Self-efficacy plays a crucial role in science education. According to social cognitive theory, Bandura (1997) defined self-efficacy as "beliefs in one's capabilities to organize and execute courses of action required to produce given attainments" (p. 3). Self-efficacy beliefs are effective on students' actions regarding how much effort they expend on an activity and how long they put perseverance into an action when they face with difficulties. High efficacious students set challenging goals, put greater efforts on an activity, and persevere when dealing with difficulties. However, low efficacious students may not show perseverance and resilience when confronting setbacks (Pajares, 1996). In the literature, it has been reported that there was an increase in the number of students who lacked confidence and interest in science (Pell & Jarvis, 2001). Therefore, it is important to find ways to increase students' self-efficacy.

One of the hurdles in conceptual change learning was to provide the durability of students' conceptions (Georghiades, 2004b; Trundle, Atwood, & Christopher, 2007). Georghiades (2000) argued that metaconceptual activities may not only help to facilitate conceptual change learning and transfer, but they may also support the durability of students' ideas in science: "If conceptual change learning (CCL) is a chain-process of constructing new conceptions on pre-existing ones, then the durability of new conceptions, each time, should be seen as a prerequisite for effective learning" (p. 124). Furthermore, Hennessey (2003) and Sinatra and Pintrich (2003) advocated that intentional conceptual change was important for deeper understanding and the durability of conceptions and metacognition lied at the heart of intentional conceptual change. Durability of students' conceptions and self-efficacy beliefs are also other areas needed to be investigated.

With respect to chemistry, many students are unsuccessful in their struggle to learn fundamental concepts. One possible explanation for why learning chemistry is difficult that is beginning to emerge is that many students are not constructing appropriate understanding of foundational chemistry concepts, and thus, they had difficulty in understanding more advanced chemistry concepts (Gabel, Samuel, & Hunn, 1987). Also, students are not able to explain their understanding of concepts at the macroscopic, microscopic, and submicroscopic levels of representation (Gilbert & Treagust, 2009). States of matter is one of the crucial subjects in chemistry, and thus, it is the focus subject of this study. It includes fundamental concepts such as solids and liquids, gases, evaporation, condensation, boiling, and vapor pressure which are conceptually related to each other and helpful in explaining everyday phenomena. Students' understanding of these concepts has attracted considerable research interest over 30 years (e.g., Aydeniz & Kotowski, 2012; Bar & Galili, 1994; Bar & Travis, 1991; Canpolat, 2006; Chang, 1999; Costu, Ayas, & Niaz, 2010; Costu, Ayas, &

Niaz, 2012; Kirbulut & Beeth, 2011; Mayer, 2011; Stavy, 1988; Tytler, 2000). Collectively, these studies showed that students at all grades had alternative conceptions related to states of matter subject. All these studies raise a question to ask whether how students' conceptions could be changed. It is important to use effective teaching methods to address these alternative conceptions. Metaconceptual teaching instruction could be the solution in resolving these challenges.

Taking all these issues into consideration, the purpose of this study is to examine the effect of Metaconceptual Teaching Instruction (MTI) compared to Traditional Instruction (TI) on 10th grade students' understanding and durability of states of matter concepts, self-efficacy toward chemistry, and to portray the nature of students' metaconceptual processes and the change in students' ideas of states of matter. While examining the nature of students' metaconceptual processes in which the students engage during the MTI, the students who had several alternative conceptions and who had few alternative conceptions were included in this study since there is no study elaborated on how students who have different alternative conceptions engage in metaconceptual processes.

## **1.1 The Main Problems and Sub-problems**

### **1.1.1 The Main Problems**

The main problems of this study are stated as follows:

- 1) What is the effect of Metaconceptual Teaching Instruction (MTI) compared to Traditional Instruction (TI) on 10th grade students' understanding of states of matter concepts and their self-efficacy toward chemistry when the effects of states of matter diagnostic pretest scores and self-efficacy toward chemistry pretest scores are controlled at the central district of Nevşehir?
- 2) What is the effect of Metaconceptual Teaching Instruction (MTI) compared to Traditional Instruction (TI) on 10th grade students' durability of states of matter concepts and their durability of self-efficacy toward chemistry when the effects of states of matter diagnostic pretest scores and self-efficacy toward chemistry pretest scores are controlled at the central district of Nevşehir?
- 3) What is the nature of the metaconceptual processes students who had several alternative conceptions and who had few alternative conceptions engage in during the MTI?
- 4) What are the changes in students' alternative conceptions in relation to their conceptual understanding of states of matter after the MTI?

### 1.1.2 The Sub-Problems

There are four sub-problems of the study shown below:

- 1) What is the effect of Metaconceptual Teaching Instruction (MTI) compared to Traditional Instruction (TI) on 10th grade students' understanding of states of matter concepts when the effects of states of matter diagnostic pretest scores and self-efficacy toward chemistry pretest scores are controlled at the central district of Nevşehir?
- 2) What is the effect of Metaconceptual Teaching Instruction (MTI) compared to Traditional Instruction (TI) on 10th grade students' self-efficacy toward chemistry when the effects of states of matter diagnostic pretest scores and self-efficacy toward chemistry pretest scores are controlled at the central district of Nevşehir?
- 3) What is the effect of Metaconceptual Teaching Instruction (MTI) compared to Traditional Instruction (TI) on 10th grade students' durability of states of matter concepts when the effects of states of matter diagnostic pretest scores and self-efficacy toward chemistry pretest scores are controlled at the central district of Nevşehir?
- 4) What is the effect of Metaconceptual Teaching Instruction (MTI) compared to Traditional Instruction (TI) on 10th grade students' durability of self-efficacy toward chemistry when the effects of states of matter diagnostic pretest scores and self-efficacy toward chemistry pretest scores are controlled at the central district of Nevşehir?

### 1.2 Hypotheses

The problems stated above are tested with the following hypotheses, which are stated in null form:

#### Null Hypothesis 1

$H_{0(1,2)}$ :  $\mu_{MTI} - \mu_{TI} = 0$ , when the effects of states of matter diagnostic pretest scores and self-efficacy toward chemistry pretest scores are controlled.

1: students' scores on states of matter diagnostic posttest, 2: students' scores on self-efficacy scale toward chemistry posttest

MTI: Metaconceptual Teaching Instruction

TI: Traditional Instruction

There is no significant difference between posttest mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of the collective dependent variables of states of matter diagnostic posttest scores and self-efficacy toward chemistry posttest scores when the effects of states of matter diagnostic pretest scores and self-efficacy toward chemistry pretest scores are controlled at the central district of Nevşehir.

### Null Hypothesis 2

$H_{0(1)}$ :  $\mu_{MTI} - \mu_{TI} = 0$ , when the effects of states of matter diagnostic pretest scores and self-efficacy toward chemistry pretest scores are controlled.

There is no significant difference between posttest mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of states of matter diagnostic posttest scores when the effects of states of matter diagnostic pretest scores and self-efficacy toward chemistry pretest scores are controlled at the central district of Nevşehir.

### Null Hypothesis 3

$H_{0(2)}$ :  $\mu_{MTI} - \mu_{TI} = 0$ , when the effects of states of matter diagnostic pretest scores and self-efficacy toward chemistry pretest scores are controlled.

There is no significant difference between posttest mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of self-efficacy toward chemistry posttest scores when the effects of states of matter diagnostic pretest scores and self-efficacy toward chemistry pretest scores are controlled at the central district of Nevşehir.

### Null Hypothesis 4

$H_{0(3, 4)}$ :  $\mu_{MTI} - \mu_{TI} = 0$ , when the effects of states of matter diagnostic pretest scores and self-efficacy toward chemistry pretest scores are controlled.

3: Students' scores on states of matter diagnostic retention-test, 4: Students' scores on self-efficacy scale toward chemistry retention-test

There is no significant difference between retention-test mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of the collective dependent variables of states of matter diagnostic retention-test scores and self-efficacy toward chemistry retention-test scores when the effects of states of matter diagnostic pretest scores and self-efficacy toward chemistry pretest scores are controlled at the central district of Nevşehir.

### Null Hypothesis 5

$H_{0(3)}$ :  $\mu_{MTI} - \mu_{TI} = 0$ , when the effects of states of matter diagnostic pretest scores and self-efficacy toward chemistry pretest scores are controlled.

There is no significant difference between retention-test mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of states of matter diagnostic retention-test scores when the effects of states of matter diagnostic pretest scores and self-efficacy toward chemistry pretest scores are controlled at the central district of Nevşehir.

### Null Hypothesis 6

$H_{0(4)}$ :  $\mu_{MTI} - \mu_{TI} = 0$ , when the effects of states of matter diagnostic pretest scores and self-efficacy toward chemistry pretest scores are controlled.

There is no significant difference between retention-test mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of self-efficacy toward chemistry retention-test scores when the effects of states of matter diagnostic pretest scores and self-efficacy toward chemistry pretest scores are controlled at the central district of Nevşehir.

### **1.3 Definition of Important Terms**

Teaching methods [TM; Metaconceptual Teaching Instruction (MTI) versus Traditional Instruction (TI)], students' states of matter diagnostic pretest scores (pre-SMDT), and self-efficacy scale toward chemistry pretest scores (pre-SETC) are independent variables (IVs) of the study. Students' states of matter diagnostic posttest scores (post-SMDT), self-efficacy scale toward chemistry posttest scores (post-SETC), students' states of matter diagnostic retention-test scores (r-SMDT), and self-efficacy scale toward chemistry retention-test scores (r-SETC) are dependent variables (DVs).

In the problems and hypotheses, there are terms that are not clear and thus need to be defined. In order to comprehend the study, the following terms are defined as follows:

pre-SMDT: It was measured by States of Matter Diagnostic Test (SMDT) two weeks before the study began. This variable was used as a covariate in the statistical analysis.

post-SMDT: It was measured by the SMDT at the end of the treatment.

pre-SETC: It was measured by Self-efficacy Scale toward Chemistry (SETC) two weeks before the study began. This variable was used as a covariate in the statistical analysis.

post-SETC: It was measured by the SETC at the end of the treatment.

r-SMDT: It was measured by the SMDT eight weeks after the treatment.

r-SETC: It was measured by the SETC eight weeks after the treatment.

Durability of concepts: Durability of concepts means the permanency/long-term retention of concepts. Georgiades (2000) defined it as follows: "How long does a conception remain in effect, within the learner's cognitive repertoire?" (p. 124).

MTI: Metaconceptual Teaching Instruction; metaconceptual teaching was presented by Yuruk (2005). She stated that "metaconceptual teaching interventions do not intend to promote all kinds of metacognitive knowledge and processes but they focus on promoting metacognitive knowledge and processes that are related to or act on one's conceptual

system” (p. 14). She acknowledged that metaconceptual teaching included the following metaconceptual knowledge and processes: metaconceptual awareness, metaconceptual monitoring, metaconceptual evaluation, and metaconceptual knowledge. In order to facilitate students’ metaconceptual knowledge and processes several types of metaconceptual teaching activities such as poster drawing, journal writing, group discussion, and class discussion are used. These instructional activities provide opportunity for students to become aware of their existing conceptions, to monitor their understanding of a new conception, and to evaluate their conceptions.

TI: Traditional Instruction; in traditional instruction, students are taught by means of lecture, demonstration and note taking as a primary instruction. The same set of activities such as demonstrations, problem solving, and class discussion is also used during the TI like the MTI. However, there is no explicit attempt to facilitate students’ metaconceptual knowledge and processes and thus, poster drawing, journal writing, and group discussion activities are not used.

Self-efficacy: Self-efficacy is defined by Bandura (1997) as “beliefs in one’s capabilities to organize and execute courses of action required to produce given attainments” (p. 3). In order to assess students’ beliefs in their abilities to achieve in tasks related to chemistry, the SETC was used.

#### **1.4 Significance of the Study**

In the literature, there are only a few studies investigating the effect of metaconceptual teaching instruction on students’ understanding of scientific concepts (Georghiades, 2004b; Yuruk, 2005). Besides, there is no experimental study found by the researcher in chemistry education literature related to the role of metaconceptual teaching instruction on students’ conceptual understanding. Since metacognition gains importance in science curriculum currently (Georghiades, 2004b; National Research Council, 2007) and since it was reported that metacognition facilitated conceptual change learning (Baird, 1986; Blank, 2000; Georghiades, 2000; White & Gunstone, 1989) and intentional conceptual change (Hennessey, 2003; Sinatra & Pintrich, 2003), the need for the studies investigating the effect of metaconceptual teaching instruction on students’ understanding of scientific concepts could be easily understood. Furthermore, considering the importance of providing the durability of students’ conceptions in conceptual change learning, yet, there are not many studies emerged in the literature to be conducted on how to provide the permanency of students’ conceptions (Georghiades, 2004b; Trundle et al., 2007; Yuruk, 2005). In the literature, the relationship between metacognition and motivational constructs is another

covered concern. Although there were studies exploring the relationship between students' use of metacognitive strategies and their motivational beliefs (Pintrich & De Groot, 1990; Pintrich & Garcia, 1991; Pintrich et al., 1991; Sungur, 2007), the literature lacks the studies specifically examining the effect of metaconceptual teaching instruction on students' motivational beliefs. Even, no study carried out in the literature regarding the effect of metaconceptual teaching instruction on students' durability of self-efficacy beliefs was found by the researcher. This study seeks answers for the aforementioned issues. The purpose of this study is to examine the effect of the MTI compared to the TI on 10th grade students' understanding and durability of states of matter concepts and self-efficacy toward chemistry. Furthermore, this study is examining the nature of metaconceptual processes of students who had several alternative conceptions and who had few alternative conceptions during the MTI and the changes in students' alternative conceptions in relation to their conceptual understanding of states of matter after the MTI. In the literature, there is only one study portraying the nature of metaconceptual processes of students (Yuruk, 2005). Further research needs to be carried out in order to understand the nature of students' metaconceptual processes clearly. Also, Yuruk (2005) did not consider the effect of alternative conceptions on students' engagement in metaconceptual processes. Therefore, this study contributed to the literature by depicting how students who have different alternative conceptions engage in metaconceptual processes.

Taking all these concerns into account, this study is important in the field of education in terms of students' science learning, teaching strategies, curriculum development, and teacher education. This study informs teachers, teacher educators, and curriculum developers about how to implement metaconceptual teaching instruction in order to provide students opportunities to be aware of their current and existing ideas, monitor their ideas and a new concept, and evaluate their ideas for facilitating conceptual change. In addition, this research may lead to understanding of the effect of the metaconceptual teaching instruction on students' self-efficacy toward chemistry as a school subject. Lastly, this research sheds light on how students who have different alternative conceptions engage in metaconceptual processes.

## CHAPTER 2

### REVIEW OF THE RELATED LITERATURE

The purpose of this chapter is to present review about theoretical background of alternative conceptions, constructivism, conceptual change, metacognition, and self-efficacy.

#### 2.1 Alternative Conceptions

Before the discussion of the term “alternative conceptions”, it would be better to overview the meaning of “concept” and “conception”. Hewson (1980) used an analogy to define the terms of “concept” and “conception”. He proposed that “concept” could be thought as “atom” or unit of thoughts, while “conception” could be considered as “molecule” or unit of knowledge. White (1994) pointed out the difference between “conceptual change” and “conceptional change” by considering the distinction between “concept” and “conception”. He stated that “concept” could be used in two ways as classification or as all the knowledge regarding the concept. However, according to White (1994), “conceptions” are more complex and they were the systems of the explanations. Based on these definitions, White (1994) proposed that “conceptional change” was more complex and difficult to produce. In this study, the term of “concept” is used for the ideas accepted by the scientific community and the term of “conception” is used for the students’ ideas related to concepts. Also, in order to avoid confusion, the term of “conceptual change” appears throughout the thesis in the knowledge of the difference between “conceptual change” and “conceptional change”.

The similar debate related to the term for the students’ ideas different than scientists emerged in the literature. Many researchers characterized students’ ideas differed from the definitions accepted by experts in various ways, such as misconceptions (Nakhleh, 1992; Schmidt, 1997), intuitive beliefs (McCloskey, 1983), children science (Gilbert, Osborne, & Fensham, 1982), alternative frameworks (Abimbola, 1988; Driver & Easley, 1978), and alternative conceptions (Abimbola, 1988; Driver & Easley, 1978). In this study, the term “alternative conceptions” is used to refer to the students’ ideas different from the commonly accepted scientific understanding. It should be emphasized that there is also another debate on the meaning of the terms used for the students’ ideas in the literature. For example, Smith, diSessa and Roschelle (1993) argued that misconceptions were seen as mistakes, unitary, and



stable by traditional misconception perspective and their productive account for the construction of more sophisticated understanding was ignored. In this study, “alternative conceptions” is used by taking into consideration the productive account of students’ ideas.

Students’ alternative conceptions in chemistry raised from various sources such as students’ prior knowledge, teachers’ use of teaching methods and tools, learning materials, etc. (Ben-Zvi & Hofstein, 1996; Wandersee, Mintzes, & Novak, 1994). Research on students’ conceptions has shed light on a wide range of issues related to learning science concepts in school, to applying concepts when explaining everyday phenomena and to teaching for conceptual understanding. Several studies have reported alternative conceptions with specific science concepts. These alternative conceptions have serious implications for understanding conceptually related ideas by the student as well as implications for teaching for conceptual understanding (see Duit, 2007 for a bibliography of literature on students’ and teachers’ conceptions in science education). With respect to chemistry, many students are unsuccessful in their struggle to learn fundamental concepts. One possible explanation for why learning chemistry is difficult that is beginning to emerge is that many students are not constructing appropriate understanding of foundational chemistry concepts, and thus, they had difficulty in understanding more advanced chemistry concepts (Gabel et al., 1987). Also, students are not able to explain their understanding of concepts at the macroscopic, microscopic, and submicroscopic levels of representation (Gilbert & Treagust, 2009). In the following, the literature regarding the students’ alternative conceptions in states of matter are given which is the focus subject of this study.

### **2.1.1 Alternative Conceptions in States of Matter**

States of matter is one of the crucial subjects in chemistry. It includes fundamental concepts such as solids and liquids, gases, evaporation, condensation, boiling, and vapor pressure which are conceptually related to each other and helpful in explaining everyday phenomena. Students’ understanding of these concepts has attracted considerable research interest over 30 years (Andersson & Bach, 1996; Aydeniz & Kotowski, 2012; Bar & Galili, 1994; Bar & Travis, 1991; Benson, Wittrock, & Baur, 1993; Canpolat, 2006; Canpolat, Pinarbasi, & Sozibilir, 2006; Chang, 1999; Costu et al., 2010; de Berg, 1995; Gopal, Kleinsmidt, & Case, 2004; Johnson, 1998a, b; Kirbulut & Beeth, 2011; Lin, Chang, & Lawrenz, 2000; Mayer, 2011; Novick & Nussbaum, 1978; Nussbaum, 1985; Nussbaum & Novick, 1982; Osborne & Cosgrove, 1983; Schmidt, Kaufmann, & Treagust, 2009; Sere, 1986; Stavy, 1988; Tytler, 2000; Tytler, Prain, & Peterson, 2007).

Novick and Nussbaum (1978) conducted a study to investigate how students internalized the particulate nature of matter. They made clinical interviews with 20 eight grade students between the ages of 13 and 14 in Israel. They found that the students did not know that the gas particles evenly scattered in any enclosed space and the students believed that there were dust, dirt, germs, and other particles in the empty space between the particles of a gas. In order to examine students' conceptions related to the gaseous state prior to teaching, Sere (1986) distributed a questionnaire to 600 students and conducted interviews with 20 students about 11 years old in France. Sere (1986) reported the following alternative conceptions related to the gaseous state.

- Air is more or less thick according to the places where it is found.
- The more air there is, the lighter it is.
- Air is transformed into a gas when it is heated.
- Hot air is lighter than cold air.
- A change in volume would also cause a change in the quantity of air.
- Atmospheric air exerts no forces.
- Hot air is capable of pushing or causing some motion, but cold air is not.

Similarly, Stavy (1988) interviewed with 120 students of six different age groups from fourth grade (9-10 years old) to the ninth grade (14-15 years old) to investigate their conceptions of gas in Israel. She reported that students believed that air had no weight and liquid was always heavier than gas. Sere (1982) also reported that students believed that gases did not have weight. In line with these studies, Benson et al. (1993) conducted clinical interviews with 1098 students from second graders to the university chemistry students in the USA to discover students' preconceptions related to the nature of gases. The students were asked to draw the picture of the distribution of gas particles in two flasks. The first flask represented the situation in which it was full of the air and the second flask represented the situation in which half of the air was removed. It was documented that some students from all grades believed that air was continuous and it behaved like liquid. de Berg (1995) studied with 101 college students (17-18 years old) to investigate their understanding of the volume, mass, and pressure of a gas in a sealed syringe in England. He used a task related to Boyle's Law. There was air in the syringe and the students were asked the following questions to get their ideas about what happened after the plunger was pushed in without leaking any air from out of the barrel: "What happens to the volume of the air? What happens to the mass of the air? What happens to the pressure of the air?" It was found that students believed that the air in the syringe exerted pressure when the plunger was pushed in; however, it did not exert pressure when not pushed. de Berg also reported that students confused volume with mass.

Lin et al. (2000) examined students' conceptual understanding of gases. Their sample consisted of 119 11th grade students and 36 chemistry teachers in Taiwan. They used open-ended questions to investigate students' understanding of gases. It was found that teachers and students hold the similar alternative conceptions. They believed that nature abhorred vacuum and molecules expanded when the temperature rose. In another study, Hwang (1995) conducted a study to show the development of the concept of gas volume in Taiwanese students. He studied with junior high school, senior high school, and university students and used tests related to gas volume to reveal students' conceptions. He found that the proportion of the students who gave the correct responses for the questions related to gas volume increased from junior high school to the university students and the students had the following alternative conceptions.

- The volume of hydrogen gas in a container with a volume of 1 L is related to the percentage of volume of hydrogen in the air.
- The volume of a gas is the size of the particle.
- A 1 L container is not enough to place 2 L gas.
- If we put 1 L oxygen and 1 L nitrogen gas into a 2 L container, then, the volume of each gas in the mixture is related to the composition ratio of the air.
- If we put 1 L oxygen and 1 L nitrogen gas into a 2 L container, then, the volumes of oxygen and nitrogen will stay 1 L.
- Gases were not scattered evenly.

Osborne and Cosgrove (1983) conducted clinical interviews with children age 7 to 18 to investigate their conceptions of states of water in New Zealand. They reported the following alternative conceptions.

- The bubbles are made of heat, air, oxygen or hydrogen, or steam.
- When water boils, it breaks down into oxygen and hydrogen.
- When water condenses, oxygen and hydrogen comes together to form water.
- When water evaporates, it just goes or dries up.
- When water evaporates, it changes into air.
- If we put some ice in a jar and capped on it, we see water outside the jar. This water is air.
- If we put some ice in a jar and capped on it, we see water outside the jar. This water comes from ice in the jar.
- If we put some ice in a jar and capped on it, we see water outside the jar. Coldness comes through the jar and produces water.

- If we put some ice in a jar and capped on it, we see water outside the jar. The cold surface and dry air react to form water.

Similarly, Bar and Travis (1991) investigated students' conceptions related to phase changes from liquid to gas and from gas to liquid and widened the conclusions of Osborne and Cosgrove's (1983) study. In this study, they studied with the students between the ages of 6 and 12 and used open-ended oral individual test, open-ended written test, and a multiple-choice test. They determined that students held the following alternative conceptions.

- The water on the floor dries because it disappears, penetrates to the floor, or changes its form and is scattered in the air.
- Laundry dries because it changes into air and disappeared or changes to hydrogen and oxygen.
- Vapor coming from boiling water or the matter inside the bubbles is made of air, hot air, hydrogen and oxygen, or water and heat.
- The condensation of water on a vessel including ice occurs because the water from inside penetrated the wall of the vessel, the coldness cause hydrogen and oxygen to form water, or the coldness change into water.

Following this line of work, Bar and Galili (1994) investigated conceptions of evaporation with children in the age range of 5-14. They conducted interviews and used open-ended and multiple choice questions for this purpose. They proposed the following four views regarding children's conceptions of evaporation.

- Water simply disappeared.
- Water was absorbed (into the floor or/and ground).
- When water evaporated, it was unseen and being transferred to an alternative location such as the sky, air, or ceiling.
- Water was transformed into air.

Parallel to the studies of Osborne and Cosgrove (1983), Bar and Travis (1991), and Bar and Galili (1994), Chang (1999) conducted a study to examine teacher college students' conceptions on evaporation, condensation, and boiling in Taiwan. They distributed open-ended questions to 364 students in a teachers college for the aim of the study. They found that teachers college students had superficial understanding related to these concepts and they held the following alternative conceptions.

- Water evaporates once combined with air.
- Liquid is heavier than its state of gas.

- Water droplets formed on the outer surface of cold drink results from the air outside the bottle, meeting of cold and hot air, or heat.
- Water condenses when encountered a surface because of the meeting of cold and hot air.
- Condensation only occurs when there is a decrease in temperature.
- The white smoke rising from the boiling water is water vapor.
- There is oxygen, hot water, or air in the bubbles of boiling water.

Johnson (1998a, b) also reported that students had difficulty in understanding the gas state since their understandings of the particulate nature of matter were problematic. Tytler (2000) explored students' whose ages were between 6 and 12 conceptions of evaporation and condensation in Australia. Students were exposed to experimental tasks related to evaporation and condensation and class discussions were made during the experimental tasks. Based on the class discussions and interviews, the following non-scientific conceptions were uncovered for all grades.

- There is air in the bubbles of boiling water.
- Hot and cold are reacting to make fog or moisture.
- Water from drying clothes may drip on the ground, soak into the ground or into clothes.

Gopal et al. (2004) interviewed with 15 second-year chemical engineering students to investigate their conceptions of evaporation, condensation, and vapor pressure. They documented the following alternative conceptions.

- Evaporation requires a temperature gradient.
- Evaporation only occurs in a closed system.
- Condensation requires a temperature gradient in order to take place.
- The pressure in a closed system with water increases due to increase in water vapor.

Canpolat et al. (2006) explored the conceptions of 70 undergraduate students in the Primary Science Teacher Training Program related to evaporation and vapor pressure in Turkey by using open-ended questions and interviews. They found that students had superficial understanding related to these concepts, with the following main alternative conceptions:

- Vapor pressure is pressure caused by particles at the vapor phase during boiling.
- Vaporization starts with boiling.
- A liquid has to be heated for a certain time in order to vaporize.
- At constant temperature, the value of the vapor pressure changes with changes in the volume of the vapor in equilibrium with its liquid.
- A liquid's vapor pressure changes with changes in the amount of liquid.
- Boiling liquids at atmospheric pressure have different vapor pressures.

Collectively, these studies showed that students at all grades had alternative conceptions related to states of matter subject which is one of the crucial subjects in chemistry. Also, these alternative conceptions were universal. All these studies raise a question to ask whether how students' conceptions could be changed. Therefore, states of matter subject is the focus of this study. It is important to use effective teaching methods to address these alternative conceptions. It is known that students' ideas develop slowly and learning is a gradual process (Vosniadou et al., 2008). There is an agreement that students' ideas should be taken into consideration at any instruction (e.g., Hewson & Thorley, 1989; Nussbaum & Novick, 1982; Vosniadou, 1992). By this point of view, constructivism, conceptual change, and metacognition are presented below.

## 2.2 Constructivism

Constructivism is a paramount perspective in science education over 40 years. Indeed, the key idea of constructivism goes far beyond to Socrates and Plato. According to Hawkins (1994), Emmanuel Kant is the precursor of constructivism in modern times by considering Kant's statement which is "Scientific knowledge is actively constructed from our observational experience" (p. 9). In this century, constructivism is rooted from the work of Jean Piaget, Jerome Bruner, and Lev Vygotsky. Constructivism contrasts objectivism. Objectivism rests on the assumption that knowledge is directly transferred from outside to the learner. However, constructivism acknowledges that knowledge is constructed by learners based on their experiences.

von Glasersfeld (1993) stated that constructivism was postepistemological and he preferred to call constructivism as a "theory of knowing" instead of as a "theory of knowledge". von Glasersfeld (1993) said that "knowledge is always the result of a constructive activity and, therefore, it cannot be transferred to a passive receiver. It has to be actively built up by each individual knower" (p. 26). He also made the following explanation for science concepts.

Science largely consists of relational (operative) concepts that are the result of various abstractions having their origin in sensory-motor experience and our own mental operations. This has been beautifully expressed by Einstein (1954) in his essay "Physics and reality". There, he explicitly says that our object concepts are "free creations of the human (or animal) mind" (p. 26).

There are various terms such as personal, social, radical, pragmatic, and trivial constructivism emerged in the literature for constructivism. The most common terms are "radical constructivism" and "social constructivism". von Glasersfeld used the term "radical constructivism" and he defined radical constructivism as follows:

Radical constructivism, thus, is radical because it breaks with convention and develops a theory of knowledge in which knowledge does not reflect an “objective” ontological reality, but exclusively an ordering and organization of a world constituted by our experience (von Glasersfeld, 1984, p. 22).

von Glasersfeld (1993) indicated that radical constructivism did not reject reality; however, the absolute reality did not exist as a truth for learners.

Social constructivism is based on the work of Lev Vygotsky. Social constructivism centralizes interactions among learners or in culture and states that knowledge is constructed thorough cultural interaction or social interaction among learners (Marin, Benarroch, & Jimenez-Gomez, 2000). In a paper, von Glasersfeld (1993) explicated the difference between radical constructivism and social constructivism as follows:

Social constructionism is a recent development started by some who claim radical constructivism does not take into account the role of social interaction in the construction of knowledge. The claim, as I see it, is partly justified by the fact that neither Piaget nor any more recent constructivist has actually specified a detailed model of how social interaction works from the constructivism point of view (p. 24).

Based on the review of literature related to constructivism, Tobin and Tippins (1993) asserted that “knowledge only exists in the minds of cognizing beings, but cognizing beings only exist in a socio-cultural sense” (p. 6).

In terms of practice of constructivism in education, Fosnot and Perry (2005) indicated that there was no explicit prescription for constructivist teaching. They stated that constructivism was a theory of learning, not of teaching. However, there are recommendations or conditions for constructivist teaching (Baviskar, Hartle, & Whitney, 2009; Driscoll, 2000; Fosnot & Perry, 2005). Baviskar et al. (2009) offered the following four criteria in order to characterize constructivist teaching.

- eliciting prior knowledge
- creating cognitive dissonance
- application of the knowledge with feedback
- reflection on learning

Driscoll (2000, p. 382) suggested the following recommendations of constructivist conditions for learning.

- Embed learning in complex, realistic, and relevant environments.
- Provide for social negotiation as an integral part of learning.
- Support multiple perspectives and the use of multiple modes of representation.
- Encourage ownership in learning.
- Nurture self-awareness of the knowledge construction process.

Conceptual change model is one of the models that have been built on constructivist principles. It is based on the constructivist notion that all learning is a process of personal construction. In conceptual change approach, learner self-constructs new knowledge from existing knowledge, and teacher is the facilitator and the guide for change in ideas (Cobern, 1996). Also, metacognition is a crucial element both for constructivism and conceptual change (Gunstone, 1991; Gunstone & Mitchell, 1998; White & Gunstone, 1989). Gunstone (1991) explained the relationship among constructivism, metacognition, and conceptual change as follows:

Students (and others) have conceptions about teaching and learning (knowledge), have perceptions of the purpose of and their progress through any teaching/learning activity (awareness), and make decisions and act in particular ways during the activity (control)...By metacognition I mean the amalgam of student knowledge, awareness and control relevant to their learning. I have argued an important complementarity between metacognition and constructivism: knowledge, awareness and control are personal constructions, an appropriately metacognitive learner is one who can effectively undertake the constructivist process of recognition, evaluation and, where needed, reconstruction of existing ideas [which was seen conceptual change by the author] (p. 135).

Metacognition is widely believed to make students responsible for their learning, and it has a positive impact on conceptual understanding (Adey et al., 1989; Hewson et al., 1998; Vosniadou et al., 2008).

### 2.3 Conceptual Change

Conceptual change research has remained a significant area of study in science education over the past several decades. During this time, several conceptual change models have been proposed (e.g., Carey, 1991, 1999; Chi, 1992; Chi & Slotta, 1993; diSessa, 1988, 1993, 2008; Gopnik & Wellman, 1994; Hatano & Inagaki, 1997; Hewson & Lemberger, 2000; Hewson & Thorley, 1989; Linder, 1993; Mortimer, 1995; Posner et al., 1982; Thagard, 1992, 2008; Ueno, 1993; Vosniadou, 1992, 1994; Vosniadou et al., 2008). Table 2.1 summarizes the conceptual change models as “theory-like” and “fragmentation and contextualization of conceptions” perspectives.

Table 2.1 Theory-like and fragmentation and contextualization of conceptions perspectives

Theory-Like Perspectives	Fragmentation and Contextualization of Conceptions Perspectives
Conceptual Change Model- e.g., Hewson, 1981; Posner et al., 1982; Strike and Posner, 1992	Knowledge in Pieces- e.g., diSessa, 1988



Table 2.1 (continued)

Theory-Like Perspectives	Fragmentation and Contextualization of Conceptions Perspectives
Enrichment Types of Mechanisms- e.g., Carey, 1991	Contextualization of Conceptions- e.g., Linder, 1993; Ueno, 1993
Ontological Categories- e.g., Chi, 1992	Profile Change- e.g., Mortimer, 1995
Framework Theory- e.g., Vosniadou, 1992	
Branch Jumping and Tree Switching- e.g., Thagard, 1992	
Instruction-Induced Conceptual Change- e.g., Inagaki and Hatano, 1997	

These perspectives differ in terms of researchers' assumptions about the nature of learners' naïve ideas and the roles these ideas play in terms of future learning. They also differ in the extent to which they advocate for the coherence of ideas across multiple instances. The following points could be considered as differences between the two perspectives (diSessa, 2006; Ozdemir & Clark, 2007).

- Structural properties of naïve ideas: Piaget's ideas of assimilation and accommodation and Kuhn's (1970) notion of normal science and scientific revolution have influenced theory-like perspectives. In theory-like perspectives, naïve ideas are highly organized. On the other hand, according to fragmentation and contextualization of conceptions, naïve ideas are "fragmented" and show little coherence based on the work of Toulmin (1972). diSessa (2006) explained this state as follows:
 

Early in conceptual change research, most people assumed that student ideas were coherent and integrated. Under such an assumption, one has little choice but to argue students out of their prior ideas, and convince them to accept the ideas of physicists. But a very different view has gradually grown in influence. Rather than a coherent whole, students' ideas may consist of many quasi-independent elements. Instead of rejecting student conceptions, one can pick and choose the most productive student ideas and refine them to create normative concepts (p. 266).
- The argument on the consistency and inconsistency of naïve ideas: Some researchers are the advocates of extreme theory-like naïve ideas (e.g., Gopnik & Wellman, 1994; Kuhn, 1970), while others are advocates of knowledge in pieces (e.g., diSessa, 1988; diSessa, Gillespie, & Esterly, 2004; diSessa & Sherin, 1998; Toulmin, 1972). There are still other researchers who take positions in between these two extremes (e.g., Carey, 1999;

Vosniadou, 1992). The advocates of theory-like naïve ideas are the advocates of coherence in naïve ideas and view naïve ideas in the light of scientific theory change. Less extreme coherence advocates assert that naïve ideas are different from professional science by emphasizing a lesser degree of coherence between students' ideas and scientific ideas.

- Nature of change process whether it is revolutionary or evolutionary change: Theory-like perspectives often suggest revolutionary change where existing conceptions are replaced with new conceptions. Fragmentation and contextualization of conceptions perspectives propose a more evolutionary change process.

It should be emphasized that there is no clear-cut distinction between these two perspectives and it is not possible to say that one perspective is better than the other. They have common-share points such as alternative ideas are highly resistant to change and thus, conceptual change is a time-consuming process. Furthermore, it should be noted that the models such as “enrichment types of mechanisms”, “ontological categories”, “framework theory”, and “knowledge in pieces” were proposed in the context of cognitive development; however, “conceptual change model” is more effective in science education area. In the following, conceptual change models are presented and the expanded conceptual change model which is the base model of the current study is introduced.

### **2.3.1 Conceptual Change Model**

One of the foundational theories of conceptual change in education was proposed by Posner et al. (1982). This theory viewed conceptual change as a replacement of theory-like existing conceptions with new conceptions based on Kuhn's (1970) notion of “paradigm shift”, Lakatos' (1970) research programs, and Piaget's notion of “accommodation”. Posner et al. (1982) also used Toulmin's (1972) phrase “conceptual ecology” to refer to the concepts governing conceptual change. Posner et al. (1982) explained conceptual change learning by using Piaget's terms of “assimilation” and “accommodation”. They proposed that if a learner's current conception was adequate to deal with a new concept, then, the learner's existing conceptions were functional for her/him and the new concept could be incorporated with her/his existing conceptions. This process was called as “assimilation” by Posner et al. (1982) and “conceptual capture” by Hewson (1981). On the other hand, if the learner's current conception was inadequate to grasp the new concept, then, the learner has to restructure her/his existing conceptions. This was called as “accommodation” by Posner et al. (1982) and “conceptual exchange” by Hewson (1981). Accommodations were the focus of the conceptual change model proposed by Posner et al. (1982).

There are two fundamental components of conceptual change: conditions for conceptual change and conceptual ecology. Posner et al. (1982) stated that there were four conditions to be satisfied in order for conceptual change to occur: “i) there must be dissatisfaction with existing conceptions, ii) a new conception must be plausible, iii) a new conception must appear initially plausible, and iv) a new concept should suggest the possibility of a fruitful research problem” (p. 214). These four conditions were indicated in Hewson’s (1996) study as follows:

First, is the conception *intelligible* to the learner? That is, does the learner know what it means? Is the learner able to find a way of representing the conception? Second, is the conception *plausible* to the learner? That is, if a conception is intelligible to the learner, does he or she also believe that it is true? Is it consistent with and reconcilable with other conceptions accepted by the learner? Third, is the conception *fruitful* for the learner? That is, if a conception is intelligible to the learner, does it achieve something of value for him or her? Does it solve otherwise insoluble problems? Does it suggest new possibilities, directions, ideas? (p.133)

A major source of dissatisfaction was described as anomaly by Posner et al. (1982).

According to them, anomaly occurred when it was not possible to assimilate a new concept into existing conceptions. Posner et al. (1982, p. 221) presented four points in order for dissatisfaction to occur because of anomalies.

- Students understand why the experimental finding represents an anomaly.
- Students believe that it is necessary to reconcile the findings with their existing conceptions.
- Students are committed to the reduction of inconsistencies among the beliefs they hold.
- Attempts to assimilate the findings into the students’ existing conceptions are seen not to work.

Posner et al. (1982) suggested that analogies and images could be helpful in the representation of a new concept for its intelligibility. They also proposed several ways for the plausibility of a new concept such as the consistency of a new conception with past experience, other knowledge, epistemological commitments, and metaphysical beliefs. To sum up, first, a learner must dissatisfy with her/his current conceptions, and then, the learner must find a new concept as intelligible, plausible, and fruitful in order for conceptual change to take place.

Posner et al. (1982) acknowledged that learners’ current conceptions had an influence on their understanding of a new concept by using Toulmin’s notion of “conceptual ecology”. According to Posner et al. (1982), conceptual ecology consisted of i) anomalies, ii) analogies and metaphors, iii) epistemological commitments including explanatory ideals and general views about the character of knowledge, iv) metaphysical beliefs and concepts, and

v) other knowledge including competing concepts and knowledge in other fields. Conceptual ecology plays a crucial role in determining to what extent the conditions of conceptual change were provided and provided the context for conceptual change.

Conceptual change model was expanded by Hewson (1981), Hewson and Lemberger (2000), and Hewson and Thorley (1989) with the notion of status construct recognized as the “hallmark” of conceptual change. As mentioned before, Hewson (1981) used two terms for conceptual change: conceptual capture and conceptual exchange. In a paper, Hewson (1996) explained conceptual capture and conceptual exchange with the following examples:

A second example might be Jane’s savings account. Her money earns interest and the balance grows; she spends money and the balance falls. Here the change means an increase or decrease in the amount of something. A third example might be an election for political office with the incumbent being beaten by the challenger: There has been a change of mayor. Both people continue to live in the city, but only one person is mayor (p. 132).

Here, the second example represents conceptual capture, while the third example represents conceptual exchange. Hewson (1996) also mentioned “change” in the meaning of extinction like the change of frog into prince when the princess kissed him. However, he said that “extinction” did not an appropriate term to be used for the characterization of conceptual change.

Hewson (1981) judged conceptual change in the notion of “status” construct. Hewson (1981) defined “status” as the measurement of intelligibility, plausibility, and fruitfulness of a conception/concept. He indicated that there was a hierarchy among intelligibility, plausibility, and fruitfulness of a conception/concept, that is, a conception/concept could not be fruitful without being plausible and intelligible. Hewson and Thorley (1989) delineated “status” as “the extent to which the conception meets these three conditions” (p. 542). The three conditions were the intelligibility, plausibility, and fruitfulness of a conception/concept. In this expanded model, conceptual change was characterized as raising or lowering the status of conceptions/concepts. A learner chooses one conception over another because of its higher status and while deciding on this selection, the learner’s conceptual ecology plays a critical role (Beeth, 1993; Hewson, 1996). The lower the status of existing conceptions is the more likely that conceptual change will occur. A conception/concept has no status without being intelligible (Hewson & Thorley, 1989). A learner must become dissatisfied with her/his conception in order for the change in the status of conception. Dissatisfaction counteracts the conception from being plausible and/or fruitful (Hewson & Thorley, 1989). Table 2.2 shows the conceptual change possibilities based on the notion of status (Hewson, 1981). In the following table, “R” represents the rejection of the

concept being considered, “CC” symbolizes the conceptual capture of the concept being considered, “CE” stands for the conceptual exchange of the concept being considered for the existing conception, “recon.” represents reconcilability, and “irrecon.” symbolizes irreconcilability. Also, “I”, “IP”, and “IPF” stand for “intelligible”, “intelligible and plausible”, and “intelligible, plausible, and fruitful”, respectively. For reconcilability of a conception with the concept being considered, both of them have at least the status of intelligibility. For example, if a learner’s existing conception has status IP and the concept being considered has status I, then, there is irreconcilability between the conception and concept. Therefore, the learner rejects the concept being considered. If a learner’s existing conception has status I and the concept being considered has status IP or IPF, then, there is irreconcilability between the conception and concept. Hence, the learner goes to conceptual exchange of the concept being considered for the existing conception since the status of the concept being considered is higher than the status of existing conception. There was empirical evidence for the status-related conceptual change learning in the literature (e.g., Hennessey, 1991; Hewson & Hennessey, 1991; Hewson & Hewson, 1991; Hewson & Lemberger, 2000; Thorley, 1990). Hewson and Hewson (1991) proposed four ways in order to determine the status of learners’ conceptions/concepts: “i) non-technical interview, ii) non-technical classroom discourse, iii) technical interview, and iv) technical classroom discourse” (p. 63). They stated that while analyzing non-technical interview and classroom discourse, learners’ conceptual ecology and their use of metaconceptual statements such as “I believe that..., I don’t understand..., etc.” played crucial role. For example, if learners did not use metaconceptual (the terms “metacognition” and “metaconceptual” is explained in section 2.4) statements, then, it would be difficult to reveal the status of their conceptions/concepts. Therefore, Hewson and Hewson (1991) suggested that it would be helpful to use Thorley’s (1990) status analysis categories. On the contrary, Hennessey (e.g., Hennessey, 1991) utilized technical language of conceptual change model (see Hewson & Hennessey, 1991 for the descriptors of the technical terms-Here, students were talking about intelligibility, plausibility, and fruitfulness of their ideas explicitly) to reveal the status of learners’ conceptions/concepts. Also, it should be noted that although Hewson (1981) proposed that there was a hierarchical order among intelligibility, plausibility, and fruitfulness of a conception/concept, Thorley (1990) indicated that there were no clear boundaries among them.

Table 2.2 A model of conceptual change (Hewson, 1981, p. 390)

		Status of concept being considered					
		Intelligible (I)		Intelligible and Plausible (IP)		Intelligible, Plausible, and Fruitful (IPF)	
		irrecon.	recon.	irrecon.	recon.	irrecon.	recon.
Status of existing conception	I	R	R	CE		CE	
	IP	R			CC (or R)		CC
	IPF	R			CC (or R)		CC

The relationship between metacognition and conceptual change has been reported elsewhere (Beeth, 1998a, b, c; Georghiades, 2000; Gunstone, 1991, 1994; Gunstone & Mitchell, 1998; Gunstone & Northfield, 1992; Hennessey, 1991, 1993, 1999, 2003; Hennessey & Beeth, 1993; Hewson et al., 1998; Hewson & Hennessey, 1991; Hewson & Hewson, 1991; White & Gunstone, 1989). Hewson et al. (1998) emphasized the importance of metacognition in the guidelines of teaching for conceptual change. As mentioned before, status and conceptual ecology lies at the heart of the expanded model of conceptual change (Hewson, 1981; Hewson & Thorley, 1989). In the guidelines of teaching for conceptual change, Hewson et al. (1998) emphasized that being aware of one's own conceptual ecology and monitoring one's own ideas, which were metacognitive in nature, were important for conceptual change by considering that knowledge was individually constructed and socially mediated. They stated that students' ideas should be made explicit within the part of metacognitive classroom discourse, the status of students' ideas should be discussed, and the students should be provided opportunities to make justifications for the status of their conceptions/concepts. Hewson (1996) pointed out that making explicit different ideas in the classroom was especially important in raising or lowering the status of conceptions/concepts: "In teaching for conceptual change, it was asserted that different views of students must be elicited, that the status of some students' views might have to change, and that such teaching is explicitly metacognitive" (p. 137). Hewson (1981) and Hewson and Hewson (1991) also reported the importance of metaconceptual statements in determining the status of learners' conceptions. Hewson (1996) indicated that metaconceptual activities aiming at raising and lowering the status of particular ideas were crucial in teaching for conceptual change. He stated that "these activities might involve presenting and developing the ideas, providing examples of them, applying them in other circumstances, giving different ways of thinking about them, linking them to other ideas, and so forth" (p. 136). Similarly, Hewson and Thorley (1989) emphasized the importance of monitoring the status of learners' own conceptions/concepts in effective conceptual change teaching. Taking into consideration these points, in this study, metaconceptual teaching instruction was used. However, it should

be noted that the focus of the study is not related to reveal the status of the students' conceptions/concepts.

### **2.3.2 The Revisionist Model of Conceptual Change**

Throughout history, philosophers of science had different perspectives on realism and empiricism (e.g., Kuhn, 1970; Lakatos, 1970; Toulmin, 1972). In a similar vein, Giere (1988) indicated that scientific claims showed a continuum from rational perspective (realism and objectivism) to irrational perspective including cultural, motivational, and social factors. Bereiter and Schardamalia (1989) pointed out that intentional learner played an active role in knowledge construction. These arguments have also influenced conceptual change research. The initial conceptual change model proposed by Posner et al. (1982) was criticized by several researchers in that it did not consider motivational and social factors and they called this conceptual change model as "rational" and "cold" (e.g., Pintrich, Marx, & Boyle, 1993; West & Pines, 1983). Pintrich et al. (1993) argued that motivational constructs including goals, self-efficacy, values, control beliefs, and classroom contextual factors were influential on conceptual change by considering the results of various studies documenting the relationship between motivational factors and learning (e.g., Cole, 1992; Pintrich, 1989; Pintrich & De Groot, 1990; Pintrich & Garcia, 1991). Also, Smith et al. (1993) criticized that many researchers saw misconceptions as mistakes by ignoring their productive account. In response to these criticisms, Strike and Posner (1992, p. 162) made the following modifications in their initial conceptual change model. They included affective and social factors in conceptual ecology and they considered misconceptions as generative part of conceptual ecology.

- A wider range of factors needs to be taken into account in attempting to describe a learner's conceptual ecology. Motives and goals and the instructional and social sources of them need to be considered. The idea of conceptual ecology thus needs to be larger than the epistemological factors suggested by the history and philosophy of science.
- Current scientific conceptions and misconceptions are not only objects on which a learner's conceptual ecology acts, they are themselves parts of the learner's conceptual ecology. Thus they must be seen in interaction with other components.
- Conceptions and misconceptions can exist in different modes of representation and different degrees of articulateness. They may not exist at all but may easily appear to do so, because under instruction or in research they are generated by other elements of a conceptual ecology.
- A developmental view of conceptual ecologies is required.

- An interactionist view of conceptual ecologies is required.

However, it should be noted that in spite of those criticisms, in a meta-analysis study, Guzetti, Snyder, Glass and Gamas (1993) showed that conceptual change approaches were more efficient than traditional approaches. Furthermore, from past to present, various studies reported that conceptual change teaching strategies such as conceptual change text, analogy, concept map, and Predict-Observe-Explain were successful in facilitating students' conceptual understanding (e.g., Calik, Okur, & Taylor, 2011; Ceylan & Geban, 2009; Chambers & Andre, 1997; Costu et al., 2010; Costu et al., 2012; Hynd, McWhorter, Phares, & Suttles, 1994; Smith, Blakeslee, & Anderson, 1993; Sungur, Tekkaya, & Geban, 2001; Uzuntiryaki & Geban, 2005).

### **2.3.3 Intentional Conceptual Change**

After Bereiter and Schardamalia (1989) introduced the term “intentional learner”, “intentional conceptual change” gained importance in the literature. Not only cognitive factors, but also social factors and intentional factors such as metacognition, self-regulation, and motivation played an active role in conceptual change. Sinatra and Pintrich (2003) defined “intentional conceptual change” as “the goal directed and conscious initiation and regulation of cognitive, metacognitive, and motivational processes to bring about a change in knowledge” (p. 6). Ferrari and Elik (2003) stated that “intentional conceptual change is only possible in a person who intends to change his or her conceptual understanding” (p. 21). Researchers also indicated that every conceptual change was not intentional (Hatano & Inagaki, 2003; Sinatra & Pintrich, 2003; Vosniadou, 2003). However, Sinatra and Pintrich (2003) advocated that intentional conceptual change brought deeper and enduring change. Ferrari and Elik (2003) proposed three moderators facilitating intentional conceptual change: belief-related moderators, affect-related moderators, and intention-related including metacognition moderators. Similarly, Limon Luque (2003) introduced three prerequisites for intentional conceptual change: metaconceptual awareness for the need to change, individuals' intentions for change, and self-regulation. They stated that metacognition is one of the most influential moderators in facilitating intentional conceptual change. Hennessey (2003) also affirmed that intentional conceptual change and metacognitive engagement were deeply interconnected:

It is precisely when the process of either conceptual capture or conceptual exchange comes under conscious control (i.e., the learner is cognitively engaged in monitoring, assessing, and regulating his or her learning in a metacognitive manner) that the learning and subsequent change process becomes intentional (p. 112).



Hennessey (2003) indicated that learners who used metacognitive processes at evaluative level were more intentional since they did not use automatic processes. Vosniadou (2003) also emphasized the importance of metacognition in intentional conceptual change. She differentiated intentional and nonintentional conceptual change by considering metacognition as follows:

It is my impression that addition and replacement of beliefs are the mechanisms that characterize nonintentional conceptual change. The use of more sophisticated mechanisms seems to require intentional learning. The use of such mechanisms would make it less likely to create synthetic models and would make restructuring easier. The use of such mechanisms can only come from intentional learners who are fully aware of their beliefs and who can understand the differences between the new information that is presented to them and what they already know (p. 404).

Limon Luque (2003) considered intentional conceptual change as a necessity for radical restructuring:

Intentional conceptual change requires individuals to make a considerable effort to change. It demands that learners pay deliberate attention to change and consider it as a personal goal to be achieved. Therefore, those types of change that require greater restructuring of the individual's prior knowledge may be those that demand intentional conceptual change. Although this has yet to be established empirically, intentional conceptual change might be necessary for radical restructuring to be achieved (p. 138).

In conclusion, researchers agreed that metacognition is a very crucial element underlying intentional conceptual change. In the following, other conceptual change models are presented by considering their relationship with metacognition.

#### **2.3.4 Other Conceptual Change Models**

One of the foundational theories of conceptual change was proposed by Posner et al. (1982). This theory viewed conceptual change as a replacement of theory-like existing conceptions with new conceptions based on Kuhn's (1970) notion of "paradigm shift" and Piaget's notion of "accommodation". Similarly, Gopnik and Wellman (1994) explained conceptual change on the grounds of scientific theory change in line with the ideas proposed by Kuhn's (1970). According to Gopnik and Wellman, if children have ideas that differ with those of the scientific community, they are interpreting fundamental facts and experiences about the natural world different from how the scientific community sees the world. Gopnik and Wellman referred to this position as "theory theory" and posited that naïve ideas are coherent, unitary, and theory-like. Thagard (2008) proposed different degrees of conceptual change influenced by the history of science and medicine. In his taxonomy for epistemic change, Thagard (1992) suggested that conceptual change consisted of "addition",

“deletion”, reorganization”, and “hierarchy redefinition” categories. “Reorganization” involves “simple” and “revisionary” organization. He called revisionary organization as “branch jumping” and hierarchy redefinition as “tree switching”. According to him, the most radical kinds of conceptual change involve “branch jumping” and “tree switching”. He stated that theory replacement is required to generate conceptual change and to provide explanatory and emotional coherence. Thagard (1992, p. 35) classified different types of conceptual change as follows:

- Adding a new instance, for example that the blob in the distance is a whale.
- Adding a new weak rule, for example that whales can be found in the Arctic Ocean.
- Adding a new strong rule that plays a frequent role in problem solving and explanation, for example that whales eat sardines.
- Adding a new part-relation, for example that whales have spleens.
- Adding a new kind-relation, for example that a dolphin is a kind of whale.
- Adding a new concept, for example narwhal.
- Collapsing part of a kind-hierarchy, abandoning a previous distinction.
- Reorganizing hierarchies by *branch jumping*, that is, shifting a concept from one branch of a hierarchical tree to another.
- *Tree switching*, that is, changing the organizing principle of a hierarchical tree.

There are other studies on the coherence of naïve ideas side although these studies are not the extreme theory theory advocates (e.g., Carey, 1999; Vosniadou, 1992; Vosniadou et al., 2008). For example, Carey (1991, 1999) approached conceptual change from a cognitive developmental perspective, indicating that radical conceptual change involved enrichment types of mechanisms and considerable re-organization of concepts. She identified several forms of conceptual change such as replacement, differentiation, and coalescence, and supported the notion of “local incommensurability” by criticizing “radical incommensurability”. In order to differentiate enrichment type of mechanisms and conceptual change, she also used the terms “weak restructuring” and “strong restructuring”. Carey and Spelke (1994) indicated the importance of metaconceptual awareness for strong restructuring.

Chi (Chi, 1992; Chi & Slotta, 1993; Chi, Slotta, & de Leeuw, 1994) proposed a conceptual change model based on epistemological, metaphysical, and psychological suppositions. In terms of epistemological supposition, she described “matter”, “processes”, and “mental states” ontological categories and stated that all entities belonged to one of these ontologically distinct categories. She also defined horizontally separated subcategories on each category. Matter consists of “natural kind” and “artifacts”, processes involves

“procedure”, “event” and “constraint-based interaction”, and mental states include “emotional” and “intentional” subcategories. Metaphysical assumption was related to the nature of scientific concepts. For example, one of subcategories of processes which is “constraint-based interaction” is defined as a subcategory which did not have a certain beginning and end. Psychological assumption was concerning the nature of students’ alternative conceptions, that is, ontological status of the concepts. Students would have alternative conceptions, if they assigned a concept to a wrong category and conceptual change occurs, when a student reassigns a concept from one category/subcategory to the other category/subcategory. Conceptual change is easy, if a student conception is incompatible with the scientific concept by being in the same category of different subcategories. However, conceptual change is difficult, if a student conception is incompatible with the scientific concept by being in the ontologically different categories. She also emphasized the importance of a learner’s metaconceptual awareness of her/his own ontological commitments for conceptual change.

Framework theory approach is another theoretical approach in understanding the process of conceptual change (Vosniadou, 1992; Vosniadou & Brewer, 1992; Vosniadou et al., 2008). Vosniadou et al. (2008) endorsed that naïve ideas were not fragmented instead they formed explanatory coherence. According to Vosniadou, using enrichment types of learning mechanisms, students could form “synthetic models” causing fragmentation, internal inconsistency, and alternative conceptions. She assumed that concepts were embedded in framework theories and she viewed conceptual change as gradual shifting of the presuppositions of the framework theory allowing the more sophisticated synthetic models. For example, Vosniadou and Brewer (1992) conducted a study to investigate the development of earth concept in childhood. They found that students formed various types of earth models called as scientific model (sphere), synthetic models (flattened sphere, hollow sphere, and dual earth), and initial models (disc earth and rectangular earth). Vosniadou et al. (2008) stated that “the change from a flat earth to a spherical earth concept is not a change in simple belief, but a radical conceptual change” (p. 8). According to Vosniadou (Vosniadou et al., 2008), many science concepts requires the more radical kind of conceptual changes that involve ontological category shifts. In this respect, Vosniadou’s framework theory approach is consistent with Chi’s “ontological category” argument. Vosniadou et al. (2008) also presented the following counter argument to the “knowledge in pieces” view proposed by diSessa (e.g., diSessa, 1988, 2008; diSessa et al. 2004):

diSessa argues that p-prims are basically unstructured or loosely organized in the conceptual system of the novice... According to diSessa, this change in the function of p-prims is a major change from intuitive to expert physics. In our view (and to the

extent that knowledge elements such as p-prims could be postulated to operate in our conceptual system), p-prims should become organized in knowledge structures much earlier than diSessa believes. If this is so, the process of learning science is not one of simply organizing the unstructured p-prims into physics laws but rather one during which they need to be re-organised into a scientific theory. This is a slow, gradual process, precisely because we are dealing with many knowledge elements (p. 23).

Vosniadou (Vosniadou, 1992; Vosniadou, 2003; Vosniadou et al., 2008) contended that in order to avoid synthetic models, learners should be aware of their internal inconsistencies and she emphasized the importance of metaconceptual awareness and intentional learning in conceptual change.

Inagaki and Hatano (2008) introduced another type of conceptual change which they called “instruction-based conceptual change” by considering conceptual change as consciously reducing incongruity process. They indicated that conceptual change often occurred as theory change since concepts were embedded in theories. They also emphasized the role of metacognition in instruction-induced conceptual change. They stated that since conceptual change was seen as reducing incongruity process, metaconceptual monitoring and evaluation were crucial to induce incongruity in the knowledge system.

Smith et al. (1993) argued that misconceptions were seen as mistakes, unitary, and stable by traditional misconception perspective and their productive account for the construction of more sophisticated understanding was ignored. Many studies drawing upon this view advocated that naïve ideas were fragmented, not systematic, and incoherent (e.g., diSessa, 1988, 2008; diSessa et al., 2004). diSessa (e.g., diSessa, 1993) proposed the “knowledge in pieces” view as a catch-phrase for this position. He made a distinction between novice and expert’s knowledge structures, in that novices use “phenomenological primitives (p-prims)” which are developed from everyday experiences while the knowledge of experts is structured, organized, coherent, and systematic. He maintained that conceptual change occurred when novices’ self-explanatory, isolated, and fragmented knowledge structures became organized and internally coherent, coming closer to the knowledge structure of experts. diSessa (e.g., diSessa et al., 2004) also emphasized the role of contextuality in conceptual change. While “theory theory” advocates considered generalization at the core of theorizing, fragmentation advocates posited that conceptions varied based on the context. Metacognition also plays a crucial role in this perspective since metaconceptual awareness and monitoring of a learner’s own fragmented pieces of knowledge lies at the heart of this perspective in order for conceptual change to occur.

Related to the importance of contextuality in learning, Mortimer (1995) introduced the notion of a conceptual profile and differentiated this conceptual change perspective from

others by advocating that it was possible to apply different types of knowledge standards in different contexts. While describing the fundamental two points in this perspective, Mortimer (1995) emphasized the importance of metaconceptual awareness in profile change:

We can consider two distinct moments in the learning process. The first corresponds to the acquisition of the concept at a specific profile level...the second important moment in the learning process is that of the pupil achieving consciousness of his/her own profile, which allows the comparison between different areas of the profile as well as an evaluation of their relative power. In this process, the students will be conscious of the limitations of their alternative conceptions but without giving them up (p. 274).

Similarly, Ueno (1993) and Linder (1993) stressed the crucial role of recontextualization in producing conceptual change. The important role of metacognition for these perspectives is to be able to monitoring the function of a concept in different contexts.

It was seen that metacognition lied at the heart of conceptual change models. In the following, metacognition is introduced.

## **2.4 Metacognition**

Metacognition lies at the heart of this study. In this section, historical view of metacognition, the definitions of metacognition, the components of metacognition, and metaconceptual research are discussed.

### **2.4.1 Historical View of Metacognition**

Historical roots of metacognition go far beyond to Plato and Aristotle. In her review of origins of metacognition, Brown (1987) argued the following four historical roots of metacognition.

- Verbal reports as data: The origins of metacognition go far beyond to Plato, Aristotle, and John Locke. For example, Locke distinguished sensation and reflection. Also, the emergence of the terms “multiple access” and “reflective access” in the area of psychology is not farther from metacognition.
- Executive control: Another root of metacognition comes from the information-processing models of cognition.
- Self-regulation: Metacognition also includes self-regulating processes. Piaget’s theory of regulation was one of the driving forces for metacognition. Piaget worked on the effect of conscious mechanisms on conceptual change.

- Other regulation: Learning also occurs in social contexts. Other regulation considers Vygotsky's Psychological Development Theory. In this respect, interaction with others provides learners to monitor their ideas.

The pioneering studies on metacognition were conducted in the area of developmental psychology in 1970s. The term "metacognition" was first introduced by John Flavell based on his study of metamemory in the early 1970s (Flavell, 1971). According to Flavell (1971), metacognition refers to "the active monitoring and consequent regulation and orchestration of these processes in relation to the cognitive objects" (p. 232). Flavell (1979) defined metacognition as "knowledge and cognition about cognitive phenomena" (p. 906). Building on Flavell's study, Kluwe (1987) adverted two features of metacognition: "declarative knowledge about cognition, for example the own cognitive activities and abilities, and procedural knowledge, processes directed at the control and regulation of one's own thinking" (p.31). Kluwe (1987) used the term "cognitive knowledge" for declarative knowledge including factual knowledge and "executive decision" for procedural knowledge involving monitoring and regulation of thought. Similarly, Paris and Winograd (1990) asserted two attributes of metacognition: self-appraisal of cognition and self-management of cognition. They defined "self-appraisal" as one's judgments about her/his own cognitive abilities and "self-management" as regulation of cognitive aspects for problem solving. Paris and Winograd (1990) emphasized that self-appraisal of cognition and self-management of cognition involved cognitive and motivational aspects. Also, Brown (1987) indicated the components of metacognition in the area of psychology. She stated that "knowledge about cognition" and "regulation of cognition" were the two essential components of metacognition. She argued that "knowledge about cognition" was stable, storable, and fallible:

Knowledge about cognition is relatively stable. One would expect that knowledge of pertinent facts about a domain that it is fallible, severely limited for short-term verbatim retention, etc., for example, memory would be a permanent part of one's naïve theory on the topic. This form of knowledge is often storable; one can reflect on the cognitive processes involved and discuss them with others...Of course, this form of knowledge is often fallible; the child, or adult for that matter, can perfectly "know" certain facts about cognition that are not true; naïve psychology is not always empirically supportable. (p. 68).

She denoted that regulation of cognition consisted of processes such as planning, monitoring, and evaluating. The following section serves to introduce the blanket term metacognition called by Brown (1987).

#### 2.4.2 The Definitions of Metacognition and the Fuzziness of the Concept

Metacognition was called as “fuzzy” concept by researchers (Brown, 1987; Flavell, 1981; Hacker, 1998) because of the vagueness of its definition, characteristics and lots of different historical roots. Therefore, metacognition was also multifaceted concept (Brown, 1987). Brown (1987) also dubbed metacognition as “many-headed monster”. In the following, some definitions of metacognition from the literature are presented:

- Knowledge and cognition about cognitive phenomena (Flavell, 1979, p. 906).
- One’s knowledge and control of own cognitive system (Brown, 1987, p. 66).
- Inner awareness or process, not an overt behavior (White, 1988, p. 73).
- Think about an idea (proposition, concept, or theory) rather than merely think with it (Kuhn, Amsel, & O’Loughlin, 1988, p. 7).
- The knowledge, awareness and control of one’s own learning (Baird, 1990, p. 184).
- Thinking about one’s own thinking (Rickey & Stacy, 2000, p. 915).
- Awareness and management of one’s own thought (Kuhn & Dean, 2004, p.270).

According to Hacker (1998), although there was no consensus on some aspects of metacognition, researchers agreed on the following notions regarding the definition of metacognition: “knowledge of one’s knowledge, processes, and cognitive and affective states; and the ability to consciously and deliberately monitor and regulate one’s knowledge, processes, and cognitive and affective states” (p. 11).

The reasons for the fuzziness of metacognition could be summarized as follows:

- Metacognition is multi-faceted concept (Brown, 1987).
- Many “metas” emerged in the literature such as metaaffection, metalearning, metareading, metacomprehension, and metalanguage (Flavell, 1971; Kluwe, 1987).
- Researchers emphasized the difficulty of the distinction between “meta” and “cognitive” (Brown, 1987; Flavell, 1979, 1987). Yet, Flavell (Flavell, 1979, 1987) provided definitions for “cognitive strategies” and “metacognitive strategies”. He stated that “cognitive strategy” was related to enhancing knowledge, while “metacognitive knowledge” was related to controlling and monitoring the cognitive progress.
- Flavell (1987) reported that metacognition was related to many psychological concepts such as self-efficacy, social cognition, self-regulation, executive processes, and self-awareness.
- Measuring metacognition is another obscurity resulted from its own characteristic- it is an inner awareness, not an overt behavior. Several assessment techniques could be used to assess metacognition such as interviews (Zimmerman & Martinez-Pons, 1990),

questionnaires (Thomas, 2003), thinking-aloud protocols (Afflerbach, 2000), and observations (Veenman & Spaans, 2005). All these assessment methods have their pros and cons. Therefore, multimethod designs including various assessment techniques should be used to not to share the same source of error (Garner & Alexander, 1989; Veenman, Van Hout-Wolters, & Afflerbach, 2006). In this respect, in this study, multimethod design was used (see section 3.1).

- The definition of metacognition is subject to debate. Several researchers proposed different categorizations of the components of metacognition (Chi, 1987; Flavell, 1979; Pintrich et al., 2000; Schraw & Moshman, 1995). In the following, the components of metacognition are discussed.

### 2.4.3 The Components of Metacognition

Due to multidimensional character of metacognition, many researchers proposed different categorizations of the components of metacognition as mentioned above. One of the first categorizations was proposed by Flavell (1979). Flavell (1979) distinguished between “metacognitive knowledge” and “metacognitive experience”. He defined metacognitive knowledge and metacognitive experience as follows:

Metacognitive knowledge is that segment of your (a child’s, and adult’s) stored world knowledge that has to do with people as cognitive creatures and with their diverse cognitive tasks, goals, actions, and experiences...Metacognitive experience are any conscious cognitive or affective experiences that accompany and pertain to any intellectual enterprise (p. 906).

According to Flavell (1979), metacognitive knowledge consisted of “person”, “task”, and “strategy” variables which interacted among themselves. The person variable was defined as “everything that you could come to believe about the nature of yourself and other people as cognitive processors” (Flavell, 1979, p. 4). It comprises of intraindividual, interindividual, and universals of cognition variables. Intraindividual variable refers to one’s belief her/his own interests, abilities, etc. For example, “I understand easily if I take notes while I am studying on a document”. In interindividual variable, the comparison is between interindividual differences such as “I am more successful in physics than my friends”. Universals of cognition are related to one’s knowledge about cognition and psychology. For instance, “memory has limited capacity”. Flavell (1979) explained task variable as “the information available to you during a cognitive enterprise” (p. 907). For instance, if a learner was conscious of the demands of a task, then, it could be said that s/he had metacognitive knowledge of task variable. Flavell (1979, 1987) denoted strategy variable as the knowledge about the cognitive strategies. He also made distinction between “cognitive strategies” and



“metacognitive strategies”. Flavell (1987) said that “one learns about cognitive strategies for making cognitive progress and about metacognitive strategies for monitoring the cognitive progress” (p. 23). According to Flavell (1979, 1987), another component of metacognition was “metacognitive experiences”. Flavell (1987) defined metacognitive experiences as the cognitive or affective conscious experiences:

What makes them metacognitive experiences rather than experiences of another kind is that they have to do with some cognitive endeavor or enterprise, most frequently a current, ongoing one. For example, if one suddenly has the anxious feeling that one is not understanding something and wants and needs to understand it, that feeling would be a metacognitive experience (p. 24).

Flavell (1979, 1987) also indicated that metacognitive knowledge and metacognitive experiences had overlapping areas. Metacognitive knowledge sometimes becomes conscious and forms metacognitive experiences and sometimes does not.

Chi (1987) proposed another categorization for metacognition. She distinguished three types of metaknowledge: meta-declarative knowledge, meta-strategies, and meta-procedural knowledge. Chi described metaknowledge as the knowledge about cognition and thus, she called “meta” as “second-order” knowledge. Chi stated that there were two kinds of meta-declarative knowledge. One of them was pre-stored meta-declarative knowledge and the other one is second-order meta-declarative knowledge. Pre-stored meta-declarative knowledge is knowledge about cognition. Chi (1987) gave the following example as meta-declarative knowledge: “knowing what task and strategy variables influence memory performance may be the same kind of knowledge as knowing what climate an animal prefers to live in” (p. 250). She defined second-order meta-declarative knowledge as an evaluation on the existing declarative knowledge. In this sense, meta-declarative knowledge is similar to Flavell’s (1979) conceptualization of person and task variables of metacognitive knowledge. Chi (1987) also categorized meta-strategies as pre-stored meta-strategies and second-order meta-strategies akin to her categorization of meta-declarative knowledge. Pre-stored meta-strategies is concerning to knowledge/retrieval of existing strategies and second-order meta-strategies is the evaluation of the strategies. Chi (1987) explained meta-procedural knowledge the same as meta-strategies including meta-rules. Meta-strategies and meta-procedural knowledge are parallel to Flavell’s (1979) strategy variable of metacognitive knowledge.

In line with Flavell’s (1979) categorization of metacognition, Schraw (2001) and Schraw and Moshman (1995) made a distinction between two components of metacognition: knowledge of cognition and regulation of cognition. Schraw defined “knowledge of

cognition” as the knowledge of a learner about her/his own cognition. According to Schraw (2001, p. 4), knowledge of cognition involves the following three types of knowledge:

- Declarative knowledge: Declarative knowledge includes knowledge about oneself as a learner and about what factors influence one’s performance.
- Procedural knowledge: Procedural knowledge refers to knowledge about doing things.
- Conditional knowledge: Conditional knowledge refers to knowing when and why to use declarative and procedural knowledge.

Schraw described “regulation of cognition” as the activities that a learner used to control her/his own learning. Schraw (2001, p. 5) emphasized the importance of the following three regulatory skills for regulation of cognition:

- Planning: Planning involves the selection of appropriate strategies and the allocation of resources that affect performance.
- Monitoring: Monitoring refers to one’s online awareness of comprehension and task performance.
- Evaluating: Evaluating refers to appraising the products and efficiency of one’s learning.

Pintrich et al. (2000) proposed a categorization for metacognition which is different than other categorizations in that they considered metacognitive judgments and monitoring as an additional component to the commonly accepted components of metacognition which were metacognitive knowledge and metacognitive regulation. Their categorization includes three components of metacognition: metacognitive knowledge, metacognitive judgments and monitoring, and self-regulation and control of cognition. Pintrich et al. (2000) defined metacognitive knowledge as “students’ declarative, procedural, and conditional knowledge about cognition, cognitive strategies, and task variables that influence cognition” (p. 45). Their conceptualization of metacognitive knowledge is similar to Flavell’s (1979) categorization of metacognition in that Pintrich et al. (2000) included Flavell’s task and strategy variables of metacognitive knowledge into their categorization of metacognitive knowledge. Also, Pintrich et al.’s (2000) categorization of metacognitive knowledge had similarities with Schraw’s (2001) and Schraw and Moshman’s (1995) categorization of metacognitive knowledge since they considered declarative, procedural, and conditional knowledge about cognition as components of metacognitive knowledge. Furthermore, Pintrich et al. (2000) made a distinction between metacognitive knowledge and metacognitive awareness. They said that metacognitive knowledge was sometimes dubbed as metacognitive awareness by many researchers; however, they contended that metacognitive awareness was more “on-line” experience, while metacognitive knowledge was knowledge about cognition. They also asserted that metacognitive knowledge is stable and stable as

Brown (1987) stated. Pintrich et al. (2000) distinguished Flavell's (1979) person variable of metacognitive knowledge from other components of metacognition inasmuch as Pintrich et al. (2000) considered person variable much like motivational variables. Pintrich et al. (2000) explained the second component of their categorization of metacognition- metacognitive judgments and monitoring- as follows:

Unlike the static nature of metacognitive knowledge, metacognitive judgments and monitoring are more process-related and reflect metacognitive awareness and ongoing metacognitive activities individuals may engage in as they perform a task. These activities can include four general metacognitive processes: a) task difficulty or ease of learning judgments (EOL), b) learning and comprehension monitoring or judgments of learning (JOL), c) feeling of knowing (FOK), and d) confidence judgments (p. 48).

Pintrich et al. (2000) described self-regulation and control of cognition as “the types of activities that individuals engage in to adapt and change their cognition or behavior” (p. 50). They characterized this component as “ongoing activity” like metacognitive judgments and monitoring and stable like metacognitive knowledge. Pintrich et al. (2000, p. 47) also divided self-regulation and control of cognition into four subcategories:

- Planning: Setting goals for learning, time use, and performance.
- Strategy selection and use: Making decisions about which strategies to use for a task, or when to changing strategies while performing a task.
- Resource allocation: Control and regulation of time use, effort, pace of learning and performance.
- Volitional control: Control and regulation of motivation, emotion, and environment.

Similar to Flavell (1979), Pintrich et al. (2000) also considered affective constructs in one of the components of metacognition- self-regulation and control of cognition.

In sum, many researchers elaborated on three components of metacognition: metacognitive knowledge/awareness, metacognitive monitoring and evaluation, and metacognitive regulation (e.g., Flavell, 1979; Pintrich, et al., 2000; Schraw, 2001; Schraw & Moshman, 1995). Metacognitive knowledge was divided into three components: person, task, and strategy (Flavell, 1979) or declarative, procedural, and conditional knowledge (Pintrich, et al., 2000; Schraw, 2001; Schraw & Moshman, 1995). Also, researchers made a distinction between metacognitive knowledge and metacognitive awareness in that while metacognitive knowledge is considered as knowledge about cognition, metacognitive awareness is taken as “on-line” experience (e.g., Pintrich et al., 2000). Furthermore, affective constructs were generally included into metacognitive regulation (Flavell, 1979; Pintrich et al., 2000).

Thorley (1990) made a distinction between the terms “metacognition” and “metaconceptual”. He considered that metacognition was more inclusive term and subsumed metaconceptual. Thorley (1990) explained the difference between these terms as follows: “metacognition will be assumed to apply to reflection on the content of conceptions themselves, for example, considering why a learner regards a particular phenomenon as a force. On the hand, metacognitive will be assumed to apply reflection on, or reference to, thinking or learning processes that are not related to particular conceptions” (p. 116).

Taking the categorizations of metacognition and the difference between metacognition and metaconceptual into consideration, Yuruk (2005) proposed a different categorization for metacognition. In line with Thorley’s (1990) study, Yuruk (2005) used the term “metaconceptual” to represent learners’ metaconceptual knowledge and processes. She categorized metaconceptual knowledge and processes into four components: metaconceptual knowledge, metaconceptual awareness, metaconceptual monitoring, and metaconceptual evaluation. Yuruk (2005) described her categorization of metacognition as follows:

- **Metaconceptual Knowledge:** Yuruk (2005) explained metaconceptual knowledge in sense of Flavell’s notion of metacognitive knowledge. She said that metaconceptual knowledge was also stable and stable as Brown (1987) indicated. She distinguished metaconceptual knowledge and metacognitive knowledge in that metaconceptual knowledge was related to concept learning and she gave the following examples as metaconceptual knowledge: “For example, one’s stored knowledge that “Analogies help me understand concepts,” “My interpretation of daily life experiences influences my learning of the new conception” and “My preexisting knowledge may contradict the new information presented” can be subsumed under metaconceptual knowledge” (p. 78).
- **Metaconceptual Awareness:** Yuruk (2005) included metaconceptual awareness as one of the components of metaconceptual processes by considering the stress of researchers (e.g., Chi et al., 1994; diSessa, 1993; Vosniadou, 2003) on metaconceptual awareness while describing their conceptual change models in addition the previously proposed categorizations of metacognition (e.g., Flavell, 1979; Pintrich, et al., 2000; Schraw, 2001; Schraw & Moshman, 1995). Yuruk (2005) described metaconceptual awareness as follows: “Metaconceptual awareness is a process in which the learner explicitly refers to her/his personal stock of information including current or past ideas regarding a concept, presuppositions, experiences, and contextual differences” (p. 157). She also differentiated metaconceptual knowledge and metaconceptual awareness in that metaconceptual awareness was not related to the stored knowledge about concept learning, it was about the awareness of one’s own concept itself. One’s metaconceptual

awareness of her/his existing ideas could be exemplified as follows: “I learned that the bonding between the hydrogen and oxygen atoms in the molecule itself wasn’t affected at evaporation. It is the bonding between the two water molecules.”

- **Metaconceptual Monitoring:** Yuruk (2005) inspired from conceptual change models (Hewson, 1981; Posner et al., 1982; Strike & Posner, 1992) in addition to the categorizations of metacognition proposed by several researchers (e.g., Flavell, 1979; Pintrich, et al., 2000; Schraw, 2001; Schraw & Moshman, 1995) while dubbing metaconceptual monitoring as a component of metaconceptual processes. For example, Hewson (1981) judged conceptual change in the notion of “status” construct. Hewson (1981) defined “status” as the measurement of intelligibility, plausibility, and fruitfulness of a conception/concept. A learner chooses one conception over another because of its higher status and to achieve this, the learner should monitor the status of a new concept. Therefore, Yuruk (2005) explained metaconceptual process as follows: “Metaconceptual monitoring processes are “online” and “in the moment” processes that generate information about an ongoing cognitive activity, thinking process, or one’s present cognitive state. Metaconceptual monitoring entails controlling of one’s cognitive state when she or he comes across with a new conception”. (p. 160). Yuruk (2005) also emphasized the difference between metaconceptual awareness and metaconceptual monitoring. She stated that metaconceptual awareness was one’s awareness of her/his current or past ideas while metaconceptual monitoring was concerning “on-line” processes generating information about a new concept.
- **Metaconceptual Evaluation:** Metacognitive evaluation was one of the components of several categorizations of metacognition (e.g., Pintrich, et al., 2000; Schraw, 2001; Schraw & Moshman, 1995). Evaluation of one’s plausibility and fruitfulness of ideas plays crucial role in conceptual change (e.g., Hewson, 1981). Accordingly, Yuruk (2005) involved metaconceptual evaluation as a component of metaconceptual processes. Yuruk (2005) explained metaconceptual evaluation as follows:
 

In an attempt to learn a new conception, learners evaluate conceptions by making judgmental decisions about their existing ideas or new conceptions...Learners may metaconceptually evaluate concepts by making comments about the relative plausibility and usefulness of existing or new ideas. In doing so, learners may directly explain why an idea is attractive or believable to them. Learners may not always use terminology to talk about the plausibility of their ideas. They may also simply refer to the plausibility of an idea by stating the reason for why an idea is wrong and another is true (p. 162).

In this study, Yuruk’s (2005) categorization of metaconceptual knowledge and processes served as a theoretical stance in designing the MTI and in conducting data analysis (see

section 4.5.1 for the details of categorization of metaconceptual processes obtained in this study).

#### **2.4.4 Metacognitive Research**

After the term “metacognition” was introduced by John Flavell in the area of developmental psychology in 1970s (Flavell, 1971), metacognitive research has been widespread in numerous research areas such as reading, writing, memory, language acquisition, neuropsychology, and education. The importance of metacognition in science education has also been recognized 30 years ago implicitly. For example, in the study of Nussbaum and Novick (1982) regarding the guidelines for accommodation, they emphasized the importance of metaconceptual awareness and metaconceptual monitoring in conceptual change. They pointed out the role of metaconceptual awareness in their teaching strategy by stating that “the first crucial step in an instructional strategy for facilitating accommodation should be making every student aware of his own preconceptions” (p. 187). Regarding metaconceptual monitoring, they said that encouraging students to articulate their ideas was crucial for accommodation. In the study of Andersson and Bach (1996), they introduced a teaching sequence about gases and in this teaching sequence, they requested students to write down their ideas regarding the tasks, conduct experiments in pairs, and discuss the results of the experiments in groups which implicitly referred to the metaconceptual processes. Currently, the report from the National Research Council (2007) suggested that the students who understood science should have had the following four proficiencies: “Students who are proficient in science: i) know, use, and interpret scientific explanations of the natural world, ii) generate and evaluate scientific evidence and explanations, iii) understand the nature and development of scientific knowledge, and iv) participate productively in scientific practices and discourse” (p. 2) and emphasized that metacognitively guided instruction was crucial in order to help students to achieve these proficiencies. In the same report, in order to imply the fundamental role of metacognition in science learning/teaching, it was also stated that “the ability to examine one’s own knowledge and conceptual frameworks, to evaluate them in relation to new information or competing alternative frameworks, and to alter them by a deliberate and conscious effort are key scientific practices” (p. 27). Rickey and Stacy (2000) indicated that metacognition was the essential pillar of more durable, more transferable, and deeper learning.

The studies on metacognition over three decades have showed that metacognition was widely believed to make students responsible for their learning and to show good learning behaviors, hence more actively involved in the learning process, and there has been

growing literature advocating positive impact of metacognitive activity on student thinking skills and conceptual understanding (Adey et al., 1989; Baird & Mitchell, 1989; Baird & Northfield, 1992; Beeth, 1998b; Blank, 2000; Georghiades, 2000, 2004a; Gunstone, 1994; Gunstone & Mitchell, 1998; Hennessey, 1999; Hewson et al., 1998; Mittlefehldt & Grotzer, 2003; White & Gunstone, 1989; Yuruk, Beeth, & Andersen, 2009). There were five studies which were seen as the pillars of metacognitive/metaconceptual research by the researcher: i) the Project to Enhance Effective Learning (PEEL), ii) Cognitive Acceleration through Science Education (CASE), iii) the Project Metacognitive Enhancing Teaching Activities (META), iv) research by Georghiades (2000, 2004a), and v) research by Yuruk (2005). In the following, these studies are addressed in depth.

The PEEL project started in 1985 and lasted for about eight years in Melbourne in order to enhance high school students' metacognition by centralizing the long-term training for metacognitive awareness and metacognitive control to advance their learning. Various studies were published related to the PEEL project (Baird, 1986; Baird & Mitchell, 1989; Baird & Northfield, 1992; Gunstone & Baird, 1988; White & Gunstone, 1989). The PEEL project was a multiple-year naturalistic case study. Baird and Mitchell (1989, p.285) reported the following two fundamental objectives for the PEEL project:

- To foster students' effective, independent learning through training for enhanced metacognition.
- To change teacher attitudes and behaviors to ones which promote effective, independent learning.

Collaborative action research was employed in this project. In the first year, the PEEL project was conducted in a school in Melbourne with 200 students grading from seventh to 10th and 10 teachers in different subject areas such as science, English, geography, and history and lasted for eight years in this school. However, Baird and Mitchell (1989) did not describe sampling procedure thoroughly. Data were collected from several sources: teacher reports, audio recordings of lessons, interviews, and student diaries. Researchers (Baird & Northfield, 1992) did not discuss the trustworthiness of the study. They just stated that they used multiple data sources to provide validity of the study. Several important findings and implications were dubbed in the PEEL project. At the beginning of the project, the students were resistant to take the responsibility of their learning in the way of metacognitive learning. The students had little confidence to monitor and control their own learning. According to them, the strategies such as class discussion and group works used in the PEEL project were tiring and not real work to do better in exams in that they were used to copying and memorizing the notes given by teachers. White and Gunstone (1989) also stressed that

metacognition could be enhanced only if students were eager to involve in metacognitive learning satisfying student short-term goals. Also, the teachers were not conscious about the benefits of the PEEL project on their teaching at the beginning of the project. The PEEL project required a great deal of energy and time on the side of the teachers. At the beginning, the teachers found the project very demanding and it was easy for them to pursue their traditional instruction including less demanding practices. However, at the end of the project, since the teachers were more experienced about the project, they took the responsibility of teaching for promoting effective and independent learning in classrooms. They also started to design their own activities. Baird and Northfield (1992) quoted one of teachers' idea about the PEEL project as follows:

PEEL does not just deal with teaching methods and techniques -it is a whole new way of thinking about teaching, and classroom management. You begin to ask yourself these questions:  
 What are your values in a classroom? What is important to you?  
 How am I going to foster these values?  
 How much do you sacrifice from the course to teach the students techniques to not only understand, but to learn? (p. 9).

It was found that the change in teachers' attitudes to and beliefs about teaching/learning preceded the change in students' learning. At the end of the PEEL project, many students changed their attitudes to and beliefs about teaching/learning in a metacognitive manner. Baird and Northfield (1992) reported that "Now, the classroom is seen more as a forum for information exchange and evaluation rather than a context simply for information transfer from teacher to students" (p. 46). The students started to consider that school learning should have provided permanent changes in their understandings and skills instead of fulfilling their short-term goals.

Another important project called the CASE project was conducted in England in the early 1980s (Adey & Shayer, 1994). The CASE project was a two-year project and its aim was to explore an approach to improve pupils' ability to learn under the effort of long-term achievement and to promote higher level of thinking based Piagetian formal schema and Vygotskian ideas (Adey & Shayer, 1994; Adey et al., 1989). Metacognition was the underlying component of the project. It should be noted that this project targeted metacognitive skills. The students from 10 schools in their years one to nine were included in the study. The CASE project materials consisting of 30 activities were defined by Adey and Shayer (1994) as follows: "The CASE project materials were designed to address individually each of the schemata of formal operations and incorporate the principles of concrete preparation, cognitive conflict, construction zone activity, metacognition, and bridging into a set of activities whose context was overtly scientific" (p. 79). Quasi-



experimental design was used in this project. The students were given tests related to Piagetian reasoning and achievement as pretests, posttests, and delayed posttests. There were various studies reporting the results of the CASE project in the literature (Adey, Robertson, & Venville, 2002; Adey & Shayer, 1993; Adey & Shayer, 1994; Adey et al., 1989). Adey and Shayer (1993) documented the results of the quasi-experimental study with year 7 (aged 11+) and year 8 (aged 12+) students. However, in this study, researchers did not mention the method of selecting of the sample. The major characteristics of the population and sample were not described. There were 194 students in the experimental group taught by the cognitive acceleration intervention including the CASE materials and 230 students in the control group taught by traditional instruction. The students were distributed Piagetian reasoning test and achievement test as pretest, posttest, and delayed posttest. Adey and Shayer (1993) found that cognitive acceleration intervention had long-term effects on student academic achievement. Also, Adey et al. (2002) presented the results of the study investigating the effect of cognitive acceleration intervention on year 1 (aged 5) students' cognitive development. The experimental group consisted of 300 students and the control group consisted of 170 students. Quasi-experimental design was used. Two cognitive development tests were given to the students as pretest and posttest. Analysis of covariance (ANCOVA) was used to analyze the data. This study showed that the students in the experimental group had greater gains in cognitive development compared to the students in the control group. In this study, substantial effect sizes were reported for the cognitive development and transfer ability as .47 and .43, respectively.

The project META was conducted by Hennessey (1999) in USA. It was a three-year naturalistic case study. There were three main aims of the project META: i) to describe the nature of metacognition, ii) to examine the changes in metacognition, and iii) to investigate the role of metacognition in facilitating conceptual change. However, the references were not critically analyzed. The results of the various studies such as the project PEEL and the project CASE were not compared and contrasted. In this study, 120 students from six classes graded 1 through 6 (aged 6 through 12) participated. However, in this study, the researcher did not describe the major characteristics of the population and sample and the method of selecting the sample were not mentioned. Throughout the project META, each group of the students was followed across three academic years. Three means were used to enhance metacognition: poster drawings, conceptual models including concept maps and physical models, and the use of technology such as audio/video recording of discussions and writing individual thoughts. The data sources of this study were written materials produced by the students, representations of students' conceptions in the form of illustrations on posters or

conceptual models, and audio/video recording of discussions. Data collection instruments were defined clearly with emphasizing the reasons in using them. Data analysis was conducted in three phases based on the aims of the study. In the first phase (Aim 1), six categories were developed from the analysis of transcripts to represent the high level of metacognitive thought. The six categories consisted of metacognitive statements related to one's own conceptions, reasoning, implications/limitations of one's own conceptions, one's own thinking process, comments on the status of conceptions, and one's own conceptual ecology. In the second phase (Aim 2), five themes were formed based on the discourse to examine the changes in metacognition: i) knowledge theme, ii) learning theme, iii) ideas theme, iv) science theme, and v) conceptual model theme. In the third phase (Aim 3), the evidence was gathered to support the categories and themes formed in the previous phases. However, the researcher did not mention clearly how the trustworthiness of the study was provided. The results showed that metacognitive thought was multi-faceted in nature and within the capabilities of elementary school students. Hennessey (1999) described two levels of metacognitive thought developing during the project META: i) representational level-inner awareness of one's own conceptions and ii) evaluative level-making comments on one's own conceptions. It was also reported that metacognitive abilities changed over time based one's epistemological stances and metacognition was an integral component of conceptual understanding.

Georghiadis (2000, 2004a) studied the effect of the metacognitive instruction compared to traditional instruction on students' durability of electricity concepts and contextual use of these concepts in Northern Cyprus. In this study, 68 year 5 (aged 11) students participated. In order to explore the effect of metacognitive instruction on the class size, two experimental and two control groups both consisting of big class (30 students) and small class (four students) were included. However, the researcher did not give sufficient information about the general characteristics of the population and sample. Quasi-experimental design was employed in this study. The study was conducted by the researcher himself which caused implementation threat to internal validity. Implementation lasted for four-week period. The experimental groups were taught by metacognitive instruction which included metacognitive activities such as keeping diaries, class discussions, concept mapping, and annotated drawings. The control groups were taught by traditional instruction. An open-ended concept test related to the "Current Electricity" unit was distributed to the students as pretest one week, as posttest two months, and as retention-test eight months after the treatment. However, the researcher did not provided evidence for the validity and reliability of this instrument. In this study, the data were analyzed by using independent

samples t-test analysis which is a weak statistical analysis. Georghiades (2004a) found that albeit the children taught by metacognitive instruction compared to traditional instruction did not successful to retain scientific concepts of electricity at the end of the study, they achieved long-term retention of the concepts based on the results of electricity test given to the children eight months later after the completion of the “Current Electricity” unit.

Georghiades (2000) reported that metacognitive instruction compared to traditional instruction was effective in small classes rather than in big classes and also metacognitive instruction had a positive impact on students’ contextual use of electricity concepts. However, the researcher did not report the effect size and power of the study.

Yuruk (2005) conducted a study to investigate the effect of metaconceptual teaching interventions compared to traditional instruction on high school students’ understanding and durability of force and motion concepts in USA. Yuruk also examined the nature of students’ metaconceptual processes in relation to their understanding of force and motion concepts. In this study, 45 11th and 12th grade high school students participated. A multi-method design including quasi-experimental and case study was used in this study. There were 22 students in the experimental group and 23 students in the control group. The students in the experimental group were exposed to metaconceptual teaching interventions including metaconceptual activities such as poster drawing, group debate, journal writing, concept mapping, and class discussion, while the students in the control group were taught by traditional instruction. The treatment was given by the same teacher and the treatment lasted for eight weeks period. In order to investigate the effect of metaconceptual teaching interventions compared to traditional instruction on high school students’ understanding and durability of force and motion concepts, Force Concept Inventory (FCI) was administered to the students as pretest, posttest, and retention-test (nine-week after the treatment). However, Yuruk did not conduct a pilot study for the validity and reliability of the FCI. The data were analyzed using Analysis of Covariance (ANCOVA) but the assumptions of the ANCOVA were not discussed. She found that metaconceptual teaching interventions compared to traditional instruction were effective on students’ conceptual understanding and durability of force and motion concepts with a large effect size. However, she did not report the power of the study. Three students in the experimental group were selected for the case study in order to examine the nature of students’ metaconceptual processes in relation to their understanding of force and motion concepts. The data were collected from various sources such as semi-structured interviews related to students’ understanding of force and motion concepts conducted prior to and after the implementation, audio recordings of group discussions, video recordings of class discussions, and journal writings. The results showed

that the students engaged in different types of metaconceptual processes including metaconceptual awareness, metaconceptual monitoring, and metaconceptual evaluation. It was found that metaconceptual processes were multi-faceted and had different levels of sophistications.

In summary, the studies documented that even elementary school students showed evidence for metaconceptual processes and metacognition could be enhanced during schooling (Adey et al., 1989; Baird & Mitchell, 1989; Baird & Northfield, 1992; Beeth, 1998b; Georghiades, 2000, 2004a; Hartman, 2001; Hennessey, 1999). Metacognitive research mostly targeted the development of metacognitive skills (e.g., Adey et al., 1989; Baird & Mitchell, 1989; Baird & Northfield, 1992) instead of conceptions. There are a few studies focused on the effect of metaconceptual teaching instruction on student conceptions in physics education literature (Georghiades, 2000, 2004a; Hennessey, 1999; Yuruk, 2005). No study was reported in chemistry education literature found by the researcher related to the role of metaconceptual teaching instruction on students' conceptual understanding and durability of concepts. Also, the nature of metaconceptual processes that students engaged in was only investigated by Yuruk (2005). In the current study, the effect of the MTI compared to the TI on students' conceptual understanding and durability of states of matter concepts and the nature of metaconceptual processes that students who had several alternative conceptions and who had few alternative conceptions engaged in during the MTI were investigated.

## **2.5 Self-efficacy**

Self-efficacy beliefs play a crucial role in science education. According to social cognitive theory, Bandura (1997) defined self-efficacy as "beliefs in one's capabilities to organize and execute courses of action required to produce given attainments" (p. 3). Bandura (1986, 1997) posited that there were four sources of self-efficacy beliefs: Mastery experiences, vicarious experiences, verbal and social persuasion, and physiological state. The most influential source is students' prior experiences on a task or mastery experience. Students engage in activities and develop self-efficacy beliefs about their capability involving in further activities. Students also form self-efficacy beliefs by observing others performing tasks. Vicarious experiences play an important role in students' self-efficacy beliefs. In addition, social persuasion, which includes judgments from others, and students' physiological states such as anxiety, stress, and mood contribute to their self-efficacy beliefs. There are other concepts that are used interchangeably with self-efficacy: self-concept, self-esteem, and outcome expectancy. While self-efficacy is related to the judgments of one's

capabilities, self-concept is concerned with the perceptions of one's self regarding many characteristics such as social, physical, academic, and emotional. Self-esteem is one's evaluation of her/his self-worth (Bandura, 1997). Together with self-efficacy and outcome expectancies are influential in the prediction of one's behavior. There is a causal relationship between self-efficacy and outcome expectancies. Bandura (1997) stated that "perceived self-efficacy is a judgment of one's ability to organize and execute given types of performances, whereas an outcome expectation is a judgment of the likely consequence such performances will produce" (p. 21). In terms of the measurement of self-efficacy, Bandura (1997, 2006) criticized the construction of self-efficacy scales in domain general areas since these kinds of scales missed the function of the domain and since omnibus types of items could hamper to differentiate the concepts such as self-concept, self-esteem, and outcome expectancy from self-efficacy. Bandura (1997, 2006) indicated that self-efficacy beliefs should have been measured at the optimal level of specificity within a specific domain. Chemistry self-efficacy beliefs were one of the focuses of this study. Chemistry self-efficacy was defined by Capa Aydin and Uzuntiryaki (2009) as the "beliefs in one's ability to accomplish tasks related to chemistry" (p. 3) and Capa Aydin and Uzuntiryaki developed a high school chemistry self-efficacy scale considering the optimal level of domain specificity of self-efficacy. In this study, to assess high school students' self-efficacy toward chemistry, the high school chemistry self-efficacy scale of Capa Aydin and Uzuntiryaki (2009) was used.

Self-efficacy beliefs are effective on students' actions regarding how much effort they expend on an activity and how long they put perseverance into an action when they face with difficulties. High efficacious students set challenging goals, put greater efforts on an activity, and persevere when dealing with difficulties. However, low efficacious students may not show perseverance and resilience when confronting setbacks (Pajares, 1996). In the field of science, self-efficacy was found to be significant predictor of students' science achievement at various grade levels (Andrew, 1998; Britner, 2008; Britner & Pajares, 2006; Kupermintz, 2002). For example, Kupermintz (2002) indicated that self-efficacy is a better predictor for their academic achievement compared to gender among high school students. The researchers also advocated that self-efficacy beliefs could be influential on students' conceptual change process in that the students who had confidence in their prior ideas could be resistant to change their ideas (Linnenbrink & Pintrich, 2003; Pintrich, 1999). Pintrich (1999) explained the role of self-efficacy in facilitating conceptual change as follows:

In a conceptual change model of learning, self-efficacy beliefs could be construed in two ways. First, in the bulk of the research on self-efficacy, the construct is used to represent students' confidence in their ability to do a particular task. In applying this construct to conceptual change, this could translate into students' confidence in their

own ideas, prior conceptions, and epistemological and ontological presuppositions. In this case, higher levels of self-efficacy or confidence in one's own beliefs would be a hindrance or constraint on conceptual change...A second way to conceive self-efficacy relating to a conceptual change model is the confidence students have in their capabilities to change their ideas, and to learn to use the "cognitive tools" necessary to integrate and synthesize divergent ideas...In this sense, self-efficacy would refer to students' confidence in their own learning and thinking strategies" (p. 42).

The studies conducted by Anderson and Nashon (2007) and Olson (1999) supported the above claims. Olson (1999) studied with 98 pre-service elementary teachers by collecting data from various sources such as journal writings, concept maps, drawings, quizzes, and interviews to examine the effect of the factors (self-efficacy, interest, mood, and task difficulty) on students' conceptual understanding of electricity concepts. She found that self-efficacy and interest were the effective factors on students' conceptual understanding of electricity concepts. Anderson and Nashon (2007) conducted a case study with the high school physics students to investigate the effect of students' metacognitive skills on their conceptual understanding of kinematics. They found that high efficacious students with low monitoring and controlling metacognitive skills were resistant to change their alternative conceptions, while low efficacious students with high metacognitive skills were willing to change their alternative conceptions. However, Kang, Scharmann, Noh and Koh (2005) studied with middle school students to investigate the relationship among motivational variables including self-efficacy, cognitive variables, and conceptual change and they found that there was no significant relationship between self-efficacy and conceptual understanding. As mentioned before, metacognition was the essential pillar of conceptual change. The relationship between metacognition and self-efficacy was also considered by researchers. This relationship was first dubbed by Flavell (1987). Flavell included affective conscious experiences in addition to cognitive experiences into metacognitive experiences. Paris and Winograd (1990) emphasized the importance of self-efficacy in the definition of metacognition. They indicated that self-appraisal of cognition and self-management of cognition involved cognitive and motivational aspects. Furthermore, several studies have documented the relationship between students' use of metacognitive strategies and their self-efficacy beliefs of their performance in a course (Anderson & Nashon, 2007; Pintrich & De Groot, 1990; Pintrich & Garcia, 1991; Pintrich et al., 1991; Sungur, 2007). Albeit the crucial role of self-efficacy in facilitating conceptual change in relation to metacognition was proved by several studies, in the literature, it has been reported that there was an increase in the number of students who lacked confidence and interest in science (Pell & Jarvis, 2001). Therefore, it is important to find effective instructional strategies to increase students' self-

efficacy. Taking these points into consideration, this study investigated the effect of the MTI on students' chemistry self-efficacy beliefs.

## 2.6 Summary of the Related Literature

The related literature can be summarized as follows:

- When students' ideas differed from the definitions accepted by experts, they were characterized in several ways, such as misconceptions (Nakhleh, 1992; Schmidt, 1997), children science (Gilbert et al., 1982), and alternative conceptions (Abimbola, 1988; Driver & Easley, 1978). In this study, the term "alternative conceptions" is used to refer to the students' ideas different from the commonly accepted scientific understanding by taking into consideration the productive account of students' ideas. In terms of chemistry learning, the researchers indicated that it was important to have scientific understanding regarding basic chemistry concepts in order to have appropriate understanding of more advanced chemistry concepts (Gabel et al., 1987). States of matter is one of the fundamental subjects in chemistry. It includes the concepts such as solids and liquids, gases, evaporation, condensation, boiling, and vapor pressure which are conceptually related to each other and helpful in explaining everyday phenomena. Students' conceptions in states of matter were studied by various researchers (Aydeniz & Kotowski, 2012; Bar & Galili, 1994; Bar & Canpolat, 2006; Chang, 1999; Johnson, 1998a, b; Mayer, 2011; Novick & Nussbaum, 1978; Nussbaum, 1985; Tytler, 2000; Tytler et al., 2007). It is important to use effective teaching methods to address these alternative conceptions.
- Constructivism is a "theory of knowledge" and argues that knowledge is constructed actively by the learner based on her/his existing ideas/experiences (von Glasersfeld, 1993).
- Conceptual change model have been built on constructivism. Various conceptual change models have been proposed by the researchers (e.g., Chi, 1992; diSessa, 1988, 2008; Mortimer, 1995; Posner et al., 1982; Thagard, 1992; Ueno, 1993; Vosniadou, 1992). One of the foundational models of conceptual change was proposed by Posner et al. (1982) in education area. According to Posner et al. (1982), a learner must dissatisfy with her/his current conceptions, and then, the learner must find a new concept as intelligible, plausible, and fruitful in order for conceptual change to take place. Conceptual change model was expanded by Hewson (1981), Hewson and Lemberger (2000), and Hewson and Thorley (1989) with the introduction of status construct. Hewson (1981) defined the "status" as the measurement of intelligibility, plausibility, and fruitfulness of a

conception/concept. In this expanded model, conceptual change was characterized as raising or lowering the status of conceptions/concepts. The researchers agreed that metacognition lied at the heart of conceptual change. Hewson et al. (1998) emphasized that being aware of one's own conceptual ecology, monitoring one's own ideas, and making justifications for the status of one's conceptions/concepts were crucial for conceptual change.

- Intentional learners played an active role in knowledge construction (Bereiter & Schardamalia, 1989), and thus, intentional conceptual change was considered the outcome of an instruction. Sinatra and Pintrich (2003) defined “intentional conceptual change” as “the goal directed and conscious initiation and regulation of cognitive, metacognitive, and motivational processes to bring about a change in knowledge” (p. 6). Hennessey (2003) indicated that learners who used metacognitive processes at evaluative level were more intentional since they did not use automatic processes.
- The term “metacognition” was first introduced by John Flavell based on his study of metamemory in the early 1970s (Flavell, 1971). Metacognition was called as “fuzzy” concept by researchers (Brown, 1987; Flavell, 1981; Hacker, 1998) because of the vagueness of its definition, characteristics and lots of different historical roots. Therefore, metacognition was also multifaceted concept (Brown, 1987).
- According to Flavell (1971), metacognition refers to “the active monitoring and consequent regulation and orchestration of these processes in relation to the cognitive objects” (p. 232). White (1988) defined metacognition as “inner awareness or process, not an overt behavior” (p. 73). Rickey and Stacy (2000) explained metacognition as “thinking about one's own thinking” (p. 915).
- Due to multidimensional character of metacognition, many researchers proposed different categorizations of the components of metacognition (Chi, 1987; Flavell, 1979; Pintrich et al., 2000; Schraw & Moshman, 1995). However, researchers commonly elaborated on three components of metacognition: metacognitive knowledge/awareness, metacognitive monitoring and evaluation, and metacognitive regulation (e.g., Flavell, 1979; Pintrich, et al., 2000; Schraw, 2001; Schraw & Moshman, 1995).
- Thorley (1990) made a distinction between the terms “metacognition” and “metaconceptual”. Metacognition was more inclusive term and subsumed metaconceptual and metaconceptual included metacognitive knowledge and processes acting on a learner's conceptual system. Based on Thorley's distinction, Yuruk (2005) categorized metaconceptual knowledge and processes into four components:



metaconceptual knowledge, metaconceptual awareness, metaconceptual monitoring, and metaconceptual evaluation.

- The studies on metacognition have showed that metacognition was widely believed to make students responsible for their learning and to show good learning behaviors, hence more actively involved in the learning process, and there has been growing literature advocating positive impact of metacognitive activity on student thinking skills and conceptual understanding (Adey et al., 1989; Baird & Mitchell, 1989; Baird & Northfield, 1992; Beeth, 1998b; Georghiades, 2000, 2004a; Gunstone & Mitchell, 1998; Hennessey, 1999; Mittlefehldt & Grotzer, 2003; White & Gunstone, 1989). There were five studies which were seen the pillars of metacognitive/metaconceptual research by the researcher: i) the Project to Enhance Effective Learning (PEEL), ii) Cognitive Acceleration through Science Education (CASE), iii) the Project Metacognitive Enhancing Teaching Activities (META), iv) research by Georghiades (2000, 2004a), and v) research by Yuruk (2005).
- Self-efficacy was defined as “beliefs in one’s capabilities to organize and execute courses of action required to produce given attainments” (Bandura, 1997, p. 3). There are four sources of self-efficacy beliefs proposed by Bandura (1986): Mastery experiences, vicarious experiences, verbal and social persuasion, and physiological state. Self-efficacy beliefs are effective on students’ actions regarding how much effort they expend on an activity and how long they put perseverance into an action when they face with difficulties (Pajares, 1996). Several studies have documented the relationship between students’ self-efficacy beliefs, metacognition, and conceptual change (Anderson & Nashon, 2007; Pintrich & De Groot, 1990; Pintrich & Garcia, 1991; Pintrich et al., 1991; Sungur, 2007).

## CHAPTER 3

### METHODS

In the previous chapters, problems, hypotheses, and the significance of the study were presented, the related literature was reviewed accordingly and the essence of the study was justified. In this chapter, research design, population and sample, variables, instruments, procedure, treatment implementation, treatment fidelity, data analysis, power analysis, unit of analysis, threats to internal validity, ethical concerns, trustworthiness of the qualitative study, and assumptions and limitations are discussed.

#### 3.1 Research Design

In this study, a multimethod design including quasi-experimental design and case study design was used. Hunter and Brewer (2003) defined multimethod research as “the practice of employing different types, or styles, of data-collecting methods at the same study” (p. 577). Since this study is based on multiple quantitative and qualitative methods, multimethod research was followed. Also, the multimethod design was employed since each study is conducted to investigate a particular research question. It should be emphasized that multimethod design is different than mixed methods design. Morse (2003) stated that “the major difference between multimethod and mixed methods designs is that in multimethod design all projects are complete in themselves” (p. 199). There are different types of multimethod designs based on the theoretical drive of the research. The theoretical drive of the research could be inductive or deductive. The inductive theoretical drive is that “when the researcher is working in the discovery mode, trying to find answers to problems such as the following: What is going on? What is happening?” and the deductive theoretical drive is that “if the major thrust of the program is to test a theory or hypothesis, to answer questions of how much or how many, to determine relationships, and so forth” (Morse, 2003, p. 196). Based on the theoretical drive, there are simultaneous and sequential designs. “The projects are conducted simultaneously” and “the projects are conducted sequentially” in simultaneous and sequential designs, respectively (Morse, 2003, p. 198). In this study, the quantitatively-driven, quantitative and qualitative simultaneous design with a deductive drive is used. Quasi-experimental and case study designs are presented below.

### 3.1.1 Quasi-Experimental Design

In this study, the matching-only pretest-posttest control group design as a type of quasi-experimental design was used since the random assignment of already formed classes to experimental and control groups was employed to examine the treatment effect (Fraenkel & Wallen, 2003). Intact classes were used since it was impossible to select either a random or a systematic nonrandom sample due to administrative constraints. The subjects in each class were statistically matched on the students' SMDT pretest scores and self-efficacy toward chemistry pretest scores. Quasi-experimental research design of the study is shown in Table 3.1.

Table 3.1 Quasi-experimental research design of the study

Groups	O (Pretest)	M (Matching)	X (Treatment)	O (Posttest)	O (Retention-test)
EG	SMDT SETC	Statistical matching	MTI	SMDT SETC	SMDT SETC
CG	SMDT SETC	Statistical matching	TI	SMDT SETC	SMDT SETC

In this table, the EG represents the Experimental Group instructed with Metaconceptual Teaching Instruction. The CG represents the Control Group instructed with Traditional Instruction. The SMDT is the States of Matter Diagnostic Test. The SETC represents Self-efficacy Scale toward Chemistry. The MTI is Metaconceptual Teaching Instruction, and the TI is Traditional Instruction.

To examine the effect of treatment on the dependent variables and to control students' previous learning in states of matter concepts and self-efficacy toward chemistry, two weeks before the treatment, the two instruments the SMDT and SETC were administered to students in both groups. Also, they were given at the end of the treatment. In addition, the SMDT and SETC were given eight weeks after the treatment to examine the effectiveness of the MTI on students' durability of conceptions and on students' self-efficacy toward chemistry compared to traditional instruction, respectively.

### 3.1.2 Case Study Design

As mentioned before, one of the definition of metacognition is that metacognition is "inner awareness or process, not an overt behavior" (White, 1988, p. 73). Therefore, it is not

possible to measure students' metacognitive processes only by using quantitative methods. Multiple methods should be used to not to share the same source of error (Garner & Alexander, 1989; Veenman et al., 2006). Hence, in this study, to examine the nature of the metaconceptual processes students who had several alternative conceptions and who had few alternative conceptions engage in during the MTI and the changes in students' alternative conceptions in relation to their conceptual understanding of states of matter after the MTI, case study design was used. Merriam, Yin and Stake (as cited in Bogdan & Biklen, 2007) states that "a case study is a detailed examination of one setting, or a single subject, a single depository of documents, or one particular event" (p. 59). In order to examine the nature of students' metaconceptual processes, the data were collected from multiple sources such as journal writings, posters, audio recordings of group discussions, video recordings of classroom discussions, and interviews after the MTI. The changes in students' alternative conceptions in relation to their conceptual understanding of states of matter were investigated by conducting interviews prior to and after the MTI. The data were collected from all of the students in the experimental group, except interviews conducted before and after the MTI, however; only the data including interviews from three students in the experimental group selected for case studies were analyzed. In order to explore students' nature of metaconceptual processes during treatment, three students who had several alternative conceptions and who had few alternative conceptions were selected. These three students were selected based on their pre-SMDT scores. It should be noted that it was assumed the SMDT scores represented the range of students' alternative conceptions. The students who got low and high scores from the SMDT had several and few alternative conceptions, respectively. Sertan had the highest score on the pre-SMDT. He scored 10 out of 19. The other two students, Esin and Bahar, were selected among the students who had low scores on the pre-SMDT. Both of them scored 1 out of 19. While selecting the students who had several alternative conceptions, classroom teachers also acted as key informants. Teachers were asked to identify students who they believed to engage in metaconceptual activities effectively and represent information-rich cases among the students who had low scores on the pre-SMDT. Also, since the researcher observed the classrooms involved in this study during two months before the implementation commenced, the researcher's observations helped her in selecting these students. All of these three students were involved in defining the main types and subcategories of metaconceptual processes. However, here, since Esin and Sertan represented the students who had several alternative conceptions and who had few alternative conceptions, respectively, only Esin's and Sertan's metaconceptual processes were given as case studies. Esin and Bahar were the students who had several

alternative conceptions. Esin was randomly selected between the students Esin and Bahar to investigate her nature of metaconceptual processes together with Sertan since it would be too loaded to give metaconceptual processes of all these three students as case studies. Also, while examining the changes in students' alternative conceptions in relation to their conceptual understanding of states of matter after the MTI, the change in Esin's ideas in relation to her conceptual understanding of states of matter was given as case study since she represented the students who had several alternative conceptions. The data collecting procedure for the case studies were summarized in Table 3.2. The SMDT were administered to the students two weeks before the study began and pre-interviews were conducted with these three students in the two weeks period after the SMDT scores were calculated. Post-interviews were conducted right after the SMDT were administered to the students at the end of the treatment. Other data sources such as journal writings, posters, audio recordings of group discussions, and video recordings of classroom discussions were collected during treatment.

Table 3.2 Case study design of the study

Experimental Group	Pre-interview	Other Data Sources	Post-interview
Case Studies (Bahar, Esin, and Sertan)	X	X	X

### 3.2 Population and Sample

The target population of the study is all 10th grade students from Anatolian high schools in Nevşehir. The accessible population is all 10th grade students from Anatolian high schools in the central district of Nevşehir. The sample of the study was chosen from the accessible population by using convenience sampling, which is a type of nonrandom sampling method since it is extremely difficult to select either a random or a systematic nonrandom sample; however, the researcher is aware of its limitations such as, no guarantee of representativeness (Fraenkel & Wallen, 2003). The target population consisted of seven Anatolian high schools; however, five of seven Anatolian high schools only had 10th grade students. There were two Anatolian high schools in the accessible population and both of them were included in the present study. The number of 10th grade students in all Anatolian high schools was 285 and the total enrollment of 10th grade students in the two Anatolian high schools included in the present study was 152. The two Anatolian high schools had two chemistry teachers. In this study, one of the chemistry teachers in each school was included.

In each Anatolian high school, there were three 10th grade science classes and two of the classes taught by the same teacher from each Anatolian high school were randomly assigned to the experimental and control groups. The sample of this study consisted of 102 10th grade students from two classes of each Anatolian high school (two experimental and control groups), which matched more than ten percent of the whole population. There were 53 students in the experimental group instructed by the MTI and 49 students in the control group instructed by the TI.

Most of the students' socio-economic status, including the educational level of their parents, their family income and social life standards were middle. The students and their families were living in the same social community. The students did not go to a private teaching center. Furthermore, the ages of the students participated in this study were ranged from 15 to 16. Sample size and gender distribution related to each school for the control and experimental groups are presented in Table 3.3.

Table 3.3 Sample size and gender distribution related to each school for the experimental and control groups

School	Experimental Group			Control Group		
	N	Female	Male	N	Female	Male
A	30	17	13	29	16	13
B	23	18	5	20	10	10
Total	53	35	18	49	26	23

The students' average previous semester chemistry course grades are shown in Table 3.4. It was seen that students' achievement in chemistry course is at the middle level.

Table 3.4 Students' average previous semester chemistry course grades related to each school for the experimental and control groups

School	Experimental Group	Control Group
	Average Grade	Average Grade
A	71.09	65.65
B	82.85	77.56
Total	76.20	70.51

The teachers (one female and one male) implementing treatments were trained on the MTI for two months just before the implementation of the study (see section 3.6). It should be also noted that they had already used demonstrations, group and class discussions as part of their regular instructions. Female and male teacher had five and 15 years teaching experience, respectively.

Three students (two females and one male) from experimental group were selected for case study to explore their nature of metaconceptual processes during treatment and their conceptual understanding before and after treatment. Purposeful sampling (Patton, 1990) was used to identify the students who were the focus of the study. Purposeful sampling involves selection of “information-rich cases” from whom we “can learn a great deal about the issues of central importance to the purpose of the research” (Patton, 1990, p. 169). These three students were selected from the experimental group by intensity sampling since intensity sampling consists of information-rich cases that manifest the phenomenon intensely, but not extremely, such as good students/poor students, above average/below average (Patton, 1990). The details of the selection of these three students for case study were given under the heading of “case study design”.

### 3.3 Variables

There are seven variables involved in this study, which are categorized as dependent and independent variables. There are four dependent variables (DVs) and three independent variables (IVs). Independent variables of the study are teaching method (TM), pretest scores of students on States of Matter Diagnostic Test (pre-SMDT), and pretest scores of students on Self-efficacy Scale toward Chemistry (pre-SETC). The pre-SMDT and pre-SETC independent variables are potential variables to be used as covariates in order to reduce error variance. Random assignment of subjects equates groups on all variables; however, if it is not possible to use random assignment and if intact groups are used, covariance could be helpful in reducing bias and error variance (Stevens, 2009). The TM indicates the group membership which has two levels as Metaconceptual Teaching Instruction (MTI) and Traditional Instruction (TI). Dependent variables of the study are the posttest scores of the students on States of Matter Diagnostic Test (post-SMDT), the posttest scores of the students on Self-efficacy Scale toward Chemistry (post-SETC), the retention-test scores of the students on States of Matter Diagnostic Test (r-SMDT), and the retention-test scores of the students on Self-efficacy Scale toward Chemistry (r-SETC). Table 3.5 presents the characteristics of these variables.

Table 3.5 Identification of the variables

Type of Variable	Name	Type of Value	Type of Scale
DV	post-SMDT	Continuous	Interval
DV	post-SETC	Continuous	Interval
DV	r-SMDT	Continuous	Interval
DV	r-SETC	Continuous	Interval

Table 3.5 (continued)

Type of Variable	Name	Type of Value	Type of Scale
IV	pre-SMDT	Continuous	Interval
IV	pre-SETC	Continuous	Interval
IV	TM	Discrete	Nominal

### 3.4 Instruments

The measuring tools used in this study are States of Matter Diagnostic Test (SMDT), Self-efficacy Scale toward Chemistry (SETC), interviews, other data sources such as journal writings, posters, audio recordings of group discussions, and video recordings of classroom discussions, and Classroom Observation Checklist. The details of the instruments are discussed below.

#### 3.4.1 States of Matter Diagnostic Test (SMDT)

In order to measure 10th grade high school students' understanding of states of matter concepts, a three-tier test, the SMDT (see Appendix A-1) was developed by the researcher. Interviews (Bou Jaoude, 1991; Griffiths & Preston, 1992), concept maps (Ingec, 2009; Kaya, 2008; Novak & Gowin, 1984), and multiple-choice tests (e.g., Hestenes, Wells, & Swackhamer, 1992; Ingram & Nelson, 2006) are the popular tools to identify students' alternative conceptions. However, these methodologies have limitations for practical use in classrooms. For example, interviews are used for the exploration of students' ideas in that it provides deep investigation of students' conceptions. However, it has limitations such as data gathered with small sampling, involvement of personal interaction, requirement of large amount of time to conduct and analyze (Marshall & Rossman, 2006). Also, concept maps are useful tools for identification of alternative conceptions (Martin, Mintzes, & Clavijo, 2000; Novak, 1990). Like interviews, concept maps have disadvantages such as the requirement of training both for teachers and students about how to use concept map and the need of large amount of time to conduct in the classroom (Kaya, 2008). Multiple-choice tests are the other common tools used for its better content domain sampling, taking less time to administer and score, and its efficiency of using with a large sample of students (Haladyna, 1997). But multiple-choice tests do not give students an opportunity to write their reasoning behind their ideas. A student can give a correct answer with a wrong reasoning or a wrong answer with a correct reasoning. Hestenes and Halloun (1995) described correct answers with wrong reasoning as "false positives" and wrong answers with correct reasoning as "false negatives". They recommended that minimizing false positives and negatives provides a more valid test. In addition, they indicated that the major problem for conventional multiple-choice tests was



to minimize false positives and negatives. Because of the above limitations of conventional multiple-choice tests, two-tier multiple-choice instruments were developed by researchers (e.g., Tan, Goh, Chia, & Treagust, 2002; Voska & Heikkinen, 2000). The first part of each item consists of a conventional multiple-choice question and the second part of each item contains a set of possible reasons for the given answer in the first part. Although a two-tier test eliminates the aforementioned drawback of a conventional multiple-choice test, it has another limitation: It cannot differentiate alternative conceptions from lack of knowledge. This limitation is addressed by three-tier multiple-choice tests (Caleon & Subramaniam, 2010; Pesman & Eryilmaz, 2010). Three-tier tests enable researchers to achieve this by an additional tier asking for students whether they are sure about their answers for the first two-tiers. Three-tier tests are more valid tests since they provide researchers to understand students' reasoning behind their answers, distinguish alternative conceptions from lack of knowledge, and estimate percentages of false positives and negatives.

Three-tier tests are novel in the literature. There are only a few studies in physics on the development and application of three-tier tests (Caleon & Subramaniam, 2010; Kutluay, 2005; Pesman & Eryilmaz, 2010). No study on the development and application of a three-tier test in chemistry has been reported in the literature. Therefore, for this study, the researcher developed a three-tier diagnostic test to measure 10th grade high school students' understanding of states of matter concepts. The development and application of the SMDT were completed one year before the implementation of the study.

For the pilot study, the SMDT was administered to 195 10th grade high school students aged 15-16 years (48.7% females and 51.3% males) after they were taught states of matter in Keçiören district of Ankara in 2009.

Two types of schools -general high school and Anatolian high school- were included since students in these schools differ in achievement. Among these types of schools, three Anatolian high schools and two general high schools were selected conveniently.

The SMDT was developed using procedures employed by Kutluay (2005), Pesman and Eryilmaz (2009), and Treagust (1986). The following five stages were pursued for the development of the SMDT: i) defining content boundaries, ii) identification of the reported alternative conceptions in the literature (see section 2.1), iii) conducting interviews to explore whether students hold alternative conceptions different from the reported ones, iv) administering open-ended questions so that students' responses are categorized for writing the distracters of the three-tier test, and v) the development and administration of the SMDT for pilot study.

The content boundaries were defined with a list of objectives (see Table 3.6) which were examined by four chemistry educators and one chemistry teacher. Students' alternative conceptions were identified by examining the related literature, conducting interviews, and administering open-ended questions. The interview was semi-structured and consisted of 13 questions and follow-up probes to investigate high school chemistry students' understanding of states of matter, evaporation, condensation, boiling, and vapor pressure (see Appendix A-2 for the interview questions). The interview protocol was piloted and revised for face validity. A total of 12 interviews were conducted with each interview lasting up to 50 minutes.

In the light of the findings from the interviews and related literature, open-ended questions were developed (see Appendix A-3 for the open-ended questions). Most of the questions were the same as the questions in the interview (see Appendix A-2 for the interview questions). The questions were examined by the experts (four chemistry educators and one chemistry teacher) to assure that the questions are appropriate and unproblematic, and objectives and alternative conceptions intended to be examined were assessed. A total of 13 questions were administered to 54 high school students in one class hour lasting up 45 minutes. The students' answers to the questions were categorized and the categories with high frequencies were written as the distracters of the SMDT.

The SMDT items were developed based on open-ended questions. The content validity of the SMDT was established by a group of experts (four chemistry educators and one chemistry teacher) in terms of the objectives and alternative conceptions intended to be assessed, and whether the questions are appropriate for the grade level and unproblematic. Nineteen three-tier multiple choice items were piloted with 195 10th grade students in one class hour lasting up 45 minutes in April 2009.

The SMDT is a 19-item three-tier diagnostic test consisting of three-tier items for assessing students' understanding of states of matter concepts (see Appendix A-1). The first tier consists of a conventional multiple-choice question with three or four choices. The second tier includes one correct reason and alternative reasons. The alternative reasons are based on alternative conceptions identified from semi-structured interviews and open-ended questions. In addition to alternative reasons, a blank space where students are asked to write an explanation of their reasoning different from the given reasons is presented. The third tier is asked to assess how examinees are confident about their answers for the first two tiers.

The SMDT examines the conceptual areas of Charles Law (3 items), Boyle Law (2 items), Gay-Lussac Law (2 items), conservation of matter (2 items), evaporation (3 items),

condensation (2 items), boiling (3 items), and vapor pressure (2 items). Table 3.6 shows the distribution of questions in terms of objectives.

Table 3.6 Objectives of the SMDT

Objectives	Questions
To explain the relationship between temperature and volume of an amount of gas at constant pressure. (Charles's Law).	1, 3, 5
To apply the law of conservation of mass in different contexts.	2, 8
To explain the relationship between temperature and pressure of an amount of gas at constant volume. (Gay-Lussac's Law).	4, 6
To explain the relationship between pressure and volume of an amount of gas at constant temperature. (Boyle's Law).	7, 9
To interpret evaporation operationally.	11, 12, 13
To interpret condensation operationally.	14,16
To explain vapor pressure operationally.	15, 18
To explain boiling operationally.	10, 17, 19

The SMDT and its answer key are given in Appendix A-1. The alternative conceptions probed by the SMDT are shown in Table 3.7.

Table 3.7 The alternative conceptions probed by the SMDT

Alternative Conceptions	Item Choices
1. When heated, particles expand; when cooled, they shrink.	(1.1.A, 1.2.A, 1.3.A), (5.1.C, 5.2.B, 5.3.A), (2.1.D, 2.2.B, 2.3.A), (3.1.B, 3.2.C, 3.3.A), (6.1.C, 6.2.B, 6.3.A)
2. In a closed container filled with a gas, when temperature increases/decreases, the gas pressure always increases/decreases.	(1.1.A, 1.2.B, 1.3.A), (5.1.C, 5.2.A, 5.3.A), (3.1.C, 3.2.A, 3.3.A)
3. Hot air is lighter than cold air.	(5.1.C, 5.2.C, 5.3.A), (2.1.C, 2.2.C, 2.2.A), (2.1.C, 2.2.D, 2.3.A), (6.1.B, 6.2.C, 6.3.A)
4. Gas always weighs less than liquid (or solid).	(2.1.D, 2.2.G, 2.3.A), (8.1.B, 8.2.E, 8.3.A)
5. Vapor or gas has no weight.	(2.1.A, 2.2.A, 2.3.A), (8.1.A, 8.2.A, 8.3.A)

Table 3.7 (continued)

Alternative Conceptions	Item Choices
6. When the gas pressure increases, the weight of the gas increases.	(2.1.D, 2.2.F, 2.3.A)
7. In a closed container filled with a gas the volume of a gas always decreases when the temperature decreases.	(4.1.A, 4.2.C, 4.3.A), (6.1.A, 6.2.A, 6.3.A)
8. When air is compressed, the particles stick together.	(7.1.C, 7.2.A, 7.3.A), (9.1.A, 9.2.A, 9.3.A)
9. When air is compressed, the particles are all pushed to the end of the syringe.	(7.1.D, 7.2.D, 7.3.A), (9.1.A, 9.2.C, 9.3.A)
10. When air is compressed, the particles change its shape.	(7.1.A, 7.2.B, 7.3.A), (9.1.A, 9.2.B, 9.3.A)
11. When water boils/evaporates, it breaks into its components hydrogen and oxygen molecules.	(8.1.B, 8.2.B, 8.3.A), (11.1.B, 11.2.B, 11.3.A)
12. In order for evaporation to take place, a liquid has to take heat from its environment.	(12.1.B, 12.2.D, 12.3.A), (13.1.B, 13.2.D, 13.3.A)
13. Vaporization starts with boiling.	(12.1.B, 12.2.C, 12.3.A), (13.1.B, 13.2.A, 13.3.A)
14. Condensation or evaporation requires a temperature gradient.	(12.1.B, 12.2.A, 12.3.A), (13.1.B, 13.2.B, 13.3.A), (16.1.A, 16.2.B, 16.3.A)
15. Condensation is when air turns into a liquid.	(12.1.C, 12.2.E, 12.3.A), (13.1.C, 13.2.E, 13.3.A), (16.1.B, 16.2.C, 16.3.A)
16. The cold surface of the closed container and dry air react to form water via the combination of hydrogen and oxygen on the surface.	(14.1.A, 14.2.A, 14.3.A), (16.1.A, 16.2.A, 16.3.A)
17. When water boils and bubbles come up, the bubbles are oxygen and hydrogen, air, or heat.	(10.1.C, 10.2.A, 10.3.A), (10.1.A, 10.2.B, 10.3.A)
18. Boiling liquids at atmospheric pressure have different vapor pressures.	(17.1.C, 17.2.A, 17.3.A), (17.1.B, 17.2.B, 17.3.A)
19. Vapor pressure increases/decreases with height and this cause the water boil at lower/higher temperatures.	(19.1.A, 19.2.D, 19.3.A), (19.1.C, 19.2.E, 19.3.A)
20. At constant temperature, the value of the vapor pressure changes with changes in the volume of the vapor in equilibrium with its liquid and in the amount of liquid.	(15.1.C, 15.2.A, 15.3.A), (15.1.C, 15.2.C, 15.3.A), (15.1.B, 15.2.B, 15.3.A), (18.1.A, 18.2.A, 18.3.A), (18.1.C, 18.2.B, 18.3.A)

The SMDT scores of students were typed into Microsoft Excel. The variables were written in the columns and students were written in the rows of an Excel file. Four variables were produced: i) one-tier scores, ii) two-tier scores, iii) three-tier scores, and iv) confidence tiers.

- One-tier scores: This score was created by using students' answers for only the first tiers of items. Correct answers were coded as 1 and others were coded as 0.

- Two-tier scores: This variable was based on the first two tiers of items. When a student's answer to both the first and second tiers was correct, it was coded as 1; otherwise, 0.
- Three-tier scores: This score was produced by taking all three tiers into account. When a student's answer to all three tiers was correct, it was coded as 1; otherwise, 0.
- Confidence tiers: This variable was based on students' answers to only third tiers. When a student was confident about her/his answers for the first two tiers, it was coded as 1; otherwise, 0.

The Cronbach alpha reliability was calculated for one-tier, two-tier, and three-tier scores. Descriptive statistics of the SMDT for three-tier scores were reported (see Table 3.8). In addition, false negatives and false positives were calculated based on all three tiers. For "false positives", if a student who was confident about the responses given to the first two tiers gave a correct response to the first tier with an incorrect reasoning in the second tier, it was coded as 1; otherwise 0. For "false negatives", if a student who was confident about the responses to the first two tiers gave an incorrect response to the first tier with a correct reasoning in the second tier, it was coded as 1; otherwise 0. Furthermore, the correlation between two-tier scores and confidence tiers was investigated for the validity of the SMDT.

The reliability of the SMDT was estimated by Cronbach alpha and ITEMAN and both reliability indexes were found to be the same for one-tier scores, two-tier scores, and three-tier scores. The reliability of the SMDT was estimated to be .61, .70, and .78, respectively for one-tier scores, two-tier scores, and three-tier scores. Table 3.8 summarizes the descriptive statistics of the SMDT for the three-tier scores.

Table 3.8 Descriptive statistics of the SMDT for three-tier scores

Number of students	195	
Number of items	19	
Maximum possible score	19	
Mean	4.57	
Standard deviation	3.58	
Minimum	0.00	
Maximum	15.00	
Skewness	0.90	
Kurtosis	0.19	
Reliability	.78 (for three-tier scores)	
Difficulty Level	Mean	Range (items)
	.23	.00-.09 (4)
		.10-.19 (3)
		.20-.29 (3)
		.30-.39 (8)
		.40-.49 (1)

Table 3.8 (continued)

Point-biserial coefficients	Mean	Range (items)
	.44	below .20 (1)
		.20-.29 (1)
		.30-.39 (4)
		.40-.49 (7)
		.50-.59 (3)
		.60-.69 (3)

Table 3.8 shows that Point-biserial coefficients except two items (items 6 and 16) based on ITEMAN are good with an average of .44 (Ebel, as cited in Crocker & Algina, 1986). This shows that items are functioning quite satisfactorily. Ebel (as cited in Crocker & Algina, 1986) proposed that if the item-scale correlation value was greater than .40, the item was functioning quite satisfactorily. If it was between the values of .30 and .40, the item was functioning somehow good. If it was between the values of .20 and .30, the item needed revision. If it was below .19, the item should have been deleted or completely revised. Items 6 and 16 were revised after the pilot study. It was also seen that the difficulty levels of items except one item were below .40 with an average of .23. The mean was found to be 4.57 and the possible maximum score was 19. The skewness of the three-tier scores was found to be 0.90. Difficulty level and positive skewness explains the low mean value.

In order for checking the validity of the SMDT, the relationship between two-tier scores and confidence tiers was investigated. In addition, the probabilities of false negatives and positives were calculated. The correlation between two-tier scores and confidence tiers was examined as a quantitative approach to provide evidence for the validity of the SMDT (Cataloglu, 2002; Pesman & Eryilmaz, 2010). Cataloglu (2002) and Pesman and Eryilmaz (2010) reported that there should be at least a moderate positive correlation between two-tier scores and confidence tiers since students with high scores are expected to be more confident than students with low scores. Pearson-product moment correlation coefficient between two-tier scores and confidence tiers of the SMDT was calculated. It was found that there was a moderate positive correlation between two-tier scores and confidence tiers ( $r = .34$ ,  $n = 195$ ,  $p < .01$ ). The moderate positive correlation provides validity evidence in that more confident students have higher scores in the SMDT.

Hestenes and Halloun (1995) reported that minimizing the probabilities of false negatives and positives was important for validity of the test. They suggested that the probability of false negatives needs to be less than ten percent. In addition, they added that minimizing the probability of false positives is more difficult because of the chance factor. Table 3.9 demonstrates the percentages of false negatives, false positives, and lack of

knowledge. When the items were checked for false negatives, it was found that all the items, except for item 14, were below 10 with the average of 4.0. Item 14 is related to the condensation in an open system. When item 14 was examined, it was seen that most of the students chose one of the wrong alternatives –hot air condenses and water droplets form on the outer surface of the bottle- for the first-tier although they gave the correct answer for the second-tier. The correct answer for the first-tier is “water vapor in the air condenses and water droplets form on the outer surface of the bottle”. This could be resulted from students’ carelessness in that there were students who could not make differentiation between those two alternatives. When the percentages of false positives were checked, it was seen that item 1 and 5 had the highest percentages. These items were checked and there could not be found any problem related to these items. However, this result could be attributed to the students’ misunderstanding related to the constant pressure in a system. The students selected correct answers for the first-tier of item 1 and 5; however, they did not give their reasoning behind their answers for the first-tier correctly since they may think that “in a closed container filled with a gas, when temperature increases/decreases, the gas pressure always increases/decreases”.

In terms of lack of knowledge values, it was found that all values were high with the average of 38.8. It supported the advantage of using three-tier tests rather than conventional multiple-choice tests. Three-tier tests provide more accurate results for students’ alternative conceptions by differentiating alternative conceptions from lack of knowledge. In other words, through the conventional or two-tier tests, alternative conceptions are overestimated since false responses due to lack of knowledge are evaluated as alternative conceptions.

Table 3.9 The percentages of false negatives, false positives, and lack of knowledge for the pilot study

Items	False Negatives	False Positives	Lack of Knowledge
Item 1	1.0	41.0	20.5
Item 2	2.6	1.5	52.3
Item 3	2.1	13.3	36.4
Item 4	2.6	14.9	36.9
Item 5	1.5	54.9	23.1
Item 6	4.6	2.6	42.6
Item 7	5.6	2.1	37.4
Item 8	1.0	2.1	43.1
Item 9	1.5	15.4	44.1
Item 10	3.1	8.2	43.6
Item 11	7.7	3.1	29.7
Item 12	0.5	8.7	29.7
Item 13	2.1	9.2	41.5
Item 14	24.1	5.1	32.8

Table 3.9 (continued)

Items	False Negatives	False Positives	Lack of Knowledge
Item 15	4.6	3.6	43.1
Item 16	5.1	2.6	47.7
Item 17	1.5	1.5	50.3
Item 18	2.1	4.1	45.1
Item 19	3.1	9.7	38.5
Average	4.0	10.7	38.8

It could be concluded that the SMDT provides a valid and reliable three-tier diagnostic instrument for evaluating students' alternative conceptions and conceptual understanding of states of matter concepts. Identification of alternative conceptions with three-tier tests is more successful than two-tier tests since they differentiate alternative conceptions from lack of knowledge. Furthermore, the three-tier test seems to be the most reliable one among all types of instruments since the reliability coefficients for the SMDT were estimated to be .61, .70, and .78, respectively for one-tier, two-tier, and three-tier scores.

In the main study, the SMDT were applied to 102 10th grade students as pretest, posttest, and retention-test. Cronbach alpha and ITEMAN reliability indexes for the pre-SMDT were found to be the same and calculated as .39, .32, and .57, respectively for one-tier, two-tier, and three-tier scores. Since the students took the SMDT before they were taught the subject, the pretest reliabilities are low. Cronbach alpha and ITEMAN reliability indexes for the post-SMDT were found to be the same and estimated to be .62, .73, and .83, respectively for one-tier, two-tier, and three-tier scores. Also, Cronbach alpha and ITEMAN reliability indexes for the r-SMDT were found to be the same and calculated as .71, .81, and .84, respectively for one-tier, two-tier, and three-tier scores. In terms of three-tier tests, the reliability of the post-SMDT and r-SMDT for three-tier scores is quite satisfactory. Table 3.10 shows the descriptive statistics of the post-SMDT for three-tier scores.

Table 3.10 Descriptive statistics of the post-SMDT for three-tier scores

Number of students	102
Number of items	19
Maximum possible score	19
Mean	7.96
Standard deviation	4.30
Minimum	0.00
Maximum	18.00
Skewness	0.02
Kurtosis	-0.66
Reliability	.83 (for three-tier scores)



Table 3.10 (continued)

Point-biserial coefficients	Mean	Range (items)
	.49	.20-.29 (3)
		.30-.39 (2)
		.40-.49 (4)
		.50-.59 (6)
		.60-.69 (4)
Difficulty Level	Mean	Range (items)
	.42	.00-.09 (1)
		.10-.19 (2)
		.20-.29 (1)
		.30-.39 (5)
		.40-.49 (3)
		.50-.59 (4)
		.60-.69 (2)
		.70-.79 (1)

Table 3.10 shows that Point-biserial coefficients based on ITEMAN are good with an average of .49 (Ebel, as cited in Crocker & Algina, 1986). This shows that items are functioning quite satisfactorily. It was also seen that the difficulty levels of items was medium with an average of .42. The mean was found to be 7.96 and the possible maximum score was 19. The mean explains the difficulty level of items. The skewness of the three-tier scores was found to be 0.02. Since the skewness value is close to 0, the distribution of the scores is nearly symmetrical. The kurtosis value is negative and this means that the distribution of the scores is rather flat.

Table 3.11 shows the percentages of false negatives, false positives, and lack of knowledge for the post-SMDT for three-tier scores. When the items were checked for false negatives, it was found that all the items, except for the items 14 and 19, were below 10 with the average of 3.8. Items 14 and 19 were checked and there could not be found any problem related to these items. When the percentages of false positives were checked, it was seen that the items 1 and 5 had the highest percentages; however, the average of false positives for all items was 8.9. The items 1 and 5 were checked and there could not be found any problem related to these items. The average of false negatives and positives were below 10 and this showed the validity of the test (Hestenes & Halloun, 1995). In terms of lack of knowledge values, it was found that the average of lack of knowledge scores was 25.2.

Table 3.11 The percentages of false negatives, false positives, and lack of knowledge for the post-SMDT

Items	False Negatives	False Positives	Lack of Knowledge
Item 1	0.0	38.2	12.7

Table 3.11 (continued)

Items	False Negatives	False Positives	Lack of Knowledge
Item 2	1.0	2.0	35.3
Item 3	0.0	6.9	18.6
Item 4	4.9	8.8	33.3
Item 5	0.0	47.1	13.7
Item 6	2.0	4.9	24.5
Item 7	1.0	2.0	17.7
Item 8	0.0	3.9	23.5
Item 9	2.0	12.7	31.4
Item 10	2.0	3.9	31.4
Item 11	5.9	2.0	15.7
Item 12	1.0	7.8	14.7
Item 13	1.0	3.9	28.4
Item 14	22.6	4.9	27.5
Item 15	1.0	1.0	43.1
Item 16	8.8	2.0	21.6
Item 17	1.0	2.0	40.2
Item 18	5.9	2.9	31.4
Item 19	12.7	12.7	14.7
Average	3.8	8.9	25.2

#### 3.4.2 Self-efficacy Scale toward Chemistry (SETC)

To investigate the effect of the MTI on students' self-efficacy toward chemistry, the SETC developed by Capa Aydin and Uzuntiryaki (2009) was administered to the students. The SETC (see Appendix B) consisted of 16 items in a 9-point scale ranging from very poorly to very well. In a 9-point scale, very poorly was graded as 1 point and very well was graded as 9 points. Capa Aydin and Uzuntiryaki (2009) declared that students needed up to 10 to 15 minutes to complete the SETC. The SETC was piloted with a sample of 150 10th grade high school students and the final form of the SETC was applied to 362 10th grade high school students by Capa Aydin and Uzuntiryaki (2009). In order to explore the factorial structure of the scale, Capa Aydin and Uzuntiryaki (2009) conducted exploratory factor analysis with the pilot data. They reported that the SETC had two-factor structure: chemistry self-efficacy for cognitive skills (CSCS) and self-efficacy for chemistry laboratory (SCL). The CSCS was described as "students' beliefs in their ability to use intellectual skills in chemistry" and the SCL was defined as "students' beliefs in their ability to accomplish laboratory tasks including skills in both cognitive and psychomotor domain" (Capa Aydin & Uzuntiryaki, 2009, p. 872). The CSCS consisted of 10 items (items 1, 2, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 13 and 14) and the SCL consisted of six items (items 3, 4, 7, 12, 15, and 16). After the pilot study, Capa Aydin and Uzuntiryaki (2009) conducted confirmatory factor analysis (CFA) with the data obtained from 362 10th grade high school students to test the two-factor structure of

the SETC. They showed that there was a satisfactory fit to the data (NNFI=.97; CFI=.98; RMSEA=.09; 90% CI=.09, .10). They also noted that Cronbach alpha coefficients for the CSCS and SCL scores were .90 and .92, respectively.

The SETC was piloted by the researcher in May 2009 with a sample of 330 10th (178 students) and 11th (152 students) grade high school students from two Anatolian high schools in Kecioren-Ankara. Fifteen minutes were given to the students to complete the SETC. The scores of students were ranged from 26 to 132 in the pilot study. Low scores indicate that students' chemistry self-efficacy is low, while high scores indicate that students had high chemistry self-efficacy. Exploratory factor analysis (with principal components and varimax rotation) was conducted with the pilot data to investigate the factorial structure of the SETC. The Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) measure of sampling adequacy was found to be .90, which shows that the sampling adequacy is satisfactory to proceed factor analysis. Bartlett's test of sphericity is highly significant ( $\chi^2(120) = 2923.85$ ,  $p < .001$ ) indicating that the correlation matrix is not an identity matrix and the data approaches multivariate normality. In order to determine the number of factors retained two criteria were used: i) eigenvalues which are above 1 (see Table 3.12) and ii) the scree test (see Figure 3.1). Table 3.12 shows that there are two factors whose eigenvalues are above 1. According to Table 3.12, two-factor structure explains 57% of the total variance.

Table 3.12 Eigenvalues and total variance explained for the factors

Component	Initial Eigenvalues			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	6.14	38.39	38.39	4.62	28.84	28.84
2	3.02	18.89	57.29	4.55	28.44	57.29
3	.94	5.89	63.18			
4	.85	5.32	68.49			
5	.81	5.06	73.55			
6	.63	3.92	77.47			
7	.58	3.64	81.11			
8	.53	3.30	84.42			
9	.47	2.92	87.33			
10	.44	2.78	90.11			
11	.36	2.27	92.38			
12	.35	2.17	94.55			
13	.32	2.00	96.55			
14	.22	1.40	97.94			
15	.18	1.13	99.07			
16	.15	.93	100.00			

In scree test, the magnitude of the eigenvalues is plotted against all factors. Figure 3.1 shows that there are only two factors whose eigenvalues in the sharp descend before the first one on the line where they appear to level off. Therefore, scree test also showed that there were two factors to be retained. Item distributions of the SETC to the factors were the same with the factorial structure of the SETC as Capa Aydin and Uzuntiryaki (2009) reported.

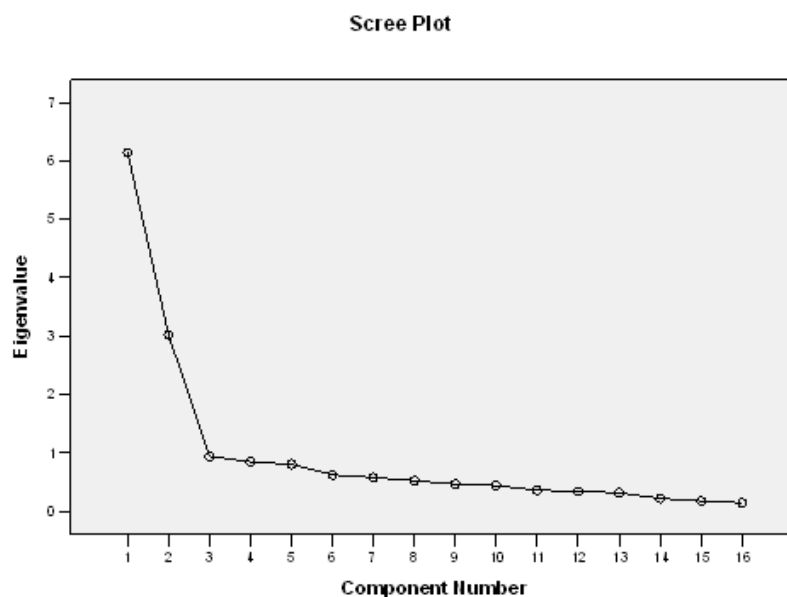


Figure 3.1 Scree Plot for the factorial structure of the SETC for the pilot study

Factor loadings are presented in Table 3.13. It was found that the SETC consisted of two-factor structure: CSCS (items 1, 2, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 13 and 14) and SCL (items 3, 4, 7, 12, 15, and 16). The internal consistencies of scores on the two dimensions were estimated by Cronbach alpha coefficient. In the pilot study, Cronbach alpha reliability coefficients for the CSCS and SCL scores were found to be .86 and .93, respectively. In order to test a two-factor structure comprising the CSCS and SCL proposed by Capa Aydin and Uzuntiryaki (2009), CFA was conducted by using LISREL 8.71 for Windows with SIMPLIS command language. The maximum likelihood estimation method was used in all the LISREL analyses. Normed Fit Index (NFI), Non-Normed Fit Index (NNFI), Comparative Fit Index (CFI), and The Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) were employed for the model data fit assessment. To evaluate model fit, two fit indexes named absolute and incremental can be used (Hu & Bentler, 1995). In this study, both fit indexes were employed. As an absolute fit index, which evaluates how well the model fit the sample data (Hu & Bentler, 1999), RMSEA with the 90% confidence interval was examined. CFI, NNFI, and NFI were the incremental fit indexes, which measures the improvement in fit by comparing the target

model with the null model (Hu & Bentler, 1999), used in this study. Bentler (1992) proposed that CFI, NFI, and NNFI values greater than .90 indicated a well-fitting model. RMSEA values lower than .05 is representative of good fit (Browne & Cudeck, 1993); however, MacCallum, Browne and Sugawara (1996) specified cutoff points and noted that RMSEA values between .08 and .10 represented mediocre fit. In this study, it was found that fit indexes for the two-factor structure model of the SETC was satisfactory (NFI = .95; NNFI = .95; CFI = .96; RMSEA = .09; CI = .08; .10).

Table 3.13 Factor loadings of the SETC for the pilot study

Items	Component	
	1	2
PILOTSETC_4	.90	.07
PILOTSETC_12	.88	.08
PILOTSETC_15	.87	.15
PILOTSETC_3	.87	.12
PILOTSETC_7	.79	.29
PILOTSETC_16	.78	.16
PILOTSETC_10	-.01	.75
PILOTSETC_2	.02	.72
PILOTSETC_13	.18	.68
PILOTSETC_9	-.05	.67
PILOTSETC_1	.22	.65
PILOTSETC_11	.16	.65
PILOTSETC_14	.19	.65
PILOTSETC_8	.09	.65
PILOTSETC_5	.31	.60
PILOTSETC_6	.19	.59

In the main study, the SETC was administered to 102 10th grade students as pretest, posttest, and retention-test. The completion time of the SETC was about 15 minutes. Cronbach alpha reliability coefficients of the CSCS and SCL scores for the pretest scores were found to be .86 and .92, respectively and for the posttest scores were calculated as .88 and .90, respectively. Cronbach alpha reliability coefficients of the CSCS and SCL scores for the retention-test scores were the same and calculated as .91. Item distributions of the SETC to the factors for the pre-SETC, post-SETC, and r-SETC scores were the same. It was found that SETC consisted of two-factor structure for the pretest and posttest scores: CSCS (items 1, 2, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 13 and 14) and SCL (items 3, 4, 7, 12, 15, and 16). It was also found that SETC consisted of two-factor structure for the retention-test scores; however, item 14 was loaded on both factors. Factor loadings for the pre-SETC, post-SETC, and r-SETC scores are presented in Table 3.14. The Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) measure of

sampling adequacy for the pre-SETC, post-SETC, and r-SETC scores was found to be .88, .87, and .90, which shows that the sampling adequacy is satisfactory to proceed factor analysis. Bartlett's test of sphericity is highly significant for the pre-SETC scores ( $\chi^2(120) = 892.96$ ,  $p < .001$ ), for the post-SETC scores ( $\chi^2(120) = 944.28$ ,  $p < .001$ ), and for the r-SETC scores ( $\chi^2(120) = 1066.70$ ,  $p < .001$ ), indicating that the correlation matrix is not an identity matrix and the data approaches multivariate normality. The total variance explained by two-factor structure of the SETC for pretest, posttest, and retention-test scores was 56%, 57%, and %62, respectively.

Table 3.14 Factor loadings of the pre-SETC, post-SETC, and r-SETC

Items	Component	
	1	2
<b>pre-SETC</b>		
pre-SETC_4	.87	.12
pre-SETC_12	.87	.13
pre-SETC_3	.81	.19
pre-SETC_15	.80	.19
pre-SETC_16	.79	.23
pre-SETC_7	.77	.31
pre-SETC_13	.21	.75
pre-SETC_11		.75
pre-SETC_6		.68
pre-SETC_10	.39	.67
pre-SETC_2	.25	.64
pre-SETC_1	.32	.60
pre-SETC_14	.30	.58
pre-SETC_9	.40	.54
pre-SETC_8	.11	.52
pre-SETC_5	.43	.48
<b>post-SETC</b>		
post-SETC_13	.75	.27
post-SETC_6	.75	
post-SETC_10	.70	
post-SETC_1	.70	.31
post-SETC_9	.67	.14
post-SETC_11	.65	.29
post-SETC_5	.63	.27
post-SETC_2	.60	.25
post-SETC_8	.57	.14
post-SETC_14	.55	.34
post-SETC_12	.11	.89
post-SETC_4		.85
post-SETC_3	.23	.80
post-SETC_15	.45	.71

Table 3.14 (continued)

Items	Component	
	1	2
post-SETC		
post-SETC _16	.41	.64
post-SETC _7	.54	.64
r-SETC		
r-SETC _6	.76	.25
r-SETC _10	.75	.32
r-SETC _11	.75	.29
r-SETC _8	.75	.25
r-SETC _2	.74	.13
r-SETC _9	.72	.21
r-SETC _1	.65	.34
r-SETC _13	.58	.42
r-SETC _5	.56	.37
r-SETC _4	.24	.85
r-SETC _3	.16	.84
r-SETC _12	.21	.81
r-SETC _15	.34	.74
r-SETC _16	.41	.67
r-SETC _7	.46	.66
r-SETC _14	.51	.59

### 3.4.3 Interviews

The third and fourth research questions of this study are related to the nature of the students' metaconceptual processes and the changes in students' alternative conceptions in relation to their conceptual understanding of states of matter. Interviews were conducted with three students in the experimental group selected for case studies for the third and fourth research questions. In order to examine the nature of students' metaconceptual processes, the data were collected from multiple sources such as journal writings, posters, audio recordings of group discussions, video recordings of classroom discussions, and semi-structured interviews after the MTI concerning to the third research question of the study. The reason for conducting interviews after the MTI regarding to the third research question was to investigate students' metaconceptual knowledge on concept learning. Interview questions on concept learning are given in Appendix C. The students were asked four questions to gain deeper insight into their perceptions of their prior knowledge, how they learn, and their evaluations of the consistency between their prior knowledge and new concepts. The duration of this interview was five to seven minutes.

The changes in students' alternative conceptions in relation to their conceptual understanding of states of matter were assessed by conducting semi-structured interviews (see Appendix D for the interview questions) with the aforementioned three students before and after the MTI. Interview questions are similar to those used in the interviews conducted in previous studies (Bar & Galili, 1994; Boz, 2006; Canpolat et al., 2006; Chang, 1999; Gopal et al., 2004; Osborne & Cosgrove, 1983; Shepherd & Renner, 1982). During the interview, the students were posed questions related to states of matter, melting, evaporation, condensation, boiling, and vapor pressure. The interview consisted of 12 questions and follow-up probes to investigate students' understanding of states of matter, gas laws, evaporation, condensation, boiling, and vapor pressure. Table 3.15 shows the distribution of the questions in terms of the topics of states of matter unit. The students were asked the same questions for the post-interview like pre-interview; however, they were also posed additional questions if their answers were different from their pre-interview answers: "Your previous answer was... Do you still agree with your previous answer? Why did you change your idea?" Interviews lasted up from 25 to 63 minutes and from 35 to 86 minutes for pre-interviews and post-interviews, respectively.

Table 3.15 States of matter interview questions across the topics

Questions	Topics
1	The properties of solids, liquids, and gases (The representation of solids, liquids, and gases in terms of particulate nature of matter)
2	The properties of gases (the motion of particles)
3	The properties of gases (mass)
4	Boyle's and Charles's Laws
5	Boyle's Law
6	Charles's Law
7	Phase changes
8	Evaporation
9	Condensation
10	Boiling
11 and 12	Vapor pressure

The interview protocols were checked by four chemistry educators, piloted and revised for face validity. Interviews prior to the MTI were conducted in one week period after the pre-SMDT were applied to the students since the students for case studies were selected based on their pre-SMDT scores as explained under the title of "case study design". Interviews after the MTI were also conducted in one week period just after the pre-SMDT



was administered to the students. During the interviews, the students were asked to think aloud. All interviews were conducted in the chemistry and physics laboratory of the school. The interviews were audio-taped after getting permission from the participants.

#### **3.4.4 Other Data Sources**

Various methods such as think-aloud protocol, interviews, observations, and questionnaires could be used to assess metacognition. However, it is not possible to say that one method is superior to the other one (Veenman et al., 2006). For instance, students' verbal ability could play critical role in interviews or students could not be able to articulate their ideas well while thinking aloud (Garner & Alexander, 1989). Therefore, multiple methods should be used to assess metacognition more precisely (Veenman et al., 2006). Furthermore, White and Gunstone (1989) emphasized that only using one metacognitive activity such as diaries in the classroom became burden to the students, that is after some time, the students could not write diaries with their reflection on the related topic and even they could give up to write them, and thus, metacognitive teaching could not provide effective learning outcome. In this respect, in this study, in order to describe the nature of metaconceptual process with accuracy and not to make students to be bored, multiple data sources such as journal writings, posters, audio recordings of group discussions, video recordings of classroom discussions, and interviews after the MTI were used by considering the studies including the examples of metacognitive activities (e.g., Baird & Mitchell, 1989; Baird & Northfield, 1992; Baird & White; Bell & Cowie, 2001; Gallagher, 2000; Georghiades, 2004a; Pintrich, 2002; Rickey & Stacy, 2000; White & Gunstone, 1992; Yuruk, 2005). Yuruk's (2005) metaconceptual categorization for metaconceptual processes, which are metaconceptual awareness, metaconceptual monitoring, and metaconceptual evaluation, was embodied in designing metaconceptual teaching activities.

Metaconceptual teaching activities such as journal writings, posters and group discussions were only employed in the experimental group. It should be noted that only the data belonged to the students selected for case studies were analyzed. All lessons in both experimental and control groups were video-recorded and field notes were kept in both groups to record the events and describe the research setting.

#### **3.4.5 Classroom Observation Checklist**

Classroom observation checklist was developed by the researcher to provide treatment verification, that is, to ensure whether the experimental and control group were instructed based on the MTI and TI, respectively. There are 19 items which reflect the

fundamental characteristics of the MTI and TI in the classroom observation checklist (see Appendix E). The observation checklist was coded by the researcher based on four categories: yes, partially, no, and not applicable. “Not applicable”, “no”, “partially”, and “yes” were scored as 0, 1, 2, and 3, respectively. Items 1, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, and 19 are related to the MTI and items 2 and 3 are related to the TI. There are also items which are common for both instructions: Items 6, 9, and 10.

Chemistry was a four-hour a week course for 10th grade students in the two Anatolian high schools included in this study based on the administrative decision. In this study, the implementation was conducted during states of matter unit for seven-week. The researcher observed all lessons (26-hour) in the experimental groups at two high schools; however, due to the coincidence of course programs in two high schools, 19-hour lesson in one control group of the one high school and 14-hour lesson in another control group of another high school were observed by filling the classroom observation checklist. Also, some lessons were observed by two observers in order to prevent researcher bias and the classroom observation checklist was filled. Four lessons in the experimental group and three lessons in the control group were observed by two researchers. The correlations between two observers were calculated. The results of the observations are seen in section 4.3.

### **3.5 Instructional Materials**

In this study, various teaching activities were used. In the experimental group, metaconceptual teaching activities such as poster drawing, journal writing, group discussion, and class discussion were included in order to facilitate students’ metaconceptual knowledge and processes. The same set of activities such as experiments and class discussions was also used in the control group without explicit attempt to facilitate students’ metaconceptual knowledge and processes. In this section, metaconceptual teaching activities and the lesson plans are presented.

#### **3.5.1 Metaconceptual Teaching Activities**

Metaconceptual teaching activities were arranged to make students to be aware of their own ideas, to monitor their understanding of a new concept, and to evaluate their ideas. The students got used to metaconceptual teaching activities such as group discussion and class discussion since their teachers sometimes included these activities in their lessons. However, the students were not thought using poster drawing and journal writing activities. Therefore, before the implementation, the researcher piloted poster drawing and journal

writing activities through chemical bonding unit (see Appendix F for the samples of activities).

The students started states of matter unit by preparing a poster. During states of matter unit, the students prepared two posters which were related to the gases and phase change. Also, at the end of the instruction regarding the topics included in the poster drawing activities, the students were given their posters (see Appendix G for the sample student worksheets of posters) again in order to discuss on the following questions: “Would you like to change anything on your poster?”, “Would you like to add to or delete anything from your poster?”, and “If you made some changes on your poster, why did you do these changes?” Types of metaconceptual processes tried to be activated through poster drawing activity were students’ metaconceptual awareness, metaconceptual monitoring, and metaconceptual evaluation of their own ideas and ideas from other people/sources. First, the students formed five working groups of four or five students while implementing poster drawing activity. They were distributed the worksheet on which there were questions related to gases. Every student in the groups discussed her/his ideas on the answers of each question. Group discussions were recorded by means of digital voice recorders. After group discussion, the students presented their posters to the whole class. At the end, they were given journals and wrote the answers of the following questions on their journals individually: “What was the purpose of the poster drawing activity?”, “Did any of your friends have different ideas from what you thought?”, “If some of your friends had different ideas from what you thought, how did those ideas differ from your ideas? Could you explain this situation by giving examples?”, and “If your ideas were different from each other, how did you decide on the ideas that you put on your posters?”

Journal writing activities were generally given before and after the instruction and sometimes given only after the instruction. It should also be noted that some of the journal writing activities after the instruction were given as homework to the students. Journal writing activities are crucial to get students’ ideas who are introverted and shy. For example, in the Boyle’s Law lesson (see Appendix H for the details of this lesson), the students prepared journal writing activities before and after the instruction. In this lesson, students formed five working groups of four or five students and worked on two activities. First activity was used to stimulate discussion of the pressure-volume relationship by explaining the phenomenon of the expanding marshmallow. While doing this activity, the students did not discuss their ideas as a group. First, they wrote their ideas about why the marshmallow expanded when the plunger was pulled on and their ideas about the relationship between pressure and volume of a constant amount of a gas on their journals individually. After

students completed the “marshmallow in a syringe” activity, they did another activity. In this activity, students placed various weights on the plunger with the syringe’s cap on and recorded the volume of the air in the syringe against to the weight placed on the plunger to draw pressure-volume graph. They completed their journal writing activity before they implemented this activity. After journal writing activity, each group implemented the second activity and discussed on the answers of their journal writings related to both activities. Then, the students presented their groups’ ideas on both activities to the whole class. At the end of the lesson, the students were given the journal writing activity again and this journal included the questions such as: “What were your predictions related to the “marshmallow in a syringe” activity? Were they true? If not, why?”, “Was your graph which you drew individually before the “marshmallow in a syringe” activity true? If not, why do you think you drew it wrongly?”, and “Have you changed your mind after this lesson? What are the differences between your prior and current ideas? Why did you change your mind?” See Appendix G for the sample student worksheets of journal writing activities.

Group discussions were arranged after the students completed their journals related to the activities performed at the beginning of the lesson. The students formed five of working groups of four or five students and they were distributed worksheets for group discussion (see Appendix G for the group discussion worksheet samples). Group discussion worksheets guided students while discussing on their ideas. Also, during group discussions, the teacher walked around among groups and facilitated group discussion.

After group discussions, the students presented their ideas as a group to the whole class. Due to the time limitation, sometimes only one group was gone out to the whiteboard. The teacher initiated the discussion by asking leading questions related to the current topic. Also, since the teacher examined the students’ journal writings before the class discussion, s/he could be able to included students’ alternative conceptions in the class discussion. The teacher encouraged students’ to articulate their ideas by asking questions such as “Esma thinks that...Do you agree with her?”, “Do you agree with your group’s idea?”, “Why did you think like that?”, “Was your friend’s idea plausible to you?”, “Did you learn anything new from this lesson?”, and “Did you change your mind?” All class discussions were video-recorded.

### **3.5.2 Lesson Plans**

Lesson plans were developed by the researcher for the experimental and control groups based on the new 10th grade chemistry curriculum declared in 2008. Lesson plans started with the title of the topic, objectives, and timing. The same set of activities except

poster drawing, journal writing, and group discussion were used in both lesson plans. In the lesson plans, every step during instruction was explained in detail for the teachers. Even, the answers of each question posed in posters, journals, group discussions, and class discussions were given. Also, alternative questions and notes were written considering the answers of the questions which could be given by the students. Lesson plans were first examined by four chemistry educators and necessary changes were made based on their feedback. Also, regular meetings related to lesson plans were held on every week with the two teachers included in this study. For example, during these meetings, additional questions were written for class discussions based on students' posters or journals.

Lesson plans of the experimental group (see Appendix H) were developed based on Yuruk's (2005) metaconceptual categorization for metaconceptual processes, which are metaconceptual awareness, metaconceptual monitoring, and metaconceptual evaluation. Lesson plans of the experimental group included metaconceptual activities such as poster drawing, journal writing, group discussion, and class discussion. There were 15 lesson plans for the experimental group. The students prepared two posters, completed 29 journal writing activities, performed 10 group discussions, and 15 class discussions. Student worksheets were prepared for each group discussion and journal (see Appendix G for the sample student worksheets). Table 3.16 shows the lesson plans and metaconceptual activities. Some lesson plans were adapted and prepared by using various sources and these sources were indicated at the "source" column in Table 3.16.

Table 3.16 Lesson plans, sources, and metaconceptual activities for the experimental group

Lesson Plans	Sources	Metaconceptual Activities
Lesson Plan 1 (Gases Poster)		Poster Drawing Group Discussion Class Discussion Journal Writing
Lesson Plan 2 (How Can we Take Out a Tissue from a Cup Submerged in Water as Dry?)	Sarquis, Hogue, Sarquis, & Woodward (1997)	Group Discussion Class Discussion Journal Writing
Lesson Plan 3 (Air Has Mass)		Class Discussion Journal Writing
Lesson Plan 4 (Particulate Nature of Matter)	Adadan (2006); Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010)	Group Discussion Class Discussion Journal Writing
Lesson Plan 5 (Graham's Law of Diffusion)	Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010)	Class Discussion Journal Writing

Table 3.16 (continued)

Lesson Plans	Sources	Metaconceptual Activities
Lesson Plan 6 (Atmospheric Pressure)	Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010); Rohrig (1997)	Group Discussion Class Discussion Journal Writing
Lesson Plan 7 (Boyle's Law)	Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010); Herr & Cunningham (1999); Sarquis, Hogue, Sarquis, & Woodward (1997)	Group Discussion Class Discussion Journal Writing
Lesson Plan 8 (Charles's Law)	Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010); Herr & Cunningham (1999); Sarquis, Hogue, Sarquis, & Woodward (1997); TUBITAK Bilim ve Teknik Dergisi Merak Ettikleriniz (n.d.)	Group Discussion Class Discussion Journal Writing
Lesson Plan 9 (Avogadro's Law and Ideal Gas Equation)	Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010)	Back to the Gases Poster Group Discussion Class Discussion
Lesson Plan 10 (Gas Mixture)	Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010)	Class Discussion
Lesson Plan 11 (Real Gases)	Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010)	Journal Writing Think-Pair-Share Class Discussion
Lesson Plan 12 (Phase Change Poster)		Poster Drawing Group Discussion Class Discussion Journal Writing
Lesson Plan 13 (Melting and Freezing)	Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010); TUBITAK Bilim ve Teknik Dergisi Merak Ettikleriniz (n.d.)	Class Discussion Journal Writing
Lesson Plan 14 (Evaporation and Condensation)	Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010)	Group Discussion Class Discussion Journal Writing
Lesson Plan 15 (Boiling and Vapor Pressure)	Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010); TUBITAK Bilim ve Teknik Dergisi Merak Ettikleriniz (n.d.)	Group Discussion Class Discussion Journal Writing

Lesson plans of the control group were also included the same set of activities such as experiments, class discussions, and problem solving. There were 13 lesson plans for the control group. The reason for the difference between the number of lesson plans for the experimental and control groups was the additional two poster activities performed in the

experimental group. As indicated before, the activities used in the control group were not included metaconceptual teaching activities such as poster drawing, journal writing, and group discussion. Table 3.17 shows the lesson plans of the control group and their sources. Lesson plans of the control group are presented in Appendix I.

Table 3.17 Lesson plans and sources for the control group

Lesson Plans	Sources
Lesson Plan 1 (Properties of Gases- How Can we Take Out a Tissue from a Cup Submerged in Water as Dry? and Air Has Mass)	Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010); Sarquis, Hogue, Sarquis, & Woodward (1997)
Lesson Plan 2 (Properties of Gases- Particulate Nature of Matter)	Adadan (2006); Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010)
Lesson Plan 3 (Graham's Law of Diffusion)	Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010)
Lesson Plan 4 (Atmospheric Pressure)	Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010); Rohrig (1997)
Lesson Plan 5 (Boyle's Law)	Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010); Herr & Cunningham (1999); Sarquis, Hogue, Sarquis, & Woodward (1997)
Lesson Plan 6 (Charles's Law)	Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010); Herr & Cunningham (1999); Sarquis, Hogue, Sarquis, & Woodward (1997); TUBITAK Bilim ve Teknik Dergisi Merak Ettikleriniz (n.d.)
Lesson Plan 7 (Avogadro's Law and Ideal Gas Equation)	Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010)
Lesson Plan 8 (Gas Mixture)	Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010)
Lesson Plan 9 (Gas Mixture)	Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010)
Lesson Plan 10 (Real Gases)	Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010)
Lesson Plan 11 (Melting and Freezing)	Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010); TUBITAK Bilim ve Teknik Dergisi Merak Ettikleriniz (n.d.)
Lesson Plan 12 (Evaporation and Condensation)	Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010)
Lesson Plan 13 (Boiling and Vapor Pressure)	Dursun, Gulbay, Cetin, Tek, Ozkoc, & Guntut (2010); TUBITAK Bilim ve Teknik Dergisi Merak Ettikleriniz (n.d.)

### 3.6 Procedure

The main steps in the procedure of this study are presented below. These steps were arranged in chronological order although literature review was made during the study.

- Resolution of the research questions

- Arrangement of the keyword list
- Conducting literature review
- Reading literature review
- Deciding on population and sample
- Development of the SMDT
- Piloting the SMDT and SETC
- Development of instructional materials
- Observation and video recording of the research setting for two months (two months before the study)
- Teacher training (two months before the study)
- Piloting instructional materials (two months before the study)
- Distribution of pretests (two weeks before the study)
- Conducting pre-interviews with three students in one week before the implementation commenced.
- Treatment implementation (seven-week)
- Distribution of posttests
- Conducting post-interviews with three students in one week after the posttests distributed.
- Distribution of retention-tests (eight weeks after the posttests distributed)
- Entering quantitative data into the SPSS
- Transcription of the interviews, audio recordings, and video recordings
- Data analysis
- Thesis writing

After deciding on the research topic, the research questions of the study were determined. The keyword list was specified (see Appendix J). Then, Educational Resources Information Center (ERIC), International Dissertation Abstracts, Social Science Citation Index (SSCI), Ebscohost, ProQuest Dissertations & Theses, Middle East Technical University Dissertations and Theses, Turkish Higher Education Council National Dissertation Center, and TUBITAK Ulakbim databases were searched systematically by using the keywords. Furthermore, the main journals in Turkey such as Hacettepe Eğitim Dergisi and Gazi Eğitim Dergisi were reviewed. All of the papers obtained were read; results of the studies were compared with the each other.

The researcher first decided on the type of high schools for this study. Anatolian high schools participated in this study. This study was conducted in a different city where the



researcher lives since she could find schools and teachers who were willing to conduct this study. The sample size of the study was determined by using the recommendations proposed by Cohen, Cohen, West and Aiken (2003, p. 177). In this study, the significance level was set to .05 as in most of the educational studies. The power of the study was fixed to .80. Cohen et al. (2003) proposed effect size values for  $f^2$  as “small” = .02, “medium” = .15, and “large” = .35. Based on the literature, the effect size of the study was set to a medium effect size. By using these preset values, the sample size needed for a medium effect size was calculated as 56. For the details of population and sample, see section 3.2.

The SMDT was developed by the researcher. The SETC was developed by Capa Aydin and Uzuntiryaki (2009). The necessary permissions were got from the Research Center for Applied Ethics in Middle East Technical University and from Ankara Directorate of National Education for the pilot studies (see Appendix K). Pilot studies of the instruments were performed in Ankara in the 2008-2009 spring semester. The high schools included in the pilot studies had the similar characteristics such as school type, grade level, and socio-economic status with the sample of the main study. For the details, see section 3.4.

Instructional materials such as metaconceptual teaching activities and lesson plans related to states of matter unit were developed by the researcher based on the literature. Also, instructional materials were revised according to the feedback given by chemistry educators and chemistry teachers. Metaconceptual activities prepared in chemical bonding topic in order to have students get used to these activities were piloted with the sample of the study in the 2008-2009 fall semester.

The necessary permissions were taken from the Research Center for Applied Ethics in Middle East Technical University and from Nevşehir Directorate of National Education for the main study. Two months before the implementation commenced, the researcher was present at the research setting in order to have students get used to video recordings. During two months, the researcher recorded videos of the lessons of four classes included in the main study. The researcher also made observations during lessons in order to help her in selecting case studies for the main study in future. Furthermore, the researcher piloted metaconceptual activities (see also section 3.5.1) prepared in chemical bonding topic during this time.

The teachers in this study were trained for the MTI during two months before the implementation began. Regular meetings were held on during this time and during the implementation of the study. In these meetings, the researcher and teachers discussed on how to implement treatments in the control and experimental groups effectively by using lesson plans.

This study was conducted over four months in the 2009-2010 spring semester. A hundred two 10th grade students were participated in this study. During the treatment, the science subject related to states of matter was covered as a part of the regular classroom curriculum in the chemistry course. Two weeks before the implementation, pretests were administered to the students. One class hour was given to the students to complete the pretests. Then, pre-interviews with three students (see also section 3.4.3) selected for case studies were conducted. These three students were selected based on their pre-SMDT scores. The details on the selection of students for case studies could be read in section 3.1.2. Treatment implementation continued for seven weeks. The experimental and control groups were taught by the MTI and TI, respectively (see section 3.7). All lessons in the experimental and control groups were video recorded and all group discussions in the experimental group were audio-recorded. Treatments were given by the teachers of the students. After treatment implementation, posttests were distributed to the students and then post-interviews were conducted with the aforementioned three students. The students were applied the retention-tests eight weeks after the posttests distributed. Posttests and retention-tests were completed in one class hour by the students.

The researcher was present during the application of the tests. All tests of the experimental and control groups were administered by the teachers on the same day. The researcher observed the both groups during the administration of the tests. Directions were read and necessary explanations without giving details were made by the teachers to make students more conscious about the research.

After data completion process, quantitative data were entered into SPSS and qualitative data transcriptions were made. All data were analyzed and thesis writing process started.

### **3.7 Treatment Implementation**

This section was divided into two sub-sections. Treatment in the experimental group and treatment in the control group were the sub-sections explained below.

#### **3.7.1 Treatment in the Experimental Group**

In the experimental group, the students were taught by the MTI. As mentioned before, metaconceptual instruction includes metaconceptual teaching activities in order to provide opportunity for students to become aware of their own ideas and ideas from other people/sources, to monitor their understanding of a new conception, and to evaluate their ideas and ideas from other people/sources. In order to facilitate students' engagement in

metaconceptual knowledge and processes several types of instructional activities such as poster drawing, journal writing, group discussion, and class discussion were employed. There were 15 lesson plans for the experimental group (see section 3.5.2 for details). The teachers followed these lesson plans in their instructions. The students were active and completed two posters, wrote 29 journals, participated 10 group discussions, and 15 class discussions during the treatment. The teachers did not directly teach the class. They did not give scientific concepts directly. Instead, they were the facilitator of the discussions. They guided students in order to help them to access scientific concepts. Here, the treatment in the experimental group is explained based on two lesson plans (see Appendix H for all lesson plans of the experimental group).

In the experimental group, the first lesson started with poster drawing related to gases. During states of matter unit, students prepared two posters which were related to the gases and phase change. Also, at the end of the instruction regarding the topics included in the poster drawing activities, students were given their posters again in order to discuss on whether they would like to add, remove, or change anything on their posters. At the beginning of the lesson, first, students formed five working groups of four or five students. The following questions were given as worksheets to the groups (see Appendix G for the sample student worksheet of poster).

- How would you describe the difference among solids, liquids and gases?
- Suppose you had water in solid, liquid, and gas states. What do you think about the mass and density of water in each state?
- How can you draw the picture of solids, liquids, and gases (for example, suppose you had water in solid, liquid, and gas states) in terms of the particulates that make up each?
- How can you explain gas pressure?
- What do you think how the gas pressure changes as altitude increases? Why?
- How can you explain pressure-temperature relationship in gases by giving daily life examples?
- How can you explain pressure-volume relationship in gases by giving daily life examples?

The groups were given A3 papers and colorful pencils to draw their ideas on it. Every student in the groups discussed her/his ideas on the answers of each question. Group discussions were recorded on digital voice recorders. During group discussion, the teachers walked around between groups in order to trigger/improve discussions or make all students articulate their ideas in their groups. After group discussions, every group presented their posters to the class. In class discussions, the teachers asked guiding questions to the groups

to improve discussions. Poster drawing activity mainly tries to activate students' metaconceptual awareness of their own ideas and ideas from other people/sources. Of course, there are other metaconceptual processes such as metaconceptual monitoring and metaconceptual evaluation which could be activated by poster drawing activity. Then, students were given journals and wrote the answers of the following questions on their journals individually: "What was the purpose of the poster drawing activity?", "Did any of your friends have different ideas from what you thought?", "If some of your friends had different ideas from what you thought, how did those ideas differ from your ideas? Could you explain this situation by giving examples?", and "If your ideas were different from each other, how did you decide on the ideas that you put on your posters?" Journal writing activities were generally given before and after the instruction and sometimes given only after the instruction. While in the first poster drawing activity, students were given journals only after the poster drawing activity, in the second poster drawing activity, students were given journals before the poster drawing activity to write their ideas related to the phase change questions on their journals individually and after the poster drawing activity as in the first poster drawing activity. It should also be noted that some of the journal writing activities after the instruction were given as homework to the students depending on time.

The 7th and 8th lessons were related to Boyle's Law. There were two activities to be completed for the students at the first lesson. In this lesson, journal writing, group discussion, and class discussion activities were used altogether. Students first formed five working groups of four or five students. First activity was used to stimulate discussion of the pressure-volume relationship by explaining the phenomenon of the expanding marshmallow (Sarquis et al., 1997). The following procedure was explained to the students:

Procedure:

- With the cap off, remove the plunger from the syringe barrel. Place one miniature marshmallow inside the syringe, leaving the cap off.
- Place the plunger in the syringe barrel and push it in to force out as much air as possible without squeezing the marshmallow.
- Place the cap on the tip of the syringe.
- Pull on the plunger, hold it in the "out" position and observe. (The marshmallow will expand.)

While doing this activity, the students did not discuss their ideas as a group. First, they wrote their ideas about why the marshmallow expanded when the plunger was pulled on and their ideas about the relationship between pressure and volume of a constant amount of a gas on their journals individually. After students' journals were collected by the teacher, the

students implemented another activity as a group. This activity was adapted from the book entitled “Hands-On Chemistry Activities with Real-Life Applications” by Herr, & Cunningham, (1999). In this activity, first, students positioned the plunger at the highest graduation. Then, they put the syringe’s cap on to not to allow air to escape. After that, they put different weights on the plunger to record the resulting volumes. At the end, they were asked to plot their data on a pressure-volume graph. However, as in the first activity, before the students implemented the second activity as a group, they were informed about the above procedure and they were asked to write the answers of the following questions related to the second activity on their journals individually:

- Could you draw a pressure-volume graph?
- If you had a syringe whose plunger is positioned at the highest graduation, with its end is sealed to prevent the escape of air and if you had pushed the plunger in (see the figure shown below), how would you draw the air in terms of the particulates that make up each inside the syringe before and after you had pushed the plunger in?



**a)** Air in the syringe before the plunger is pushed in and **b)** after the plunger is pushed in

- What do you think there is any change in the shape of particles?
- If you had measured the weight of air in the syringe, what would you expect that the weight of air to be after the plunger is pushed in? What do you think how its density would be changed after the plunger is pushed in?
- What do you think how the pressure of air in the syringe would change, after the plunger is pushed in?

After journal writing, each group implemented the second activity. Then, each group drew their pressure-volume graph at constant temperature based on the data they obtained from the second activity. Also, each group discussed on the answers of their journal prompts related to both activities. The teacher walked around between groups to facilitate discussions. Group discussions were recorded on audiotapes. The students were asked for calling their names before talking about their ideas since it made easy to recognize who was talking while transcribing the group discussions.

After group discussion, the students presented their groups’ ideas on both activities and journal prompts to the whole class. Class discussions were recorded on digital video-recorder. During class discussion, the teacher tried to help students to access the scientific concepts. The teacher was given the following questions to lead the class discussion:

- What do you think what the purposes of these activities are?
- At the first activity, why do you think that the marshmallow expands when the plunger is pulled on?
- At the first activity, what do you think how the pressure inside the syringe changes when the plunger is pulled on?
- According to these two activities, what do you think about the relationship between pressure and volume of a constant amount of gas?
- If you had measured the weight of air in the syringe, what would you expect that the weight of air to be after the plunger pushed in? What do you think how its density would be changed after the plunger pushed in? What do you think how the pressure of air in the syringe would change, after the plunger pushed in?
- The teacher shows to the students a model of the human respiratory system. Teacher explains the bottled model lung to the students and asks “When the latex on the bottom of the bottle is pushed up and pulled down, what happens? Why?”
- Ali thought... Deniz thought.... According to you, whose idea is better for the explanation of the results of the activities?
- Have you learned something from these activities?

At the end of the lesson, the students were given the following journal (see Appendix G for the student worksheet of this journal writing activity) as homework since there was no enough time to complete the journal. Students’ metaconceptual awareness, metaconceptual monitoring, and metaconceptual evaluation of their own ideas and ideas from other people/sources were tried to be activated by journal writing. The students were asked the following questions in their journal:

- Were your answers for the above journal prompts true? If not, where do you think you did mistakes?
- Have you learned something from these activities? If yes, could you give examples?
- While discussing your ideas about these activities as a group or as a class, did you notice any differences between your ideas and other classmates’ ideas? Was any idea that was different from your initial idea attractive to you? Why/ Why not?
- Have you changed your mind after this lesson? What are the differences between your prior and current ideas? Why did you change your mind?

At the second lesson, the teacher explained the Boyle’s Law topic by giving historical background of the subject and the mathematical equation for Boyle’s Law. Then, the teacher made problem solving activities.

### 3.7.2 Treatment in the Control Group

Compared to the students in the experimental group, students in the control group were mostly passive, listening to the teacher's instruction, and taking notes. Lesson plans of the control group were included the same set of activities such as experiments, class discussions, and problem solving. However, metaconceptual teaching activities such as poster drawing, journal writing, and group discussion were not used in this group. The experiments in the control group were made by the teachers as demonstrations after the topic was taught. During class discussions, the teachers did not take role as a facilitator for class discussions. Instead, the teachers directly gave the scientific concepts in class discussions. The teachers followed the lesson plans during their instructions. There were 13 lesson plans for the control group (see Appendix I for the lesson plans of the control group). There were just three lessons difference between the experimental and control groups. The reason for this difference is the additional two poster activities and group discussions performed in the experimental group. Here, two-hour Boyle's Law lesson is presented as an example for the treatment in the control group.

The first lesson started by the teacher's instruction on Boyle's Law. The teacher mentioned historical background of this Law. Then, Boyle's Law and its mathematical equation were given. The teacher drew the graphical representation of pressure-volume relationship to the blackboard. After that, the teacher solved problems related to the topic. The second lesson continued with the problem solving activities. Then, the teacher conducted the two activities performed in the experimental group as demonstrations to the classroom. The first activity was related to the pressure-volume relationship by explaining the phenomenon of the expanding marshmallow (Sarquis et al., 1997). After the teacher conducted this activity, the students discussed on their observations related to the activity. Then, the teacher explained why the marshmallow expanded and the relationship between pressure and volume of a constant amount of gas by giving examples. The teacher also asked the following questions to the classroom and explained the answers of the questions:

- If you had measured the weight of air in the syringe, what would you expect that the weight of air to be after the plunger is pushed in? What do you think how its density would be changed after the plunger is pushed in? What do you think there is any change in the shape of particles?
- What do you think how the pressure of air in the syringe would change, after the plunger is pushed in?

The second activity reflected the pressure-volume relationship on a graph. In this activity, first, the teacher positioned the plunger at the highest graduation. Then, the teacher put

various weights on the plunger with the syringe's cap on and recorded the resulting volumes. After that, the teacher plotted the data on a pressure-volume graph. The teacher explained the relationship between pressure and volume by using the graph to the classroom.

### **3.8 Treatment Fidelity**

Treatment fidelity was provided before conducting the study by ensuring the following points:

- A criterion list was prepared for the experimental and control groups about what should be done and should not be done in these groups during the treatment step by step (see Appendix E).
- Lesson plans for the experimental and control groups were prepared. They were examined by four chemistry educators and necessary changes were made based on their feedback (see section 3.5.2 for the details of the lesson plans).
- The teachers were trained on the treatment implementation by the researcher two months before the study commenced.

### **3.9 Data Analysis**

There were two main sources of data: quantitative data (pretest, posttest, and retention-test scores on the SMDT and pretest, posttest and retention-test scores on the SETC), and qualitative data (audio-recordings of pre-interviews and post-interviews, audio-recordings of group discussions, video-recordings of class discussions, and journal writings). According to the research questions, two types of data analyses were conducted: quantitative data analysis and qualitative data analysis.

#### **3.9.1 Quantitative Data Analysis**

Quantitative data analysis was performed in order to answer the first two research questions:

- What is the effect of the MTI compared to the TI on 10th grade students' understanding of states of matter concepts and their self-efficacy toward chemistry when the effects of the pre-SMDT scores and pre-SETC scores are controlled at the central district of Nevşehir?
- What is the effect of the MTI compared to the TI on 10th grade students' durability of states of matter concepts and their durability of self-efficacy toward chemistry when the effects of the pre-SMDT scores and pre-SETC scores are controlled at the central district of Nevşehir?



In quantitative data analysis, data list, consisting of gender, TM, the pre-SMDT, the pre-SETC, the post-SMDT, the post-SETC, the r-SMDT, and the r-SETC were prepared by using SPSS (see Appendix L for the Raw Data). The statistical analyses were performed by using SPSS 18.0 for Windows.

First, descriptive statistics were calculated. The descriptive statistics such as mean, minimum score, maximum score, standard deviation, skewness, and kurtosis values related to the pre-SMDT, pre-SETC, post-SMDT, post-SETC, r-SMDT, and r-SETC scores are presented in Chapter 4 for the control and experimental groups. To determine the spread of the distributions, standard deviation and mean were used. The mean plus or minus three standard deviations encompasses about 99 percent of all the scores in these distributions if the distributions are normal. Skewness gives the information about the shape of the distributions. Kurtosis gives the information about the degree of peakedness in distributions (Hinkle, Wiersma, & Jurs, 1988). Both of them give the information about the normality of the distributions (see Chapter 4 for the details of the descriptive statistics).

Second, inferential statistics were used in order to make inferences about the population from the sample. Statistical technique named multivariate analysis of covariance (MANCOVA) was conducted for this purpose. MANCOVA is explained as “this is a question of whether all observed group differences in the multivariate mean vectors would be explainable as resulting from sampling error only, if all subjects had the same value on the covariate(s) under consideration” (Raykov & Marcoulides, 2008, p. 192). MANCOVA is an extension of analysis of covariance that incorporates two or more DVs in the same variables. In this study, there are four DVs (post-SMDT, post-SETC, r-SMDT, and r-SETC scores) and three IVs (TM, pre-SMDT scores, and pre-SETC scores). The independent variables of the pre-SMDT and pre-SETC scores are used as covariates in order to reduce error variance (see section 3.3 for the variables). Two MANCOVAs were performed with the same covariates for the two sets of DVs: i) the post-SMDT and post-SETC scores and ii) the r-SMDT and r-SETC scores. Also, to judge the practical significance, effect size values were calculated.

MANCOVA has five assumptions: normality, homogeneity of regression, homogeneity of variance-covariance matrices, multicollinearity, and independency of observations (Stevens, 2009). Before conducting MANCOVAs, all assumptions were checked and it was found that all assumptions were met. For the univariate normality assumption, mean, standard deviation, skewness, and kurtosis values were used. In addition, Kolmogorov-Smirnoff test was conducted to check the univariate normality assumption. For the multivariate normality assumption, Mahalanobis distance was used. Homogeneity of

regression assumption means that the slope of the regression of a DV on a covariate must be constant over different values of group membership. The assumption is named “parallelism of the regression planes” for two covariates (Stevens, 2009, p. 294). Multivariate Regression Correlation (MRC) analysis was used to test of homogeneity of regression assumption. For this analysis, two new interaction terms were produced. These interaction terms were prepared by multiplying the group membership (TM) with the covariates of the pre-SMDT and pre-SETC scores separately. After that, three different blocks were produced. Covariates were set to Block A, group membership was set to Block B, and interaction terms were set to Block C. Then, MRC was performed to test the significance of  $R^2$  change using enter method for two DVs. Correlations among the dependent variables were examined in order to check multicollinearity assumption. The correlation between dependent variables should be moderate in order to meet multicollinearity assumption (Pallant, 2001). Levene’s Test of Equality and Box’s test were used to determine the homogeneity of variance-covariance matrices assumption.

### **3.9.2 Qualitative Data Analysis**

Qualitative data analysis was performed in order to answer the third and fourth research questions:

- What is the nature of the metaconceptual processes students who had several alternative conceptions and who had few alternative conceptions engage in during the MTI?
- What are the changes in students’ alternative conceptions in relation to their conceptual understanding of states of matter after the MTI?

Qualitative data involved the data collected from various sources including audio-recordings of pre-interviews and post-interviews, audio-recordings of group discussions, video-recordings of class discussions, and journal writings of the students in the experimental group. In this study, as mentioned before, only the data belonged to the three students were transcribed and analyzed.

In order to answer the third research question, post-interviews about concept learning, audio-recordings of group discussions, video-recordings of class discussions, and journal writings were used. There are different data analysis processes in qualitative research. Creswell (1994) gave the following six generic steps for data analysis in qualitative research:

1. Organizing and preparing the data for analysis

At this step, post-interviews about concept learning, audio-recordings of group discussions, and video-recordings of class discussions were transcribed. They were arranged in chronological order with the journal writings.

2. Reading through all the data

To become familiar with the data, the data were read and reread.

3. Coding the data

Strauss and Corbin (1998) mentioned three methods of coding in data analysis:

deductive coding, inductive coding, and general scheme guided coding. In this study, deductive coding was used since the literature provided “start list of codes” related to this study. Yuruk’s (2005) metaconceptual categorization for metaconceptual processes, which are metaconceptual awareness, metaconceptual monitoring, and metaconceptual evaluation was used as a “start list of codes”. While coding the data in terms of the “start list of codes”, colorful pencils were used. The same colors were used for the same type of code through the data.

4. Generating themes or categories using the coding

The themes or categories were found for the coding data. The themes or categories were examined whether they represents the data and explain the data meaningfully.

5. Organization and the description of the data in terms of the coding and themes

6. Making an interpretation or meaning of the data

Pre-interviews and post-interviews were used to answer the fourth research question. Creswell’s (1994) six generic steps were also used here. Deductive coding was utilized and Adadan, Irving and Trundle’s (2009) types of conceptual understandings list were used. It should be emphasized that the focus is the determination of students’ prior ideas and the change in their ideas after the treatment.

### 3.10 Power Analysis

Before the study commenced, the necessary sample size for the desired power of the study was calculated. Cohen et al. (2003) proposed effect size values for  $f^2$  as “small” = .02, “medium” = .15, and “large” = .35. In this study, the effect size was set to a medium effect size measured by  $f^2$  as .15 since there are not many studies to consider while deciding on the effect size. The significance level ( $\alpha$ - the probability of making Type I error) was set to .05 as in most of the educational studies. The power of the study was set to .80 according to Cohen’s (1988) suggestions and thus beta ( $\beta$ -the probability of making Type II error) was set to .20. Based on these values, the necessary sample size was calculated by using the following equation (Cohen et al., 2003, p. 181):  $L = f^2 (n - k - 1)$ . Here,  $n$  is the sample size

and  $k$  is the sum of  $k_A$  (number of covariates) and  $k_B$  (number of groups – 1).  $L$  is the function of  $k_B$ ,  $\alpha$ , and power and it was found by using  $L$  tables as indicated in Cohen et al. (2003, p. 651). In this study,  $k_B$  is 1 since there are two groups taught by the MTI and TI, respectively and  $k_A$  is 2 since there are two variables, pre-SMDT and pre-SETC, used as covariates. By using  $k_B$ ,  $\alpha$ , and power values,  $L$  was found to be 7.85 from the  $L$  table (Cohen et al., 2003, p. 651). According to the above equation, the necessary sample size ( $n$ ) was calculated as 56. This study was conducted with 102 students. For this sample, size  $L$  was calculated again based on the above equation and it was found to be 14.7. According to  $L$  table (Cohen et al., 2003, p. 651),  $k_B$  (1),  $\alpha$  (.05), and  $L$  (14.7) values showed that the calculated power of the study fell between .95 and .99 for the  $L$  value.

### **3.11 Unit of Analysis**

In this study, the unit of analysis is the individual students while the experimental unit is each intact class taking the treatments. Unit of analysis and experimental unit should be the same for the independence of observations. Although the unit of analysis and the experimental unit did not match in the current study, independence of observations was assured at least during the test administration process.

### **3.12 Threats to Internal Validity**

Fraenkel and Wallen (2003) stated that “internal validity means observed differences on the dependent variable are directly related to the independent variable, and not due to some other unintended variable” (p. 178). Possible threats to internal validity and the ways to control them are discussed in this section.

**Subject Characteristics:** Selection of subjects may result in differences in groups. The best way to cope with this threat is to use random assignment. However, in this study, a nonrandom sampling method (convenience sampling) had to be used since it is extremely difficult to use random sampling method due to administrative constraints. There are other ways such as matching subjects on important characteristics and equating groups statistically to control this threat. The potential effect of this threat was reduced by equating groups statistically on the basis of some subject characteristics regarded as potential covariates (pre-SMDT and pre-SETC) by using MANCOVA.

**Mortality:** Mortality threat occurs if some subjects drop out of the study for some reason such as illness and family relocation. In this study, there is only one male subject from control group dropped out of the study because of illness at the administration of retention tests. This subject was deleted while conducting statistical analyses to answer the

second research question. Except this subject, there was no missing data and thus it could be said that this threat was controlled.

**Location:** Location threat occurs if the groups are taught in different conditions. Location threat was minimized since the experimental and control groups were instructed at the same locations such as classrooms and laboratory conditions.

**Instrumentation:** Instrumentation threats include instrument decay, data collector characteristics, and data collector bias. Instrument decay is the change in the nature of the instrument or scoring procedure. For example, an instrument permits different interpretations like essays or an instrument could be long and thus resulting in fatigue for the scorer. In the current study, two instruments (SMDT and SETC) were distributed to the students during the quantitative data collection. The SMDT is a 19-item three-tier diagnostic test consisting of three-tier items and the SETC consisted of 16 items in a 9-point scale. Both instruments had standardized scoring procedure. Therefore, instrument decay did not a potential threat for this study. Data collector characteristics such as gender and age also affect the results of the study. Since the data collector of this study was the researcher herself in addition to the teachers of each classroom and since the teachers were trained in terms of data collection procedures, this threat was eliminated. Data collector bias is the distortion of the data in order to obtain certain outcomes. In this study, since the data collectors were trained for the data collection procedure, this threat was controlled.

**Testing:** The use of pretests may result in “practice effect” since the students may be alerted to study on the answers of the pretest questions during the treatment. In this study, pretests were used; however, there are also ways to cope with this threat. The effect of this threat was reduced by administering the pretests two weeks before the treatment. Also, the treatment period is long enough (seven-week) to reduce the pretest effect on posttest. Furthermore, since the experimental and control groups took the same pretests, it was assumed that the pretests affected both groups equally.

**History:** During the implementation of the study, unplanned events may occur and this may affect the results of the study. During the implementation, the researcher was present at the research setting and observed the lessons. Any unexpected events were not observed by the researcher.

**Maturation:** This threat results from the change in subjects over time. This is not a possible threat for this study since an equivalent control group was used and since the subjects of the study were not young students.

Regression: If a group is selected due to its extremely high or low performance, this threat emerges. However, in this study, no problem was foreseen in this regard since an equivalent control group was used.

Attitude of Subjects: Attitude of subjects toward a study may result in three threats: Hawthorne effect, John Henry effect, and demoralization effect. Hawthorne effect occurs when the subjects in the experimental group improved their performance due to novelty of the treatment. John Henry effect results from the improvement in control group subjects due to novel circumstances. Demoralization effect occurs if the control group subjects perform poorly since they think that they are given no treatment. The potential effects of these threats were tried to be minimized since equivalent experiences were provided for the experimental and control groups. Also, the teachers said to their classrooms that they were not given any new instruction. The same set of activities such as experiments, problem solving, and class discussion were used in the experimental and control groups. However, group discussion, journal writing, and poster drawing activities were not employed in the control group since these activities were arranged to facilitate students' engagement in metaconceptual processes. Some of the students in the control group asked why they did not make journal writing and poster drawing activities. This could make the control group students demoralize; however, since the same set of activities as aforementioned above were used in both groups, the effect of demoralization threat was minimized. Furthermore, the treatment did not completely novel to the students since the students were get used to perform experiments and class discussions. The other activities were piloted two months before the treatment began. Moreover, since the video recordings of the discussions were one of the data sources for the qualitative data, the researcher performed video recordings in both groups two months before the study commenced in order to have students get used to video recordings. Also, during the study, both groups were video recorded. Therefore, it could be said that the activities employed in the groups were not completely novel for the students.

Implementation: If the treatments were given by different implementers or if the implementer has biases on the behalf of one of the treatments, implementation threat emerges. In this study, implementation threat was controlled using various ways. There were two teachers included in the current study. The implementers were the teachers of the classrooms. Each teacher gave the MTI and TI in their classrooms. The teachers were trained on the treatments during two months before the study started (see section 3.6 for the details). Also, treatment verification was provided by using the classroom observation checklist (see section 3.4.5 and 4.3 for the details).

### 3.13 Ethical Concerns

This study fitted the guidelines for exempt status. The following ethical concerns were evaluated carefully in this respect.

**The Possibilities for Harm to Participants:** There were no possibilities of harm for the students physically or psychologically. The students were fully informed about the experiments and precautions.

**Confidentiality of the Research Data:** The problem here is that there were three sets of tests administered to each student as pretest, posttest, and retention-test. I handled this problem by assuring all the students that the data would be kept in confidence. Also, the teachers and the students were assured that all the data such as interviews, observations, and written materials were kept in confidential. The researcher achieved confidentiality of the research data by not sharing them with any other researchers. The name of the students (Bahar, Esin, and Sertan) included in the case studies were the pseudonyms.

**Deception:** The problem here is that the students were not informed about the treatments and the administration of the tests. This problem was handled by explaining the purpose of the study as the investigation of different teaching methods without giving the details of the study. At the end of the study, sufficient explanation was provided to the subjects.

### 3.14 Trustworthiness of the Qualitative Study

Trustworthiness of the findings is crucial for qualitative studies. Validity and reliability measures in qualitative research are different from quantitative research. Researchers proposed different terminologies for validity and reliability in qualitative studies. Creswell (1994) used the terms of standards of quality and verification for the trustworthiness of the qualitative study. Lincoln and Guba (1985) suggested four criteria to ensure the trustworthiness of the qualitative study: credibility, transferability, dependability, and confirmability respectively as qualitative counterparts of internal validity, external validity, reliability, and objectivity of quantitative research. In this study, Lincoln and Guba's (1985) four criteria mentioned above were considered in establishing the trustworthiness of the study.

- **Credibility:** In this study, the strategies such as prolonged engagement, triangulation, member checking, and peer debriefing were used to achieve credibility. Prolonged engagement means establishing trust with participants by spending enough time in the research setting. The researcher was present in the research setting two months before the study began and during the implementation of the study (seven-week). She followed

all lessons and made observations during this period to ascertain trust with the students. Triangulation involves method triangulation, triangulation of sources, analyst triangulation, and theory triangulation. In this study, method triangulation and triangulation of sources were used. This study included quantitative and qualitative data collection and various data sources such as interviews, audio recordings of group discussions, video recordings of class discussions, students' journals to achieve triangulation. Member checking was also employed during conducting interviews. The students were asked to explain in detail what they said if any conflict occurred.

- **Transferability:** Transferability shows the degree to which the results of qualitative research are applicable to the other settings. To assure the transferability, thick descriptions of the instructional materials (see section 3.5) and population and sample (see section 3.2) were made.
- **Dependability:** In this study, external audits, that are researchers not involved in the study, were used to provide dependability. External audits examined the instruments (see section 3.4), instructional materials (see section 3.5), and qualitative data analysis. I asked for one of my colleagues who was not involved in the study but knowledgeable about the study whether he could code the 10% of the randomly chosen transcripts by using the developed coding list. After that, he coded the data by using the developed coding list and the percentage of agreement was calculated. The conflicts between the codings were negotiated and the categories and subcategories were finally verified. Inter-coder agreement were obtained from the data collected from various sources such as group discussions, class discussions, and journal writings to answer the third research question and the interview data to answer the fourth research question. The percentages of agreement for metaconceptual categorization of metaconceptual processes are shown in Table 3.18.

Table 3.18 The percentages of agreement for metaconceptual categorization of metaconceptual processes

Codes	Percentage of Agreement
a. Metaconceptual Awareness	100
b. Metaconceptual Monitoring	85
c. Metaconceptual Evaluation	90

The percentages of agreement for the categorization of students' understanding of states of matter concepts are presented in Table 3.19.



Table 3.19 The percentages of agreement for the categorization of students' understanding of states of matter

Codes	Percentage of Agreement
1.1. Scientific Understanding of Solids, Liquids, and Gases	100
1.2. Alternative with Scientific Fragments Understanding of Solids, Liquids, and Gases	100
2.1. Scientific Understanding of Gas Laws	100
2.2. Alternative with Scientific Fragments Understanding of Gas Laws	100
3.1. Scientific Understanding of Evaporation	100
3.2. Alternative Fragments Understanding of Evaporation	100
4.1. Scientific Understanding of Condensation	100
4.2. Alternative with Scientific Fragments Understanding of Condensation	100
4.3. Alternative Fragments Understanding of Condensation	100
5.1. Scientific Understanding of Boiling	100
5.2. Alternative with Scientific Fragments Understanding of Boiling	100
5.3. Alternative Fragments Understanding of Boiling	100

- Confirmability: In order to achieve confirmability, confirmability audit was used. Another researcher examined the data collection and analysis procedures and the neutrality was assured.

### 3.15 Assumptions and Limitations

The assumptions of this study were stated below:

- The instruments were completed by the students seriously, sincerely, and fairly.
- Teachers did not have bias on the behalf of one of the treatments.
- Independence of observations was provided.
- The instruments were administered under standard conditions.

The limitations of the study were indicated below:

- This study was limited to the 10th grade Anatolian high school students in the central district of a city.
- This study was limited to the “States of Matter” unit.
- The pilot study of the treatment was not conducted due to the difficulty of finding schools and teachers to implement the study.

## CHAPTER 4

### RESULTS

In this chapter, descriptive statistics, inferential statistics, results of the classroom observation checklist, the percentages of alternative conceptions for the pre-SMDT, post-SMDT, and r-SMDT scores, and results of the qualitative data analyses are presented.

#### 4.1 Descriptive Statistics

In this study, there is no missing data except one student. There was only one male subject from control group dropped out of the study because of illness at the administration of retention-tests. This subject was deleted while conducting statistical analyses for the retention-tests. The descriptive statistics for the pre-SMDT, pre-SETC, post-SMDT, post-SETC, r-SMDT, and r-SETC scores in terms of groups were calculated (see Table 4.1). In Table 4.1, “SD” represents standard deviation and “Total” represents the descriptive statistics for all groups.

Table 4.1 Descriptive statistics for the pre-SMDT, pre-SETC, post-SMDT, post-SETC, r-SMDT, and r-SETC scores in terms of groups

	N	Mean	SD	Skewness	Kurtosis	Min	Max
pre-SMDT							
EG	53	2.59	2.15	1.05	1.55	0	10
CG	49	2.61	2.14	0.45	-0.67	0	8
Total	102	2.60	2.14	0.75	0.41	0	10
pre-SETC							
EG	53	106.13	17.43	-0.97	2.09	48	141
CG	49	93.93	19.22	-0.05	-0.29	51	134
Total	102	100.27	19.22	-0.48	0.10	48	141
post-SMDT							
EG	53	10.51	3.15	0.24	-0.11	4	18
CG	49	5.20	3.63	0.55	-0.44	0	13
Total	102	7.96	4.30	0.02	-0.66	0	18
post-SETC							
EG	53	112.72	14.11	-0.23	-0.02	77	141
CG	49	100.37	19.03	-0.27	-0.29	60	142
Total	102	106.79	17.69	-0.49	0.13	60	142

Table 4.1 (continued)

	N	Mean	SD	Skewness	Kurtosis	Min	Max
r-SMDT							
EG	53	9.91	3.80	0.04	-0.52	3	17
CG	48	5.10	3.55	0.55	-0.77	0	12
Total	101	7.62	4.39	0.21	-0.77	0	17
r-SETC							
EG	53	115.47	15.76	-1.01	0.58	75	140
CG	48	100.29	18.66	-0.06	0.25	55	141
Total	101	108.25	18.73	-0.51	-0.20	55	141

According to George and Mallery (2001), skewness and kurtosis values between +2 and -2 are acceptable for the normality of the distribution. Table 4.1 shows that all skewness and kurtosis values for the pre-SMDT, pre-SETC, post-SMDT, post-SETC, r-SMDT, and r-SETC scores in terms of groups are between +2 and -2. The mean values of the pre-SMDT scores for the EG and CG are close to each other which are 2.59 and 2.61 with the standard deviations of 2.15 and 2.14, respectively. However, there is a difference between the mean values of the post-SMDT scores for the EG and CG which are 10.51 and 5.20 with the standard deviations of 3.15 and 3.63, respectively. Also, the difference between the mean values of the r-SMDT scores for the EG and CG can be seen from the Table 4.1. The mean values of the r-SMDT scores for the EG were greater than the mean values of the r-SMDT scores for the CG. The mean values of the pre-SETC scores for the EG and CG are not close to each other which are 106.13 and 93.93 with the standard deviations of 17.43 and 19.22, respectively. There is also a difference between the mean values of the post-SETC and r-SETC scores for the EG and CG which are shown in Table 4.1. The mean values of the post-SETC and r-SETC scores for the EG were greater than the mean values of the post-SETC and r-SETC scores for the CG.

In a normal distribution, 99.7% of the scores lie between +3 and -3 SD of the mean values (Hinkle et al., 1988). When the maximum and minimum scores of the pre-SMDT, pre-SETC, post-SMDT, post-SETC, r-SMDT, and r-SETC in terms of groups were checked whether they were included between +3 and -3 SD of the mean values, it was found that except maximum score of the pre-SMDT for the EG and minimum score of the pre-SETC for the EG, all scores were encompassed. Maximum score of the pre-SMDT for the EG is 3.45 SD above the mean and minimum score of the pre-SETC for the EG is 3.34 SD below the mean. However, these values are also in acceptable ranges. Figures 4.1, 4.2, and 4.3 demonstrate the histograms with normal curve for the pre-SMDT, pre-SETC, post-SMDT, post-SETC, r-SMDT, and r-SETC scores in terms of groups.

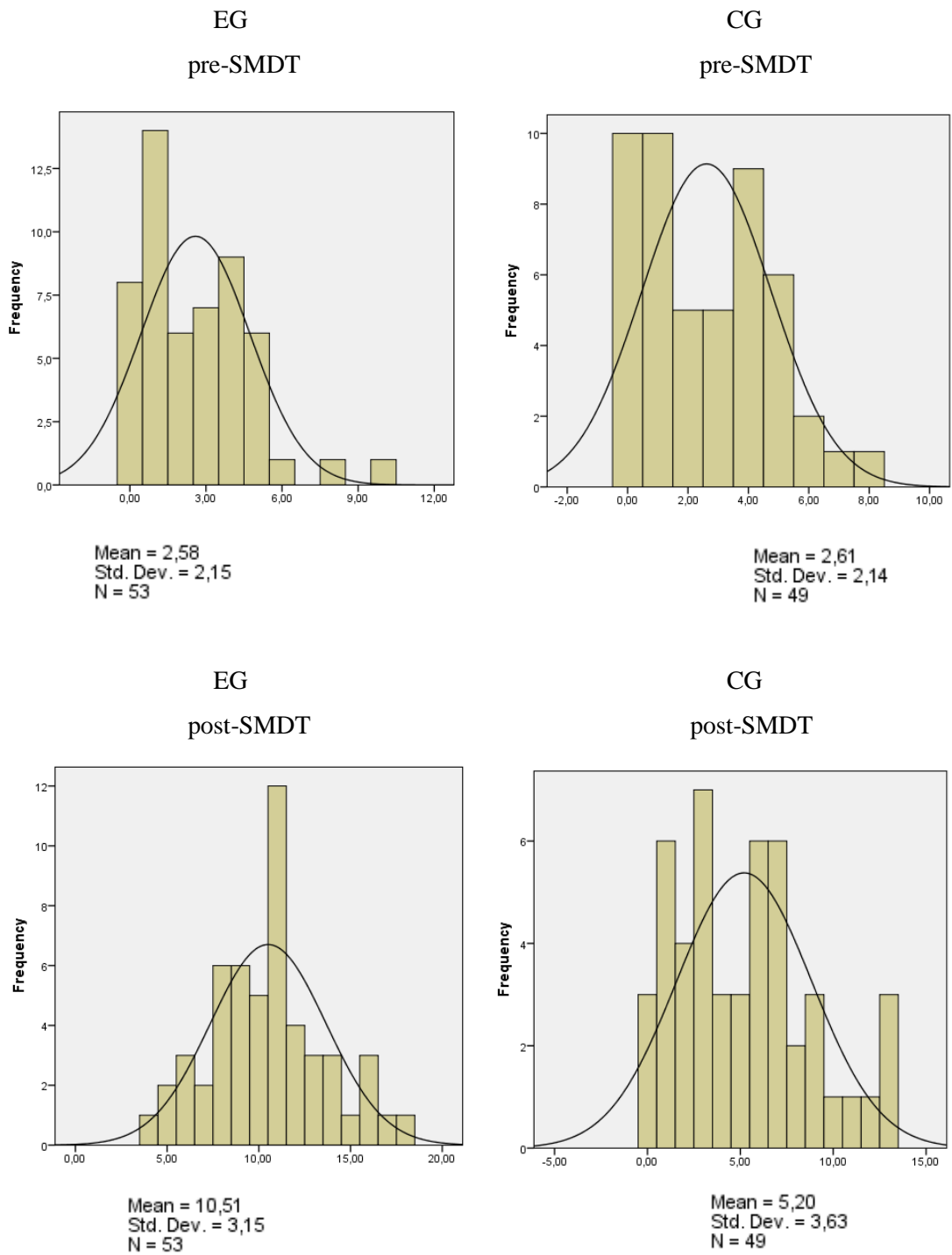


Figure 4.1 Histograms with normal curve for the pre-SMDT and post-SMDT scores in terms of groups

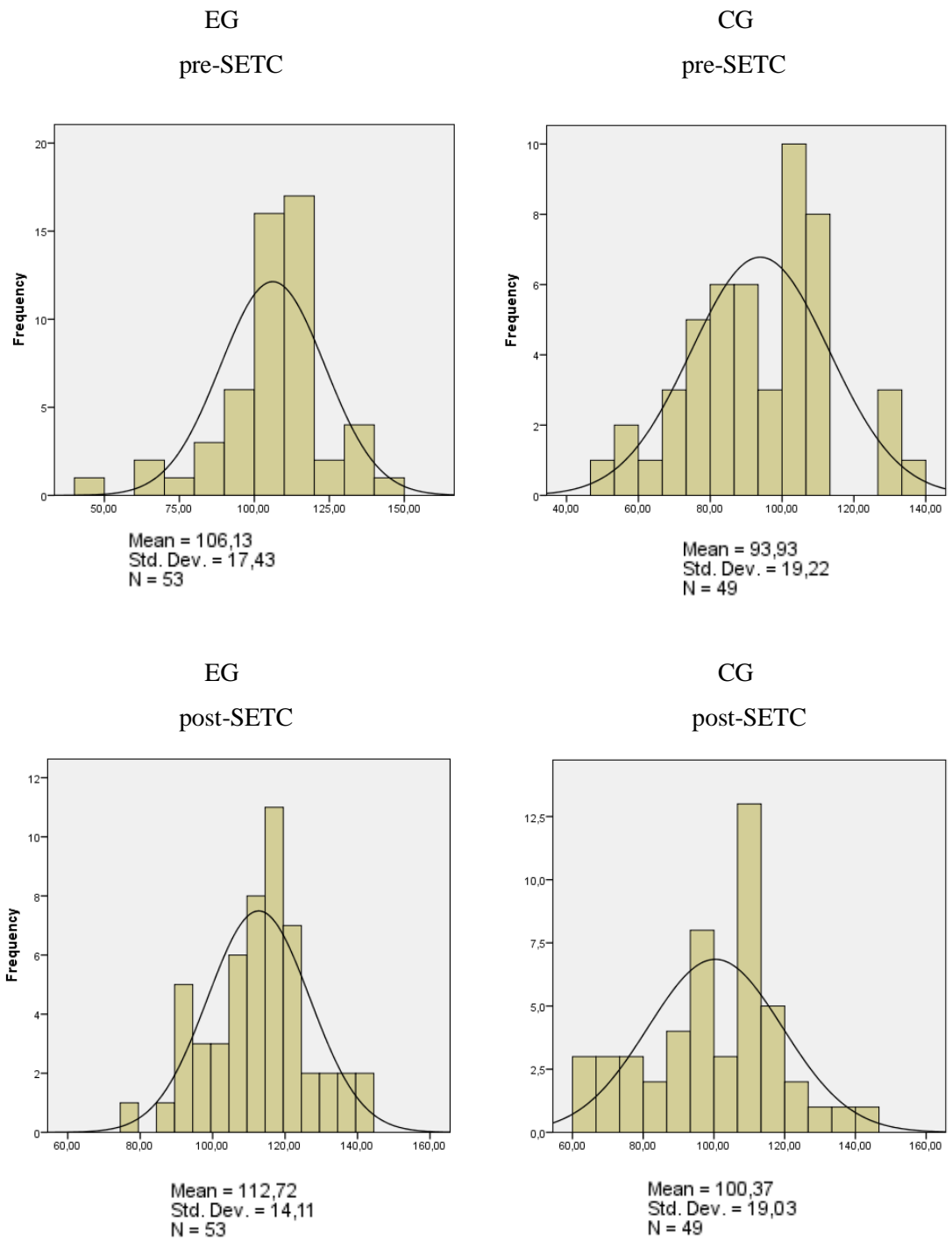


Figure 4.2 Histograms with normal curve for the pre-SETC and post-SETC scores in terms of groups

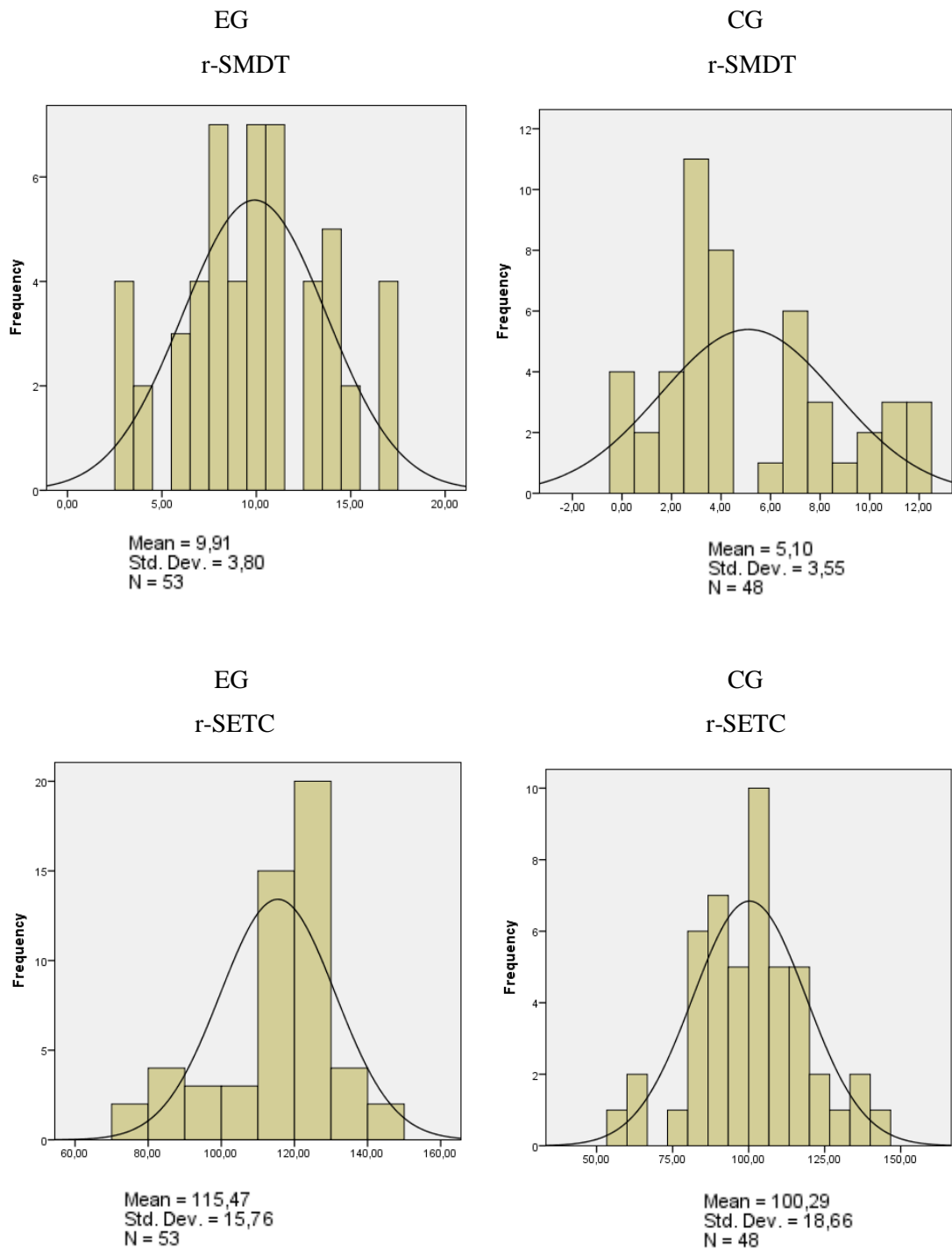
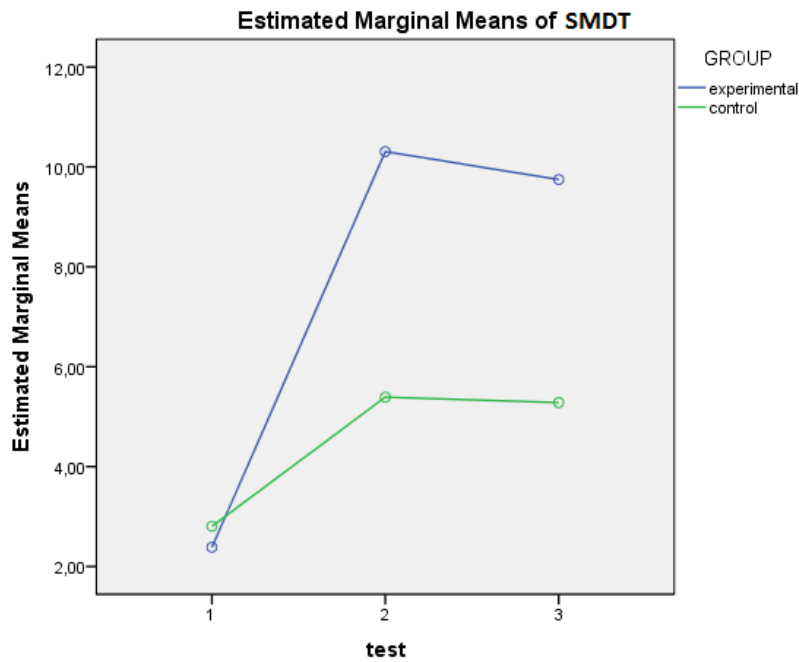


Figure 4.3 Histograms with normal curve for the r-SMDT and r-SETC scores in terms of groups

The mean values of the SMDT in terms of three administrations (pretest, posttest, and retention-test) were plotted (see Figure 4.4). The following figure illustrates that at the beginning of the study, the mean values of the pre-SMDT scores were close to each other for

the experimental and control groups. After the treatment, the mean values of the post-SMDT and r-SMDT scores were different from each other for the experimental and control groups. The mean values of the post-SMDT and r-SMDT scores for the experimental group were almost two times the mean values of the post-SMDT and r-SMDT scores for the control group.



Covariates appearing in the model are evaluated at the following values: PRESETC = 100,42

Figure 4.4 Profile plot for the mean values of the SMDT in terms of three administrations

Gain scores and effect sizes were also calculated based on the differences in the mean values between the EG and CG for the SMDT and SETC scores in terms of three administrations. Table 4.2 shows the gain scores and effect sizes for the SMDT and SETC scores in terms of groups.

Table 4.2 The gain scores and effect sizes for the SMDT and SETC scores in terms of groups

Tests	Groups	Gain Scores (posttest-pretest or retentiontest-pretest)	Effect Sizes (Gain Score/ $SD_{pretest}$ )
SMDT (posttest-pretest)	EG	7.92	3.68
	CG	2.59	1.21
SMDT (retentiontest-pretest)	EG	7.32	3.41
	CG	2.49	1.16
	CG	6.36	0.33

Table 4.2 (continued)

Tests	Groups	Gain Scores (posttest-pretest or retentiontest-pretest)	Effect Sizes (Gain Score/ $SD_{\text{pretest}}$ )
SETC (posttest-pretest)	EG	6.59	0.38
	CG	6.44	0.34
SETC (retentiontest-pretest)	EG	9.34	0.54

Table 4.2 demonstrates that the big increase in the mean values for the SMDT and SETC scores are observed in the EGs. Cohen (1992) suggested that effect size of .20 is small, .50 is medium, and .80 is large. According to this criteria, the SMDT scores for the EG and CG indicate large effect sizes and the SETC scores for the EG and CG show medium effect sizes.

## 4.2 Inferential Statistics

In this section, first, how the covariates were determined is explained. Next, the assumptions of MANCOVA and the results of MANCOVA are presented.

### 4.2.1 Determination of Covariates

In this study, the independent variables of the pre-SMDT and pre-SETC scores are the potential variables to be used as covariates in order to eliminate systematic bias and reduce error variance. According to Stevens (2009), even the groups do not differ significantly on their scores of pretest, the pretest scores should still be used as a covariate in order to reduce the error variance. In this study, it was found that there was no significant mean difference between the EG and CG students' pre-SMDT scores ( $t(100) = -.06, p = .95$ ), while there is a significant mean difference between the EG and CG students' pre-SETC scores ( $t(100) = 3.36, p = .00$ ). However, both variables were considered as covariates to reduce systematic bias and error variance. There are also criteria in selecting covariates (Pallant, 2001; Stevens, 2009). These criteria were considered in the determination of covariates. Covariates should be continuous variables, should have a significant correlation with the dependent variable, and the correlations between the covariates should be below .80 since overlapping covariates remove the same error variance (Pallant, 2001; Stevens, 2009). The independent variables of the pre-SMDT and pre-SETC scores are continuous variables. Table 4.3 shows the correlations between the covariates and the dependent variables (post-SMDT and post-SETC scores). Table 4.3 demonstrates that the correlation between the



covariates is low ( $r = .28$ ). Also, the covariates are significantly correlated with the dependent variables.

Table 4.3 The correlations between the covariates and the dependent variables of the post-SMDT and post-SETC scores

		pre-SETC	post-SETC	pre-SMDT	post-SMDT
pre-SETC	Pearson Correlation	1	.68*	.28*	.34*
	Sig. (2-tailed)		.00	.01	.00
	N	102	102	102	102
post-SETC	Pearson Correlation	.68*	1	.24*	.45*
	Sig. (2-tailed)	.00		.02	.00
	N	102	102	102	102
pre-SMDT	Pearson Correlation	.28*	.24*	1	.31*
	Sig. (2-tailed)	.01	.02		.00
	N	102	102	102	102
post-SMDT	Pearson Correlation	.34*	.45*	.31*	1
	Sig. (2-tailed)	.00	.00	.00	
	N	102	102	102	102

\*Correlation is significant at the .05 level.

For the retention-tests, the correlations between the covariates (pre-SMDT and pre-SETC scores) the dependent variables (r-SMDT and r-SETC scores) were also checked. Table 4.4 demonstrates that the correlation between the covariates is low ( $r = .28$ ). Also, the covariates are significantly correlated with the dependent variables.

Table 4.4 The correlations between the covariates and the dependent variables of the r-SMDT and r-SETC scores

		pre-SETC	pre-SMDT	r-SMDT	r-SETC
pre-SETC	Pearson Correlation	1	.28*	.28*	.63*
	Sig. (2-tailed)		.00	.00	.00
	N	101	101	101	101
pre-SMDT	Pearson Correlation	.28*	1	.34*	.20*
	Sig. (2-tailed)	.00		.00	.04
	N	101	101	101	101
r-SMDT	Pearson Correlation	.28*	.34*	1	.42*
	Sig. (2-tailed)	.00	.00		.00
	N	101	101	101	101
r-SETC	Pearson Correlation	.63*	.20*	.42*	1
	Sig. (2-tailed)	.00	.04	.00	
	N	101	101	101	101

\*Correlation is significant at the .05 level.

#### 4.2.2 Assumptions of MANCOVA

As mentioned in section 3.9.1, MANCOVA has five assumptions: normality, homogeneity of regression, homogeneity of variance-covariance matrices, multicollinearity, and independency of observations (Stevens, 2009).

Normality Assumption: Both univariate normality and multivariate normality were checked and it was found that normality assumption was met. Univariate normality was detected by using graphical and non-graphical methods (Stevens, 2009). Histograms with normal curves used as a graphical method (see section 4.1). As seen from the Figures 4.1, 4.2, and 4.3, histograms with normal curve for the pre-SMDT, pre-SETC, post-SMDT, post-SETC, r-SMDT, and r-SETC scores in terms of groups show the normal distribution. Skewness and kurtosis values and Kolmogorov-Smirnov test were used as non-graphical methods in order to check univariate normality. According to George and Mallery (2001), skewness and kurtosis values between +2 and -2 are acceptable for the normality of the distribution. As mentioned in section 4.1, all skewness and kurtosis values for the pre-SMDT, pre-SETC, post-SMDT, post-SETC, r-SMDT, and r-SETC scores in terms of groups are between +2 and -2 (see Table 4.1). When Kolmogorov-Smirnov test as non-graphical test was examined for univariate normality in each case at the .05 significance level, it was found that the normality assumption was met except the r-SETC for the experimental group and the r-SMDT for the control group since the variables were significant ( $p < .05$ ). Tables 4.5 and 4.6 show the Kolmogorov-Smirnov test for the pre-SMDT, pre-SETC, post-SMDT, post-SETC, r-SMDT, and r-SETC scores.

Table 4.5 Kolmogorov-Smirnov test for the experimental group

	pre-SETC	post-SETC	pre-SMDT	post-SMDT	r-SETC	r-SMDT
N	53	53	53	53	53	53
Mean	106.13	112.72	2.59	10.51	115.47	9.91
SD	17.43	14.12	2.15	3.15	15.76	3.80
Kolmogorov-Smirnov Z	1.15	.54	1.34	.99	1.45	.76
Asymp. Sig. (2-tailed)	.14	.93	.06	.28	.03	.62

Table 4.6 Kolmogorov-Smirnov test for the control group

	pre-SETC	post-SETC	pre-SMDT	post-SMDT	r-SETC	r-SMDT
N	49	49	49	49	48	48
Mean	93.93	100.37	2.61	5.20	100.29	5.10
SD	19.22	19.03	2.14	3.63	18.66	3.55

Table 4.6 (continued)

	pre-SETC	post-SETC	pre-SMDT	post-SMDT	r-SETC	r-SMDT
Kolmogorov-Smirnov Z	.64	.74	1.28	.95	.38	1.57
Asymp. Sig. (2-tailed)	.81	.65	.08	.32	1.00	.02

Multivariate normality was detected with Mahalanobis distances (see Table 4.7). The maximum value of Mahalanobis distance was compared with the critical value for the two dependent variables of this study. Pallant (2001) presented a table of critical value for evaluating Mahalanobis distance values based on the number of dependent variables ( $p = .221$ ). If the maximum value of Mahalanobis distance is less than the critical value, there are no considerable multivariate outliers. In this study, the maximum value of the Mahalanobis distance was 8.16 for the dependent variables of the post-SMDT and post-SETC scores. The critical value for the two dependent variables is 13.82. Therefore, it could be supposed that there are no substantial multivariate outliers in this study.

Table 4.7 Mahalanobis distance

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	4.65	88.53	51.50	19.03	102
Std. Predicted Value	-2.46	1.95	.00	1.00	102
Standard Error of Predicted Value	2.30	6.89	3.75	1.15	102
Adjusted Predicted Value	3.53	89.12	51.44	19.16	102
Residual	-47.13	60.32	.00	22.66	102
Std. Residual	-2.06	2.64	.00	.99	102
Stud. Residual	-2.08	2.69	.00	1.01	102
Deleted Residual	-48.04	62.71	.06	23.35	102
Stud. Deleted Residual	-2.12	2.78	.00	1.01	102
Mahal. Distance	.03	8.16	1.98	1.91	102
Cook's Distance	.00	.14	.01	.02	102
Centered Leverage Value	.00	.08	.02	.02	102

For the retention-tests, Mahalanobis distance was also checked for the dependent variables of the r-SMDT and r-SETC scores and it was found that there were no multivariate outliers- the maximum value of the Mahalanobis distance was 9.31 which is less than the aforementioned critical value.

Homogeneity of Regression Assumption: As mentioned in section 3.9.1, since there were two covariates in this study, this assumption was named as “parallelism of the regression planes”. The violation from this assumption means that there is a covariate by treatment interaction (Stevens, 2009). This assumption was checked by using Multivariate

Regression Correlation (MRC). MRC was conducted for the dependent variables of the posttest scores (post-SMDT and post-SETC scores) and for the dependent variables of the retention-test scores (r-SMDT and r-SETC scores). The pre-SMDT and pre-SETC scores were the covariates of the study. The path for conducting this analysis on SPSS is: Analyze-Regression-Linear. In the “dependent” box, one of the dependent variables was entered. In the “independent” box, the following three sets were entered successively by using “next” button:

Set A: covariates (pre-SMDT, pre-SETC)

Set B: group (TM)

Set C: group\*pre-SMDT, group\*pre-SETC

Set A was the covariates of the study and Set B was the group membership. Set C was obtained by multiplying Set A with Set B. The “method” box was left as “enter”. Lastly  $R^2$  change was selected from the “statistics” button. In order to meet this assumption,  $R^2$  change should not be significant for the dependent variables which shows there is no interaction between the covariates and group membership for the related dependent variable. The results of the analyses showed that homogeneity of regression assumption was met for all dependent variables since  $R^2$  change for the SET C (interaction variables) were not significant at the .05 significance level (see Tables 4.8, 4.9, 4.10, and 4.11).

Table 4.8 MRC analysis for the post-SMDT

Model	Change Statistics				
	R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
Set A	.16	9.72	2	99	.00
Set B	.32	61.03	1	98	.00
Set C	.01	.86	2	96	.43

Table 4.9 MRC analysis for the post-SETC

Model	Change Statistics				
	R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
Set A	.47	43.98	2	99	.00
Set B	.02	4.08	1	98	.05
Set C	.03	2.48	2	96	.09

Table 4.10 MRC analysis for the r-SMDT

Model	Change Statistics				
	R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
Set A	.15	8.74	2	98	.00
Set B	.26	43.70	1	97	.00
Set C	.00	.06	2	95	.94

Table 4.11 MRC analysis for the r-SETC

Model	Change Statistics				
	R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
Set A	.40	32.13	2	98	.00
Set B	.05	8.79	1	97	.00
Set C	.01	.68	2	95	.51

Homogeneity of Variance-Covariance Matrices Assumption: In order to test the homogeneity of variance assumption, Levene's Test of Equality of Error Variances was used. George and Mallery (2001) stated that "this test examines the assumption that the variance of each dependent variable is the same as the variance of all other dependent variables" (p. 289). If the assumption of homogeneity of variance is met, the result of Levene's test should be non-significant. Levene's test was checked for the dependent variables and it was found that homogeneity of variance assumption was met. Table 4.12 shows the Levene's Test of Equality of Error Variances for the dependent variables of the post-SMDT and post-SETC scores. Table 4.13 demonstrates the result of Levene's test for the dependent variables of the r-SMDT and r-SETC scores.

Table 4.12 Levene's test of equality of error variances for the dependent variables of the post-SMDT and post-SETC scores

	F	df1	df2	Sig.
post-SETC	.20	1	100	.66
post-SMDT	.87	1	100	.35

Table 4.13 Levene's test of equality of error variances for the dependent variables of the r-SMDT and r-SETC scores

	F	df1	df2	Sig.
post-SETC	1.50	1	99	.22
post-SMDT	.09	1	99	.77

Homogeneity of covariance matrices was checked through the Box's Test of Equality of Covariance Matrices. According to Pallant (2001), "if the Sig. value is larger than .001, then you have not violated the assumption" (p. 228). Tables 4.14 and 4.15 show the Box's test for the dependent variables of the post-SMDT-post-SETC scores and the r-SMDT-r-SETC scores, respectively. The following tables demonstrate that the homogeneity of covariance matrices assumption was met for the dependent variables since the significance values were greater than .001.

Table 4.14 Box's test of equality of covariance matrices for the dependent variables of the post-SMDT and post-SETC scores

Box's M	11.10
F	3.62
df1	3
df2	2253011.40
Sig.	.01

Table 4.15 Box's test of equality of covariance matrices for the dependent variables of the r-SMDT and r-SETC scores

Box's M	8.31
F	2.71
df1	3
df2	2598429.98
Sig.	.04

Multicollinearity: Pallant (2001) stated that MANCOVA works best "when the dependent variables are only moderately correlated" and she added that "when the dependent variables are highly correlated this is referred to as multicollinearity" (p. 225). Also, Stevens (2009) indicated that if there are high correlations among the independent variables, multicollinearity occurs (p. 75). As seen from the Table 4.16, it was found that the dependent variables of the post-SMDT and post-SETC scores are moderately correlated ( $r = .45$ ) and the correlation between the dependent variables of the r-SMDT and r-SETC scores are moderate ( $r = .42$ ). Also, it was found that all the correlations among covariates are below .80 (see the Tables 4.3 and 4.4). Therefore, there was no multicollinearity problem for this study.

Table 4.16 The correlations between the dependent variables of the post-SMDT and post-SETC scores/r-SMDT and r-SETC scores

		post-SMDT
post-SETC	Pearson Correlation	.45*
	Sig. (2-tailed)	.00
	N	102
		r-SMDT
r-SETC	Pearson Correlation	.42*
	Sig. (2-tailed)	.00
	N	101

Independency of observations: It is very serious if any violation occurs from this assumption. Stevens (2009) indicated that “just a small amount of dependence among the observations causes the actual  $\alpha$  to be several times greater than the level of significance” (p. 219). In this study, the researcher was always present during the administration of tests and ensured that all the participants completed the tests by themselves. Therefore, it could be said that the independence of observation assumption was met.

#### 4.2.3 Results of MANCOVA

After all MANCOVA assumptions were met, two separate MANCOVAs were conducted to answer the following research questions of the study:

- What is the effect of the MTI compared to the TI on 10th grade students' understanding of states of matter concepts and their self-efficacy toward chemistry when the effects of the pre-SMDT scores and pre-SETC scores are controlled at the central district of Nevşehir?
- What is the effect of the MTI compared to the TI on 10th grade students' durability of states of matter concepts and their durability of self-efficacy toward chemistry when the effects of the pre-SMDT scores and pre-SETC scores are controlled at the central district of Nevşehir?

First, the MANCOVA results for the first research question of the study are presented based on three null hypotheses. The post-SMDT and post-SETC were the DVs. The IVs of the study were the TM, pre-SMDT, and pre-SETC. The TM was the fixed factor and the pre-SMDT and pre-SETC were the covariates. Next, the MANCOVA results for the second research question are presented based on three null hypotheses. Here, the r-SMDT and r-SETC were the DVs. The fixed factor was the TM and the covariates were the pre-SMDT and pre-SETC. It should be noted that while doing the MANCOVA, the factorial structure of the SETC was not considered since the correlation between the dependent variables of the

post-CSCS and post-SCL was somehow high ( $r = .61$ ) and since the homogeneity of regression assumption was not met with these dependent variables.

#### 4.2.3.1 Null hypothesis 1

The first null hypothesis was “there is no significant difference between posttest mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of the collective dependent variables of the post-SMDT scores and the post-SETC scores when the effects of the pre-SMDT scores and the pre-SETC scores are controlled at the central district of Nevşehir”. Table 4.17 presents the results of the MANCOVA for the dependent variables of the post-SMDT and post-SETC scores.

Table 4.17 The results of MANCOVA for the dependent variables of the post-SMDT and post-SETC scores

Effect	Wilks' Lambda	F	Hypothesis df	Error df	Sig.	Partial	Observed Power
						Eta Squared	
Intercept	.67	23.42	2.00	97.00	.00	.33	1.00
pre-SETC	.61	30.43	2.00	97.00	.00	.39	1.00
pre-SMDT	.87	7.47	2.00	97.00	.00	.13	.94
GROUP	.62	30.21	2.00	97.00	.00	.38	1.00

It was found that there was a significant difference between posttest mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of the collective dependent variables of the post-SMDT scores and the post-SETC scores when the effects of the pre-SMDT scores and the pre-SETC scores were controlled (Wilks'  $\lambda = .62$ ,  $F(2, 97) = 30.21$ ,  $p = .00$ ) in favor of the experimental group. Cohen (as cited in Pallant, 2001) suggested the following guidelines for the eta squared values: .01 = small effect, .06 = medium effect, and .14 = large effect. It should be noted that SPSS reported partial eta squared values which is different from the classical eta squared values. However, in this study, it was assumed that both values were the same. Table 4.17 shows that the partial eta squared value is .38. According to the guidelines proposed by Cohen (as cited in Pallant, 2001), this value indicates a very large effect size. That is, 38% of the total variance in the dependent variables could be attributed to the TM. Since the preset effect size was medium, it was said that this study had a practical significance. Table 4.17 also demonstrates that the observed power of the study is 1.00 which is greater than the pre-calculated power.



#### 4.2.3.2 Null hypothesis 2

The second null hypothesis was “there is no significant difference between posttest mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of the post-SMDT scores when the effects of the pre-SMDT scores and the pre-SETC scores are controlled at the central district of Nevşehir”. In order to determine the effect of the TM on each dependent variable, an analysis of covariance (ANCOVA) was performed as follow-up tests to the MANCOVA. Table 4.18 presents the results of the follow-up ANCOVAs for the dependent variables of the post-SMDT and post-SETC scores. While interpreting the results of follow-up ANCOVAs, Bonferroni adjustment is made. In order to reduce the Type I error rate, original alpha level is divided by the number of dependent variables and this is named Bonferroni adjustment (Tabachnick & Fidell, 2007). In this study, since there are two dependent variables, new alpha level is .025.

Table 4.18 The results of the follow-up ANCOVAs the dependent variables of the post-SMDT and post-SETC scores

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Observed Power
Corrected Model	post-SETC	15538.60	3	5179.53	31.59	.00	.49	1.00
	post-SMDT	905.74	3	301.91	30.75	.00	.49	1.00
Intercept	post-SETC	7534.11	1	7534.11	45.95	.00	.32	1.00
	post-SMDT	76.57	1	76.57	7.80	.06	.07	.79
pre-SETC	post-SETC	9875.58	1	9875.58	60.23	.00	.38	1.00
	post-SMDT	6.36	1	6.36	.65	.42	.01	.13
pre-SMDT	post-SETC	121.55	1	121.55	.74	.40	.01	.14
	post-SMDT	148.16	1	148.16	15.09	.00	.13	.97
GROUP	post-SETC	668.11	1	668.11	4.08	.046	.04	.52
	post-SMDT	599.21	1	599.21	61.04	.00	.38	1.00
Error	post-SETC	16069.07	98	163.97				
	post-SMDT	962.11	98	9.82				
Total	post-SETC	1194748.	102					
			94					
	post-SMDT	8332.00	102					
Corrected Total	post-SETC	31607.67	101					
	post-SMDT	1867.84	101					

Table 4.18 shows that null hypothesis was rejected ( $F(1, 98) = 61.04, p = .00$ ) in favor of the experimental group. The partial eta squared value is .38. According to the guidelines proposed by Cohen (as cited in Pallant, 2001), this value indicates a very large effect size. That is, 38% of the total variance in the dependent variable of the post-SMDT scores could be attributed to the TM. Table 4.18 also demonstrates that the observed power of the study is 1.00 which is greater than the pre-calculated power.

#### 4.2.3.3 Null hypothesis 3

The third null hypothesis was “there is no significant difference between posttest mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of the post-SETC scores when the effects of the pre-SMDT scores and the pre-SETC scores are controlled at the central district of Nevşehir”. This hypothesis was not rejected ( $F(1, 98) = 4.08, p = .046$ ) at the new alpha level of .025. The effect size value is small (partial eta squared = .04) which means that only 4% of the total variance in the dependent variable of the post-SETC scores could be attributed to the TM. Also, the observed power of the study is .52 which is lower than the pre-calculated power.

#### 4.2.3.4 Null hypothesis 4

The fourth null hypothesis was “there is no significant difference between retention-test mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of the collective dependent variables of the r-SMDT and r-SETC scores when the effects of the pre-SMDT scores and the pre-SETC scores are controlled at the central district of Nevşehir”. Table 4.19 presents the results of the MANCOVA for the dependent variables of the r-SMDT and r-SETC scores.

Table 4.19 The results of MANCOVA for the dependent variables of the r-SMDT and r-SETC scores

Effect	Wilks' Lambda	F	Hypothesis df	Error df	Sig.	Partial Eta Squared	Observed Power
Intercept	.67	24.15	2.00	96.00	.00	.34	1.00
pre-SETC	.69	21.62	2.00	96.00	.00	.31	1.00
pre-SMDT	.85	8.23	2.00	96.00	.00	.15	.96
GROUP	.68	22.92	2.00	96.00	.00	.32	1.00

It was found that there was a significant difference between retention-test mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of the collective dependent variables of the r-SMDT and r-SETC scores when the effects of the pre-SMDT scores and the pre-SETC scores were controlled (Wilks'  $\lambda = .68, F(2, 96) = 22.92, p = .00$ ) in favor of the experimental group. Table 4.19 demonstrates that the partial eta squared value is .32. According to the guidelines proposed by Cohen (as cited in Pallant, 2001), this value indicates a very large effect size. That is, 32% of the total variance in the dependent variables could be attributed to the TM.

Since the preset effect size was medium, it was said that this study had a practical significance. Table 4.19 also shows that the observed power of the study is 1.00 which is greater than the pre-calculated power.

#### 4.2.3.5 Null hypothesis 5

The fifth null hypothesis was “there is no significant difference between retention-test mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of the r-SMDT scores when the effects of the pre-SMDT scores and the pre-SETC scores are controlled at the central district of Nevşehir”. In order to determine the effect of the TM on each dependent variable, ANCOVA was performed as follow-up tests to the MANCOVA. Table 4.20 presents the results of the follow-up ANCOVAs for the dependent variables of the r-SMDT and r-SETC scores. As indicated above, new alpha level (.025) is used for the interpretation of the follow-up ANCOVAs.

Table 4.20 The results of the follow-up ANCOVAs the dependent variables of the r-SMDT and r-SETC scores

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Observed Power
Corrected Model	r-SETC	15647.80	3	5215.93	26.05	.00	.45	1.00
	r-SMDT	799.04	3	266.35	22.93	.00	.42	1.00
Intercept	r-SETC	9380.25	1	9380.25	46.85	.00	.33	1.00
	r-SMDT	90.93	1	90.93	7.83	.01	.08	.79
pre-SETC	r-SETC	8476.06	1	8476.06	42.33	.00	.30	1.00
	r-SMDT	.56	1	.56	.05	.83	.00	.06
pre-SMDT	r-SETC	60.20	1	60.20	.30	.59	.00	.08
	r-SMDT	192.04	1	192.04	16.53	.00	.15	.98
GROUP	r-SETC	1759.47	1	1759.47	8.79	.00	.08	.84
	r-SMDT	507.57	1	507.57	43.70	.00	.31	1.00
Error	r-SETC	19422.89	97	200.24				
	r-SMDT	1126,666	97	11.62				
Total	r-SETC	1218656.48	101					
	r-SMDT	7796.00	101					
Corrected Total	r-SETC	35070.69	100					
	r-SMDT	1925.70	100					

Table 4.20 shows that null hypothesis was rejected ( $F(1, 97) = 43.70, p = .00$ ) in favor of the experimental group. The partial eta squared value is .31. According to the guidelines proposed by Cohen (as cited in Pallant, 2001), this value indicates a very large effect size. That is, 31% of the total variance in the dependent variable of the r-SMDT scores

could be attributed to the TM. Table 4.20 also demonstrates that the observed power of the study is 1.00 which is greater than the pre-calculated power.

#### 4.2.3.6 Null hypothesis 6

The sixth null hypothesis was “there is no significant difference between retention-test mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of the r-SETC scores when the effects of the pre-SMDT scores and the pre-SETC scores are controlled at the central district of Nevşehir”. This hypothesis was also rejected ( $F(1, 97) = 8.79, p = .00$ ) in favor of the experimental group at the new alpha level of .025. The effect size value is medium (partial eta squared = .08) which means that only 8% of the total variance in the dependent variable of the r-SETC scores could be attributed to the TM. Also, the observed power of the study is .84. It should be indicated that there was a noteworthy result in terms of the gain scores which was calculated by subtracting the mean values of the students’ pre-SETC scores from the mean values of the students’ the post-SETC or the r-SETC scores (see Table 4.2). It was found that the students’ gain scores calculated by subtracting the mean values of the students’ pre-SETC scores from the mean values of the students’ the post-SETC scores was 6.59, while the students’ gain scores calculated by subtracting the mean values of the students’ pre-SETC scores from the mean values of the students’ the r-SETC scores was 9.34. It seems that students were more efficacious eight weeks after the treatment. This result is discussed in Chapter 5.

### 4.3 Results of the Classroom Observation Checklist

In order to analyze the classroom observation checklist data, the scores given by the observers for each item were entered to the SPSS file using SPSS 18.0 for Windows program. As mentioned in section 3.4.5, observation checklist was coded based on four categories: yes, partially, no, and not applicable. “Not applicable”, “no”, “partially”, and “yes” were scored as 0, 1, 2, and 3, respectively. Table 4.21 presents the descriptive statistics of each item for the experimental and control group. Items related to the MTI and TI and have higher mean scores are shown as shaded in Table 4.21.

Table 4.21 Descriptive statistics of each item for the experimental and control group

	Experimental Group		Control Group	
	Mean	Std. Deviation	Mean	Std. Deviation
item1	1.29	1.50	.97	.17
item2	1.39	.80	3.00	.00

Table 4.21 (continued)

	Experimental Group		Control Group	
	Mean	Std. Deviation	Mean	Std. Deviation
item3	1.43	.71	2.92	.37
item4	2.55	.76	1.89	.32
item5	1.63	1.50	1.00	.00
item6	2.14	1.37	1.00	.00
item7	1.55	1.51	1.19	1.43
item8	2.82	.39	1.03	.17
item9	1.05	1.42	2.11	1.37
item10	1.34	1.47	1.22	1.46
item11	1.75	1.48	1.03	.29
item12	1.71	1.50	1.00	.24
item13	1.23	1.40	1.00	.00
item14	1.29	1.42	1.00	.00
item15	1.88	1.47	1.00	.00
item16	1.32	1.48	1.00	.00
item17	.32	.94	.00	.00
item18	1.66	1.48	1.00	.00
item19	1.48	1.45	1.00	.00

Table 4.21 shows that the mean scores of the items related to the MTI are higher in the experimental group than the control group. Also, the mean scores of the items related to the TI are higher in the control group than the experimental group. In order to understand whether the differences in the mean scores were significant, One-Way ANOVA was conducted. Table 4.22 presents One-Way ANOVA results for the items related to the MTI (items 1, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, and 19), TI (items 2 and 3), and both instructions (items 6, 9, and 10). In the Table 4.22, “Common” represents the items related to both instructions.

Table 4.22 One-Way ANOVA results for the items related to the MTI, TI, and Common

Dependent Variable	Mean		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Experimental	Control					
MTI	1.61	1.00					
Between Groups			7.83	1	7.83	17.13	.00
Within Groups			41.15	90	.46		
TI	1.41	2.96					
Between Groups			52.48	1	52.48	161.54	.00
Within Groups			29.24	90	.33		

Table 4.22 (continued)

Dependent Variable	Mean		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Experimental	Control					
Common	1.51	1.44					
Between Groups			.100	1	.100	.24	.63
Within Groups			37.55	90	.42		

Table 4.22 demonstrates that there are significant mean differences between the experimental and control groups on the dependent variables of the MTI and TI. Also, there is no significant mean difference between the experimental and control groups on the dependent variable of Common. Experimental group has higher mean score than the control group on the dependent variable of the MTI. Also, control group has higher mean score than the experimental group on the dependent variable of the TI. These results confirmed that the experimental and control group were instructed based on the MTI and TI, respectively. It should also be noted that the same results were obtained in terms of two Anatolian high schools (School A and School B). Table 4.23 and Table 4.24 show that that there are significant mean differences between the experimental and control groups on the dependent variables of the MTI and TI. In addition, there is no significant mean difference between the experimental and control groups on the dependent variable of Common.

Table 4.23 One-Way ANOVA results for the items related to the MTI, TI, and Common for School A

Dependent Variable	Mean		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Experimental	Control					
MTI	1.63	1.00					
Between Groups			5.01	1	5.01	13.47	.00
Within Groups			18.22	49	.37		
TI	1.32	2.95					
Between Groups			33.05	1	33.05	106.59	.00
Within Groups			15.19	49	.31		
Common	1.44	1.38					
Between Groups			.05	1	.05	.13	.72
Within Groups			18.58	49	.38		

Table 4.24 One-Way ANOVA results for the items related to the MTI, TI, and Common for School B

Dependent Variable	Mean		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Experimental	Control					
MTI	1.57	1.02					
	Between Groups		2.88	1	2.88	4.91	.03
	Within Groups		22.88	39	.59		
TI	1.52	2.97					
	Between Groups		19.93	1	19.93	57.68	.00
	Within Groups		13.47	39	.35		
Common	1.59	1.53					
	Between Groups		.03	1	.05	.13	.72
	Within Groups		18.47	49	.38		

As mentioned before, four lessons in the experimental group and three lessons in the control group were observed by two researchers and the correlations between two researchers were calculated. According to the “Rule of Thumb for Interpreting the Size of a Correlation Coefficient” (Hinkle et al., 1988) there is a high and positive correlation between researchers’ scoring of items as shown in Table 4.25. In Table 4.25, “A” and “B” represent the schools. Also, “E” and “C” represent the experimental and control group, respectively. In line with these results, it can be concluded that treatment verification is provided.

Table 4.25 The correlations between observers

Lessons	A_E1	A_E2	A_E3	A_C1	A_C2	B_E1	B_C1
r	.86	.95	.99	.84	.97	1.00	.95

#### 4.4 The Percentages of Alternative Conceptions for the pre-SMDT, post-SMDT, and r-SMDT Scores

The percentages of alternative conceptions decreased from one-tier to three-tier scores for both experimental and control groups in terms of the three administrations (pre-test, post-test, and retention-test). Also, the decrease in the average percentages of alternative conceptions from the pre-SMDT scores to the post-SMDT or to the r-SMDT scores was more in the experimental group compared to the control group.

Table 4.26 The percentages of alternative conceptions for one-tier, two-tier, and three-tier scores of the pre-SMDT

Alternative Conceptions (AC)	Percentages of Alternative Conceptions for the EG		
	AC one-tier	AC two-tier	AC three-tier
AC1	51	14	8
AC 2	79	26	18
AC 3	48	19	11
AC 4	39	3	2
AC 5	10	6	3
AC 6	40	21	13
AC 7	56	32	18
AC 8	27	6	2
AC 9	41	15	9
AC 10	31	7	2
AC 11	23	5	1
AC 12	49	15	5
AC 13	49	11	6
AC 14	48	22	18
AC 15	11	3	1
AC 16	50	14	8
AC 17	30	28	15
AC 18	43	38	18
AC 19	43	1	0
AC 20	37	17	9
Average	40	15	8
Alternative Conceptions (AC)	Percentages of Alternative Conceptions for the CG		
	AC one-tier	AC two-tier	AC three-tier
AC1	57	16	7
AC 2	76	29	18
AC 3	49	19	9
AC 4	40	2	0
AC 5	8	7	0
AC 6	39	18	4
AC 7	45	32	14
AC 8	37	8	1
AC 9	57	25	12
AC 10	36	4	1
AC 11	26	3	1
AC 12	43	14	9
AC 13	43	13	6
AC 14	46	14	6
AC 15	16	10	5
AC 16	57	31	15
AC 17	38	33	21
AC 18	44	39	16
AC 19	44	6	4
AC 20	36	16	7
Average	42	17	8



Table 4.27 The percentages of alternative conceptions for one-tier, two-tier, and three-tier scores of the post-SMDT

Alternative Conceptions (AC)	Percentages of Alternative Conceptions for the EG		
	AC one-tier	AC two-tier	AC three-tier
AC1	43	2	1
AC 2	98	15	14
AC 3	10	7	5
AC 4	15	0	0
AC 5	5	2	0
AC 6	15	9	6
AC 7	59	37	30
AC 8	35	3	3
AC 9	40	8	6
AC 10	33	1	0
AC 11	8	1	1
AC 12	2	0	0
AC 13	2	0	0
AC 14	15	7	7
AC 15	25	6	6
AC 16	44	9	5
AC 17	23	20	14
AC 18	33	26	14
AC 19	50	9	8
AC 20	33	15	9
Average	29	9	6
Alternative Conceptions (AC)	Percentages of Alternative Conceptions for the CG		
	AC one-tier	AC two-tier	AC three-tier
AC1	49	15	8
AC 2	85	32	20
AC 3	51	16	9
AC 4	24	1	1
AC 5	10	5	2
AC 6	20	14	8
AC 7	65	30	19
AC 8	40	14	9
AC 9	46	13	8
AC 10	37	5	3
AC 11	19	6	2
AC 12	24	5	2
AC 13	24	3	0
AC 14	40	15	10
AC 15	7	3	1
AC 16	66	30	20
AC 17	25	25	15
AC 18	45	40	19
AC 19	49	4	3
AC 20	36	17	9
Average	38	15	8

Table 4.28 The percentages of alternative conceptions for one-tier, two-tier, and three-tier scores of the r-SMDT

Alternative Conceptions (AC)	Percentages of Alternative Conceptions for the EG		
	AC one-tier	AC two-tier	AC three-tier
AC1	39	2	1
AC 2	89	18	17
AC 3	34	8	6
AC 4	10	0	0
AC 5	9	3	2
AC 6	9	6	4
AC 7	77	43	30
AC 8	35	6	5
AC 9	44	9	6
AC 10	36	4	3
AC 11	9	5	3
AC 12	9	4	3
AC 13	9	0	0
AC 14	21	10	8
AC 15	7	2	2
AC 16	46	12	10
AC 17	27	23	20
AC 18	35	30	19
AC 19	45	3	0
AC 20	26	11	9
Average	31	10	7
Alternative Conceptions (AC)	Percentages of Alternative Conceptions for the CG		
	AC one-tier	AC two-tier	AC three-tier
AC1	47	14	10
AC 2	80	41	37
AC 3	39	9	7
AC 4	27	2	1
AC 5	9	5	2
AC 6	25	13	2
AC 7	65	26	18
AC 8	35	17	9
AC 9	44	16	9
AC 10	32	5	2
AC 11	22	8	5
AC 12	22	4	3
AC 13	22	5	2
AC 14	31	10	8
AC 15	15	4	4
AC 16	56	31	24
AC 17	31	29	14
AC 18	43	33	21
AC 19	45	2	0
AC 20	34	15	9
Average	36	15	9

## 4.5 Results of the Qualitative Data Analysis

In this section, the results of the third and fourth research questions of the study are presented:

- What is the nature of the metaconceptual processes students who had several alternative conceptions and who had few alternative conceptions engage in during the MTI?
- What are the changes in students' alternative conceptions in relation to their conceptual understanding of states of matter after the MTI?

### 4.5.1 The Nature of the Metaconceptual Processes

In order to answer the third research question, post-interviews about concept learning, audio-recordings of group discussions, video-recordings of class discussions, and journal writings were used. As mentioned in section 3.2.1, there were three students selected for the case studies. In order to explore students' nature of metaconceptual processes during treatment, Esin and Sertan who had several alternative conceptions and who had few alternative conceptions, respectively, were selected. These two students (Sertan and Esin) were selected based on their pre-SMDT scores and the teachers' and researcher's observations. Esin and Bahar were the students who had several alternative conceptions. Esin was randomly selected between the students Esin and Bahar to investigate her nature of metaconceptual processes together with Sertan since it would be too loaded to give metaconceptual processes of all these three students as case studies (see section 3.1.2 and 3.9.2 for the details of the selection of the cases and data analysis).

Yuruk's (2005) metaconceptual categorization for metaconceptual processes, which are metaconceptual awareness, metaconceptual monitoring, and metaconceptual evaluation was used as a "start list of codes" (see section 3.9.2). Then, the following categories and subcategories were determined from the data:

1. Metaconceptual Awareness: In metaconceptual awareness, students make reference to their elements of conceptual ecology either they already had or currently possess. Metaconceptual activities such as poster drawing, journal writing, group discussion, and class discussion used in this study provided opportunity for students in order to make reference to their current or past ideas. Five subcategories were found in the data:
  - a. Metaconceptual awareness of aims of activities: Journal writing activities provided opportunity for students to be metaconceptually aware of their ideas related to the aims of activities. Students' written explanations about the aims of activities were characterized by this subcategory.

- b. Metaconceptual awareness of existing experience: Journal writing, group discussion, and class discussion activities helped students to engage in metaconceptual awareness of existing experience. When the students explained or made an emphasis on their existing experience, it was assumed that the students were metaconceptually aware of their existing experience.
  - c. Metaconceptual awareness of everyday applications of a topic: Students who explained the everyday applications of the related topic in their journal writing activities assumed to be metaconceptually aware of everyday applications of a topic.
  - d. Metaconceptual awareness of what you learned: Students were assumed to be metaconceptually aware of what they learned, when they wrote about what they learned related to the topic in their journals.
  - e. Metaconceptual awareness of what you did not know: When the students mentioned what they did not know in the past in their journals, they were assumed to be metaconceptually aware of what they did not know.
2. Metaconceptual Monitoring: Yuruk (2005) defined metaconceptual monitoring by stating that ““online” and “in the moment” processes that generate information about an ongoing cognitive activity, thinking process, or present cognitive state” (p. 284). When students encounter a new conception or ideas from other people/sources, they engage in metaconceptual monitoring. However, in metaconceptual awareness, students make reference to their current or past ideas. Metaconceptual monitoring has the following subcategories:
- a. Metaconceptual monitoring of understanding of an idea: When the students wrote or talked about their understanding of an idea that they newly encountered, they were assumed to be metaconceptually monitoring of their understanding of an idea. Journal writing and class discussion activities provided opportunity for students to engage in metaconceptual monitoring of understanding of an idea.
  - b. Metaconceptual monitoring the consistency between existing idea and ideas from other people/sources: The students engaged in metaconceptual monitoring the consistency between existing idea and ideas from other people/sources, when they compared the ideas from other people/sources with their current or past ideas as they came across a new conception. Journal writing, group discussion, and class discussion activities helped students to engage in metaconceptual monitoring the consistency between existing idea and ideas from other people/sources.
  - c. Metaconceptual monitoring the consistency between existing experience and new experience: Students who compared their existing experience with the experience

that they newly involved in engaged in this process. Class discussion activities provided opportunity for the students to metaconceptually monitor the consistency between existing experience and new experience.

- d. Metaconceptual monitoring change in ideas: Journal writing, group discussion, and class discussion activities helped the students to engage in metaconceptual monitoring change in ideas. The students engaged in this process talked about or wrote the change in their ideas.
3. Metaconceptual Evaluation: Yuruk (2005) explained metaconceptual evaluation by stating that “in an attempt to learn a new conception, learners evaluate conceptions by making judgmental decisions about their existing ideas or new conceptions” (p. 162). Metaconceptual evaluation differs from metaconceptual monitoring in that metaconceptual evaluation requires the comments on the plausibility and fruitfulness of past or new ideas/experiences. The following three subcategories were obtained from the data:
- a. Metaconceptual evaluation of existing idea: The students who made comments on the plausibility and fruitfulness of their current or past ideas were assumed to engage in metaconceptual evaluation of existing idea. Group discussions helped the students to involve in this process.
  - b. Metaconceptual evaluation of existing experience: When the students made comments on the plausibility and fruitfulness of their observations and/or experience they involved in, they engaged in this process. Group discussion and class discussion activities helped the students to engage in metaconceptual evaluation of existing experience.
  - c. Metaconceptual evaluation of ideas from other people/sources: During group discussion and class discussion activities, students evaluated the ideas from other people/sources and engaged in this process.

It should be emphasized that in order for students to have metaconceptual processes of monitoring and evaluation, they should be metaconceptually aware of their ideas, or in order for students to have the metaconceptual process of evaluation, they should be metaconceptually aware of and monitor their ideas (Yuruk, 2005). Two case studies, Esin and Sertan who had several alternative conceptions and who had few alternative conceptions, respectively, are presented below in detail based on the above categories and subcategories by giving examples from the topics including every metaconceptual activity. The examples of the topics are given from the lesson plans 1, 2, 3, 6, 7, 8, 12, 14, and 15. Here, the lesson plans with numbers are also used as the lessons such as Lesson 1, Lesson 2, etc. taught by



Table 4.29 (continued)

Sertan	LP* 1	LP 2	LP 3	LP 6	LP 7	LP 8	LP 12	LP 14	LP 15
<b>Metaconceptual Monitoring</b>									
a. Monitoring understanding of an idea			X	X					
b. Monitoring the consistency between existing idea and ideas from other people/sources		X	X		X	X	X	X	
c. Monitoring the consistency between existing experience and new experience				X					
d. Monitoring change in ideas						X		X	
<b>Metaconceptual Evaluation</b>									
a. Evaluation of existing idea								X	
b. Evaluation of existing experience	X								X
c. Evaluation of ideas from other people/sources	X	X	X	X	X	X	X	X	X

\*LP: Lesson Plan

The metaconceptual processes of Sertan shown in Table 4.29 are presented by giving excerpts from each lesson plan below.

#### 4.5.1.1.1 Metaconceptual awareness of Sertan

Sertan showed evidence for the four of five subcategories of metaconceptual awareness. In the following, these subcategories were explained by giving excerpts from each lesson plan presented in Table 4.29.

#### 4.5.1.1.1.1 Metaconceptual awareness of aims of activities of Sertan

Table 4.30 shows the excerpts from journal writings of Sertan for Lessons 1, 2, 3, 6, and 12 (see Appendix H for the lesson plans and all numbered journal writing activities). Sertan showed evidence for the metaconceptual awareness of aims of activities by his answers of the first question of the following journal writing activities in Table 4.30.

Table 4.30 Excerpts for metaconceptual awareness of aims of activities of Sertan

Lesson Plans	Quotations
Lesson Plan 1-Journal Writing Activity 1 Question 1: According to you, what was the aim of poster drawing activity?	The aim was to lean our knowledge related to the topics.
Lesson Plan 2-Journal Writing Activity 3 Question 1: What was the aim of the activity?	The aim was to understand that if the air is squeezed, its pressure increases.
Lesson Plan 3-Journal Writing Activity 5 Question 1: What was the aim of the activity?	The aim was to understand that air has mass.
Lesson Plan 6-Journal Writing Activity 13 Question 1: According to you, what were the aims of the activities?	To get us to comprehend the effects of the atmospheric pressure.
Lesson Plan 12- Journal Writing Activity 23 Question 1: According to you, what was the aim of poster drawing activity?	To learn our knowledge on the states of matter.

#### 4.5.1.1.1.2 Metaconceptual awareness of existing experience of Sertan

Sertan provided evidence for metaconceptual awareness of existing experience by answering the fourth question of the Journal Writing Activity 19 presented in Lesson Plan 8 (see Appendix H). The students were posed the following questions: “Were your predictions true? How did you make these predictions? Which factors for example which events from daily life affected you to make these predictions?” Sertan said that his predictions were true and he made these predictions by using the expansion of the balloon stayed for a long time in the sun which he experienced in everyday life. In the Journal Writing Activity 18, the students were asked questions to get their predictions on the activities they performed in the lesson. In this lesson, the students conducted two activities related to Charles’ Law. The first activity required students to predict the volumes of the balloon immersed in hot water and after that immersed in cold water. In the second activity, the students drew temperature-volume graph by using the data obtained from the volume of balloon immersed in water at



different temperatures. He predicted correctly that if the balloon was immersed in hot water, its volume would increase and if the balloon was immersed in cold water, its volume would decrease. He also drew the temperature-volume graph correctly. At the interview on concept learning (see Appendix C), Sertan also showed evidence for this metaconceptual process:

Researcher: When you are learning a new concept, how does your prior knowledge affect your learning?

Sertan: Of course, sometimes my prior knowledge affected my learning of a new concept positively; however, sometimes it affected negatively when there was incompatibility between them.

#### **4.5.1.1.3 Metaconceptual awareness of everyday applications of a topic of Sertan**

Sertan's answer to the second question of the Journal Writing Activity 19 presented in Lesson Plan 8 shows his awareness of everyday applications of the topic. The second question in journal writing 19 was "According to you, why do we learn Charles's Law? How does Charles's Law help you in everyday life?" He said that "I don't leave the football balls in the sun anymore".

#### **4.5.1.1.4 Metaconceptual awareness of what you learned of Sertan**

Sertan engaged in metaconceptual awareness of what you learned process by his answer to the first question of the Journal Writing Activity 27 and the Journal Writing Activity 29 presented in Lesson Plan 14 and Lesson Plan 15, respectively (see Appendix H). The question was "What did you learn from this lesson?" He answered that he learned the difference between boiling and evaporation and he also learned the concepts of boiling and evaporation.

#### **4.5.1.1.2 Metaconceptual monitoring of Sertan**

Sertan displayed evidence for his engagement in all the subcategories of metaconceptual monitoring (see Table 4.29). Exemplary excerpts are presented below for the subcategories of metaconceptual monitoring of Sertan.

##### **4.5.1.1.2.1 Metaconceptual monitoring understanding of an idea of Sertan**

Sertan provided evidence that he was metaconceptually monitoring understanding of an idea. In the Journal Writing Activity 5 presented in Lesson Plan 3 (see Appendix H), students were asked the following question: "Did you understand why the mass of the blown up balloon was greater? How did you know that you understood the concept?" Sertan said that if he was always ready to explain the concept that he learned, this means that he

understood the concept. He also gave the same answer for the fourth question in the Journal Writing Activity 13 presented in Lesson Plan 6.

#### **4.5.1.1.2.2 Metaconceptual monitoring the consistency between existing idea and ideas from other people/sources of Sertan**

Sertan provided evidence for this metaconceptual process in Lessons 2, 3, 7, 8, 12, and 14 by means of the metaconceptual activities which are journal writing, group discussion, and class discussion. In Lesson 2, the students conducted an activity entitled “How Can we Take Out a Tissue from a Cup Submerged in Water as Dry?” (see Appendix H). Before conducting this activity, the students were told that they would place a piece of tissue at the bottom of a glass and they would invert the glass into a cup of water. Then, the students’ predictions on the results of this activity were obtained by means of the Journal Writing Activity 2. After the students conducted the activity and made group discussion and class discussion, they were given the Journal Writing Activity 3. In the Journal Writing Activity 3, the fourth question was “Does any of your friends have an idea different from you during the group discussion and class discussion on the reasons of why we took out the tissue from the cup as dry?” Sertan answered that “Yes. For example, Burak said that the tissue stayed as dry and this depended on the type of the liquid. However, I told him that this situation didn’t depend on the type of the liquid. It depended on the amount of air squeezed”. This shows that Sertan was metaconceptually monitoring the consistency between his existing idea and ideas from other people/sources.

In Lesson 3, the students investigated whether air has mass (see Appendix H). First, the teachers introduced the activity. S/he said that she would attach the identical two balloons to the necks of a ruler by using threads and s/he would balance the ruler with a loop of thread at the middle. Then, the students were asked for the following question to write their predictions on their Journal Writing Activity 4: “If one of the balloons was removed, blown up, and replaced on the same place, did the balance change? Why?” After that, the teachers conducted the activity and lead group discussion and class discussion. At the end, the students were given the Journal Writing Activity 5. In the Journal Writing Activity 5, the fourth question was “While discussing your ideas about these activities as a group or as a class, did you notice any differences between your ideas and other classmates’ ideas? Was any idea that was different from your initial idea intelligible or plausible to you? Why?” Sertan showed another evidence for this metaconceptual process by stating that “Burak said that air didn’t have mass but this idea was not intelligible and plausible to me.”

Lesson 7 was related to Boyle's Law (see Appendix H). There were two activities to be completed for the students in this lesson. First activity was used to stimulate discussion of the pressure-volume relationship by explaining the phenomenon of the expanding marshmallow. While conducting this activity, the students did not discuss their ideas as a group. First, they wrote their ideas about why the marshmallow expanded when the plunger was pulled on and their ideas about the relationship between pressure and volume of a constant amount of a gas on their journals individually (Journal Writing Activity 14). After students' journals were collected by the teacher, the students implemented another activity as a group. In this activity, first, students positioned the plunger at the highest graduation. Then, they put the syringe's cap on to not to allow air to escape. After that, they put different weights on the plunger to record the resulting volumes. At the end, they were asked to plot their data on a pressure-volume graph as a group. However, as in the first activity, before the students implemented the second activity as a group, they were informed about procedure of the second activity and they were asked to write the answers of the questions related to the second activity on their journals individually (Journal Writing Activity 15). After journal writing, each group implemented the second activity. Then, each group drew their pressure-volume graph at constant temperature based on the data they obtained from the second activity. Also, each group discussed on the answers of their journal questions related to both activities. The teacher walked around between groups to facilitate discussions. After group discussion, the students presented their groups' ideas on both activities and journal questions to the whole class. Class discussions were recorded on digital video-recorder. During class discussion, the teacher tried to help students to access the scientific concepts. At the end of the lesson, the students were given the Journal Writing Activity 16. In class discussion, Sertan showed evidence for metaconceptual monitoring the consistency between existing idea and ideas from other people/sources. The following is the excerpt from class discussion. The parts related to this metaconceptual process are italicized.

Habibe: Teacher, I would like to say something. We said that pressure is inversely proportional to volume. When we leave a ball in the sun, its volume increases but the pressure is not low at sea level. How does this happen?

Teacher: Does anyone would like to answer of Habibe's question?

Sertan: Irrelevant.

Habibe: In addition, pressure is high at sea level.

Teacher: Habibe, did you mean that the pressure of the blown up balloon is high?

Sertan: *Teacher, she told two different situations.*

Kamer: She said at the sea level and when we leave the balloon in the sun.

Habibe: You didn't understand me. Now, is the weather cold at the top of Mount Agri? It is cold. I mean that as the altitude increases, coldness increases. Isn't the weather hotter at sea level? Where does the volume of the balloon get bigger, at the

top of Mount Agri or at sea level? Of course, at sea level because the temperature is high there. Also, the pressure is high. Then, the volume is increasing.

Teacher: So do you mean that the pressure is directly proportional to volume?

Habibe: Yes. According to me it is directly proportional.

Sertan: *Teacher, Habibe confused lots of things to each other...*

Teacher: ... Where is the pressure higher, at sea level or at the top of Mount Agri...

Kamer: (This question was asked to Habibe but Kamer answered it.) As the altitude increases, the mass of air above an object also increases. Pressure is the amount of force applied per unit of area. The amount of air is more and thus the amount of force applied per unit of area is more. Therefore, the pressure increases.

Sertan: *Kamer is right teacher.*

In Lesson 8, the students performed two activities as a group related to Charles' Law (see Appendix H). In the first activity, the students stretched a balloon over the mouth of a bottle. First, they immersed the bottle with balloon into hot water for a while and then into cold water for a while and they observed. In the second activity, the students blew up a balloon and measured its circumference by means of a string at the room temperature. After that, they submerged the balloon into ice water for three minutes and then they submerged it into hot water for three minutes and they measured the circumferences of the balloon and the temperatures of water in two situations. Next, the students drew temperature-volume graph as a group. Before the students performed these activities, they were requested to complete the Journal Writing Activities 17 and 18. After that, they conducted the activities and made group discussion on their observations and ideas related to Journal Writing Activities. At the end, they conducted whole class discussion and they were given the Journal Writing Activity 19. In group discussion, Sertan engaged in metaconceptual process of monitoring the consistency between existing idea and ideas from other people/sources as indicated in the below excerpt in italic. Students discussed the answers of the questions on their group discussion worksheet (see Appendix G) during group discussion. In the third question, the students were requested to draw the distribution of the particles in the bottle with a balloon at three temperatures. Sertan drew Figure 4.5 which is scientifically false for the third question.

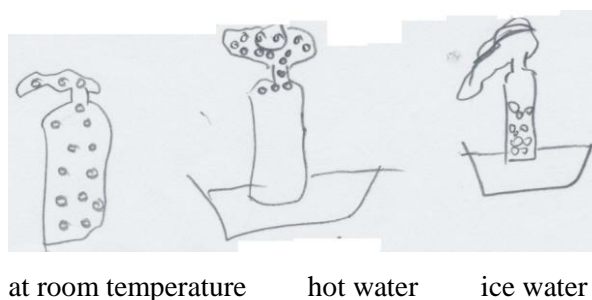


Figure 4.5 Sertan's drawing of the distribution of the particles in the bottle with a balloon at three temperatures

Nurgul: Sertan, why did you not draw the particles at below for the hot water [Nurgul means that the bottle with balloon immersed into hot water by saying “hot water”]? If all the particles were at the top, how the balloon inflated in the hot water?

Sule: I think all of the particles are not going to the balloon; some of them should stay in the bottle.

Sertan: *You are wrong. The distance between the particles is not increasing.*

In Lesson 12, the students prepared the poster related to states of matter (see Appendix H). First, the students wrote their answers for the questions in the Journal Writing Activity 22 individually and then they made group discussion for these questions. The following excerpt was taken from the group discussion which shows evidence that Sertan engaged in metaconceptual process of monitoring the consistency between existing idea and ideas from other people/sources:

Burcay: What is the difference between boiling and evaporation? The difference between boiling and evaporation is that evaporation occurs at the surface of liquid and at every temperature; however, boiling occurs at a specific temperature and during boiling bubbles come out.

Tugce: I agree with Burcay. They shouldn't be confused to each other. Evaporation occurs at every temperature and at the surface of the liquid. But boiling occurs at a specific temperature and bubbles come out at everywhere of the liquid.

Sertan: *I agree with Tugce.*

Lesson 14 was related to evaporation and condensation (see Appendix H). First, the students were distributed the Journal Writing Activity 26. After the students wrote their ideas individually for the questions in the Journal Writing Activity 26, they started group discussion. Sertan displayed evidence that he was able to monitor the consistency between his existing idea and ideas from other people/sources while discussing on the fifth question of the group discussion worksheet:

Tugce: The question is: There is an open plastic bottle half-filled with water at 5 °C. If this bottle were left for several days, what would happen to the level of water in the bottle? I think because evaporation occurs at every temperature, the level of water will decrease.

Sertan: *I agree with Tugce.*

After group discussion, the students made class discussion and at the end of the lesson, they were given the Journal Writing Activity 27. Sertan engaged in the metaconceptual process of monitoring the consistency between existing idea and ideas from other people/sources while answering the third question of the Journal Writing Activity 27 which is asking whether any of her or his friends have idea different than him or her at class discussion. Sertan stated that “one of my friends, Habibe had different idea but we as all class didn't agree with Habibe and our idea was correct and plausible”.

#### 4.5.1.1.2.3 Metaconceptual monitoring the consistency between existing experience and new experience of Sertan

Sertan displayed evidence for this monitoring process in class discussion related to Lesson 6 (see Appendix H). Lesson 6 was related to atmospheric pressure. There were two activities in this lesson. In the first activity, the students blew up a balloon and at the same time they held a glass whose opening face the balloon. They observed that the glass adhere to the balloon. Before group and class discussion, the students were given the Journal Writing Activity 11 including the following question: “Why did the glass adhere to the balloon?” The second activity was related to drinking water from a straw. After this activity, the students wrote their ideas for the following questions in their Journal Writing Activity 12: “Could you please explain how you could drink water from straw? Why did you not drink water after you made a hole in the straw?” Next, the students discussed their ideas with their groups and then with whole class. The following excerpt was taken from the class discussion and it shows that Sertan was able to monitor the consistency between his existing experience and new experience which is indicated as italic below. In the following excerpt, the students were discussing on the everyday application of the topic:

Teacher: OK. Then, answer this question. You have a can filled with water and it is too heavy to hold. But you need can and thus you need to empty it. I will give you a hose. Can you explain how you could empty the can by using the hose?

...

Sertan: Teacher, now, there is an atmospheric pressure exerted on the water in the can [The cap of the can is open]. But when we immersed the hose in water, there is also pressure resulted from the air in the hose and this pressure prevents water from rising in the hose. However, when we take out air in the hose by using our mouth, then, the atmospheric pressure push the water into the hose.

Teacher: OK. Aykut, what do you think about this question?

Aykut: Teacher, I think if we blew through the hose, then, we made pressure to increase in the water. At that time, the water moves through the mouth of the hose- from high pressure to low pressure.

Teacher: So what do you think about the reason for water movement? Is it because we blew through the hose or we took out the air in the hose?

Sertan: Both of them are true.

Aykut: When we blew through the hose, the pressure increased and the water move through the place where the pressure is low.

Sertan: Both of them are true but when we blow through the hose, it takes more time. The amount of rise in the hose depends on how much we blow.

Tugce: I don't agree with Sertan.

Sertan: *[He told Tugce] But you can see the same situation while you blow into the cola by straw. The rise in the straw depends on how much you blow.*

#### 4.5.1.1.2.4 Metaconceptual monitoring change in ideas of Sertan

Sertan engaged in the metaconceptual process of monitoring change in ideas in the group discussion of Lesson 8. In Lesson 8 as indicated in section 4.4.1.1.2.2, the students

conducted activities related to Charles' Law. The following excerpt was taken from the group discussion of Lesson 8. As indicated in section 4.4.1.1.2.2, the students were discussing on the picture drawn by Sertan (see Figure 4.5). In this discussion, Sertan drew the distribution of the particles in the bottle with balloon at different temperatures incorrectly. He thought that the particles would come together in the balloon when they immersed the bottle with balloon into hot water and the particles would accumulate at the bottom when the bottle with balloon was immersed into ice water. However, after Nurgul and Sule expressed their ideas, Sertan said that he changed his mind and his engagement in this process was shown as italic below.

Nurgul: Sertan, why did you not draw the particles at below for the hot water [Nurgul means that the bottle with balloon immersed into hot water by saying "hot water"]? If all the particles were at the top, how the balloon inflated in the hot water?  
 Sule: I think all of the particles are not going to the balloon; some of them should stay in the bottle.  
 Sertan: You are wrong. The distance between the particles is not increasing.  
 Nurgul: It is increasing. If it isn't increasing, why...  
 Sertan: *Oh yes. It is increasing. I thought very quickly at first I think.*

#### **4.5.1.1.3 Metaconceptual evaluation of Sertan**

Sertan displayed evidence for his engagement in all the subcategories of metaconceptual evaluation (see Table 4.29). Exemplary excerpts are presented below for the subcategories of metaconceptual evaluation of Sertan.

##### **4.5.1.1.3.1 Metaconceptual evaluation of existing idea of Sertan**

Sertan showed evidence that he engaged in the metaconceptual process of metaconceptual evaluation of existing idea in class discussion of Lesson 14. Lesson 14 was related to evaporation and condensation (see Appendix H). In this lesson, the students were first given the Journal Writing Activity 26 and they wrote their ideas for the questions individually. Then, they made group discussion for the questions posed in the Journal Writing Activity 26. After group discussion, they discussed their ideas as whole class. At the end of the lesson, the students were given the Journal Writing Activity 27. The following excerpt was taken from the class discussion. The students were discussing the third question of the Journal Writing Activity 26 which was related to the evaporation rate. In this question, the students were given four containers two of them were closed and two of them were open and at different shapes including 100 mL water and asked to compare the evaporation rate of water in these containers. Sertan's engagement in metaconceptual evaluation of existing idea was shown in italic. Here, Sertan was not sure about the plausibility of his existing idea.

Kamer: Teacher, I think the evaporation rate is the same both for the open and closed containers because we said that evaporation occurs at every temperature. Therefore, I don't think so that the evaporation rates are different for the open and closed containers.

Teacher: Do you agree with Kamer? [Seyhan raised her hand] Seyhan.

Seyhan: I also think that the evaporation rates are the same both for the open and closed containers. They are evaporating at the same rate and time. The only difference is that the particles which evaporate hit to the cap in closed container.

Teacher: What do you think about this explanation?

Kamer: Yes, teacher. I also said the same explanation.

Sertan: Teacher, I don't think that the evaporation rates are the same for the open and closed containers.

Teacher: Why?

*Sertan: Now, we know that evaporation occurs on the surface. The surface areas of the containers are different. I think the containers whose surface areas are the same independent of whether it is open or closed, the evaporation rates of water in these containers are the same. But, I am not sure whether the atmospheric pressure prevents the particles from evaporating in the open containers.*

Teacher: Does atmospheric pressure affect evaporation?

*Sertan: It does not affect. But I am not sure whether the atmospheric pressure prevents the particles leaving water. But then again I say that the evaporation rates of water in the containers whose surface areas are the same independent of whether it is open or closed are the same.*

Sertan also provided evidence for metaconceptual evaluation of existing idea at the post-interview on concept learning (see Appendix C). He was asked that “When he is learning a new concept, what would happen to his prior knowledge which is incompatible with the new concept?” He said that he could keep his prior knowledge if he did not see enough evidence in terms of the plausibility of the new concept.

#### **4.5.1.1.3.2 Metaconceptual evaluation of existing experience of Sertan**

In Lesson 1, the students discussed the questions distributed to them as group worksheet related to their poster drawing activity (see Appendix H). In the following excerpt indicated as italic, it was seen that Sertan engaged in metaconceptual evaluation of his existing experience. The students were discussing their ideas for the third question. The third question was “Suppose you have an amount of water. What can you say about the mass and density of water in solid, liquid, and gas phases?” Sertan stated that the masses of water in solid, liquid, and gas phases were the same but their densities were not the same since he generally observed that solid form of substances was denser than liquid form in everyday life. However, he was also in confusion with why the ice was floating in water. Therefore, he refuted his previous idea by himself with the help of his past experience which was that ice was floating in water although the latter idea was still not plausible to him.



Nurgul: For example, if we thought an amount of water in solid, liquid, and gas phases, the densities of water in these phases would be the same.

Sertan: Nurgul is not right. Why? I will explain now. In solid form of a substance, volume is less than in liquid form of the substance; however, the mass is constant. If ice melts in a closed container, its density decreases I think because its volume increases while its mass stays constant.

Nurgul: I think its mass doesn't stay constant if its volume increases.

Sertan: Mass is constant.

Nurgul: But it is increasing.

Sertan: *It is constant. Therefore, the solid form of the substance is denser than the liquid form of the substance. It should be like that but how can we explain the floating of ice in water? I am in confusion now. I refuted myself. OK, Nurgul, you are right.*

Tugce: How is she right? I didn't understand.

Sertan: Now, Nurgul is saying...

Tugce: Give me a second. If ice is floating...

Sertan: If it is floating, then, this means that ice's density is less than water in liquid phase.

Tugce: But at that time, Nurgul is also wrong.

Sertan: Yes, she is wrong.

Tugce: But Sertan, you are also wrong.

Sertan: Yes, I am also wrong. I am saying the same thing.

Tugce: Then, who is right? [She is in confusion and she is laughing.]

Sertan: *I think this situation is not an exception, it is normal, but why does this happen?*

Sertan also showed his ability to evaluate his existing experience in group and class discussion of Lesson 15 (see Appendix H). In this lesson, the students were first given the Journal Writing Activity 28. However, before the students wrote their ideas for the questions in the Journal Writing Activity 28, they were given the instructions for the "boiling water in a syringe" activity which they conducted after the Journal Writing Activity 28. In this activity, the students filled halfway of the syringe with approximately 70 °C hot water. Next, they depressed the plunger in order to push the air from the syringe and placed the cap on the tip of the syringe. Then, they pulled on the plunger and held it in the out position. After that, they observed that bubbles formed within the liquid. After they performed this activity, they conducted group discussion based on the questions posed in group discussion worksheet and class discussion. At the end of the lesson, they were distributed the Journal Writing Activity 29. The excerpt from group discussion clearly shows Sertan's engagement in metaconceptual evaluation of his existing experience. The students were discussing the first question of the group discussion worksheet. The first question was "What can you do in order to boil water in the syringe? a. At which temperature does water boil? b. If the plunger was pulled on and held in the out position while there was water at 70 °C in the syringe, what would happen to water in the syringe? Why?"

Nurgul: I think in order to boil water in the syringe, we must heat it or increase the pressure of water since pressure is directly proportional with temperature. If the pressure increases, temperature increases and water may boil. For the “b” option of the first question, I think it is not possible to pull the plunger to backward because we emptied the air in the syringe and we placed the cap on the tip of the syringe.  
 Sertan: If we pulled the plunger backward, everything is possible except boiling [But he is saying this statement hesitantly]. Oh no! It will boil. Boil, boil! Why? Because the pressure on water decreases and this can cause water to boil at 70 °C. Boiling was related to pressure as we learned at previous lessons and we learned that a liquid boils at higher temperatures at sea level compared to the places at higher altitudes...

The following excerpt was taken from the class discussion. The students were discussing what the white fog is rising from boiling water. Sertan declared that the white fog was water vapor and he assured that his idea was plausible by giving example from his everyday life experience although his idea was not scientifically correct. Sertan’s engagement in metaconceptual evaluation of his existing experience was indicated as italic below.

Teacher: OK. What do you think what the white fog is rising from the boiling water?

Students: Water vapor.

Sertan: Of course, water vapor but it is too dense and thus, we can see it.

Teacher: OK, do you think there is water vapor in the class?

Students: Yes.

Sertan: Teacher, there is water vapor in the class but it is too scattered and thus we can’t see it.

Teacher: Do you think the white fog rising from the boiling water is water vapor?

Students: Yes.

Teacher: But you said that you can’t see water vapor.

Sertan: *Teacher, may I say something? The area of the pan in which water is boiling is small. Therefore, we can see water vapor; however, after some time, it diffuses in the class and thus, we couldn’t see it.*

#### **4.5.1.1.3.3 Metaconceptual evaluation of ideas from other people/sources of Sertan**

Sertan displayed evidence for metaconceptual evaluation of ideas from other people/sources from each lesson plan shown in Table 4.29. The following excerpt was taken from the group discussion of poster drawing activity in Lesson 1 (see Appendix H). The students were articulating their ideas related to the third question of group discussion worksheet of poster drawing activity. The question was “Suppose you have an amount of water. What can you say about the mass and density of water in solid, liquid, and gas phases?” Sertan engaged in metaconceptual evaluation of ideas from other people/sources by judging the intelligibility and plausibility of Nurgul’s idea below.

Nurgul: For example, if we think an amount of water in solid, liquid, and gas phases, in solid form it is ice, in liquid form it is water, and in gas form it is water vapor. And their densities are the same.

Sertan: I think Nurgul is false. I will explain why she is wrong. Now, in the solid form, the volume is less than the liquid and gas form; however, the mass are the same for all forms. Therefore, if we melt ice in a closed container, its density decreases because its volume increases, but its mass stays constant.

The following excerpt which shows Sertan's engagement in metaconceptual evaluation of ideas from other people/sources was taken from the class discussion of Lesson 1. In the following excerpt, the students were discussing on third question of group discussion worksheet of poster drawing activity as a whole class. One of the groups was presenting their ideas to the classroom and Sertan provided justification for the inaccuracy of one of this group's ideas related to the density of water in solid, liquid, and gas phases.

Teacher: What did you think about the mass of water in solid, liquid, and gas phases?

Bahar: We as a group first thought that the masses of water in solid and liquid forms are the same; however, for the gas form...

Teacher: Esin?

Esin: I think the mass of water in solid form is greater than the liquid form and the mass of water in liquid form is greater than the gas form of water. We also said that the densities of water in all forms are the same.

Teacher: Do you have any questions related to this groups' presentation?

Sertan: Yes, I have. They said that the densities of water in all forms are the same. I would like to ask them if they are right, how does ice float in water?

Sertan also displayed evidence for this metaconceptual process while the students made comments on the sixth question of group discussion worksheet of poster drawing activity as a whole class in Lesson 1. The question was "Where is the pressure exerted on you greater at the top of Mount Agri or at sea level?" Sertan's engagement in metaconceptual evaluation of ideas from other people/sources in the following excerpt from class discussion was indicated as italic below.

Teacher: Why do you think as altitude increases, pressure increases?

Selma: At every altitude, at 1 m, it increases, I think. Did I remember wrongly?

Cihan: We memorized them before and now we remember like that.

Teacher: Do we have any information that you said? [At that time, Sertan started to say something.]

Sertan: *My friends said that as the altitude increases, pressure increases. But I thought that they were wrong. If we mention atmospheric pressure, then, as the altitude increases, pressure should decrease.*

Teacher: Why?

Sertan: *Because as the altitude increases, the mass of air on an object decreases. For example, the mass of air on a person at the top of the Everest is not the same on a person at the sea level. Therefore, as the mountaineers climbed to the top of the mountains, they developed nose bleeding due to the decrease in pressure.*

Cihan: OK. But the nose bleeding occurs because of the increase in pressure.

Sertan: But teacher he is wrong.

Teacher: Are there any comments about this issue? Sami.

Sami: I think as altitude increases, pressure increases.

Teacher: Habibe.

Habibe: I think as altitude increases, pressure decreases because we know that pressure and temperature are directly proportional to each other. As the altitude increases, temperature decreases, and thus, the pressure decreases.

Teacher: Esin.

Esin: Teacher, the pressure increases because as the altitude increases, the boiling point of water increases because of the increase in pressure.

[Sertan objected to Esin's idea and started to discuss with her.]

Sertan: Esin, water boils at 100 °C at the sea level while it is boiling at about 98 °C here. Here, the altitude is higher than the sea level.

Esin: No.

Sertan: *Teacher, may I make an explanation for this at that time? Now, I would like to explain why the mountaineer's nose is bleeding as s/he is climbing to the mountain. Blood pressure! The blood pressure in the capillary vessels is constant, but as the mountaineer climbs to the mountain, since the atmospheric pressure decreases, the pressure in the capillary vessels is now greater than the atmospheric pressure, and thus it cause nose bleeding. As the altitude increases, the pressure decreases. And as the pressure decreases, the boiling point decreases. It is not like Esin's idea!*

.....

Teacher: OK. Where is the pressure high, at the sea level or at the top of the mountain?

Sami: I thought that as the altitude increased, temperature decreased and thus, the pressure increased. My friends in my group, however, thought vice versa. But I think that as the altitude increases, pressure increases.

....

Sertan: *Teacher, now, Sami said that as the altitude increases, pressure increases. He is completely wrong teacher! Now, you will say why? Now, the mass of air on this notebook is like that [Sertan used her notebook on his desk while talking about the effect of altitude on pressure]. However, if you think this notebook here [He raised the notebook about 50 cm at this time], then, the mass of air on it is less than the previous situation. This means that if an object is at higher altitude like the top of the Everest, then, the pressure exerted on it less than the object at lower altitude like the sea level.*

...

Teacher: What is your idea Cihan?

Cihan: Teacher, I think that as the altitude increases, the pressure increases.

Teacher: Why?

Cihan: Teacher, for example, astronauts couldn't be able to stay at space without space suits. They explode without space suits.

[Sertan contested against Cihan's idea and he would like to ask to speak.]

Sertan: The pressure is very low there...

Teacher: Why do the astronauts not stay in space without their special clothing?

Cihan: They explode at that time.

[Sertan has not get permission to speak yet and insisted on to ask to speak.]

Teacher: Tugce.

Tugce: I think this situation results from the low pressure. Therefore, our nose is bleeding. [At that time, Sertan supported Tugce by saying yes.]

Teacher: OK. Sertan.

Sertan: *Now, Cihan said that it is not possible to stay in space without space suit since the pressure in space is high. He is wrong. I will explain why. Now, there is no atmosphere in space and the pressure is so low there that you couldn't stay without*

*special clothing there because at that time, the blood pressure in your vessels is higher than the pressure in space and that cause you to explode.*

Sertan engaged in metaconceptual evaluation of in the class discussion and the Journal Writing Activity 3 in Lesson 2 (see Appendix H). In the following excerpt from the class discussion, Sertan provided justification for the accuracy of his friends' ideas related to buoyancy indicated as italic:

Teacher: OK, did you understand how we took out a tissue from a cup submerged in water as dry?

...

Burak: Because air between the tissue and water could be able to be squeezed in terms of the buoyancy of water. The pressure occurred inside the cup and the tissue didn't get wet. But if we use a liquid different than water and if the buoyancy of this liquid is greater than water, then, the tissue gets wet.

Teacher: Does anybody have other comments on this question?

...

Sertan: *If you make this activity by using mercury which has great buoyancy, you find the same result.*

...

Teacher: Do you agree with Sertan? Burak said that in this activity they used water and if they used another liquid which was denser than water, then, the tissue got wet. Sertan said that it did not matter which liquid they used, they would get the same result. [Batu would like to ask to speak.] Batu.

Batu: I also think that the tissue doesn't get wet either in water or in mercury because while we are submerging the cup in liquid some air is confined between the liquid and tissue.

[Some of the students indicated that they agree with Batu, but some of them said that they don't agree with Batu.]

Teacher: Any other comments? Cihan.

Cihan: Teacher, if we use mercury, then, the increase in the level of mercury as we submerged the cup in it will be greater than the increase in the level of water as we submerged the cup in it. Maybe, the tissue will get wet a little bit in mercury.

Teacher: So you mean that if we use mercury as a liquid, the increase in the level of mercury in the cup is more than water?

Cihan: Yes.

Burak: Yes, I agree with Cihan.

...

Teacher: Esin.

Esin: I agree with Batu. The tissue doesn't get wet which liquid you use since there will be air between the liquid and the tissue.

Teacher: Bahar.

Bahar: Teacher, since the molecules of air couldn't be able to pass through the liquid, the tissue doesn't get wet whichever you use.

Burak: Teacher, I was misunderstood. I didn't mean that the tissue will get wet in the mercury. I said that the increase in the level of mercury in the cup will be more than the increase in the level of water in cup.

Kamer: Yes, teacher. He is right.

Teacher: OK Sertan, what do you say about Burak's idea?

Sertan: If the cups are identical, the increase in the level of liquid in the cup will be the same both for mercury and water.

...

*Sertan: Teacher, my friends' idea could be true in terms of... We read about an experiment at previous terms. There was mercury in a cup and a test tube which is about 1 m long was immersed into this cup at the sea level. Mercury raised 76.5 cm in the test tube at the sea level. But when water was put instead of mercury, then, water raised 2.5 m. Therefore, my friends could be right.*

Sertan also emphasized that Burak's idea was plausible to him in the Journal Writing Activity 3. In the class discussion, Burak said that the increase in the level of mercury in the cup will be more than the increase in the level of water in cup. However, first, Sertan said that the increase in the amount of levels would be the same for mercury and water which is not scientifically accurate. To the end of the class discussion, Sertan stated that Burak was right. In the Journal Writing Activity 3, he also affirmed that Burak's idea was plausible for him by considering the Torricelli Experiment. However, it should be noted that Sertan's explanation related to the Torricelli Experiment at the class discussion is not totally correct in terms of rise in water. As indicated before, engaging in the metaconceptual processes does not mean that the students' ideas are scientifically correct.

In Lesson 3, the students investigated whether air has mass (see Appendix H). In the class discussion of Lesson 3, Sertan engaged in metaconceptual evaluation of ideas from other people/sources as shown in italic below. The students were discussing why the deflated balloon rose in the ruler in the following excerpt.

Teacher: When I attached the two identical balloons to the necks of a ruler, they stayed at balance. If I removed one of the balloons, blew it up, and attached on the same place, did the balance change? Please, first, write your ideas on your journals. [The Journal Writing Activity 4 was distributed to the students. After the students wrote their ideas on their journals, the teacher completed the activity.]

Teacher: Did you see that the deflated balloon rose? Why do you think this happened?

[At that time, Burak objected to the result of the activity. He said that that was wrong.]

Burak: That balance is not working properly. Teacher, if we inflate a balloon, its volume increases but since its mass doesn't change, it must rise.

Samet: Yes, Burak is right.

Teacher: Why do you think that its mass does not change? [The students would like to ask to speak and the teacher called on Sertan to speak.]

*Sertan: If we suppose that Burak is right, then, we believe that there is no atmospheric pressure.*

...

Osman: Teacher, but when we blow up a balloon and project it, we see that it falls down slowly compared to the deflated balloon. Therefore, inflated balloon should rise, shouldn't it?

...

Batu: Teacher, the balloon that we blew up must be heavier than the deflated balloon. But, as Osman said, why the inflated balloon falls slowly?

[Sertan would like to ask to speak.]

Teacher: Sertan.

Serhan: *Teacher, for example, the friction of this surface of the eraser is not the same with the its other surface [He is showing this with his eraser]. That means that when we blow up the balloon, we increase its surface and thus, the pressure inside it increases. Because of the molecules inside the balloon, the pressure on the surface of the balloon increases and this increases the friction. I mean that there are more interactions between the air molecules and the molecules inside the balloon and this causes the balloon to fall down slowly.*

...

Teacher: OK. Think about the football. Which football is heavier, inflated football or deflated football?

[Some students shouted as inflated football and some shouted as deflated football. Sertan shouted as inflated football.]

Burak: Teacher, if we don't blow up balloon completely, then, it is heavier. Football players can't play with deflated balloon.

...

Sertan: If you hit the two balls with the same force, then, deflated ball goes shorter distance compared to the inflated ball. But this is not because the deflated ball is heavier than the inflated ball. This is because there is no air in the deflated ball...

Teacher: Think about the mass of the balls not the distance that the ball goes.

Samet: Teacher, when we hop the ball, I feel that deflated ball is heavier than inflated ball.

...

Sertan: Teacher, do you have white board pen? [Teacher gives a pen to Sertan and Sertan talk about his idea by drawing figures on the board.]

Sertan: *Now, teacher, my friends said that...[He draw an inflated and a deflated ball to the board.] I also played football and I know. When you hop the inflated ball, you exert pressure to the gas particles inside the ball and at that time, the surface of the ball bends. But the deflated ball bends more than the inflated ball. Therefore, they feel deflated ball heavier. However, the inflated ball heavier.*

Sertan also displayed evidence for the metaconceptual evaluation of ideas from other people/sources during the class discussion of Lesson 6 (see Appendix H). In the following excerpt taken from the class discussion, the students were discussing on the atmospheric pressure. Sertan made comments on the plausibility of his friends' ideas which are shown in italic below. As indicated before, engaging in the metaconceptual processes does not mean that the learner's idea is scientifically correct.

Teacher: Why do you think that the glass adhered to the balloon? Why did you not drink water after you made a hole in the straw?

Bahar: I will answer why the glass adhered to the balloon. When we blew up the balloon, the pressure inside the balloon increased and after it come to the glass since it wasn't possible to inflate it more, the glass adhered to the balloon. Because of the pressure.

...

Sami: Teacher, I think this is not related to pressure because when we blow up the balloon, the volume of it is also increasing. Therefore, there is no change in pressure.

Sertan: *I will refute Sami's idea. Sami said that the pressure stays constant; however, it does not because the glass prevents the balloon from enlarging more. Therefore, the pressure doesn't stay constant at that part of the glass...*

Teacher: Do you mean that that the pressure inside the glass increases?

Sertan: *The pressure inside the balloon because the balloon couldn't be inflated at the maximum volume because of the glass. Due to the increase in pressure, the balloon confined in the glass. Sami said that the balloon enlarged and thus, the pressure stayed constant but he is wrong. Since the balloon couldn't be inflated at the maximum volume, it confined in the glass.*

...

Teacher: OK. Now we will discuss the second question. At first, you drink water by straw easily; however, after you made a hole in the straw you couldn't drink water. How could you explain this situation?

...

Ismail: Teacher, we are drinking water by straw with the help of atmospheric pressure and sucking. The atmospheric pressure exerted on water cause water rise in the straw and also, we are sucking the water. But, when we made a hole in the straw, then, the atmospheric pressure exerted on water also from the hole in the straw. Therefore, it rises in the straw a little bit and we spend much effort to drink water.

...

Sertan: *I agree with Ismail but not completely. He made a mistake at one place. He said that we are sucking water by straw. This is wrong! We are not sucking water. It is because of the atmospheric pressure. Atmospheric pressure helps water to rise in the straw. But, when we made a hole in the straw, then, the atmospheric pressure in the straw prevents us from drinking water.*

...

Teacher: OK. What do you think where you can drink water by straw easily, at the top of the Mount Agri or at the sea level?

Teacher: Sertan.

Sertan: Of course at the sea level.

Teacher: Why?

Sertan: Why I thought like that, I will explain. The atmospheric pressure is high at the sea level. Remember the Torricelli Experiment.

Tugce: I think we drink water by straw easily at the top of the Mount Agri since the atmospheric pressure is low there.

Serhan: *[Sertan objects to Tugce.] No, you are wrong. The pressure is low at the top of the Mount Agri and we drink water by straw hardly there. [He put a straw in a cup filled with water and tries to explain the effect of atmospheric pressure on water in the cup depending on the altitude.] Since the atmospheric pressure is low at the top of the Mount Agri, the pressure exerted on the water in the cup will be less and thus, the rise of water in the straw will be less at the top of the Mount Agri. At which place, water comes through your mouth easily, at the top of the Mount Agri where the rise of water in the straw is less or at the sea level where the rise of water in the straw is more? I am saying at the sea level.*

In the following, another exemplary excerpt from the class discussion of Lesson 7 for metaconceptual evaluation of ideas from other people/sources involving Sertan's comments about the validity of his friends' ideas shown in italic is presented. Sertan provided justifications for the inaccuracy of his friends' ideas.

Habibe: You didn't understand me. Is the weather cold at the top of the Mount Agri? It is cold. That means that as the altitude increases, the weather gets cold. Where do you think the ball gets bigger, at the top of the Mount Agri or at the sea level? Of



course, at the sea level since the temperature is high there and thus, the volume of the ball increases.

Teacher: Do you mean that the pressure and volume is directly proportional?

Habibe: Yes, I think so.

Sertan: *Teacher, Habibe confused lots of things to each other. As the temperature increases, the volume increases; not the pressure!*

Habibe: At that time, why does the pressure increase at the sea level? How do you explain this?

Sertan: *It is not because of the increase in temperature! It is because of the mass of air on an object. Where do you think the mass of air on an object is more, at the top of the Mount Agri or at the sea level?*

Habibe: But we also considered the kinetic energy at our previous lesson. As the temperature increases...

Sertan: *I know that everything you said should be considered but here the mass of air on an object is important. You have confusion.*

...

Teacher: If you had a syringe whose plunger is positioned at the highest graduation, with its end is sealed to prevent the escape of air and if you had pushed the plunger in, how would you draw the air in terms of the particulates that make up each inside the syringe before and after you had pushed the plunger in [The teacher drew two syringes representing the two situations]?

Bahar: [Bahar drew the particles in the syringe as scattered everywhere for the plunger positioned at the highest graduation. However, she drew the particles as coming together to the end of the syringe after the plunger was pushed in.]

Teacher: Do you think after the plunger is pushed in, the particles are all pushed to the end of the syringe?

Sertan: No, it is not right!

Teacher: Why?

Sertan: *Teacher, this is related to the behavior of gases. They expand to fill their containers.*

...

Sertan: [Sertan drew the distribution of the air particles in the two syringes on board.] The particles are the same size.

Ismail: Teacher, what do you want us to draw? Is it the distribution of the air particles after some time past after the plunger is pushed in? Or is it the distribution of the air particles as soon as the plunger is pushed in? Teacher isn't it the particles coming together to the end of the syringe at first and then, scattered in the syringe?

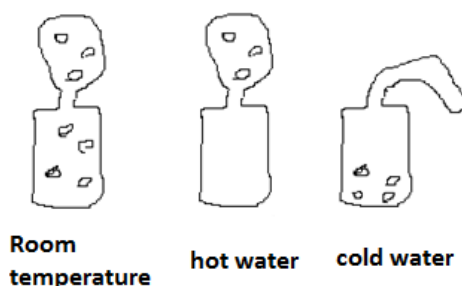
Teacher: What do you think about Ismail's idea?

...

Sertan: *Ismail said that at first, the particles come together to the end of the syringe and after that they will scatter. Now, I would like to ask a question to you. Does empty space have an effect on push? No. According to Ismail, empty space has an effect on push and empty space pushes the particles to the end of the syringe.*

In the following excerpt from the class discussion of Lesson 8, Sertan made comments about the validity of his friends' ideas. Sertan's statements related to metaconceptual evaluation of ideas from other people/sources are italicized below.

Teacher: We drew three figures related to the distribution of air particles in the bottle with balloon at three temperatures on the board. [The figures drawn on the board is shown below.] Do you think about the distributions of the particles in the bottle with balloon is like that?



Esin: Yes.

Teacher: Suheyla?

Suheyla: I don't agree with you. There must also be particles in the bottle.

*Sertan: Teacher if we believe that you were right, then, it wouldn't be possible to breathe. All the air particles warm up and leave the classroom. Then, how could we breathe?*

...

Teacher: What do you think whether the hot air or cold air is heavier? [Throughout the discussions, weight is used as the same as mass.]

Seyhan and Esin: Hot air.

Seyhan: I think hot air is heavier because as the temperature increases, volume increases and thus, weight increases.

Teacher: Do you think as the volume increases, weight increases?

*Sertan: No. She is wrong. Mass stays constant and thus, the weight stays constant.*

...

Batu: Teacher, for example, when we light a fire at a cold place, hot air rises and after some time, the place where we light a fire gets cold. The reason for this is that hot air rises and cold air sinks.

*Sertan: Batu is not completely wrong but there are some missing points. Now, when air gets warm, the particles don't get lighter! Just their energy increases and thus, their speed increases. They scatter everywhere. But if it is like Ismail said then, when the air gets warm, it must get lighter and leave the place. This is not plausible! They behave like that because their energy increases.*

Sertan also engaged in metaconceptual evaluation of ideas from other people/sources in the class discussion of Lesson 12. In the following excerpt, the students were discussing on one of the students' idea related to chemical bonding. She thinks that there are concrete bonds between the atoms in water molecule itself. She also believes that as water evaporates, the bonds between the hydrogen and oxygen atoms lengthen. Sertan judged this idea as inaccurate and explained why this idea was not attractive and plausible to him. Sertan's engagement in this metaconceptual process is italicized below.

Teacher: What do you think the change is in bonding between the hydrogen and oxygen atoms in the molecule itself or between two H<sub>2</sub>O molecules? Does anything occur in intermolecular forces?

Esin: They weaken when there is chemical change.

...

Teacher: Seyhan said that when water evaporates, the bonding between two water molecules is broken and the bonding between the atoms in the molecule itself lengthens. Do you agree with her?

Sertan: *Teacher, I think my friends who have this idea believe that bonds are like rubber. [He holds an eraser and wants them to think eraser as a water molecule.] Now, this is water molecule and this is another water molecule. First, the forces between them are this much. Then, I heat water and increase their energies. After that, their movement increases and the distance between water molecules increases and this cause the forces between water molecules to decrease. So the bonds are not like rubber as my friends thought. Only the attraction between the molecules decreases!*

In the following excerpt below taken from the class discussion of Lesson 14, Sertan displayed evidence for his engagement in metaconceptual evaluation of ideas from other people/sources which is shown in italic. In the following discussion, Habibe did not understand how evaporation occurs based on a liquids internal energy without increase in temperature. Sertan tried to persuade her that evaporation occurs at every temperature and based on the internal energy of a liquid.

Habibe: Teacher, I don't think that evaporation occurs by itself.

Kamer: Habibe, do you think that evaporation does not occur at open-air?

Habibe: Evaporation occurs at open-air when the temperature increases.

Kamer: OK, then I would like to ask a question to you. At that time, why the level of water in lakes stays constant during summer at 30 °C?

Teacher: So Habibe do you think that evaporation does not occur?

Habibe: No, it occurs but only if you give heat.

Teacher: If you didn't give heat, then, you mean that there wouldn't be evaporation.

Habibe: Yes, there wouldn't be evaporation.

...

Sertan: *[He went out to the board and started to draw a figure in order to illustrate evaporation.] Now, think about there are hundreds, millions water molecules in this cup. For example, the temperature of the room is 20 °C. Also, the cup is closed and the temperature of water is 20 °C.*

Habibe: There is no heat transfer at that time since the temperature outside is 20.

Sertan: *But there is internal energy! There are lots of millions particles in the cup and they are vibrating. Therefore, some particles could leave the cup if its energy is enough.*

Sertan depicted another evidence for his engagement in this metaconceptual evaluation process in the class discussion of Lesson 15. In the following excerpt, the students were discussing how water in the syringe boiled.

Teacher: What did you observe as you pulled on the plunger? Selma.

Selma: I observed boiling. But teacher I would like to say something. Temperature seems to increase but it should decrease. I still couldn't understand.

...

Burak: I also think that boiling in the syringe is nonsense. I think the bubbles that we see are because of the air in the syringe.

...

Serhan: ...My friends said that boiling does not occur in the syringe but they are wrong. It is boiling! When we pulled on the plunger, we decrease the pressure in the syringe and thus, boiling occurs at lower temperature.



Table 4.31 (continued)

Esin	LP* 1	LP 2	LP 3	LP 6	LP 7	LP 8	LP 12	LP 14	LP 15
e. Awareness of what you did not know	X	X		X					
<b>Metaconceptual Monitoring</b>									
a. Monitoring understanding of an idea			X	X				X	
b. Monitoring the consistency between existing idea and ideas from other people/sources		X	X					X	
c. Monitoring the consistency between existing experience and new experience				X					
d. Monitoring change in ideas				X		X	X	X	X
<b>Metaconceptual Evaluation</b>									
a. Evaluation of existing idea							X	X	
b. Evaluation of existing experience									X
c. Evaluation of ideas from other people/sources	X						X	X	

\*LP: Lesson Plan

#### 4.5.1.2.1 Metaconceptual awareness of Esin

Esin showed evidence for the all subcategories of metaconceptual awareness. In the following, these subcategories were explained by giving excerpts from each lesson plan presented in Table 4.31.

##### 4.5.1.2.1.1 Metaconceptual awareness of aims of activities of Esin

Table 4.32 shows the excerpts from journal writings of Esin for Lessons 1, 2, 3, 6, and 12 (see Appendix H for the lesson plans and all numbered journal writing activities).

Esin showed evidence for the metaconceptual awareness of aims of activities by her answers of the first question of the following journal writing activities in Table 4.32.

Table 4.32 Excerpts for metaconceptual awareness of aims of activities of Esin

Lesson Plans	Quotations
Lesson Plan 1-Journal Writing Activity 1 Question 1: According to you, what was the aim of poster drawing activity?	The aim of the poster drawing activity was to measure our prior knowledge related to this unit, that is, to learn what we know about the unit.
Lesson Plan 2-Journal Writing Activity 3 Question 1: What was the aim of the activity?	According to me, the aim of this activity was to learn the amount of compressibility of gases depending on the density of a liquid.
Lesson Plan 3-Journal Writing Activity 5 Question 1: What was the aim of the activity?	The aim of this activity was to check our knowledge related to gases.
Lesson Plan 6-Journal Writing Activity 13 Question 1: According to you, what were the aims of the activities?	I think the aim of this activity was to show us the relationship between gases and the pressure.
Lesson Plan 12- Journal Writing Activity 23 Question 1: According to you, what was the aim of poster drawing activity?	I think the aim of the poster drawing activity was to measure our prior knowledge, to learn how much we know about the subject, to learn whether we know the subject correctly, and to design lesson based on our knowledge.

#### 4.5.1.2.1.2 Metaconceptual awareness of existing experience of Esin

Esin depicted evidence for metaconceptual awareness of existing experience in the group and class discussion of Lesson 1 and in the Journal Writing Activity 19 of Lesson 8. In the following excerpt from the group discussion of Lesson 1, the students were discussing the seventh and eighth question of the poster drawing activity. The seventh question was “How can you explain pressure-temperature relationship in gases by giving daily life examples?” and the eighth question was “How can you explain pressure-volume relationship in gases by giving daily life examples?” Esin engaged in metaconceptual awareness of existing experience shown in italic below by considering the expansion of the balloon stayed for a long time in the sun which she experienced in everyday life while answering the above two questions.

Osman: The seventh question is asking “What do you think what relationship is between temperature and pressure”? I think as the temperature increases...

Esin: *According to me, as the temperature increases, pressure increases because we can consider the balloon. If we put the balloon near furnace, the movement of gas particles in the balloon increases and they make more pressure to the balloon. Therefore, the balloon starts to inflate. I think as temperature increases, pressure*

*increases. Or think about the tire of a bicycle. When it stays in the sun, the tire starts to inflate.*

...

Esin: OK. Now we will pass the eighth question: “How can you explain pressure-volume relationship in gases by giving daily life examples?” What do you think Samet?

...

*Esin: I think as the temperature increases, pressure increases and thus, volume increases because we can again consider the balloon. When we put the balloon near furnace, we observe the increase in the volume of the balloon. That is to say, as the temperature increases, pressure increases and thus, volume increases.*

Esin also showed evidence for her engagement in this metaconceptual process in the class discussion of Lesson 1. She again emphasized that as temperature increases, pressure increases and thus, volume increases by considering her experience with the balloon. Esin depicted another evidence for her ability to engage in metaconceptual awareness of existing experience in the Journal Writing Activity 19 by her answer to the following question: “Were your predictions true? How did you make these predictions? Which factors for example which events from daily life affected you to make these predictions?” She answered that her predictions were correct and she made these predictions by considering the balloon in the cold and in the hot. Esin also emphasized the importance of existing experience on her understanding of a new concept at the interview on concept learning (see Appendix C). She stated that if she had an existing experience from everyday life related to a new concept, then, it would be easier to understand the new concept.

#### **4.5.1.2.1.3 Metaconceptual awareness of everyday applications of a topic of Esin**

Esin provided evidence for her engagement in metaconceptual awareness of everyday applications of a topic by her answer to the second question in the Journal Writing Activity 19. The second question was “According to you, why do we learn Charles’s Law? How does Charles’s Law help you in everyday life?” She said that “I left a balloon in the cold for a long time and I found that it was shrunken, and now I understand why I found it like that”.

#### **4.5.1.2.1.4 Metaconceptual awareness of what you learned of Esin**

Esin engaged in metaconceptual awareness of what you learned process by his answer to the first question of the Journal Writing Activity 27 and the Journal Writing Activity 29 presented in Lesson Plan 14 and Lesson Plan 15, respectively (see Appendix H). The question was “What did you learn from this lesson?” In the Journal Writing Activity 27, she provided the following response: “I learned very well that evaporation occurs at every

temperature. I learned that the bonding between the hydrogen and oxygen atoms in the molecule itself wasn't affected at evaporation. It is the bonding between the two water molecules". In the Journal Writing Activity 22 of Lesson 12, Esin drew Figure 4.6 as the answer of the following question: "How could you draw the picture of evaporation in terms of particles?" She wrote that the bonding between the hydrogen and oxygen atoms in the molecule itself was broken at evaporation and evaporation occurred if the temperature increased. Esin also articulated this idea at the group discussion of Lesson 12. In section 4.5.1.2.2.4, it was seen that Esin changed this idea and engaged in metaconceptual monitoring change in ideas.

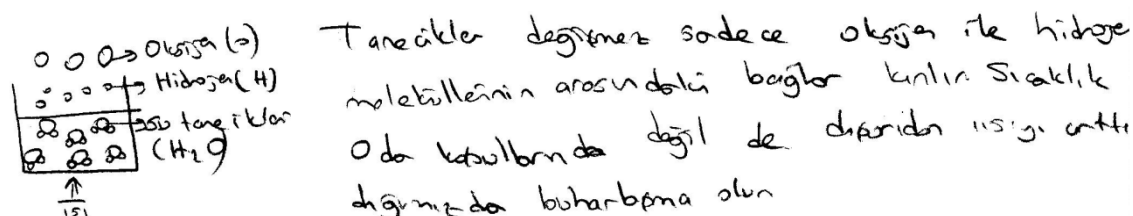


Figure 4.6 Esin's drawing of evaporation in terms of particles

In the Journal Writing Activity 29, she said that she learned evaporation occurred at every temperature and she also emphasized that she learned as the altitude increased, atmospheric pressure decreased.

#### 4.5.1.2.1.5 Metaconceptual awareness of what you did not know of Esin

Esin displayed evidence for her engagement in metaconceptual awareness of what she did not know by her answers in the journal writing activities. Table 4.33 shows the excerpts from journal writings of Esin for Lessons 1, 2, and 6 (see Appendix H for the lesson plans and all numbered journal writing activities).

Table 4.33 Excerpts for metaconceptual awareness of what you did not know of Esin

Lesson Plans	Quotations
Lesson Plan 1-Journal Writing Activity 1 Question 2: Did any of your friends have different ideas from what you thought? If some of your friends had different ideas from what you thought, how did those ideas differ from your ideas? Could you explain this situation by giving examples?	Yes, it is. For example, some of my friends said that as the altitude increases, pressure decreases; however, I thought that as the altitude increases, pressure increases.



Table 4.33 (continued)

Lesson Plans	Quotations
Lesson Plan 2-Journal Writing Activity 3 Question 6: What are the limitations in your ideas related to this activity?	I didn't know that the compressibility of gases depended on the density of liquids.
Lesson Plan 6-Journal Writing Activity 13 Question 3: What are the limitations in your ideas?	I didn't know the effects of atmospheric pressure on our drinking of water by straw.

#### 4.5.1.2.2 Metaconceptual monitoring of Esin

Esin displayed evidence for her engagement in all the subcategories of metaconceptual monitoring (see Table 4.31). Exemplary excerpts are presented below for the subcategories of metaconceptual monitoring of Esin.

##### 4.5.1.2.2.1 Metaconceptual monitoring understanding of an idea of Esin

Esin engaged in metaconceptual monitoring understanding of an idea in the class discussion of Lesson 3, in the Journal Writing Activity 13 of Lesson 6, and in the class discussion of Lesson 14. In the following excerpt from the class discussion of Lesson 3, Esin was monitoring her understanding related to the mass of air although her idea was not scientifically correct. She thought that the weight of an object depended on the pressure inside the object.

Teacher: OK. Think about the football. Which football is heavier, inflated football or deflated football?

[Some students shouted as inflated football and some shouted as deflated football. Sertan shouted as inflated football.]

Burak: Teacher, if we don't blow up balloon completely, then, it is heavier. Football players can't play with deflated balloon.

...

Sertan: If you hit the two balls with the same force, then, deflated ball goes shorter distance compared to the inflated ball. But this is not because the deflated ball is heavier than the inflated ball. This is because there is no air in the deflated ball...

Teacher: Think about the mass of the balls not the distance that the ball goes.

Samet: Teacher, when we hop the ball, I feel that deflated ball is heavier than inflated ball.

Batu: Teacher, when we play with deflated volleyball, it hurts our hands, but inflated volleyball doesn't hurt our hands.

Esin: I think how much we pump air, the heavier it gets because the pressure that the air particles make in the balloon increases. For example, if we put our hand to the balance and pressurize, then, we observe that the weight increases. Therefore, because of the air pressure in the inflated balloon, its weight is more than the deflated balloon.

Esin also showed evidence for her engagement in this metaconceptual process in the Journal Writing Activity 13 of Lesson 6 by her answer to the third question. The third

question was asked to learn how the students could be sure whether they understood a concept. Esin answered that she could be sure whether she understood a concept if there is no question in her mind related to the concept.

In the class discussion of Lesson 14, Esin monitored her understanding of chemical bonding. She emphasized that the bonding between the hydrogen and oxygen atoms in the molecule itself was not affected at evaporation. She added that the bonding between the two water molecules which was called hydrogen bonding was broken.

Teacher: Do you think the bonding between the hydrogen and oxygen atoms in the molecule itself was broken at evaporation?

Kamer: I think intramolecular forces aren't affected because if the intramolecular forces are affected then, the identity of the substance changed and chemical change occurs...

Esin: Weak bonds are related to the physical characteristics while strong bonds are related to the chemical characteristics. I mean that hydrogen bonding was broken at evaporation since hydrogen bonding is weak.

#### **4.5.1.2.2.2 Metaconceptual monitoring the consistency between existing idea and ideas from other people/sources of Esin**

Esin showed evidence of her ability to monitor the consistency between existing idea and ideas from other people/sources in the class discussion and the Journal Writing Activity 3 of Lesson 2, in the Journal Writing Activity 5 of Lesson 3, and in the class discussion of Lesson 14. In the following excerpt taken from the class discussion of Lesson 2, the students were telling their ideas about how the tissue stayed as dry in the cup submerged in water and what they could observe if they used another liquid different than water.

Teacher: Do you agree with Sertan? Burak said that in this activity they used water and if they used another liquid which was denser than water, then, the tissue got wet. Sertan said that it did not matter which liquid they used, they would get the same result. [Batu would like to ask to speak.] Batu.

Batu: I also think that the tissue doesn't get wet either in water or in mercury because while we are submerging the cup in liquid some air is confined between the liquid and tissue.

[Some of the students indicated that they agree with Batu, but some of them said that they don't agree with Batu.]

Teacher: Any other comments? Cihan.

Cihan: Teacher, if we use mercury, then, the increase in the level of mercury as we submerged the cup in it will be greater than the increase in the level of water as we submerged the cup in it. Maybe, the tissue will get wet a little bit in mercury.

Teacher: So you mean that if we use mercury as a liquid, the increase in the level of mercury in the cup is more than water?

Cihan: Yes.

Burak: Yes, I agree with Cihan.

...

Teacher: Esin.

Esin: I agree with Batu. The tissue doesn't get wet which liquid you use since there will be air between the liquid and the tissue.

Esin also depicted evidence for her engagement in this metaconceptual process in the Journal Writing Activity 3 of Lesson 2 by her answer to the fourth question. The fourth question was "Does any of your friends have idea different from you related to the reasons why the tissue does not get wet during the group and class discussions?" Esin provided the following response:

Yes, I have friends who thought different than me. For example, one of my friends said that if we use mercury, then, the increase in the level of mercury as we submerged the cup in mercury will be greater than the increase in the level of water as we submerged the cup in water. Another one said vice versa. But I agreed with the second friend, that is, the increase in the level of mercury as we submerged the cup in mercury will be less than the increase in the level of water as we submerged the cup in water.

In the Journal Writing Activity 5 of Lesson, the students were asked whether any of their friends have idea different from them related to the reasons why the inflated balloon rose during the group and class discussions. Esin answered that she had friends who thought different than her; however, she thought that her idea was correct.

Esin also displayed evidence for her engagement in this metaconceptual process in the class discussion of Lesson 14. In the following excerpt, the students were discussing on the picture of evaporation in terms of particles and Esin was monitoring the consistency between her existing idea and Kamer's idea which is shown in italic below.

Teacher: How could you draw the picture of evaporation in terms of particles? [The students would like to ask to speak and some of them shouted that the fourth figure was correct.]

Teacher: Which one of the figures among the four figures on the board represents the picture of evaporation? [The shape of particles changes in the first figure, intramolecular forces are affected in the second figure, the bonding between oxygen and hydrogen atoms in water molecule lengthens in the third figure.]

Teacher: Is this the hydrogen bonding? [The teacher asks this question for the second figure.]

Esin: No, it is covalent bonding.

Kamer: It is not hydrogen bonding. Isn't it a type of intramolecular force, covalent bonding?

Esin: *I think the fourth figure is correct. As Kamer said that the bonding between the hydrogen and oxygen atoms is not hydrogen bonding. Hydrogen bonding is a type of intermolecular force. It is covalent bonding and it is very strong.*

#### **4.5.1.2.2.3 Metaconceptual monitoring the consistency between existing experience and new experience of Esin**

Esin engaged in metaconceptual monitoring the consistency between existing experience and new experience in the class discussion of Lesson 6. In the following excerpt

taken from the class discussion, Esin was monitoring the consistency of her existing experience and new experience as indicated italic below although she did not come to the correct scientific explanation for the teacher's question which was "What do you think where you can drink water by straw easily, at the top of the Mount Agri or at the sea level?" As mentioned before, engaging in metaconceptual processes does not guarantee to have scientifically correct ideas.

Teacher: OK. What do you think where you can drink water by straw easily, at the top of the Mount Agri or at the sea level?

...

Esin: Now, teacher as the altitude increases, pressure decreases, and thus, the atmospheric pressure exerted on the surface of water decreases. Therefore, we drink water by straw easily. That is, it is easy to drink water by straw at the top of the Mount Agri.

Teacher: Why does the decrease in the atmospheric pressure as altitude increases make easy for us to drink water by straw?

Esin: *Because the atmospheric pressure exerted on water decreases and water can easily rise in the straw. For example, think about a live... Does it stand up easily when you force more on it or when you force less on it? Of course, it stands up easily when you force less on it.*

#### **4.5.1.2.2.4 Metaconceptual monitoring change in ideas of Esin**

Esin provided more evidence for her engagement in metaconceptual monitoring change in ideas in the Journal Writing Activity 13 of Lesson 6, in the Journal Writing Activity 19 of Lesson 8, in the Journal Writing Activity 23 and the group discussion of Lesson 12, in the Journal Writing Activity 27 of Lesson 14, and in the Journal Writing Activity 29 of Lesson 15. In the Journal Writing Activity 13 of Lesson 6, Esin engaged in this metaconceptual process by her answer to the sixth question. The sixth question was "Have you changed your mind after this lesson? What are the differences between your prior and current ideas? Why did you change your mind?" She provided the following response:

Yes, I have changed one of my ideas. It was the idea related to the effect of atmospheric pressure on drinking water by straw. I thought that as altitude increased, the pressure decreased and we could easily drink water by straw. But after the lesson, I learned that since the pressure decreased, the pressure exerted on water to make water rise in the straw also decreased and thus, we hardly drank water by straw. Also, I changed another idea. Before this lesson, I thought that as the altitude increased, pressure increased. After the group and class discussions, I learned that as the altitude increased, pressure decreased.

In the Journal Writing Activity 19 of Lesson 8, Esin engaged this metaconceptual process by her answer to the seventh question which was the same with the sixth question of the Journal Writing Activity 13. Esin stated that "Before the lesson, I thought that as

temperature increases, pressure in the balloon also increases; however, after the lesson, I learned that pressure stayed constant and I changed my mind”.

In the Journal Writing Activity 23 and the group discussion of Lesson 12, Esin also showed evidence for her ability to monitor change in her ideas. In the following excerpt taken from the class discussion, the students were discussing on the first two questions posed to them in group discussion worksheet (see Appendix H). The first question was “How many states of matter exist?” and the second question was “How could you define evaporation?” Esin monitored the change in her ideas which were shown in *italic* below.

Bahar: I am reading the first question. It is asking “How many states of matter exist?” Of course, there are four states: solid, liquid, gases, and vapor. Also, there is plasma state but it is not directly related to our question.

Esin: I also think that there are four states: solid, liquid, gases, and vapor.

Osman: Plasma can be the fourth state.

Esin: *We should have said plasma as the fourth state of matter.*

...

Esin: I think evaporation occurs when the bonding between the molecules is broken. For example, in water, the bonding between the hydrogen and oxygen is broken and evaporation occurs. I mean that the particles of water separated from each other at evaporation. And evaporation occurs if you give heat.

Bahar: I don't agree with Esin. Here, the bonding between the hydrogen and oxygen is not broken because if it occurs, then, chemical change occurs. But evaporation is physical change.

Esin: But hydrogen and oxygen separated from each other and turns into gas at evaporation. If they stay as water molecule then, it is not possible for them to turn into gas because oxygen and hydrogen are gases. Certainly, they separated from each other.

Bahar: So you think that when oxygen and hydrogen hit to a place, they come together and form water?

Esin: With cold air yes.

...

Osman: If the bonding between the hydrogen and oxygen is broken, then, why we make electrolysis? The bonding between the hydrogen and oxygen is not broken. The bonding between water molecules is broken.

Bahar: I agree with you Osman.

Esin: Isn't the hydrogen and oxygen coming together and forming water?

Osman: Look Esin, if you are true, then, why do we make electrolysis? The bonding between water molecules should be broken for evaporation. If the bonding between the hydrogen and oxygen is broken, then, the identity of water changes...

Bahar: I agree with Osman.

Esin: *I agree with Osman. Osman changed my mind. In our discussion with Bahar, I had hesitation whether evaporation was physical or chemical change. But I understood this situation better with the help of Osman's explanation. Now, I also think that the bonding between the hydrogen and oxygen is not broken. The bonding between water molecules is broken.*

Esin also stated the change in her ideas in the Journal Writing Activity 23. She provided the following response:

In our group discussion, especially, Osman and I thought differently related to evaporation. I said that the bonding between the hydrogen and oxygen is broken. However, Osman said that the bonding between water molecules is broken. But I was wrong. I understood this like that: if I were right, then, there would be chemical change, and thus, vapor couldn't turn into water again. Since they explained this situation like that, I understood that I was wrong.

In Lesson 14, Esin also provided evidence for engaging in metaconceptual monitoring change in ideas by her following answer in the Journal Writing Activity 27:

I changed my mind. For example, I thought that evaporation occurred after boiling before the lesson. But after the lesson, I learned that evaporation occurs at every temperature and I changed my mind. Also, before the lesson, I drew the pictures of evaporation and condensation in terms of particles wrongly. At the beginning, I thought that water molecule would break apart into oxygen and hydrogen gases. However, this wasn't true. Just the forces between the molecules get weaker.

Esin also showed another evidence for engaging in metaconceptual monitoring change in ideas by her answer in the Journal Writing Activity 29 of Lesson 15. In addition to the changes in her ideas related to the relationship between altitude and atmospheric pressure, definition of evaporation and the picture of evaporation and condensation in terms of particles, she also stated that she drew the phase change graph wrongly. She showed evaporation after boiling in the phase change graph of water. However, she indicated that after Lesson 15, she learned that evaporation occurred at every temperature and corrected her phase change graph.

#### **4.5.1.2.3 Metaconceptual evaluation of Esin**

Esin displayed evidence for her engagement in all the subcategories of metaconceptual evaluation (see Table 4.31). Exemplary excerpts are presented below for the subcategories of metaconceptual evaluation of Esin.

##### **4.5.1.2.3.1 Metaconceptual evaluation of existing idea of Esin**

Esin showed evidence for her ability to engage in metaconceptual evaluation of existing idea in the group discussions of Lessons 12 and 14. In the following excerpt taken from the group discussion of Lesson 12, the students were discussing the definition of evaporation. Esin defended that the bonding between the hydrogen and oxygen was broken at evaporation and evaluated her idea by giving examples as indicated *italic* below although her idea was not scientifically correct.

Esin: How could you define evaporation?

Bahar: Evaporation...For example, consider water. Evaporation means that the distance between water molecules increases, while water evaporates.

Esin: I think evaporation occurs when the bonding between the molecules is broken. For example, in water, the bonding between the hydrogen and oxygen is broken and evaporation occurs. I mean that the particles of water separated from each other at evaporation. And evaporation occurs if you give heat.

Bahar: I don't agree with Esin. Here, the bonding between the hydrogen and oxygen is not broken because if it occurs, then, chemical change occurs. But evaporation is physical change.

Esin: *But hydrogen and oxygen separated from each other and turns into gas at evaporation. If they stay as water molecule, then, it is not possible for them to turn into gas because oxygen and hydrogen are gases. Certainly, they separated from each other.*

Bahar: So you think that when oxygen and hydrogen hit to a place, they come together and form water?

Esin: *With cold air yes. I would like to give example for this. For instance, when you put a balloon near furnace since the movement of the particles increases, the volume of the balloon increases. It is because of that. That is, the distance between them increases because their movement increases. Therefore, the particles of water separated from each other. Also, when the particles hit a cold place, they condensed and form water.*

Esin also displayed another evidence for her engagement in metaconceptual evaluation of existing idea in the group discussion of Lesson 14. One of the topics that the students discussed in this lesson was the rate of evaporation. In the group discussion, Seyhan defended the idea that the rate of evaporation depended on the surface level and as the surface level increases, the rate of evaporation increases. However, Esin objected to Seyhan's idea. She advocated that as the surface level increases, the rate of evaporation decreases, although her ideas did not represent a scientific explanation. Esin evaluated her idea as follows:

We said that freezing started on the surface. Freezing started from the lake surface and we couldn't see freezing at the bottom of the lake. If we thought the evaporation like that, the substance that has a smaller surface area will evaporate faster. The evaporation occurs at the surface isn't it? If the surface is not larger, then, it will evaporate faster Seyhan. Also, if you think boiling, what do you think water boils faster in a small cup or in a large cup? Doesn't it boil faster in a small cup?

At the interview on concept learning (see Appendix C), Esin also emphasized that her prior knowledge affected her evaluation of a new concept. She said that if her prior knowledge was settled in her mind, especially if she experienced it before, then, it could be difficult for her to leave her prior knowledge.

#### **4.5.1.2.3.2 Metaconceptual evaluation of existing experience of Esin**

Esin displayed evidence for her engagement in metaconceptual evaluation of existing experience in the class discussion of Lesson 15. In the following excerpt taken from the class discussion, the students were discussing how atmospheric pressure affected the amount of

time required to cook food. Esin advocated that as the atmospheric pressure increased, the amount of time required to cook food shortened and evaluated her idea by considering her existing experience with pressure cooker.

Teacher: How does the amount of time required to cook food shorten if the boiling point of a liquid decreases?

Batu: For example, instead of increasing the temperature to 100 °C, we could cook food at 95 °C.

Teacher: How did you conclude that the amount of time required to cook food shorten when the boiling point is low?

Batu: For example, at the top of the mountain, water boils at 95, instead of 100 °C, and thus, the amount of time required to cook food will shorten.

Bahar: Teacher, I agree with Batu. As the altitude increases, the boiling point decreases...

...

Teacher: Does anybody would like to comment on this subject?

Esin: I think the amount of time required to cook food is less at the sea level compared to the top of the mountain because as the altitude increases, the atmospheric pressure decreases, and thus, we will cook food later at the top of the mountain. For example, think about pressure cooker. You can cook food in a short period of time if you use pressure cooker because the pressure is high inside it. Since the atmospheric pressure is high at the sea level, I think we will cook food earlier at the sea level compared to the top of the mountain.

At the interview on concept learning (see Appendix C), Esin also emphasized that the experiences that she took from everyday life were very effective on her evaluation of a new concept.

#### **4.5.1.2.3.3 Metaconceptual evaluation of ideas from other people/sources of Esin**

Esin provided evidence for her engagement in metaconceptual evaluation of ideas from other people/sources in the group discussions of Lessons 1, 12, and 14. In the following excerpt from the group discussion of Lesson 1, the students were discussing the change in the atmospheric pressure depending on the change in altitude. Esin metaconceptually evaluated one of her friend's idea who defended that as altitude increased, atmospheric pressure decreased. It should be noted that her friend's idea was scientifically correct; however, since Esin had alternative conception from everyday life, she advocated that her friend was wrong.

Samet: Atmospheric pressure is high at the sea level because as the altitude increases, pressure decreases. Therefore, I say that atmospheric pressure is high at the sea level.

Esin: *Samet is wrong. For example, think about mountaineers. When mountaineers climb to the top of the mountain, then, their nose is bleeding because pressure is increasing.*

Bahar: I agree with Esin.

Esin: Therefore, the atmospheric pressure is higher at the top of the Mount Agri.



Esin provided evidence for her engagement in this metaconceptual process in the group discussion of Lesson 12. In this lesson, the students were discussing the difference between evaporation and boiling. One student said that boiling occurred with the increase in heat; however, in order for evaporation to occur, heat was not needed. Esin was opponent to this idea and she said that heat was necessary for evaporation. In this group discussion, Esin defended her alternative idea related to evaporation and evaluated her friend's idea based her alternative idea. She thought that evaporation could only occur if there is a change in temperature.

In the class discussion of Lesson 14, Esin evaluated the validity of one of her friends' idea. They were articulating their ideas related to the change in the level of water in an open bottle left for several days at 5 °C. Esin defended that the level of water in the open bottle would decrease because of the evaporation. However, Seyhan had confusion about the change in the level of water although she was sure that the level of water would not change in a closed bottle. She explained that there would be evaporation in a closed bottle; however, since the evaporated water molecules hit to the cap of the bottle and turned into liquid again, the level of water in a closed bottle would not change. Esin judged Seyhan's idea and said that if Seyhan accepted that evaporation occurred in a closed bottle, then, she should have accepted that the level of water in an open bottle would also decrease. It should be noted that Esin and Seyhan had an alternative conception related to condensation. They thought that in order for condensation to occur, there must be an abrupt change in temperature. They did not include "saturated vapor" concept in their explanations.

Furthermore, Esin indicated that while evaluating an idea from other people/sources, the plausibility of that idea was important for her at the interview on concept learning (see Appendix C). She also gave example from one of the group discussion in order to explain how the plausibility of an idea from her friends changed her mind. She stated that she thought the bonding between the hydrogen and oxygen was broken at the evaporation of water. However, after her friends stated that evaporation is a physical change and if the bonding between the hydrogen and oxygen was broken, it would be chemical change, then, Esin evaluated the validity of her friends' idea and changed her mind.

Esin was one of the students who had lots of alternative conceptions based on her pre-SMDT scores and pre-interview results (for pre-interview results see Table 4.35). By taking into consideration the metaconceptual processes of Sertan and Esin, it was seen that Esin could not show much ability to engage in metaconceptual evaluation compared to Sertan. The results are discussed in section 5.1 in detail.

#### 4.5.2 Ideas of the Students Before and After the MTI

In order to answer the fourth research question related to the changes in students' alternative conceptions in relation to their conceptual understanding of states of matter after the MTI, the change in Esin's ideas in relation to her conceptual understanding of states of matter is presented as case study since she represented the students who had several alternative conceptions. As mentioned in section 3.9.2, Adadan et al.'s (2009) types of conceptual understandings list were used as a "start list of codes" while coding the data. The complete coding scheme and criteria used for categorization of students' understanding for each of the concepts is shown in Table 4.34 (see Appendix D for the interview questions).

Table 4.34 The coding scheme and criteria used for categorization

Codes	Criteria
1.1. Scientific Understanding of Solids, Liquids, and Gases 1.1.1. Solids 1.1.2. Liquids 1.1.3. Gases	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Particles in solids are tightly packed.</li> <li>➤ Particles in solids have restricted movement.</li> <li>➤ Particles in solids have low kinetic energy.</li> <li>➤ Particles in solids have strong attractions between them.</li> <li>➤ Particles in liquids are further apart than in solids.</li> <li>➤ Particles in liquids move freely than in solids.</li> <li>➤ Particles in liquids have higher kinetic energy than in solids.</li> <li>➤ Particles in liquids have weaker attractions between them than in solids.</li> <li>➤ Particles in gases are further apart than liquids.</li> <li>➤ Particles in gases move freely than in liquids.</li> <li>➤ Particles in gases have the highest kinetic energy compared to particles in liquids and solids.</li> <li>➤ Particles in gases have the weakest attractions between them compared to particles in liquids and solids.</li> <li>➤ An amount of substance in solid, liquid, and gas forms have the same mass in a closed container.</li> </ul>
1.2. Alternative with Scientific Fragments Understanding of Solids, Liquids, and Gases 1.2.1. Solids 1.2.2. Liquids 1.2.3. Gases	It includes a subset of the scientific understanding criteria, but not all of them with alternative conceptions.

Table 4.34 (continued)

Codes	Criteria
2.1. Scientific Understanding of Gas Laws 2.1.1. Boyle's Law 2.1.2. Charles' Law	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ There is an inversely proportional relationship between pressure and volume of an amount of gas at constant temperature.</li> <li>➤ There is a directly proportional relationship between temperature and volume of an amount of gas at constant pressure.</li> <li>➤ The particles are not changed when heated, cooled, compressed, etc.</li> </ul>
2.2. Alternative with Scientific Fragments Understanding of Gas Laws 2.2.1. Boyle's Law 2.2.2. Charles' Law	It includes a subset of the scientific understanding criteria, but not all of them with alternative conceptions.
3.1. Scientific Understanding of Evaporation 3.1.1. Representational Understanding of Evaporation 3.1.2. Evaporation Phenomenon 3.1.3. Application of Everyday Phenomena	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Matter is not continuous.</li> <li>➤ Gases are in constant motion.</li> <li>➤ There are forces acting between particles.</li> <li>➤ Evaporation of liquid occurs at every temperature without heating by using its internal energy.</li> <li>➤ Evaporation is a physical change.</li> </ul>
3.2. Alternative Fragments Understanding of Evaporation 3.2.1. Representational Understanding of Evaporation 3.2.2. Evaporation Phenomenon 3.2.3. Application of Everyday Phenomena	It includes a subset of the conceptual understanding in conflict with scientific understanding.
4.1. Scientific Understanding of Condensation 4.1.1. Representational Understanding of Condensation 4.1.2. Condensation Phenomenon 4.1.3. Application of Everyday Phenomena	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Matter is not continuous.</li> <li>➤ Gases are in constant motion.</li> <li>➤ There are forces acting between particles.</li> <li>➤ Condensation is a physical change.</li> <li>➤ Steam is condensed water vapor.</li> <li>➤ In a closed system, condensation of water vapor occurs when the water vapor in the system is saturated.</li> </ul>

Table 4.34 (continued)

Codes	Criteria
4.2. Alternative with Scientific Fragments Understanding of Condensation 4.2.1. Representational Understanding of Condensation 4.2.2. Condensation Phenomenon 4.2.3. Application of Everyday Phenomena	It includes a subset of the scientific understanding criteria, but not all of them with alternative conceptions.
4.3. Alternative Fragments Understanding of Condensation 4.3.1. Representational Understanding of Condensation 4.3.2. Condensation Phenomenon 4.3.3. Application of Everyday Phenomena	It includes a subset of the conceptual understanding in conflict with scientific understanding.
5.1. Scientific Understanding of Boiling 5.1.1. Representational Understanding of Boiling 5.1.2. Boiling Phenomenon 5.1.3. Application of Everyday Phenomena	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Matter is not continuous.</li> <li>➤ Gases are in constant motion.</li> <li>➤ There are forces acting between particles.</li> <li>➤ Pure substances boil at specific temperature.</li> <li>➤ The temperature is constant during boiling of a pure substance.</li> <li>➤ Boiling is a physical change.</li> </ul>
5.2. Alternative with Scientific Fragments Understanding of Boiling 5.2.1. Representational Understanding of Boiling 5.2.2. Boiling Phenomenon 5.2.3. Application of Everyday Phenomena	It includes a subset of the scientific understanding criteria, but not all of them with alternative conceptions.
5.3. Alternative Fragments Understanding of Boiling 5.3.1. Representational Understanding of Boiling 5.3.2. Boiling Phenomenon 5.3.3. Application of Everyday Phenomena	It includes a subset of the conceptual understanding in conflict with scientific understanding.

In Table 4.35, all three students' conceptual understanding of states of matter prior to and after the MTI was demonstrated. It was seen that Esin and Bahar had alternative with

scientific fragments understanding for Solids, Liquids and Gases, and Gas Laws and they had alternative fragments understanding for Evaporation, Condensation, and Boiling before the MTI; however, after the MTI, they displayed scientific understanding for most of the concepts. On the contrary, Sertan had scientific understanding for most of the concepts prior to the MTI. After the MTI, Sertan showed scientific understanding for all concepts. As a representative example of the students who had several alternative conceptions, Esin's ideas based on pre-interview and post-interview and the change in her ideas are presented below.

Table 4.35 The ideas of students related to states of matter prior to and after the MTI

	Pre-interview	Post-interview
1.1. Scientific Understanding of Solids, Liquids, and Gases	Sertan	Sertan, Esin, Bahar
1.2. Alternative with Scientific Fragments Understanding of Solids, Liquids, and Gases	Esin, Bahar	
2.1. Scientific Understanding of Gas Laws	Sertan	Sertan, Esin, Bahar
2.2. Alternative with Scientific Fragments Understanding of Gas Laws	Esin, Bahar	
3.1. Scientific Understanding of Evaporation	Sertan	Sertan, Esin, Bahar
3.2. Alternative Fragments Understanding of Evaporation	Esin, Bahar	
4.1. Scientific Understanding of Condensation		Sertan, Esin
4.2. Alternative with Scientific Fragments Understanding of Condensation	Sertan	Bahar
4.3. Alternative Fragments Understanding of Condensation	Esin, Bahar	
5.1. Scientific Understanding of Boiling		Sertan, Esin, Bahar
5.2. Alternative with Scientific Fragments Understanding of Boiling	Sertan	
5.3. Alternative Fragments Understanding of Boiling	Esin, Bahar	

#### 4.5.2.1 Esin's ideas related to states of matter prior to the MTI

Esin had Alternative with Scientific Fragments Understanding of Solids, Liquids, and Gases. While describing the differences among solids, liquids, and gases, Esin displayed scientific understanding at some points. She stated that particles in gases were further apart than liquids and particles in liquids were further apart than solids. She also said that particles in gases moved freely than in liquids and particles in liquids moved freely than in solids. She added that solids had restricted movement and they vibrated. However, when she drew the picture of solids, liquids, and gases in terms of the particles that make up each, she showed

alternative conceptions related to chemical bonding. She thought that while liquid turned into gas, water molecules would break apart into hydrogen and oxygen gases and she drew Figure 4.7.

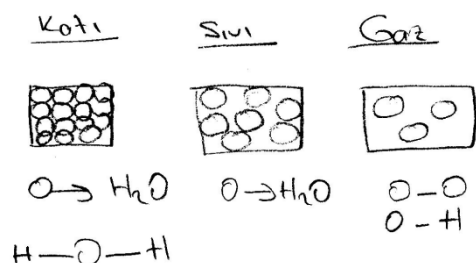


Figure 4.7 Esin's drawing of the picture of solids, liquids, and gases in terms of the particles before the MTI

Esin had Alternative with Scientific Fragments Understanding of Gas Laws. The students were asked several questions related to Boyle's and Charles' Laws. First, the students were given a syringe (the syringe was considered as ideal movable piston) with its end closed and full of air and they were asked to draw the picture of air particles in the syringe before and after the plunger was pushed in. She drew Figure 4.8 and showed the following alternative idea.

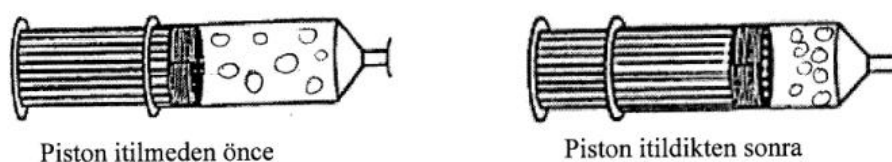


Figure 4.8 Esin's drawing of the picture of air particles in the syringe before and after the plunger is pushed in before the MTI

Esin said that before the plunger was pushed in, the particles would be further apart from each other; however, after the plunger was pushed in, the air particles would be pushed to the end of the syringe. It should be emphasized that Esin presented scientifically accurate idea when she was asked whether there would be a change in particles when the plunger was pushed in. She said that the particles would not change when the plunger was pushed in. The students were also asked the mass and density of the air particles in the syringe before and after the plunger was pushed in. Esin thought that when gas pressure increased, the mass of gas increased. In addition to this alternative conception, she also said that the density of the air particles was not changed after the plunger was pushed in since there was no substance

went out or went into the syringe. It was seen that Esin thought density like mass. Another question was related to the relationship between pressure and volume. Esin drew the following graph to represent the relationship between pressure and volume (see Figure 4.9) which displays Esin's alternative idea. She thought that there was a directly proportional relationship between pressure and volume. Also, she could not consider that pressure was kept constant in movable piston.



Figure 4.9 Esin's drawing of pressure-volume graph before the MTI

The students were also asked the same type of questions related to Charles' Law. First, they were asked if temperature of the air in the syringe was increased, how they would draw the picture of air particles in the syringe before and after temperature was increased. Esin said that after temperature was increased, the movement of the air particles would increase and except from the movement of the particles, there would not be any change in the particles. However, when she was asked to draw temperature-volume graph, she showed evidence for her alternative idea regarding the relationship between pressure and volume. As she stated while answering the question related to Boyle's Law, she also said that there was a directly proportional relationship between pressure and volume since she could not consider that pressure was kept constant in movable piston while explaining the relationship between temperature and volume.

If temperature was increased, only the movement of the air particles in the syringe would increase, and thus, the pressure inside the syringe would also increase. Since the pressure inside the syringe increases, volume will also increase because air particles will exert more force on the walls inside the syringe.

Esin drew the following graphs for the relationship between temperature and volume (see Figure 4.10). She drew two graphs. According to her, the first graph represented the relationship between temperature and volume when temperature was increased and the second graph represented the relationship between temperature and volume when temperature was decreased. This could be resulted from her inadequate knowledge of graph

drawing. She should also have drawn the temperature values based on Kelvin; however, she considered temperature axis based on Celsius.

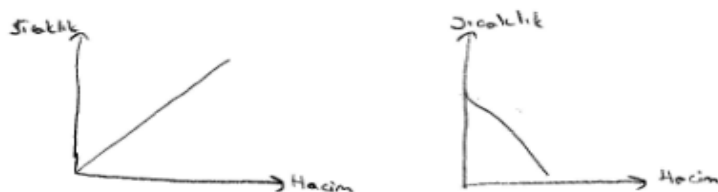


Figure 4.10 Esin's drawing of temperature-volume graph before the MTI

Esin also displayed evidence for her alternative idea regarding the mass and density of the air particles in the syringe as she stated while answering this question for Boyle's Law. She thought that the mass of the air particles in the syringe would increase due to increase in pressure if temperature was increased and the mass of the air particles in the syringe would decrease due to decrease in pressure if temperature was decreased. She also said that the density of the air particles was not changed. The students were also asked a question related to everyday application of Charles' Law: "You pumped air in your bicycle tire and leave it in the sun for a long time. Do you think there will be any change in the volume of the tire?" Esin said that the volume of tire would increase due to increase in temperature. She also gave another example to support her idea. She stated that she also observed that when she put a plastic ball near to the furnace, the volume of the ball also increased.

Esin had Alternative Fragments Understanding of Evaporation. She believed that in order for evaporation to take place, a liquid has to take heat from its environment. The following excerpt shows this alternative idea by the questions from everyday life.

Researcher: At room temperature ( $25^{\circ}\text{C}$ ), there is an open plastic bottle half-filled with water. If this bottle were left for several days in this room, what would happen to the level of water in the bottle?

Esin: It is at room temperature... Therefore, the level of water wouldn't change.

Researcher: At room temperature ( $25^{\circ}\text{C}$ ), there is a closed plastic bottle half-filled with water. If this bottle were left for several days in this room, what would happen to the level of water in the bottle?

Esin: It is closed, isn't it? Then, I will say the same. It wouldn't change because the temperature is constant.

Researcher: At room temperature ( $25^{\circ}\text{C}$ ), there is an open plastic bottle half-filled with water. If this bottle were transferred to a different room whose temperature is  $10^{\circ}\text{C}$  and left for several days in this room, what would happen to the level of water in the bottle?

Esin: I will say that it wouldn't change. There wouldn't be any evaporation because the bottle was transferred to a different room whose temperature is lower- $10^{\circ}\text{C}$ .



Researcher: At room temperature ( $25^{\circ}\text{C}$ ), there is a thermal insulated cup half-filled with water. If this cup were left for several days in this room, what would happen to the level of water in the bottle?

Esin: It wouldn't change because the temperature is constant in this cup.

She also provided evidence for her alternative ideas regarding chemical bonding and the need of heat in order for evaporation while defining evaporation and drawing the picture of evaporation in terms of particles. She said that "evaporation occurs when water changes phase to vapor due to increase in temperature, that is, when water molecules break into hydrogen and oxygen gases". She also drew Figure 4.11 for the picture of evaporation in terms of particles.

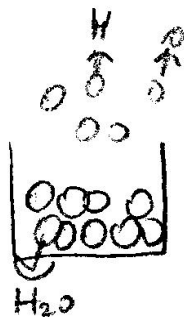


Figure 4.11 Esin's drawing of evaporation in terms of particles before the MTI

In her drawing, she indicated that water molecules broke apart into hydrogen and oxygen gases. Esin was also asked to draw phase change graph for water and to indicate where evaporation, freezing, boiling, and condensation occurred. She drew the following graph (see Figure 4.12) which was scientifically inaccurate. She indicated that evaporation would occur after boiling point of water which was  $100^{\circ}\text{C}$ .

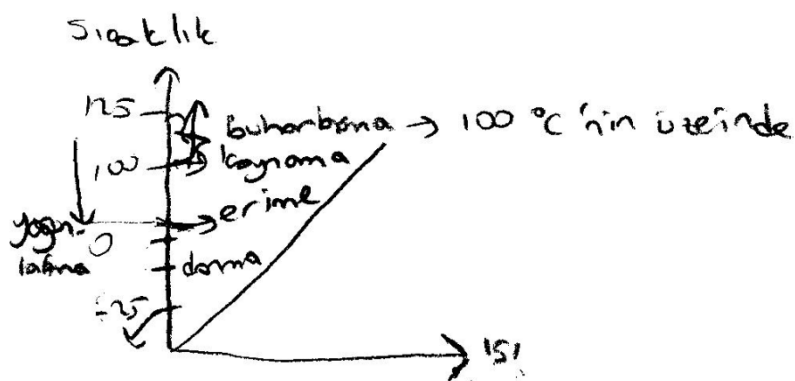


Figure 4.12 Esin's drawing of phase change graph for water before the MTI

Esin had Alternative Fragments Understanding of Condensation. Esin believed that there must always be decrease in temperature, in order for condensation to occur. She did not include a saturated vapor concept when explaining condensation of water in a closed system. She also showed evidence for her alternative idea related to chemical bonding. Her drawing of the picture of condensation in terms of particles (see Figure 4.13) is consistent with her idea about evaporation. She thought that condensation of water occurred when hydrogen and oxygen gases came together to form water molecules.

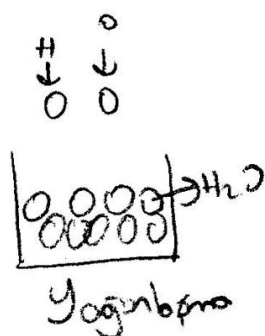


Figure 4.13 Esin's drawing of condensation in terms of particles before the MTI

Esin also showed her alternative idea regarding chemical bonding when answering the following question related to everyday phenomenon: "A bottle of liquid beverage which is cold enough is taken out of the refrigerator. When you wait for some time, you see water droplets formed on the outer surface of the bottle. What do you think where these droplets come from?" Esin said that hydrogen and oxygen gases in hot air came together on the outer surface of the bottle to form water droplets and drew Figure 4.14.

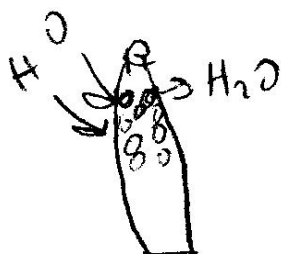


Figure 4.14 Esin's drawing of condensation in terms of particles for everyday phenomenon before the MTI

Esin had Alternative Fragments Understanding of Boiling. When asked to describe boiling, Esin said that a liquid went from liquid phase to gas phase by heat. She also stated

that the bubbles coming from a pot of boiling water were hydrogen and oxygen gases since water molecules would break apart into hydrogen and oxygen gases while evaporating. Compatible with her drawing of evaporation and condensation, she drew Figure 4.15 for boiling in terms of particles.

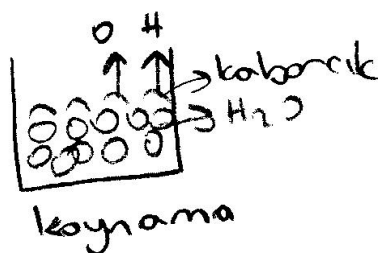


Figure 4.15 Esin's drawing of boiling in terms of particles before the MTI

Esin was also asked another question related to everyday phenomenon: "What do you think where water boils at higher temperature, at the top of the Mount Agri or at the sea level?" Esin said that water boils at higher temperature at the top of the Mount Agri since as altitude increased, atmospheric pressure increased.

To sum up, Esin had the following alternative ideas before the MTI:

- While liquid turned to gas, water molecules would break apart into hydrogen and oxygen gases.
- When air is compressed, the particles are all pushed to the end of the syringe.
- When the gas pressure increases, the mass of the gas increases and when the gas pressure decreases, the mass of the gas decreases.
- The density of the air particles were not changed after the plunger was pushed in.
- There was a directly proportional relationship between pressure and volume.
- Pressure was not kept constant in movable piston.
- In order for evaporation to take place, a liquid has to take heat from its environment.
- Evaporation occurred after boiling.
- Condensation of water occurred when hydrogen and oxygen gases came together to form water molecules.
- In order for condensation to take place, there must always be decrease in temperature.
- When water boils, it breaks into its components hydrogen and oxygen.
- When water boils and bubbles come up, the bubbles are oxygen and hydrogen.
- As altitude increased, boiling point of a liquid increased due to increase in pressure.

#### 4.5.2.2 Esin's ideas related to states of matter after the MTI

After Esin engaged in metaconceptual processes, she changed most of her ideas and provided evidence for scientifically accepted ideas. Before the MTI, Esin had Alternative with Scientific Fragments Understanding of Solids, Liquids, and Gases. However, after the MTI, she had Scientific Understanding of Solids, Liquids, and Gases. Before the MTI, Esin thought that while liquid turned into gas, water molecules would break apart into hydrogen and oxygen gases; however, after the MTI, she changed her mind and drew Figure 4.16 for the picture of solids, liquids, and gases in terms of particles.

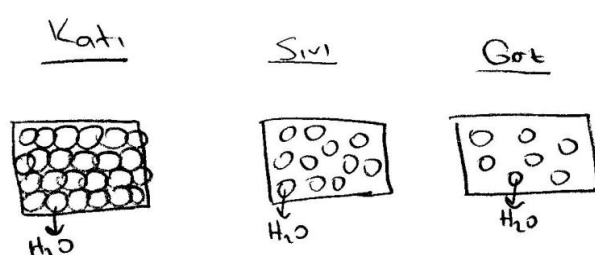


Figure 4.16 Esin's drawing of the picture of solids, liquids, and gases in terms of the particles after the MTI

When she was asked why she changed her mind, she made the following explanation:

Researcher: At the pre-interview, you drew different figure [see Figure 4.7] for the picture of solids, liquids, and gases in terms of the particles. Why did you think like that?

Esin: At that time, I thought that while water turned into gas, it would break apart into hydrogen and oxygen, but I was wrong. I understood this in our group discussion.

Researcher: Why did you change your mind?

Esin: Because if water molecule broke apart into hydrogen gases, then, it would be chemical change. However, here, there is a physical change.

Esin had Scientific Understanding of Gas Laws. After the MTI, Esin changed most of her ideas. Before the MTI, Esin thought that when the plunger was pushed in, the air particles would be pushed to the end of the syringe. However, at the post-interview, she said that after the lessons, she changed her mind and understood that gas particles were evenly scattered. She drew Figure 4.17 to provide evidence for her current idea.

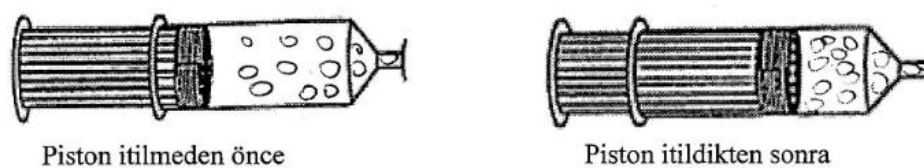


Figure 4.17 Esin's drawing of the picture of air particles in the syringe before and after the plunger is pushed in after the MTI

One of Esin's alternative ideas was when gas pressure or temperature increased, the mass of gas increased. She also said that the density of the air particles was not changed after the plunger was pushed in or after temperature was increased since there was no substance went out or went into the syringe. After the MTI, Esin showed evidence that she changed her understanding of mass and density. She said that after the group and class discussions, she understood that the mass of gas did not change since there was no substance went out or went into the syringe. The following excerpt taken from post-interview showed that how Esin changed her idea related to density.

Researcher: At the pre-interview, you said that density wouldn't change if you increased or decreased the temperature. Did you remember this?

Esin: Yes, I said it didn't change because at that time, I didn't know what density was. However, after the MTI, I changed lots of my ideas.

Researcher: What was density?

Esin: Density was the mass over volume. For example, if we decreased the temperature, the volume of air in the syringe would decrease and since we know that the mass of air wouldn't change, then, the density will increase.

At the pre-interview, Esin also thought that there was a directly proportional relationship between pressure and volume and she considered that pressure was not kept constant in movable piston. At the post-interview, she stated that there was an inversely proportional relationship between pressure and volume. She also provided evidence for her understanding of the pressure-volume relationship in movable piston as indicated in the below excerpt taken from post-interview.

Researcher: At the pre-interview, you made an explanation related to pressure in the syringe. For example, if I increased the temperature, what do you think what happened to the pressure in the syringe?

Esin: If it was a cup with constant volume, then, the pressure inside the cup would increase.

Researcher: If it was movable piston or elastic balloon, what would happen to the pressure?

Esin: Now, the volume of the cup is increasing, and thus, the pressure would not change.

Before the MTI, Esin also drew pressure-volume and temperature-volume graphs (see Figures 4.9 and 4.10); however, these graphs were not the accurate representations of the relationships. At the post-interview, she drew the following graphs (see Figures 4.18 and 19) which represent the correct representations of the relationships between pressure-volume and temperature-volume.

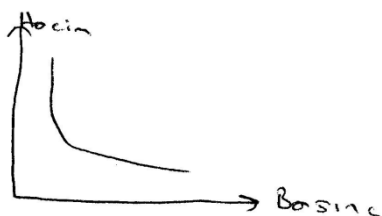


Figure 4.18 Esin's drawing of pressure-volume graph after the MTI

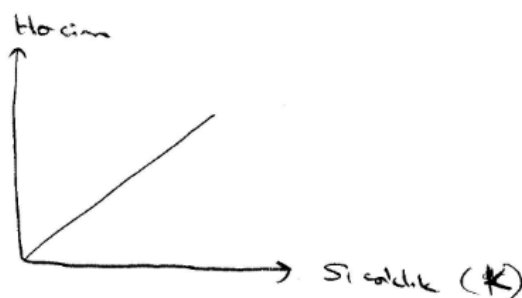


Figure 4.19 Esin's drawing of temperature-volume graph after the MTI

At the post-interview, Esin explained why she drew pressure-volume graph as directly proportional. She said that at the pre-interview, she drew the pressure-volume graph by considering her alternative idea which was “as the volume of an elastic balloon increased, pressure of the balloon increased”. She added that she learned that pressure was constant inside an elastic balloon as its volume increased after the MTI.

Esin had Scientific Understanding of Evaporation after the MTI. Before the MTI, she believed that in order for evaporation to take place, a liquid had to take heat from its environment and evaporation occurred after boiling. She also thought that water molecules would break apart into hydrogen and oxygen gases at evaporation. However, after the MTI, she showed evidence for the change in her ideas. Below is an excerpt taken from the post-interview that demonstrated the change in Esin's alternative idea which was in order for evaporation to take place, a liquid has to take heat from its environment.

Researcher: At room temperature (25 °C), there is an open plastic bottle half-filled with water. If this bottle were left for several days in this room, what would happen to the level of water in the bottle?

Esin: The level of water will decrease because evaporation occurs at every temperature.

Researcher: At room temperature ( $25^{\circ}\text{C}$ ), there is a closed plastic bottle half-filled with water. If this bottle were left for several days in this room, what would happen to the level of water in the bottle?

Esin: The level of water will decrease but not as much as the level of water in the open bottle.

Researcher: At room temperature ( $25^{\circ}\text{C}$ ), there is an open plastic bottle half-filled with water. If this bottle were transferred to a different room whose temperature is  $10^{\circ}\text{C}$  and left for several days in this room, what would happen to the level of water in the bottle?

Esin: The level of water will decrease because evaporation occurs at every temperature. But the level of water doesn't decrease as much as the level of water in the open bottle at  $25^{\circ}\text{C}$ .

Researcher: At room temperature ( $25^{\circ}\text{C}$ ), there is a thermal insulated cup half-filled with water. If this cup were left for several days in this room, what would happen to the level of water in the bottle?

Esin: It will also decrease but just a little.

Researcher: It was thermal insulated cup. How does evaporation occur?

Esin: Water evaporates with the internal energy of itself. Evaporation occurs at every temperature.

Esin also corrected her phase change graph after the MTI (see Figure 4.20). At the pre-interview, she indicated that evaporation would occur after boiling point of water which was  $100^{\circ}\text{C}$ . At the post-interview, she said that she showed evaporation after boiling in the phase change graph of water since she observed mist above boiling water in everyday life; however, she understood that evaporation occurred at every temperature.

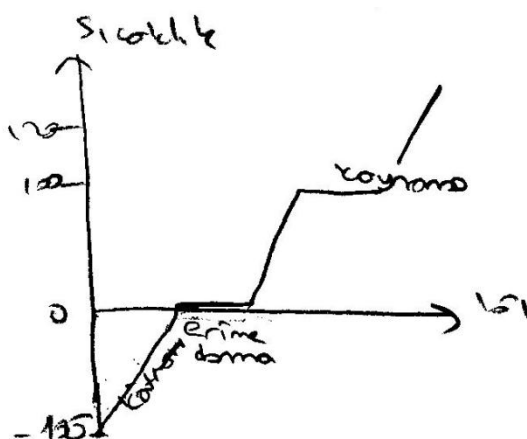


Figure 4.20 Esin's drawing of phase change graph for water after the MTI

Furthermore, when Esin drew the picture of evaporation in terms of particles at the pre-interview, she thought that water molecules broke apart into hydrogen and oxygen gases. After the MTI, she changed her alternative idea and drew Figure 4.21 for evaporation of

water in terms of particles. She said that at the pre-interview, she drew wrong figure for the picture of evaporation of water. However, after the MTI, she stated that she learned that if water molecules broke apart into hydrogen and oxygen gases at evaporation, then, this would be chemical change.

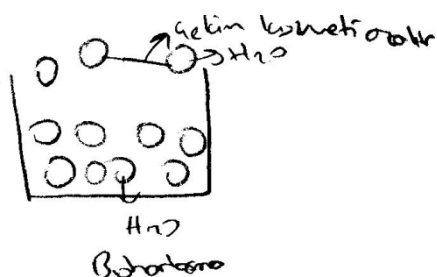


Figure 4.21 Esin's drawing of evaporation in terms of particles after the MTI

Esin had Scientific Understanding of Condensation after the MTI. Before the MTI, she did not include saturated vapor concept in her explanation of condensation. She thought that in order for condensation to occur, there must always be decrease in temperature. Similar to her alternative idea related to chemical bonding at evaporation, she thought that condensation of water occurred when hydrogen and oxygen gases came together to form water molecules. Below is an excerpt taken from the post-interview that displayed how Esin changed her ideas after the MTI.

Researcher: At the pre-interview, you drew the picture of condensation like that.

You said that hydrogen and oxygen gases came together to form water molecule.

Esin: I was wrong as I said at evaporation.

Researcher: Do you think there must only be decrease in temperature for condensation?

Esin: No, not every time. Sometimes it occurs after the vapor is saturated at a given temperature.

Researcher: How could you define condensation?

Esin: Condensation occurs whenever the vapor of liquid is saturated or whenever there is a decrease in temperature.

Esin also drew Figure 4.22 for the picture of condensation in terms of particles after the MTI. She indicated that the forces between water molecules got weaker while condensing.



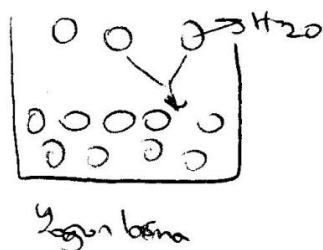


Figure 4.22 Esin's drawing of condensation in terms of particles after the MTI

Esin had Scientific Understanding of Boiling after the MTI. Before the MTI, she said that the bubbles coming from the boiling water were made of hydrogen and oxygen gases since she believed that when water evaporated, it broke apart into oxygen and hydrogen gases. However, after the MTI, as she changed her ideas related to evaporation and condensation, she also changed her ideas related to boiling. At the post-interview, she stated that she was wrong regarding her idea which was water broke apart into oxygen and hydrogen gases when boiling and she corrected the picture of boiling in terms of particles (see Figure 4.23).

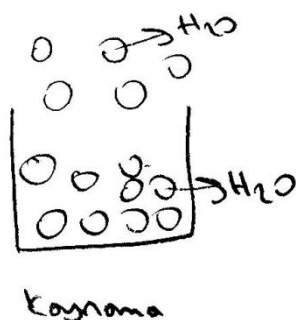


Figure 4.23 Esin's drawing of boiling in terms of particles after the MTI

Esin was also changed her idea related to everyday phenomenon: "What do you think where water boils at higher temperature, at the top of the Mount Agri or at the sea level?" At the pre-interview, she said that water boils at higher temperature at the top of the Mount Agri since as altitude increased, atmospheric pressure increased. However, after the MTI, she said that she was wrong about her idea. The following excerpt taken from the post-interview showed how Esin changed her idea after the MTI.

Researcher: Do you think boiling point of water occur at 100 °C every time?

Esin: No, it depends on the altitude. Water boils at 100 °C at the sea level.

Researcher: What would happen to the boiling point of water at higher altitude?

Esin: It will decrease.

Researcher: Why do you think that boiling point of water decreases, as altitude increases?

Esin: Boiling occurs when vapor pressure of a liquid becomes equal to the atmospheric pressure, and thus, at higher altitudes, vapor pressure and atmospheric pressure are equalized at lower temperatures.

Researcher: At the pre-interview, you said that water boiled at higher temperatures as altitude increased. Do you agree with your previous idea?

Esin: No, I was wrong. As altitude increases, atmospheric pressure decreases and boiling point of water decreases. After group and class discussions, I understood that I thought inaccurately.

Researcher: Why did you think that as altitude increased, boiling point of water increased?

Esin: On holiday, we went to Mersin. The altitude of Nevsehir is higher than Mersin. In Mersin, I observed that water boiled faster than Nevsehir. Therefore, I thought that the boiling point of water at the sea level was lower than at higher altitudes. But I was wrong because I didn't consider that the previous temperature of water and the mass of water affected the time period of boiling. I wrongly thought that if water boiled faster, then, it also boiled at lower temperature.

By taking into consideration the results of pre-interview and post-interview, it could be said that Esin changed most of her ideas. Esin's pre-SMDT and post-SMDT scores also supported this result. Before the MTI, Esin had several alternative conceptions and her pre-SMDT score was 1 out of 19. On the contrary, after the MTI, she had better scientific understanding of the concepts and she scored 11 out of 19 on post-SMDT. She also scored better on the r-SMDT (10 out of 19) which shows the durability of her concepts.

#### 4.6 Summary of the Results

The results of the study are summarized below.

- The mean values of the pre-SMDT scores were close to each other for the experimental and control groups. After the treatment, the mean values of the post-SMDT and r-SMDT scores were different from each other for the experimental and control groups. The mean values of the post-SMDT and r-SMDT scores for the experimental group were almost two times the mean values of the post-SMDT and r-SMDT scores for the control group.
- The gain scores for the SMDT and SETC scores in terms of groups demonstrated that the big increase in the mean values for the SMDT and SETC scores are observed in the EGs for the three administrations (pretest, posttest, and retention-test).
- There was a significant difference between posttest mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of the collective dependent variables of the post-SMDT scores and the post-SETC scores when the effects of the pre-SMDT scores and the pre-SETC scores were controlled (Wilks'  $\lambda = .62$ ,  $F(2, 97) = 30.21$ ,  $p = .00$ ) with a very large effect size value in favor of the

experimental group. It was found that 38% of the total variance in the dependent variables could be attributed to the TM. The observed power of the study was 1.00.

- There was a significant difference between posttest mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of the post-SMDT scores when the effects of the pre-SMDT scores and the pre-SETC scores were controlled ( $F(1, 98) = 61.04, p = .00$ ) with a very large effect size value in favor of the experimental group. It was found that 38% of the total variance in the dependent variable of the post-SMDT scores could be attributed to the TM. The observed power of the study was 1.00.
- There was no significant difference between posttest mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of the post-SETC scores when the effects of the pre-SMDT scores and the pre-SETC scores were controlled ( $F(1, 98) = 4.08, p = .046$ ) with a small effect size value. It was found that that only 4% of the total variance in the dependent variable of the post-SETC scores could be attributed to the TM. The observed power of the study was .52.
- There was a significant difference between retention-test mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of the collective dependent variables of the r-SMDT and r-SETC scores when the effects of the pre-SMDT scores and the pre-SETC scores were controlled (Wilks'  $\lambda = .68, F(2, 96) = 22.92, p = .00$ ) with a very large effect size value in favor of the experimental group. It was found that 32% of the total variance in the dependent variables could be attributed to the TM. The observed power of the study was 1.00.
- There was a significant difference between retention-test mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of the r-SMDT scores when the effects of the pre-SMDT scores and the pre-SETC scores were controlled ( $F(1, 97) = 43.70, p = .00$ ) with a very large effect size in favor of the experimental group. It was found that 31% of the total variance in the dependent variable of the r-SMDT scores could be attributed to the TM. The observed power of the study was 1.00.
- There was a significant difference between retention-test mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of the r-SETC scores when the effects of the pre-SMDT scores and the pre-SETC scores were controlled ( $F(1, 97) = 8.79, p = .00$ ) with a medium effect size value in favor of the experimental group. It was found that 8% of the total variance in the dependent variable

of the r-SETC scores could be attributed to the TM. The observed power of the study was .84.

- Treatment verification was provided. Students in the control group were taught by the TI and students in the experimental group were taught by the MTI. There was also a high and positive correlation between researchers' scoring of items for the classroom observation checklist.
- The percentages of alternative conceptions decreased from one-tier to three-tier scores for both experimental and control groups in terms of the three administrations (pretest, posttest, and retention-test). Also, the decrease in the percentages of alternative conceptions from the pre-SMDT scores to the post-SMDT or the r-SMDT scores was more in the experimental group compared to the control group.
- In order to explore students' nature of metaconceptual processes during treatment, Esin and Sertan who had several alternative conceptions and who had few alternative conceptions, respectively, were selected. These two students (Sertan and Esin) were selected based on their pre-SMDT scores and the teachers' and researcher's observations. Metaconceptual categorization for metaconceptual processes was made. The main categories were metaconceptual awareness, metaconceptual monitoring, and metaconceptual evaluation. Sertan showed lots of evidence for his engagement in metaconceptual evaluation. He made lots of judgmental decisions whether one idea is better than another idea. Esin could not show much ability to engage in metaconceptual evaluation compared to Sertan.
- By taking into consideration the results of pre-interview and post-interview, it could be said that Esin changed most of her ideas. Esin's pre-SMDT and post-SMDT scores also supported this result. Before the MTI, Esin had several alternative conceptions and her pre-SMDT score was 1 out of 19. On the contrary, after the MTI, she had better scientific understanding of the concepts and she scored 11 out of 19 on post-SMDT. She also scored better on the r-SMDT (10 out of 19) which shows the durability of her concepts.

## CHAPTER 5

### DISCUSSION, CONCLUSIONS, AND IMPLICATIONS

In this chapter, discussion of the results, external validity of the study, conclusions of the study, implications, and recommendations for further study are presented.

#### 5.1 Discussion

This study revealed that the MTI compared to the TI facilitated 10th grade students' conceptual understanding and durability of states of matter concepts with a large effect size. Furthermore, it was found that the MTI was effective on the students' long-term retention of self-efficacy beliefs with a medium effect size. In the literature, several studies reported that metacognition facilitated conceptual change learning (e.g., Baird, 1986; Baird & Mitchell, 1989; Baird & Northfield, 1992; Blank, 2000; Georghiades, 2000; Georghiades, 2004a; Gunstone, 1994; White & Gunstone, 1989; Yuruk, 2005). However, there is no experimental study in the chemistry education literature found by the researcher related to the role of metaconceptual teaching instruction on students' conceptual understanding. There are only few studies investigating the effect of metaconceptual teaching instruction compared to traditional instruction on students' understanding of some physics concepts (Georghiades, 2004a; Yuruk, 2005). Georghiades (2004a) conducted a study to investigate the effect of metacognitive instruction compared to traditional instruction on 60 11 years old children's understanding of "current electricity" concepts in Northern Cyprus. He found that although there was no significant difference between the two groups instructed by metacognitive instruction and traditional instruction in terms of their understanding of electricity concepts, the students achieved long-term retention of electricity concepts based on the results of electricity test given to the children eight months later after the completion of the "Current Electricity" unit. It should be noted that the data was analyzed by using independent samples t-test, which is a weak statistical analysis, in this study. Also, Georghiades (2004a) did not report the effect size and power of the study. Yuruk (2005) studied with 45 high school students to examine the effect of metaconceptual teaching interventions compared to traditional instruction on students' understanding of force and motion concepts in USA. On the contrary to the results of Georghiades' study (2004a), she found that metaconceptual teaching interventions were effective on students' conceptual understanding of force and

motion concepts compared to traditional instruction. In line with the study of Georghiades (2004a), she reported that there was a significant difference between the two groups instructed by metaconceptual teaching interventions and traditional instruction in terms of their durability of force and motion concepts nine-week after the treatment. She conducted the ANCOVA, which is a powerful statistical analysis, in analyzing data. She reported metaconceptual teaching interventions had a large effect size (partial eta squared = .22) on students' conceptual understanding and durability of their concepts of force and motion. However, she did not document the power of the study. In chemistry education area, similar to the results of Yuruk's study (2005) and contrary to Georghiades' study (2004a), the current study demonstrated that there was a significant difference between posttest mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of the post-SMDT scores with a very large effect size value in favor of the experimental group. It was found that 38% of the total variance in the dependent variable of the post-SMDT scores could be attributed to the TM. The observed power of the study was 1.00. The results of the SMDT in terms of alternative conceptions for two administrations (pretest and posttest) supported these findings. The decrease in the average percentages of students' alternative conceptions from the pre-SMDT scores to the post-SMDT was more in the experimental group compared to the control group (see section 4.4). Examination of the change in students' conceptions of states of matter after the MTI also supported the above results. Based on the findings of the pre-interview and post-interview related to states of matter, it was seen that students changed most of their alternative conceptions regarding states of matter. For example, before the MTI, Esin had several alternative conceptions and her pre-SMDT score was 1 out of 19. On the contrary, after the MTI, she had better scientific understanding of the concepts and she scored 11 out of 19 on post-SMDT. In line with the studies conducted by Benson et al. (1993), Kirbulut and Beeth (2011), and Lin, Cheng and Lawrenz (2000), this study showed that although the students were taught states of matter concepts from elementary school, they still had superficial understanding of states of matter concepts. For instance, the evidence from the pre-interview showed that Esin confused density with mass. Esin said that the density of the air particles was not changed after the plunger was pushed in since there was no substance went out or went into the syringe. Esin also believed that when gas pressure increased, the mass of gas increased. de Berg (1995) also reported that students had confusion between density, volume, and mass. Also, at a class discussion, one of the students said that an inflated balloon/football was lighter than a deflated balloon/football and he defended his idea by saying that "if we don't blow up balloon completely, then, it is heavier. Football players can't play with deflated balloon". As

Sere (1986) and Lin et al. (2000) reported that students' alternative conceptions resulted from the experiences they came across in everyday life. For example, since students saw that balloons were flying into the sky they could thought that gases were lighter than liquids and solids. As Novick and Nussbaum (1978) and Sere (1986) documented, it was also found that the students did not know that the gas particles were evenly scattered in any enclosed space in this study. For example, before the MTI, Esin thought that when the plunger was pushed in, the air particles would be pushed to the end of the syringe. Esin also displayed evidence for her alternative conceptions at microscopic level. While she was drawing the picture of evaporation, condensation, and boiling in terms of particles, she thought that water molecules broke apart into hydrogen and oxygen gases at evaporation and boiling and condensation of water occurred when hydrogen and oxygen gases came together to form water molecules. These alternative conceptions also has been reported elsewhere (e.g., Canpolat, 2006; Canpolat et al., 2006; Chang, 1999; Costu et al., 2010; Kirbulut & Beeth, 2011; Osborne & Cosgrove, 1983). Teaching and learning chemistry requires integration of three perspectives which are macroscopic, submicroscopic, and symbolic (Johnstone, 1993). In addition, a recent strand of studies has shown that multiple representations lead to deeper understanding and consistent ideas across domains and if students have problems in the coordination of multiple representations, they have superficial understanding (Cook, Wiebe, & Carter, 2008; Hubber, Tytler, & Haslam, 2010). Many students have difficulties in relating and making transitions among these three perspectives (De Jong & Taber, 2007). In this study, evidence from the pre-interview showed that Esin could not make transitions among these perspectives. However, after Esin engaged in metaconceptual processes, she changed most of her ideas and provided evidence for scientifically accepted ideas (see section 4.5.2). During the MTI, the students involved in lots of metaconceptual activities which required them to integrate macroscopic, submicroscopic, and symbolic perspectives and students were provided opportunities to become aware of their existing ideas/experiences, to monitor their understanding of a new conception, and to discuss their ideas/experiences with their friends. Hence, this resulted in the changes in their alternative ideas. This issue is further elaborated below while discussing the metaconceptual processes that students engaged in during the MTI. Also, contrary to the literature indicating that students' alternative conceptions could survive even after the instruction was completed (Lin et al., 2000; Nussbaum, 1996; Osborne & Cosgrove, 1983), the results showed that students changed many of their ideas after the MTI which shows the effectiveness of the MTI compared to the TI on students' conceptual understanding of concepts.

As implied in the “introduction” part, a major educational goal is to what extent enduring conceptual retention is attained; however, it is also a challenge for researchers in that it is difficult to provide durability of students’ conceptions (Georghiades, 2004b; Trundle et al., 2007). Even, White and Gunstone (1989) pointed out that most studies which were asserted that they achieved conceptual change were not different than the studies achieving reconstruction of memories. They indicated that permanent conceptual change is the essential of learning. In this respect, Georghiades (2000) argued that metaconceptual activities may not only help to facilitate conceptual change learning and transfer, but they may also support the durability of students’ ideas in science. Furthermore, Hennessey (2003) and Sinatra and Pintrich (2003) advocated that intentional conceptual change was important for deeper and enduring understanding and metacognition lied at the heart of intentional conceptual change. This study proved that the MTI had a positive impact on students’ long-term retention of states of matter concepts with a very large effect size value (partial eta squared = .31) in favor of the experimental group in line with the studies conducted by Georghiades (2004a) and Yuruk (2005). The case studies also supported this finding. For example, Esin’s post-SMDT and r-SMDT scores were 11 and 10, respectively and Sertan’s post-SMDT and r-SMDT scores were 16 and 14, respectively which show the durability of their conceptions. The results of the SMDT in terms of alternative conceptions for three administrations (pretest, posttest, and retention-test) also supported these findings. The difference in the average percentages of alternative conceptions from the post-SMDT scores to the r-SMDT scores was less in the experimental group in favor of students’ durability of states of matter concepts compared to the control group (see section 4.4.).

In terms of self-efficacy beliefs, although it was not found a significant difference between posttest mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of the post-SETC scores, it was demonstrated that there was a significant difference between retention-test mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of the r-SETC scores with medium effect size value (partial eta squared = .08) in favor of the experimental group. Also, it should be indicated that there was a noteworthy result in terms of the gain scores of students (see Table 4.2). It was found that the students’ gain scores calculated by subtracting the mean values of the students’ pre-SETC scores from the mean values of the students’ the post-SETC scores was 6.59, while the students’ gain scores calculated by subtracting the mean values of the students’ pre-SETC scores from the mean values of the students’ the r-SETC scores was 9.34. It seems that students were more efficacious eight weeks after the treatment. Bandura (1997) theorized that students formed their self-efficacy



beliefs as a result of interpretation of four sources: Mastery experiences, vicarious experiences, verbal and social persuasion, and physiological state. The most influential source is students' prior experiences on a task or mastery experience. Students engage in activities and develop self-efficacy beliefs about their capability involving in further activities. Bandura (1997) stated that "a resilient sense of efficacy requires experience in overcoming obstacles through perseverant effort" (p. 80). Taking mastery experiences into consideration, it could be said that students could develop their self-efficacy beliefs during the following unit, which was "mixtures", after the implementation and scored higher on the r-SETC. In the literature, there are studies reporting that students' use of metacognitive strategies played a crucial role in their self-efficacy beliefs of their performance in a course (Anderson & Nashon, 2007; Gourgey, 2001; Pintrich & De Groot, 1990; Pintrich & Garcia, 1991; Pintrich et al., 1991; Sungur, 2007). For example, Gourgey (2001) stated that "metacognitive development might benefit not only their achievement, but their self-efficacy and motivation to learn as well" (p. 31). There are also studies documented the crucial role of self-efficacy in facilitating conceptual change (Anderson & Nashon, 2007; Olson, 1999). If the effect of self-efficacy beliefs in facilitating conceptual change in relation to metacognition was considered, the need for the studies to find effective instructional strategies to increase students' self-efficacy beliefs could be easily understood. There is no study specifically investigating the effect of metaconceptual teaching instruction on students' self-efficacy beliefs. Therefore, this study contributed to the literature in saying that the MTI was effective on students' long-term retention of self-efficacy beliefs.

This study also investigated the nature of metaconceptual processes that students, Esin and Sertan who had several alternative conceptions and who had few alternative conceptions, respectively, engaged in during the MTI. In order to achieve this aim post-interviews about concept learning, audio-recordings of group discussions, video-recordings of class discussions, and journal writings were used. It was found that the students displayed evidence that they engaged in the three main components of metaconceptual processes which are metaconceptual awareness, metaconceptual monitoring, and metaconceptual evaluation (see section 4.5.1 for the categories and subcategories of metaconceptual processes) as Yuruk (2005) indicated. Researchers indicated the crucial role of metaconceptual awareness in conceptual change learning (e.g., Chi, 1992; diSessa, 2008; Hennessey, 2003; Hewson, 1981; Hewson et al., 1998; Hewson & Thorley, 1989; Limon Luque, 2003; Mortimer, 1995; Vosniadou et al., 2008). In the guidelines of teaching for conceptual change, Hewson et al. (1998) emphasized that being aware of one's own conceptual ecology was essential for conceptual change to occur. Chi (1992) emphasized the importance of a learner's

metaconceptual awareness of her/his own ontological commitments for conceptual change. Vosniadou (e.g., Vosniadou, 2003; Vosniadou et al., 2008) stressed the importance of metaconceptual awareness of one's own internal inconsistencies in order to avoid synthetic models. In a similar vein, diSessa (2008) contended that metaconceptual awareness of a learner's own fragmented pieces of knowledge played crucial role in the organization of knowledge structures. Throughout the MTI, the students were provided opportunities to engage in metaconceptual awareness of aims of activities, metaconceptual awareness of existing experience, metaconceptual awareness of everyday applications of a topic, metaconceptual awareness of what you learned, and metaconceptual awareness of what you did not know. For example, Esin showed evidence for the metaconceptual awareness of aims of activities by her answer to the Journal Writing Activity 1: "The aim of the poster drawing activity was to measure our prior knowledge related to this unit, that is, to learn what we know about the unit". Esin and Sertan also showed evidence for their ability to engage in metaconceptual awareness of existing experience. For example, Sertan made his metaconceptual awareness of existing experience in a journal writing activity explicit. In the Journal Writing Activity 19, the students were asked the following questions: "Were your predictions true? How did you make these predictions? Which factors for example which events from daily life affected you to make these predictions?" Sertan said that his predictions were true and he made these predictions by using the expansion of the balloon stayed for a long time in the sun which he experienced in everyday life. Both Esin and Sertan displayed evidence that they became aware of everyday applications of a topic during their engagement in journal writing activities. For example, in the Journal Writing Activity 19 the students were posed the following questions: "According to you, why do we learn Charles's Law? How does Charles's Law help you in everyday life?" Esin answered that "I left a balloon in the cold for a long time and I found that it was shrunken, and now I understand why I found it like that". Esin and Sertan also showed evidence for their realization of what they learned during their engagement in journal writing activities. For example, in the Journal Writing Activity 27, the students were asked "What did you learn from this lesson?" Sertan said that he learned the difference between boiling and evaporation and he also learned the concepts of boiling and evaporation. For metaconceptual awareness of what you did not know, only Esin displayed evidence for her engagement in this metaconceptual process. In the Journal Writing Activity 1, she said that she did not know the relationship between pressure and altitude. In this study, the students also displayed evidence for their engagement in metaconceptual monitoring understanding of an idea, metaconceptual monitoring the consistency between existing idea and ideas from other people/sources,

metaconceptual monitoring the consistency between existing experience and new experience, and metaconceptual monitoring change in ideas. Several researchers stressed the importance of metaconceptual monitoring in conceptual change (diSessa, 1988, 2008; Hewson, 1996; Hewson et al., 1998; Hewson & Thorley, 1989; Inagaki & Hatano, 2008; Ueno, 1993). For example, Hewson and Thorley (1989) emphasized the importance of monitoring the status of learners' own conceptions/concepts in effective conceptual change teaching. Similarly, Hewson (1996) pointed out that making explicit different ideas in a classroom was especially important in raising or lowering the status of conceptions/concepts. Inagaki and Hatano (2008) stated that conceptual change was seen as reducing incongruity process and metaconceptual monitoring was crucial to induce incongruity in the knowledge system. Ueno (1993) acknowledged the crucial role of recontextualization in producing conceptual change and in this respect, Ueno emphasized the importance of monitoring the function of a concept in different contexts. Esin and Sertan showed lots of evidence in their engagement of all the aforementioned metaconceptual monitoring processes. For example, in a class discussion, Esin monitored her understanding of chemical bonding which was an example for metaconceptual monitoring understanding of an idea. She emphasized that the bonding between the hydrogen and oxygen atoms in the molecule itself was not affected at evaporation. She added that the bonding between the two water molecules which was called hydrogen bonding was broken. Regarding metaconceptual monitoring the consistency between existing idea and ideas from other people/sources, for example, in the Journal Writing Activity 3, Sertan showed evidence for his engagement in this metaconceptual process by stating that "Burak said that air didn't have mass but this idea was not intelligible and plausible to me." Esin and Sertan also engaged in metaconceptual monitoring the consistency between existing experience and new experience. For example, while the students were making class discussion related to drinking water from a straw activity, Sertan engaged in this metaconceptual process by saying that "But you can see the same situation while you blow into the cola by straw. The rise in the straw depends on how much you blow". Both Esin and Sertan displayed evidence for their ability to engage in metaconceptual monitoring change in ideas. For example, in the Journal Writing Activity 13, Esin stated that "Before the lesson, I thought that as temperature increases, pressure in the balloon also increases; however, after the lesson, I learned that pressure stayed constant and I changed my mind". Metaconceptual evaluation was the most sophisticated level of metaconceptual processes and included metaconceptual awareness and metaconceptual monitoring since there is a hierarchy among them as discussed below. Metaconceptual evaluation is the essence of conceptual change learning/teaching. For example, in the expanded model of

conceptual change, Hewson et al. (1998) asserted that the status of students' ideas should be discussed, and the students should be provided opportunities to make justifications for the status of their conceptions/concepts. Similarly, Hewson (1996) pointed out that making explicit different ideas in the classroom was especially important in raising or lowering the status of conceptions/concepts. Furthermore, in the "instruction-based conceptual change" model, Inagaki and Hatano (2008) highlighted that metaconceptual evaluation was crucial to induce incongruity in the knowledge system. In his "knowledge in pieces" view, diSessa (1988, 2008) emphasized that metaconceptual evaluation was crucial to make novices' self-explanatory, isolated, and fragmented knowledge structures more organized and internally coherent, coming closer to the knowledge structure of experts. The students engaged in metaconceptual evaluation of existing idea, metaconceptual evaluation of existing experience, and metaconceptual evaluation of ideas from other people/sources during the MTI. Esin and Sertan made judgmental comments on the plausibility and fruitfulness of past or new ideas while engaging in metaconceptual evaluation. For example, in a group discussion related to evaporation, Esin showed evidence that she engaged in metaconceptual evaluation of existing idea. The following explanation of Esin showed that Esin was making comments on the plausibility of her existing idea although it was not scientifically correct: "But hydrogen and oxygen separated from each other and turns into gas at evaporation. If they stay as water molecule, then, it is not possible for them to turn into gas because oxygen and hydrogen are gases. Certainly, they separated from each other". However, after Esin monitored the consistency between her existing idea and ideas from her friends in the group and class discussion, she changed her mind which corroborated the study of Hewson and Thorley (1989) who emphasized the importance of monitoring the status of learners' own conceptions in effective conceptual change teaching. Esin stated that she thought the bonding between the hydrogen and oxygen was broken at the evaporation of water. However, after her friends stated that evaporation is a physical change and if the bonding between the hydrogen and oxygen was broken, it would be chemical change, then, Esin evaluated the validity of her friends' idea and changed her mind. In terms of expanded model of conceptual change in which conceptual change was characterized as raising or lowering the status of conceptions/concepts (Hewson, 1981; Hewson & Lemberger, 1989; Hewson & Thorley, 1989), Esin lowered the status of her existing idea by becoming dissatisfied with her conception in order for the change in the status of her conception considering the plausibility of her friends' ideas. Dissatisfaction counteracts the conception from being plausible and/or fruitful (Hewson & Thorley, 1989). Therefore, Esin chose one conception over another because of its higher status. In another example, it was seen that while Sertan

was engaging in metaconceptual evaluation of existing experience, he evaluated the status of his existing conception related to the masses of water in solid, liquid, and gas phases and changed his idea by considering his existing experience. At first, Sertan stated that the masses of water in solid, liquid, and gas phases were the same but their densities were not the same since he generally observed that solid form of substances was denser than liquid form in everyday life. However, he was in confusion with why the ice was floating in water. Therefore, he decreased the status of his previous idea by himself with the help of his past experience which was that ice was floating in water. Esin and Sertan also displayed evidence for their ability to engage in metaconceptual evaluation of ideas from other people/sources. For example, in a group discussion, Esin metaconceptually evaluated one of her friend's idea who defended that as altitude increased, atmospheric pressure decreased albeit Esin's idea was not scientifically correct: "Samet is wrong. For example, think about mountaineers. When mountaineers climb to the top of the mountain, then, their nose is bleeding because pressure is increasing". However, in a class discussion, after Sertan evaluated plausibility of Esin's idea, Esin changed her mind which also exemplified raising or lowering the status of conceptions. Sertan also engaged in metaconceptual evaluation of ideas from other people/sources by commenting on Esin's idea: "I would like to explain why the mountaineer's nose is bleeding... Blood pressure! ...as the mountaineer climbs to the mountain, since the atmospheric pressure decreases, the pressure in the capillary vessels is now greater than the atmospheric pressure, and thus it cause nose bleeding. As the altitude increases, the pressure decreases... It is not like Esin's idea!" It should be highlighted again that in order to metaconceptually evaluate the plausibility and/or fruitfulness of an idea, a learner should be metaconceptually aware of her/his ideas and have ability to monitor a new concept. For example, here, Esin was aware of her current idea, she monitored the consistency between her idea and Sertan's idea, she metaconceptually evaluated the status of the competing ideas, and she changed her mind since her existing idea lost its plausibility. In sum, this study proved that the MTI provided an environment in activating students' engagement in metaconceptual awareness, metaconceptual monitoring, and metaconceptual evaluation to facilitate conceptual change. The results regarding the effect of the MTI compared to the TI on 10th grade students' conceptual understanding and durability of states of matter concepts and the results of the interviews investigating the change in students' ideas of states of matter after the MTI discussed above also corroborated that the MTI facilitated conceptual change. Furthermore, throughout the MTI, the students found opportunities to discuss their ideas freely with their friends not considering whether they are scientifically correct or not. In line with social cognitive theory (Bandura, 1997), this could

result in students to use their prior experiences in the following unit, which was “mixtures”, after the implementation and to retain their self-efficacy beliefs eight-week after the implementation.

Students’ metaconceptual knowledge could be influential on their concept learning in a positive (e.g., Thomas & McRobbie, 2001) or negative way (Gunstone & Mitchell, 1998). For example, Sertan emphasized the importance of existing experience on his understanding of a new concept at the interview on concept learning as follows: “Of course, sometimes my prior knowledge affected my learning a new concept positively; however, sometimes it affected negatively when there was incompatibility between them”. Also, the interview on concept learning showed that the MTI provided opportunities to students in order to make them metaconceptually aware of their concept learning and to engage in metaconceptual processes. For example, Sertan provided evidence for metaconceptual evaluation of his existing idea at the post-interview on concept learning. He was asked that “When he is learning a new concept, what would happen to his prior knowledge which is incompatible with the new concept?” He said that he could keep his prior knowledge if he did not see enough evidence in terms of the plausibility of the new concept. Furthermore, Esin indicated that while evaluating an idea from other people/sources, the plausibility of that idea was important for her at the interview on concept learning.

In this study, it was seen that metaconceptual processes had three fundamental features. First, metaconceptual processes are multi-faceted and interdependent as reported elsewhere (Brown, 1987; Yuruk, 2005). This means that metaconceptual processes include different types of processes such as metaconceptual awareness, metaconceptual monitoring, metaconceptual evaluation and their subcomponents. Also, engagement in metaconceptual evaluation requires having ability to engage in metaconceptual awareness and metaconceptual monitoring, or engagement in metaconceptual monitoring means that one is aware of her/his ideas, but, this does not mean that to be able to engage in all subcategories of these metaconceptual processes. Secondly, engaging in metaconceptual processes does not guarantee to have scientifically correct ideas as discussed above. Thirdly, metaconceptual processes had different sophisticated levels as Yuruk (2005) declared. The most sophisticated one is metaconceptual evaluation since to achieve metaconceptual evaluation requires being metaconceptually aware of one’s ideas and having the ability to monitor a new concept /existing conceptions. By taking the metaconceptual processes of Sertan and Esin into consideration (see Tables 4.29 and 4.31), it was seen that Sertan showed lots of evidence for his engagement in metaconceptual evaluation. He made lots of judgmental decisions whether one idea is better than another idea. Esin could not show much

ability to engage in metaconceptual evaluation compared to Sertan. Researchers had a consensus on that metacognition was a fundamental pillar of intentional conceptual change (Ferrari & Elik, 2003; Gunstone, 1994; Gunstone & Baird, 1988; Hennessey, 2003; Sinatra & Pintrich, 2003) and intentional conceptual change brought deeper and enduring change (Hennessey, 2003; Sinatra & Pintrich, 2003). According to Hennessey (2003), intentional learners use more sophisticated levels of metaconceptual processes, and thus, they restructure their ideas easily and they create less synthetic models since intentional learners are aware of their ideas, could be able to monitor the consistency between new concepts and their ideas, and make judgments on their ideas. The results of this study corroborated these theoretical stances in that the case of Sertan showed evidence that Sertan, as an intentional learner, was the student who had few alternative conceptions and engaged in the most sophisticated level of metaconceptual processes-metaconceptual evaluation- during the MTI. Also, Sertan's post-SMDT and r-SMDT scores were 16 and 14, respectively which shows the durability of Sertan's conceptions. The other evidence is Esin's engagement in metaconceptual processes. Table 4.31 showed that Esin mostly showed ability to engage in metaconceptual evaluation towards to the end of the MTI and she scored 11 on the post-SMDT and 10 on the r-SMDT. It could be advocated that the MTI could facilitate intentional conceptual change.

Researchers indicated that metacognition could be taught to the students (Baird, 1986; Gunstone, 1994; Schraw, 2001; White & Gunstone, 1989; Wittrock, 1994). For example, Schraw (2001) reported that metacognition could be improved through classroom practices such as allotting time for group discussion and teachers' modeling of their own metacognition. Flavell (1987) asserted that "good schools should be hotbeds of metacognitive development, for the banal sounding reason that so much self-conscious learning goes on in them" (p. 27). Sternberg (1985) stated that the students who were high achievers were also more metacognitive than that the students who were low achievers. As an epilogue for the discussion, I would like to say that in today's rapidly changing technological world, the accumulation of knowledge challenged learners. It is not possible to acquire all knowledge; indeed, it is not meaningful and necessary to have all knowledge. In this respect, metacognitive curriculum becomes more of an issue (Georghiades, 2004b). I mean that as Confucius said: If you give a man a fish, you feed him for a day, if you teach a man to fish, you feed him a way.

## 5.2 External Validity of the Study

The target population consisted of seven Anatolian high schools in Nevşehir; however, five of seven Anatolian high schools only had 10th grade students. There were two Anatolian high schools in the accessible population and both of them were included in the present study. The number of 10th grade students in all Anatolian high schools was 285 and the total enrollment of 10th grade students in the two Anatolian High Schools included in the present study was 152. The sample of this study consisted of 102 10th grade students from two classes of each Anatolian high school, which matched more than ten percent of the whole population. Therefore, the results of this study can be generalized to 10th grade Anatolian high school students in the target population in Nevşehir and to the other populations sharing the similar characteristics.

Most of the students' socio-economic status, including the educational level of their parents, their family income and social life standards were middle. The students and their families were living in the same social community. The students did not go to a private teaching center. Furthermore, the ages of the students participated in this study were ranged from 15 to 16. This study conducted at the second term of schooling. Treatment and instruments were given at the regular school hours. This study focused on states of matter subject. Hence, the results of this study can be generalized to the similar settings.

## 5.3 Conclusions

The conclusions of the study are presented in terms of research questions below: What is the effect of Metaconceptual Teaching Instruction (MTI) compared to Traditional Instruction (TI) on 10th grade students' understanding of states of matter concepts and their self-efficacy toward chemistry when the effects of states of matter diagnostic pretest scores and self-efficacy toward chemistry pretest scores are controlled at the central district of Nevşehir?

- The MTI compared to the TI facilitated 10th grade students' conceptual understanding of states of matter. There was a significant difference between posttest mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of the post-SMDT scores when the effects of the pre-SMDT scores and the pre-SETC scores were controlled ( $F(1, 98) = 61.04, p = .00$ ) with a very large effect size value in favor of the experimental group.
- The MTI compared to the TI was not an effective instruction to increase 10th grade students' self-efficacy beliefs. There was no significant difference between posttest mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on



the population means of the post-SETC scores when the effects of the pre-SMDT scores and the pre-SETC scores were controlled ( $F(1, 98) = 4.08, p = .046$ ) with a small effect size value (partial eta squared = .04).

What is the effect of Metaconceptual Teaching Instruction (MTI) compared to Traditional Instruction (TI) on 10th grade students' durability of states of matter concepts and their durability of self-efficacy toward chemistry when the effects of states of matter diagnostic pretest scores and self-efficacy toward chemistry pretest scores are controlled at the central district of Nevşehir?

- The MTI compared to the TI was an effective instruction on 10th grade students' durability of states of matter concepts. There was a significant difference between retention-test mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of the r-SMDT scores when the effects of the pre-SMDT scores and the pre-SETC scores were controlled ( $F(1, 97) = 43.70, p = .00$ ) with a very large effect size in favor of the experimental group.
- The MTI compared to the TI was an effective instruction on 10th grade students' long-term retention of self-efficacy beliefs. It was demonstrated that there was a significant difference between retention-test mean scores of 10th grade students exposed to the MTI and those exposed to the TI on the population means of the r-SETC scores when the effects of the pre-SMDT scores and the pre-SETC scores were controlled at the central district of Nevşehir ( $F(1, 97) = 8.79, p = .00$ ) with medium effect size value (partial eta squared = .08) in favor of the experimental group.

What is the nature of the metaconceptual processes students who had several alternative conceptions and who had few alternative conceptions engage in during the MTI?

- Metaconceptual processes are multi-faceted and consist of different types of processes such as metaconceptual awareness, metaconceptual monitoring, metaconceptual evaluation and their subcomponents. Metaconceptual evaluation is the most sophisticated level of metaconceptual process. In order to metaconceptually evaluate the plausibility and/or fruitfulness of an idea, a learner should be metaconceptually aware of her/his ideas and have ability to monitor a new concept.
- Students' engagement in metaconceptual processes does not guarantee that they have scientifically correct understandings.
- Both Esin and Sertan engaged in metaconceptual awareness, metaconceptual monitoring, and metaconceptual evaluation.
- Sertan who had few alternative conceptions showed lots of evidence for his engagement in metaconceptual evaluation. He made lots of judgmental decisions whether one idea is

better than another idea. Esin who had several alternative conceptions could not show much ability to engage in metaconceptual evaluation compared to Sertan.

- Towards to the end of the instruction, it was also seen that Esin showed much ability to engage in the most sophisticated level of metaconceptual processes.

What are the changes in students' alternative conceptions in relation to their conceptual understanding of states of matter after the MTI?

- After the MTI, students changed most of their alternative conceptions related to states of matter.

#### **5.4 Implications**

There are several implications drawn from the results of this study:

- Hartman (2001) stated that “learning is best when it is active, meaningful, retained over time, and transfers to a variety of contexts” (p. 34). It is a challenge for researchers to provide durability of students' conceptions (Georghiades, 2004b; Trundle et al., 2007). This study showed that the MTI compared to the TI facilitated 10th grade students' conceptual understanding and durability of states of matter concepts. Also, after the MTI, students changed most of their alternative conceptions. Therefore, the MTI can be used to improve students' conceptual understanding and durability of their concepts by teachers in their classrooms.
- Teaching and learning chemistry requires integration of three perspectives which are macroscopic, submicroscopic, and symbolic (Johnstone, 1993). This study showed that the MTI helped the students to achieve the integration of the aforementioned three perspectives. Therefore, teachers can use the MTI to provide students opportunities to involve in lots of metaconceptual activities which required them to integrate macroscopic, submicroscopic, and symbolic perspectives.
- This study showed that the MTI compared to the TI was effective on students' long-term retention of self-efficacy beliefs. Hence, the teachers can use the MTI in their classrooms to increase their students' self-efficacy beliefs.
- The MTI can be used to provide a student-centered learning environment in which students have opportunity to become aware of their existing conceptions, to monitor their understanding of a new conception, to evaluate their conceptions, and to increase their self-efficacy beliefs.
- This study showed that students who had several alternative conceptions and who had few alternative conceptions engaged in metaconceptual processes at different sophisticated levels; however, towards to the end of the instruction, it was also seen that

students showed much ability to engage in the most sophisticated level of metaconceptual processes. The teachers should be aware of the effect of the MTI on students' engagement in metaconceptual processes in that intentional learners use more sophisticated levels of metaconceptual processes (Hennessey, 2003).

- This study demonstrated that the MTI was an effective instruction on students' conceptual understanding and durability of states of matter concepts and their long-term retention of self-efficacy beliefs. Also, it was seen that Sertan was the student who engaged in the most sophisticated level of metaconceptual process-metaconceptual evaluation- and who had few alternative conceptions. Being aware of one's own conceptual ecology, monitoring one's own ideas, and making justifications for the status of one's conceptions/concepts are essentials for conceptual change. Hence, teacher education programs can inform teachers about the MTI, conceptual change, and metaconceptual processes.
- This study showed that the MTI was effective on students' conceptual understanding and durability of states of matter concepts and their long-term retention of self-efficacy beliefs. Therefore, curriculum developers can include metaconceptual teaching activities in the curriculum.
- In line with the implications reported elsewhere (Baird & Mitchell, 1989; White & Gunstone, 1989), based on the personal communications with teachers and students, it could be said that metacognitive teaching instruction should cover not only chemistry but also other courses in the school.

### **5.5 Recommendations for Further Study**

The following recommendations were proposed to shed light on to the researchers eager to study on metacognition and conceptual change:

- Chemistry education literature lacks three-tier tests. Three-tier tests are more valid tests than conventional multiple-choice tests and/or two-tier tests since they provide researchers to understand students' reasoning behind their answers, distinguish alternative conceptions from lack of knowledge, and estimate percentages of false positives and negatives. In this study, in order to measure 10th grade high school students' understanding of states of matter concepts, the SMDT was developed by the researcher. However, there is need for more studies to develop three-tier tests in other subjects.
- In order to see whether the MTI is effective on students' conceptual understanding and durability of concepts, this study could be replicated in different subjects in chemistry.

- The results of this study can be generalized to 10th grade Anatolian high school students. Therefore, this study could be replicated with the students at different grades and in different types of schools.
- This study was conducted in the classrooms at the size of approximately 25. Hence, this study could be conducted with larger and/or smaller sample sizes to investigate the effect of the MTI on different size of classrooms.
- Metacognition is a fuzzy concept and more research is needed to enhance our understanding on i) What constitutes metacognition, ii) How it can be identified/measured, and iii) How it can be taught.
- The further research should be needed to examine the effect of facilitating metacognitive processes on the consistency of students' conceptions across different contexts.
- Metaconceptual teaching activities were developed for the states of matter subject in this study and there is need for the development of more materials for practicing metacognition in science education.
- The report from National Research Council (2007) indicated the importance of learning environment on students' science understanding: "The educational environment in particular is an important influence on how students view themselves as science learners and whether they feel supported to participate fully in the scientific community of the classroom" (p. 40). In this study, for example, Sertan was not a successful student in chemistry based on his previous chemistry grade (his previous chemistry course grades was 61.25 out of 100) and his teacher's idea. However, in this study, he engaged in the most sophisticated level of metaconceptual process throughout the implementation and he scored high on the tests. There is need for the studies to investigate how the MTI affects learning environment. Accordingly, how the change in learning environment affects students' achievement?
- There is need for more studies to investigate the effect of the MTI on affective constructs such as motivation and self-efficacy beliefs.
- Meta-affection is another covered area. Researchers could conduct studies to reveal the components of meta-affection like metaconceptual processes.

## REFERENCES

- Abimbola, I. O. (1988). The problem of terminology in the study of student conceptions in science. *Science Education*, 72(2), 175-184.
- Adadan, E. (2006). Promoting high school students' conceptual understandings of the particulate nature of matter through multiple representations. *Dissertation Abstracts International*, 67(10), A. (UMI No. 3238183).
- Adadan, E., Irving, C. E., & Trundle, K. C. (2009). Impacts of multi-representational instruction on high school students' conceptual understandings of the particulate nature of matter. *International Journal of Science Education*, 31(13), 1743-1775.
- Adey, P., Robertson, A., & Venville, G. (2002). Effects of a cognitive acceleration programme on Year 1 pupils. *British Journal of Educational Psychology*, 72(1), 1-25.
- Adey, P., & Shayer, M. (1993). An exploration of long-term far-transfer effects following an extended intervention program in the high school science curriculum. *Cognition and Instruction*, 11(1), 1-29.
- Adey, P., & Shayer, M. (1994). *Really raising standards: Cognitive intervention and academic achievement*. London: Routledge.
- Adey, P., Shayer, M., & Yates, C. (1989). Cognitive acceleration: The effects of two years of intervention in science classes. In P. Adey, J. Bliss, J. Head, & M. Shayer (Eds.), *Adolescent development and school science* (pp. 240-247). London: Falmer Press.
- Afflerbach, P. (2000). Verbal reports and protocol analysis. In M. L. Kamil, P. B. Mosenthal, P. D. Pearson, & R. Barr (Eds.), *Handbook of reading research* (pp. 163-179). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Andersson, B., & Bach, F. (1996). Developing new teaching sequences in science: The examples of 'gases and their properties'. In G. Welford, J. Osborne, & P. Scott (Eds.), *Research in science education in Europe: Current issues and themes* (pp. 7-21). London: Falmer Press.
- Anderson, D., & Nashon, S. (2007). Predators of knowledge construction: Interpreting students' metacognition in an amusement park physics program. *Science Education*, 91(2), 298-320.
- Andrew, S. (1998). Self-efficacy as a predictor of academic performance in science. *Journal of Advanced Nursing*, 27(3), 596-603.
- Aydeniz, M., & Kotowski, E. L. (2012). What do middle and high school students know about the particulate nature of matter after instruction? Implications for practice. *School Science and Mathematics*, 112(2), 59-65.
- Baird, J. R. (1986). Improving learning through enhanced metacognition: A classroom study. *European Journal of Science Education*, 8(3), 263-282.

- Baird, J. R. (1990). Metacognition, purposeful inquiry and conceptual change. In E. Hegarty-Hazel (Eds.), *The student laboratory and the science curriculum* (pp. 183-200). London: Routledge.
- Baird, J. R., & Mitchell, I. J. (1989). *Improving the quality of teaching and learning: An Australian case study- The PEEL project*. Melbourne, Victoria: Monash University Press.
- Baird, J. R., & Northfield, J. R. (1992). *Learning from the PEEL experience*. Melbourne, Victoria: Monash University Press.
- Baird, J. R., & White, R. T. (1996). Metacognitive strategies in the classroom. In D. Treagust, R. Duit, & B. J. Fraser (Eds.), *Improving teaching and learning in science and mathematics* (pp. 190-200). New York: Teachers College Press.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. New York: W.H. Freeman.
- Bandura, A. (2006). Guide for constructing self-efficacy scales. In F. Pajares & T. C. Urdan (Eds.), *Self-efficacy beliefs of adolescents* (pp. 307-337). Greenwich, CT: Information Age Publishing.
- Bar, V., & Galili, I. (1994). Stages of children's views about evaporation. *International Journal of Science Education*, 16(2), 157-174.
- Bar, V., & Travis, A. S. (1991). Children's views concerning phase changes. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(4), 363-382.
- Baviskar, S. N., Hartle, R. T., & Whitney, T. (2009). Essential criteria to characterize constructivist teaching: Derived from a review of the literature and applied to five constructivist-teaching method articles. *International Journal of Science Education*, 31(4), 541-550.
- Beeth, M. E. (1993). Dynamic aspects of conceptual change instruction and learning. *Dissertation Abstracts International*, 54(10), 3709A. (UMI No. 9332664).
- Beeth, M. E. (1998a). Teaching science in fifth grade: Instructional goals that support conceptual change. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(10), 1091-1101.
- Beeth, M. E. (1998b). Facilitating conceptual change leaning: The need for teachers to support metacognition. *Journal of Science Teacher Education*, 9(1), 49-61.
- Beeth, M. E. (1998c). Teaching for conceptual change: Using status as a metacognitive tool. *Science Education*, 82(3), 343-356.
- Bell, B., & Cowie, B. (2001). The characteristics of formative assessment in science education. *Science Education*, 85(5), 536-553.
- Benson, D. L., Wittrock, M. C., & Baur, M. E. (1993). Students' preconceptions of the nature of gases. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(6), 587-597.

- Bentler, P. M. (1992). On the fit of models to covariances and methodology to the Bulletin. *Psychological Bulletin*, 112(3), 400-404.
- Ben-Zvi, R., & Hofstein, A. (1996). Strategies for remediating learning difficulties in chemistry. In D. Treagust, R. Duit, & B. J. Fraser (Eds.), *Improving teaching and learning in science and mathematics* (pp. 109-119). New York: Teachers College Press.
- Bereiter, C., & Schardamalia, M. (1989). Intentional learning as a goal of instruction. In L. B. Resnick (Eds.), *Knowing, learning, and instruction: Essays in honour of Robert Glaser* (pp. 361-392). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Blank, L. M. (2000). A metacognitive learning cycle: a better warranty for student understanding? *Science Education*, 84(4), 486-506.
- Bogdan, R. C., & Biklen, S. K. (2007). *Qualitative research for education: An introduction to theory and research*. Boston: Allyn & Bacon.
- BouJaoude, S. B. (1991). A study of the nature of students' understandings about the concept of burning. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(8), 689-704.
- Boz, Y. (2006). Turkish pupils' conceptions of the particulate nature of matter. *Journal of Science Education and Technology*, 15(2), 203-213.
- Britner, S. L. (2008). Motivation in high school science students: A comparison of gender differences in life, physical, and earth science classes. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(8), 955-970.
- Britner, S. L., & Pajares, F. (2006). Sources of science self-efficacy beliefs of middle school students. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(5), 485-499.
- Brown, A. (1987). Metacognition, executive control, self-regulation, and other more mysterious mechanisms. In F. E. Weinert & R. H. Kluwe (Eds.), *Metacognition, motivation, and understanding* (pp. 65-116). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Browne, M. W., & Cudeck, R. (1993). Alternative ways of assessing model fit. In K. A. Bollen & J. S. Long (Eds.), *Testing structural equation models* (pp. 136-162). Newbury Park, CA: Sage.
- Caleon, I., & Subramaniam, R. (2010). Development and application of a three-tier diagnostic test to assess secondary students' understanding of waves. *International Journal of Science Education*, 32(7), 939-961.
- Calik, M., Okur, M., & Taylor, N. (2011). A comparison of different conceptual change pedagogies employed within the topic of "sound propagation". *Journal of Science Education and Technology*, 20(6), 729-742.
- Canpolat, N. (2006). Turkish undergraduates' misconceptions of evaporation, evaporation rate, and vapour pressure. *International Journal of Science Education*, 28(15), 1757-1770.

- Canpolat, N., Pinarbasi, T., & Sozibilir, M. (2006). Prospective teachers' misconceptions of vaporization and vapor pressure. *Journal of Chemical Education*, 83(8), 1237-1242.
- Capa Aydin, Y., & Uzuntiryaki, E. (2009). Development and psychometric evaluation of the high school chemistry self-efficacy scale. *Educational and Psychological Measurement*, 69(5), 868-880.
- Carey, S. (1991). Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind* (pp. 257-291). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Carey, S. (1999). Sources of conceptual change. In E. Scholnick, K. Nelson, S. Gelman, & P. Miller (Eds.), *Conceptual development: Piaget's legacy* (pp. 293-326). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Carey, S., & Spelke, E. (1994). Domain-specific knowledge and conceptual change. In L. A. Hirschfeld & S. A. Gelman (Eds.), *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture* (pp. 169-200). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Cataloglu, E. (2002). Development and validation of an achievement test in introductory quantum mechanics: The quantum mechanics visualization instrument (QMVI). *Dissertation Abstracts International*, 63(07), 2442A. (UMI No. 3060014).
- Ceylan, E., & Geban, O. (2009). Facilitating conceptual change in understanding state of matter and solubility concepts by using 5E learning cycle model. *Hacettepe University Journal of Education*, 36, 41-50.
- Chambers, S. K., & Andre, T. (1997). Gender, prior knowledge, interest, and experience in electricity and conceptual change text manipulations in learning about direct current. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(2), 107-123.
- Chang, J-Y. (1999). Teachers college students' conceptions about evaporation, condensation, and boiling. *Science Education*, 83, 511-526.
- Chi, M. T. H. (1987). Representing knowledge and metaknowledge: Implications for interpreting metamemory research. In F. E. Weinert & R. H. Kluwe (Eds.), *Metacognition, motivation, and understanding* (pp. 239-266). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change in and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In R. Giere (Eds.), *Cognitive models of science* (pp. 129-177). Minneapolis, MN: University of Minnesota Press.
- Chi, M. T. H., & Slotta, J. D. (1993). The ontological coherence of intuitive physics. *Cognition and Instruction*, 10(2&3), 249-260.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4(1), 27-43.
- Cobern, W. (1996). Worldview theory and conceptual change in science education. *Science Education*, 80(5), 579-610.



- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.)*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, *112*, 155-159.
- Cohen, J., Cohen, P., West, S., & Aiken, L. S. (2003). *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences (3rd ed.)*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cole, S. (1992). *Making science: Between nature and society*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Cook, M., Wiebe, E. N., & Carter, G. (2008). The influence of prior knowledge on viewing and interpreting graphics with macroscopic and molecular representations. *Science Education*, *92*(5), 848-867.
- Costu, B., Ayas, A., & Niaz, M. (2010). Promoting conceptual change in first year students' understanding of evaporation. *Chemistry Education Research and Practice*, *11*(1), 5-16.
- Costu, B., Ayas, A., & Niaz, M. (2012). Investigating the effectiveness of a POE-based teaching activity on students' understanding of condensation. *Instructional Science*, *40*(1), 47-67.
- Creswell, J. W. (1994). *Research design qualitative and quantitative approaches*. Thousand Oaks, California: Sage Publications, Inc.
- Crocker, L., & Algina, J. (1986). *Introduction to classical and modern test theory*. Florida: Holt, Rinehart, and Winston, Inc.
- de Berg, K. C. (1995). Students understanding of the volume, mass, and pressure of air within a sealed syringe in different states of compression. *Journal of Research in Science Teaching*, *32*(8), 871-884.
- De Jong, O., & Taber, K. S. (2007). Teaching and learning the many faces of chemistry. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 631-652). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- diSessa, A. A. (1988). Knowledge in pieces. In G. Forman & P. Pufall (Eds.), *Constructivism in the computer age* (pp. 49-70). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- diSessa, A. A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, *10*(2-3), 105-225.
- diSessa, A. A. (2006). A history of conceptual change research: Threads and fault lines. In K. Sawyer (Eds.), *Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 265-281). Cambridge: Cambridge University Press.
- diSessa, A. A. (2008). A bird's-eye view of the "pieces" vs. "coherence" controversy (from the "pieces" side of the fence). In S. Vosniadou (Eds.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 35-60). New York: Routledge.

- diSessa, A. A., Gillespie, N., & Esterly, J. (2004). Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. *Cognitive Science*, 28(6), 843-900.
- diSessa, A. A., & Sherin, B. L. (1998). What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education*, 20(10), 1155-1191.
- Driscoll, M. P. (2000). *Psychology of learning for instruction*. Needham Heights: Allyn & Bacon.
- Driver, R., & Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5, 61-84.
- Duit, R. (2007). *Bibliography. Students' and Teachers' Conceptions and Science Education*. Retrieved March 28, 2008, from <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/>
- Dursun, M. F., Gulbay, I., Cetin, S., Tek, U., Ozkoc, F. F., & Guntut, M. (2010). Ortaogretim 10. Sinif Kimya Ders Kitabi. Istanbul: Milli Egitim Bakanligi Yayinlari.
- Ferrari, M., & Elik, N. (2003). Influences on intentional conceptual change. In G. M. Sinatra & P. R. Pintrich (Eds.), *Intentional conceptual change* (pp. 21-54). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Flavell, J. H. (1971). First discussant's comment: What is memory development the development of? *Human Development*, 14(4), 272-278.
- Flavell, J. H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving. In L. B. Resnick (Eds.), *The nature of intelligence* (pp. 231-235). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, 34(10), 906-911.
- Flavell, J. H. (1981). Cognitive monitoring. In W. P. Dickson (Eds.), *Children's oral communication skills* (pp. 35-60). New York: Academic Press.
- Flavell, J. H. (1987). Speculations about the nature and development of metacognition. In F. E. Weinert & R. H. Kluwe (Eds), *Metacognition, motivation, and understanding* (21-29). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Fosnot, C. T., & Perry, R. S. (2005). Constructivism: A psychological theory of learning. In C. T. Fosnot (Eds.), *Constructivism: Theory, perspectives, and practice* (pp. 8-38). New York: Teachers College Press.
- Fraenkel, J. K., & Wallen, N. E. (2003). *How to design and evaluate research in education (5th ed.)*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Gabel, D. L., Samuel, K. V., & Hunn, D. (1987). Understanding the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 64(8), 695-697.
- Gallagher, J. J. (2000). Teaching for understanding and application of science knowledge. *School Science and Mathematics*, 100(6), 310-318.

- Garner, R., & Alexander, P. A. (1989). Metacognition: Answered and unanswered questions. *Educational Psychologist, 24*(2), 143-158.
- George, D., & Mallery, P. (2001). *SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference 10.0 update*. Needham Heights, MA: Allyn & Bacon.
- Georghiades, P. (2000). Beyond conceptual change learning in science education: Focusing on transfer, durability and metacognition. *Educational Research, 42*(2), 119-139.
- Georghiades, P. (2004a). Making pupils' conceptions of electricity more durable by means of situated metacognition. *International Journal of Science Education, 26*(1), 85-99.
- Georghiades, P. (2004b). From the general to the situated: Three decades of metacognition. *International Journal of Science Education, 26*(3), 365-383.
- Giere, R. (1988). *Explaining science: A cognitive approach*. Chicago: University of Chicago Press.
- Gilbert, J. K., Osborne, R. J., & Fensham, P. J. (1982). Children's science and its consequences for teaching. *Science Education, 66*(4), 623-633.
- Gilbert, J., & Treagust, D. (2009). *Multiple representations in chemical education*. New York: Springer.
- Gopal, H., Kleinsmidt, J., & Case, J. (2004). An investigation of tertiary students' understanding of evaporation, condensation and vapor pressure. *International Journal of Science Education, 26*(13), 1597-1620.
- Gopnik, A., & Wellman, H. M. (1994). The theory theory. In L. A. Hirschfeld & S. A. Gelman (Eds.), *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture* (pp. 257-293). New York: Cambridge University Press.
- Gourgey, A. F. (2001). Metacognition in basic skills instruction. In H. J. Hartman (Eds.), *Metacognition in learning and instruction* (pp. 17-32). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Griffiths, A. K., & Preston, K. R. (1992). Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching, 29*(6), 611-628.
- Gunstone, R. F. (1991). Constructivism and metacognition: Theoretical issues and classroom studies. In R. Duit, F. Goldberg, & H. Niedderer (Eds.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (129-140). Kiel, Germany: IPN.
- Gunstone, R. F. (1994). The importance of specific science content in the enhancement of metacognition. In P. J. Fensham, R. F. Gunstone, & R. T. White (Eds.), *The content of science: A constructivist approach to its learning and teaching* (pp. 131-146). London: Falmer Press.
- Gunstone, R. F., & Baird, J. R. (1988). An integrative perspective on metacognition. *Australian Journal of Reading, 11*(4), 238-245.

- Gunstone, R. F., & Mitchell, I. J. (1998). Metacognition and conceptual change. In J. J. Mintzes, J. H. Wandersee, & J. D. Novak (Eds.), *Teaching science for understanding: A human constructivist view* (pp. 133-163). San Diego, CA: Academic Press.
- Gunstone, R. F., & Northfield, J. (1992, April). *Conceptual change in teacher education: The centrality of metacognition*. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, San Francisco, CA.
- Guzetti, B. J., Snyder, T. E., Glass, G. V., & Gamas, W. S. (1993). Promoting conceptual change in science: A comparative meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education. *Reading Research Quarterly*, 28(2), 116-159.
- Hacker, D. J. (1998). Definitions and empirical foundations. In D. J. Hacker, J. Dunlosky & A. C. Graesser (Eds.), *Metacognition in educational theory and practice* (pp. 1-23). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Haladyna, T. M. (1997). *Writing test items to evaluate higher order thinking*. Needham Heights, MA: Allyn & Bacon.
- Hartman, H. J. (2001). Developing students' metacognitive knowledge and skills. In H. J. Hartman (Eds.), *Metacognition in learning and instruction* (pp. 33-68). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Hatano, G., & Inagaki, K. (1997). Qualitative changes in intuitive biology. *European Journal of Psychology of Education*, 12(2), 111-130.
- Hatano, G., & Inagaki, K. (2003). When is conceptual change intended? A cognitive-sociocultural view. In G. M. Sinatra & P. R. Pintrich (Eds.), *Intentional conceptual change* (pp. 407-428). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hawkins, D. (1994). Constructivism: Some history. In P. J. Fensham, R. F. Gunstone, & R. T. White (Eds.), *The content of science: A constructivist approach to its learning and teaching* (pp. 9-12). London: Falmer Press.
- Hennessey, M. G. (1991). Analysis of conceptual change and status change in sixth graders' concepts of force and motion. *Dissertation Abstracts International*, 52(07), 2389A. (UMI No. 9128916).
- Hennessey, M. G. (1993, April). *Students' ideas about their conceptualization: Their elicitation through instruction*. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Atlanta, GA.
- Hennessey, M. G. (1999, April). *Probing the dimensions of metacognition: Implications for conceptual change teaching-learning*. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Boston, MA.
- Hennessey, M. G. (2003). Metacognitive aspects of students' reflective discourse: Implications for intentional conceptual change teaching and learning. In G. M. Sinatra & P. R. Pintrich (Eds.), *Intentional conceptual change* (pp. 103-132). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

- Hennessey, M. G., & Beeth, M. E. (1993, April). *Students' reflective thoughts about science content: A relationship to conceptual change learning*. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, Atlanta, GA.
- Herr, N., & Cunningham, J. (1999). *Hands-on chemistry activities with real-life applications*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Hestenes, D., & Halloun, I. (1995). Interpreting the force concept inventory: A response to March 1995 critique by Huffman and Heller. *The Physics Teacher*, 33(8), 502-506.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141-151.
- Hewson, P. W. (1980). Learning and teaching science. *South African Journal of Science*, 76, 397-403.
- Hewson, P. W. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, 3(4), 383-396.
- Hewson, P. W. (1996). Teaching for conceptual change. In D. Treagust, R. Duit, & B. J. Fraser (Eds.), *Improving teaching and learning in science and mathematics* (pp. 131-140). New York: Teachers College Press.
- Hewson, P. W., Beeth, M. E., & Thorley, N. R. (1998). Teaching for conceptual change In K. G. Tobin & B. J. Fraser (Eds.), *International handbook of science education* (pp. 199-218). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Hewson, P. W., & Lemberger, J. (2000). Status: The hallmark of conceptual learning. An example from learning genetics. In R. Millar, J. Leach, & J. Osborne (Eds.), *Improving science education* (pp. 110-125). London: Open University Press.
- Hewson, P. W., & Hennessey, M. G. (1991). Making status explicit: A case study of conceptual change. In R. Duit, F. Goldberg, & H. Niedderer (Eds.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (176-187). Kiel, Germany: IPN.
- Hewson, P. W., & Hewson, M. G. (1991). The status of students' conceptions. In R. Duit, F. Goldberg, & H. Niedderer (Eds.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (59-73). Kiel, Germany: IPN.
- Hewson, P. W., & Thorley, N. R. (1989). The conditions of conceptual change in the classroom. *International Journal of Science Education*, 11(5), 541-553.
- Hinkle, E. H., Wiersma, W., & Jurs, S. G. (1988). *Applied statistics for the behavioral sciences*. Boston: Houghton Mifflin Company.
- Hu, L. T., & Bentler, P. M. (1995). Evaluating model fit. In R. H. Hoyle (Eds.), *Structural equation modeling: Concepts, issues, and applications* (pp. 76-99). Thousand Oaks, CA: Sage.

- Hu, L. T., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indices in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 6(1), 1-55.
- Hubber, P., Tytler, R., & Haslam, F. (2010). Teaching and learning about force with a representational focus: Pedagogy and teacher change. *Research in Science Education*, 40(1), 5-28
- Hunter, A., & Brewer, J. (2003). Multimethod research in sociology. In A. Tashakkori & C. Teddlie (Eds.), *Handbook of mixed methods in social and behavioral research* (pp. 577-594). Thousand Oaks, CA: Sage Publications, Inc.
- Hynd, C. R., McWhorter, J. Y., Phares, V. L., & Suttles, C. W. (1994). The role of instructional variables in conceptual change in high school physics topics. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(9), 933-946.
- Hwang, B. T. (1995, April). *Students' conceptual representations of gas volume in relation to particulate model of matter*. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, San Francisco, CA.
- Inagaki, K., & Hatano, G. (2008). Conceptual change in naïve biology. In S. Vosniadou (Eds.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 240-262). New York: Routledge.
- Ingec, S. K. (2009). Analysing concept maps as an assessment tool in teaching physics and comparison with the achievement tests. *International Journal of Science Education*, 31(14), 1897-1915.
- Ingram, E. L., & Nelson, C. E. (2006). Using discussions of multiple choice questions to help students identify misconceptions and reconstruct their understanding. *American Biology Teacher*, 68(5), 275-279.
- Johnson, P. (1998a). Children's understanding of changes of state involving the gas state, Part 1: Boiling water and the particle theory. *International Journal of Science Education*, 20(5), 567-583.
- Johnson, P. (1998b). Children's understanding of changes of state involving the gas state, Part 2: Evaporation and condensation below boiling point. *International Journal of Science Education*, 20(6), 695-709.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-705.
- Kang, S., Scharmann, L. C., Noh, T., & Koh, H. (2005). The influence of students' cognitive and motivational variables in respect of cognitive conflict and conceptual change. *International Journal of Science Education*, 27(9), 1037-1058.
- Kaya, O. N. (2008). A student-centred approach: Assessing the changes in prospective science teachers' conceptual understanding by concept mapping in a general chemistry laboratory. *Research in Science Education*, 38(1), 91-110.

- Kirbulut, Z. D., & Beeth, M. E. (2011). Consistency of Students' Ideas across Evaporation, Condensation, and Boiling. *Research in Science Education*. Advance online publication. doi: 10.1007/s11165-011-9264-z
- Kluwe, R. H. (1987). Executive decisions and regulation of problem solving. In F. E. Weinert & R. H. Kluwe (Eds.), *Metacognition, motivation, and understanding* (pp. 31-64). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Kuhn, T. (1970). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kuhn, D., & Dean, D. (2004). Metacognition: A bridge between cognitive psychology and educational practice. *Theory into Practice*, 43(4), 268-276.
- Kuhn, D., Amsel, E., & O'Loughlin, M. (1988). *The development of scientific thinking skills*. San Diego, CA: Academic Press.
- Kupermintz, H. (2002). Affective and conative factors as aptitude resources in high school science achievement. *Educational Assessment*, 8(2), 123-137.
- Kutluay, Y. (2005). *Diagnosis of eleventh grade students' misconceptions about geometric optic by a three-tier test*. Unpublished master's thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes. In I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.), *Criticism and the growth of knowledge* (pp. 91-195). Cambridge: Cambridge University Press.
- Limon Luque, M. (2003). The role of domain-specific knowledge in intentional conceptual change. In G. M. Sinatra & P. R. Pintrich (Eds.), *Intentional conceptual change* (pp. 133-170). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lin, H-S., Cheng, H-J., & Lawrenz, F. (2000). The assessment of students and teachers' understanding of gas laws. *Journal of Chemical Education*, 77(2), 235-238.
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. Beverly Hills, CA: Sage.
- Linder, C. J. (1993). A challenge to conceptual change. *Science Education*, 77(3), 293-300.
- Linnenbrink, E. A., & Pintrich, P. R. (2003). Achievement goals and intentional conceptual change. In G. L. Sinatra & P. R. Pintrich (Eds.), *Intentional conceptual change* (pp. 347-374). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- MacCallum, R. C., Browne, M. W., & Sugawara, H. M. (1996). Power analysis and determination of sample size for covariance structure modeling. *Psychological Methods*, 1(2), 130-149.
- Marin, N., Benarroch, A., & Jimenez-Gomez, E. (2000). What is the relationship between social constructivism and Piagetian constructivism? An analysis of the characteristics of the ideas within both theories. *International Journal of Science Education*, 22(3), 225-238.

- Marshall, C., & Rossman, G. B. (2006). *Designing qualitative research*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Martin, B. L., Mintzes, J. J., & Clavijo, I. E. (2000). Restructuring knowledge in biology: Cognitive processes and metacognitive reflections. *International Journal of Science Education*, 22(3), 303-323.
- Mayer, K. (2011). Addressing students' misconceptions about gases, mass, and composition. *Journal of Chemical Education*, 88(1), 111-115.
- McCloskey, M. (1983). Intuitive physics. *Scientific American*, 248(4), 122-130.
- Mittlefehldt, S., & Grotzer, T. A. (2003, March). *Using metacognition to facilitate the transfer of causal models in learning density and pressure*. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Philadelphia, PA.
- Morse, J. M. (2003). Principles of mixed methods and multimethod research design. In A. Tashakkori & C. Teddlie (Eds.), *Handbook of mixed methods in social and behavioral research* (pp. 189-208). Thousand Oaks, CA: Sage Publications, Inc.
- Mortimer, E. F. (1995). Conceptual change or conceptual profile change? *Science Education*, 4(3), 267-285.
- Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry. *Journal of Chemical Education*, 69(3), 191-196.
- National Research Council. (2007). *Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8*. Committee on Science Learning, Kindergarten Through Eighth Grade. In R. A. Duschl, H. A. Schweingruber, & A. W. Shouse (Eds.). Board on Science Education, Center for Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.
- Novak, J. D. (1990). Concept mapping: A useful tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), 937-949.
- Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. New York: Cambridge University Press.
- Novick, S., & Nussbaum, J. (1978). Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: An interview study. *Science Education*, 62(3), 273-281.
- Nussbaum, J. (1996). The particulate nature of matter in the gaseous phase. In R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science* (pp. 125-144). Philadelphia: Open University Press.
- Nussbaum, J., & Novick, S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: Toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 11, 183-120.



- Olson, J. K. (1999). Learner factors associated with radical conceptual change among undergraduates. *Dissertation Abstracts International*, 60(06), 1969A. (UMI No. 9933711).
- Osborne, R. J., & Cosgrove, M. M. (1983). Children's conceptions of the changes of state of water. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(9), 825-838.
- Ozdemir, G., & Clark, D. B. (2007). An overview of conceptual change theories. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3(4), 351-361.
- Pajares, F. (1996). Self-efficacy beliefs in academic settings. *Review of Educational Research*, 66(4), 543-578.
- Pallant, J. (2001). *SPSS survival manual: A step by step guide to data analysis using SPSS for Windows (Versions 10 and 11)*. Buckingham: Open University Press.
- Paris, S. G., & Winograd, P. (1990). How metacognition can promote learning and instruction. In B. F. Jones & L. Idol (Eds.), *Dimensions of thinking and cognitive instruction* (pp. 15-52). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Patton, M. Q. (1990). *Qualitative evaluation and research methods*. Newbury Park: Sage Publications, Inc.
- Pell, T., & Jarvis, T. (2001). Developing attitude to science scales for use with children of ages from five to eleven years. *International Journal of Science Education*, 23(8), 847-862.
- Pesman, H., & Eryilmaz, A. (2010). Development of a three-tier test to assess misconceptions about simple electric circuits. *The Journal of Educational Research*, 103(3), 208-222.
- Pintrich, P. R. (1989). The dynamic interplay of student motivation and cognition in the college classroom. In C. Ames & M. L. Maehr (Eds.), *Advances in motivation and achievement: Motivation-enhancing environments* (pp. 117-160). Greenwich, CT: JAI Press.
- Pintrich, P. R. (1999). Motivational beliefs as resources for and constraints on conceptual change. In W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.), *New perspectives on conceptual change* (pp. 33-50). Amsterdam, The Netherlands: Pergamon.
- Pintrich, P. R. (2002). The role of metacognitive knowledge in learning, teaching, and assessing. *Theory into Practice*, 41(4), 219-225.
- Pintrich, P. R., & De Groot, E. (1990). Motivational and self-regulated learning components of classroom academic performance. *Journal of Educational Psychology*, 82(1), 33-40.
- Pintrich, P. R., & Garcia, T. (1991). Student goal orientation and self-regulation in the college classroom. In M. L. Maehr & P. R. Pintrich (Eds.), *Advances in motivation and achievement: Goals and self-regulatory processes* (pp. 371-402). Greenwich, CT: JAI Press.

- Pintrich, P. R., Marx, R. W., & Boyle, R. A. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63(2), 167-199.
- Pintrich, P. R., Smith, D. A., Garcia, T., & McKeachie, W. J. (1991). *A manual for the use of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire (MSLQ)*. Ann Arbor, MI: University of Michigan National Center for Research to Improve Postsecondary Teaching and Learning.
- Pintrich, P. R., Wolters, C. A., & Baxter, G. P. (2000). Assessing metacognition and self-regulated learning. In G. Schraw & J. C. Impara (Eds.), *Issues in the measurement of metacognition* (pp. 43-97). Lincoln, NE: The University of Nebraska-Lincoln.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Raykov, T., & Marcoulides, G. A. (2008). *An introduction to applied multivariate analysis*. New York: Routledge.
- Rickey, D., & Stacy, A. M. (2000). The role of metacognition in learning chemistry. *Journal of Chemical Education*, 77(7), 915-920.
- Rohrig, B. (2002). *150 captivating chemistry experiments using household substances*. Columbus, OH: FizzBang Science.
- Sackes, M. (2010). The role of cognitive, metacognitive, and motivational variables in conceptual change: Preservice early childhood teachers' conceptual understanding of the cause of lunar phases. *Dissertation Abstracts International*, 72(02), B. (UMI No. 3438175).
- Sarquis, J., Hogue, L., Sarquis, M., & Woodward, L. (1997). *Investigating solids, liquids, and gases with TOYS*. New York: McGraw-Hill.
- Schmidt, H.-J. (1997). Students' misconceptions -Looking for a pattern. *Science Education*, 81(2), 123-135.
- Schmidt, H.-J., Kaufmann, B., & Treagust, D. F. (2009). Students' understanding of boiling points and intermolecular forces. *Chemistry Education Research and Practice*, 10(4), 265-272.
- Schraw, G. (2001). Promoting general metacognitive awareness. In H. J. Hartman (Eds.), *Metacognition in learning and instruction* (pp. 3-16). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Schraw, G., & Moshman, D. (1995). Metacognitive theories. *Educational Psychology Review*, 7(4), 351-371.
- Sere, M. G. (1982). A study of some frameworks used by pupils aged 11 to 13 years in the interpretation of air pressure. *European Journal of Science Education*, 4(3), 299-309.

- Sere, M. G. (1986). Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching. *European Journal of Science Education*, 8(4), 413-425.
- Shepherd, D. L., & Renner, J. W. (1982). Student understandings and misunderstandings of states of matter and density changes. *School Science and Mathematics*, 82(8), 650-665.
- Sinatra, G. M., & Pintrich, P. R. (2003). The role of intentions in conceptual change learning. In G. M. Sinatra & P. R. Pintrich (Eds.), *Intentional conceptual change* (pp. 1-18). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Smith, E. L., Blakeslee, T. D., & Anderson, C. W. (1993). Teaching strategies associated with conceptual change learning in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(2), 111-126.
- Smith, J. P., diSessa, A. A., & Roschelle, J. (1993). Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition. *The Journal of the Learning Sciences*, 3(2), 115-163.
- Stavy, R. (1988). Children's conception of gas. *International Journal of Science Education*, 10(5), 553-560.
- Sternberg, R. J. (1985). *Beyond IQ: A triarchic theory of human intelligence*. New York: Cambridge University Press.
- Stevens, J. (2009). *Applied multivariate statistics for the social sciences (5th ed.)*. New York: Routledge.
- Strauss, A., & Corbin, J. (1998). *Basics of qualitative research: Grounded theory, procedures, and techniques*. Newbury Park, CA: Sage.
- Strike, K. A., & Posner, G. J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In R. A. Duschl & R. J. Hamilton (Eds.), *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice* (pp. 147-176). Albany: State University of New York Press.
- Sungur, S. (2007). Modeling the relationships among students' motivational beliefs, metacognitive strategy use, and effort regulation. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 51(3), 315-326.
- Sungur, S., Tekkaya, C., & Geban, O. (2001). The contribution of conceptual change texts accompanied by concept mapping to students' understanding of the human circulatory system. *School Science and Mathematics*, 101(2), 91-101.
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2007). *Using multivariate statistics (5th ed.)*. Boston: Allyn and Bacon.
- Tan, K. C. D., Goh, N. K., Chia, L. S., & Treagust, D. F. (2002). Development and application of a two-tier multiple choice diagnostic instrument to assess high school students' understanding of inorganic chemistry qualitative analysis. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(4), 283-301.

- Thagard, P. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Thagard, P. (2008). Conceptual change in the history of science: Life, mind, and disease. In S. Vosniadou (Eds.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 374-387). New York: Routledge.
- Thomas, G. (2003). Conceptualisation, development and validation of an instrument for investigating the metacognitive orientations of science classroom learning environments: The Metacognitive Orientation Learning Environment Scale–Science (MOLES–S). *Learning Environment Research*, 6, 175-197.
- Thomas, G. P., & McRobbie, C. J. (2001). Using a metaphor for learning to improve students' metacognition in the chemistry classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(2), 222-259.
- Thorley, N. R. (1990). The role of the conceptual change model in the interpretation of classroom interactions. *Dissertation Abstracts International*, 51(09), 3033A. (UMI No. 9100172).
- Tobin, K., & Tippins, D. (1993). Constructivism as a referent for teaching and learning. In K. Tobin (Eds.), *The practice of constructivism in science education* (pp. 3-22). Washington DC: AAAS Press.
- Toulmin, S. (1972). *Human understanding: The collective use and evolution of concept*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Treagust, D. F. (1986). Evaluating students' misconceptions by means of diagnostic multiple choice items. *Research in Science Education*, 16(1), 199-207.
- Trundle, K. C., Atwood, R. K., & Christopher, J. E. (2007). A longitudinal study of conceptual change: Preservice elementary teachers' conceptions of moon phases. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(2), 303-326.
- Tytler, R. (2000). A comparison of year 1 and year 6 students' conceptions of evaporation and condensation: Dimensions of conceptual progression. *International Journal of Science Education*, 22(5), 447-467.
- Tytler, R., Prain, V., & Peterson, S. (2007). Representational issues in students learning about evaporation. *Research in science education*, 37(3), 313-331.
- TUBITAK Bilim ve Teknik Dergisi Merak Ettikleriniz (n.d.). Retrieved December 8, 2009, from [http://www.biltek.tubitak.gov.tr/merak\\_ettikleriniz/arama.php](http://www.biltek.tubitak.gov.tr/merak_ettikleriniz/arama.php).
- Ueno, N. (1993). Reconsidering p-prims theory from the viewpoint of situated cognition. *Cognition and Instruction*, 10(2&3), 239-248.
- Uzuntiryaki, E., & Geban, O. (2005). Effect of conceptual change approach accompanied with concept mapping on understanding of solution concepts. *Instructional Sciences*, 33(4), 311-339.

- Veenman, M. V. J., & Spaans, M. A. (2005). Relation between intellectual and metacognitive skills: Age and task differences. *Learning and Individual Differences*, *15*(2), 159-176.
- Veenman, M. V. J., Van Hout-Wolters, B. H. A. M., & Afflerbach, P. (2006). Metacognition and learning: Conceptual and methodological considerations. *Metacognition Learning*, *1*(1), 3-14.
- von Glasersfeld, E. (1984). An introduction to radical constructivism. In P. Watzlawick (Eds.), *The invented reality: How do we know what we believe we know? Contributions to constructivism* (pp. 17-40). New York: Norton.
- von Glasersfeld, E. (1993). Questions and answers about radical constructivism. In K. Tobin (Eds.), *The practice of constructivism in science education* (pp. 23-38). Washington DC: AAAS Press.
- Voska, K. W., & Heikkinen, H. W. (2000). Identification and analysis of student conceptions used to solve chemical equilibrium problems. *Journal of Research in Science Teaching*, *37*(2), 160-176.
- Vosniadou, S. (1992). Knowledge acquisition and conceptual change. *Applied Psychology: An International Review*, *41*(4), 347-357.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, *4*(1), 45-69.
- Vosniadou, S. (2003). Exploring the relationships between conceptual change and intentional learning. In G. M. Sinatra & P. R. Pintrich (Eds.), *Intentional conceptual change* (pp. 377-406). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, *24*, 535-585.
- Vosniadou, S., Vamvakoussi, X., & Skopeliti, I. (2008). The framework theory approach to the problem of conceptual change. In S. Vosniadou (Eds.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 3-34). New York: Routledge.
- Wandersee, H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D. L. Gabel (Eds.), *Handbook of research on science teaching and learning: A project of the national science teachers association* (pp. 177-210). New York: Macmillan.
- West, L. H. T., & Pines, A. L. (1983). How "rational" is rationality? *Science Education*, *67*(1), 37-39.
- White, R. T. (1988). *Learning science*. London: Blackwell.
- White, R. T. (1994). Commentary: Conceptual and conceptional change. *Learning and Instruction*, *4*(1), 117-121.
- White, R. T., & Gunstone, R. (1989). Metalearning and conceptual change. *International Journal of Science Education*, *11*(Special Issue), 577-586.

- White, R. T., & Gunstone, R. (1992). *Probing understanding*. London: Falmer Press.
- Wittrock, M. C. (1994). Generative science teaching. In P. J. Fensham, R. F. Gunstone, & R. T. White (Eds.), *The content of science: A constructivist approach to its learning and teaching* (pp. 29-38). London: Falmer Press.
- Yuruk, N. (2005). An analysis of the nature of students' metaconceptual processes and the effectiveness of metaconceptual teaching practices on students' conceptual understanding of force and motion. *Dissertation Abstracts International*, 66(07), 2485A. (UMI No. 3182729).
- Yuruk, N., Beeth, M. E., & Andersen, C. (2009). Analyzing the effect of metaconceptual teaching practices on students' understanding of force and motion concepts. *Research in Science Education*, 39(4), 449-475.
- Zimmerman, B. J., & Martinez-Pons, M. (1990). Student differences in self-regulated learning: relating grade, sex, and giftedness to self-efficacy and strategy use. *Journal of Educational Psychology*, 82(1), 51-59.

## APPENDIX A

## STATES OF MATTER INSTRUMENTS

## A-1 States of Matter Diagnostic Test and Its Answer Key

## MADDENİN HALLERİ KAVRAM TESTİ

Ad Soyad:.....

Okul:.....

Sınıf:.....

Cinsiyet:.....

I. Dönem Kimya Karne Notu:.....

Sevgili öğrenciler aşağıda "Maddenin Halleri" ile ilgili 19 tane üç aşamalı çoktan seçmeli soru bulunmaktadır. İlk aşamada sorunun cevabı, ikinci aşamada o soruya verdiğiniz cevabın sebebi ve üçüncü aşamada ise verdiğiniz bu cevaplardan ne kadar emin olduğunuz ile ilgili işaretlemeniz gereken seçenekler bulunmaktadır. Ayrıca ikinci aşamada, ilk aşamadaki sorulara verdiğiniz cevapların sebepleri ile ilgili boş bırakılmış bir seçenek de bulunmaktadır. Eğer seçeneklerde verilmiş sebeplerden hiçbiri sizin cevabınızı açıklamıyorsa verilen boş seçeneğe kendi cevabınızı yazınız. Lütfen soruları dikkatle okuyunuz ve bütün soruları cevaplayınız. Bilimsel bir çalışmaya katkıda bulunduğunuz için teşekkür ederiz. **Başarılar.**

Prof. Dr. Ömer Geban

Arş. Gör. Z. Demet Kırbulut

1.



Yandaki düzenekte  $40^{\circ}\text{C}$ 'de hava ile dolu ağzı kapalı bir kap ve ona bağlı elastik bir balon bulunmaktadır. Eğer düzeneğin sıcaklığı  $5^{\circ}\text{C}$ 'ye düşürülürse balonun hacmi nasıl değişir? (Açık hava basıncı her iki sıcaklıkta da  $1\text{ atm}$ 'dir.)

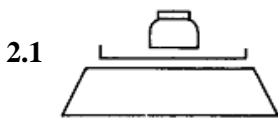
- A) Azalır.
- B) Değişmez.
- C) Artar.

1.2 Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- A) Sıcaklık düşünce düzenek içindeki tanecikler küçülür.
- B) Sıcaklık düşünce düzenek içindeki basınç azalır.
- C) Sıcaklık düşünce düzenek içindeki basınç artar.
- D) Sıcaklık düşünce tanecikler arasındaki mesafe azalır.
- E) Açık hava basıncı sabittir.
- F) .....

1.3 Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- A) Eminim.
- B) Emin değilim.



Yandaki şekilde gösterildiği gibi Aylin içinde soğuk hava bulunan ağız kapalı bir kavanozu tartıyor. Daha sonra aynı kavanozu güneşin altında uzun süre bekletiyor ve tekrar tartıyor. Aylin kavanozun, içinde hava olmadan vakumlu haldeki ağırlığını da biliyor ve bu ağırlığı, içinde hava olan tartım sonuçlarından çıkarıyor. Aylin'in ulaştığı soğuk ve sıcak havanın tartım sonuçları ile ilgili ne söylenebilir?

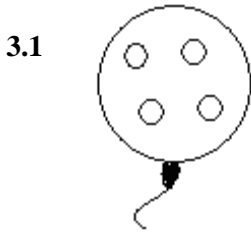
- A) Her iki tartım da aynı olup sifıra eşittir.
- B) Her iki tartım da aynı olup sıfırdan büyük bir değere eşittir.
- C) Soğuk hava sıcak havadan daha ağırdır.
- D) Sıcak hava soğuk havadan daha ağırdır.

2.2 Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- A) Gaz halindeki maddenin ağırlığı yoktur.
- B) Gaz halindeki madde ısıtıldığında gazı oluşturan tanecikler büyür.
- C) Hava ısınınca genişleşip yükselir.
- D) Hava soğuyunca yoğunlaşır ve tanecikler birbirine yaklaşır.
- E) Kavanoz içine giren ya da kavanozdan çıkan bir madde yoktur.
- F) Gaz halindeki madde ısıtıldığında taneciklerin hareketi ve basınç artarak kabın çeperlerine olan vuruşlar da artar.
- G) Sıcak hava daha nemlidir.
- H) .....

1.3 Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- A) Eminim.
- B) Emin değilim.

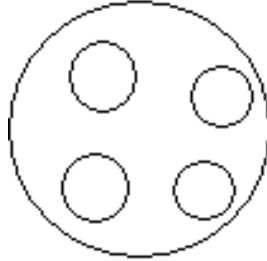


Murat 15 °C'deki bir odada elastik bir balonu helyum gazıyla dolduruyor. Daha sonra aynı basınçta fakat 30 °C'deki bir ortama bu balonu götürüyor. 15 °C'deki balonun tanecikli yapıya göre gösterimi yandaki şekildeki gibi ise 30 °C'deki gösterimi nasıldır? (Not: Balonun gerilme kuvveti ihmal edilmiştir. Çizimlerde Helyum atomu "○" şeklinde gösterilmektedir.)

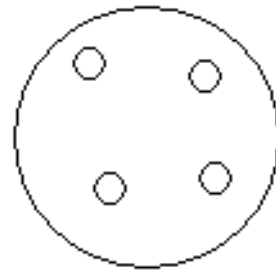
A)



B)



C)



3.2 Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

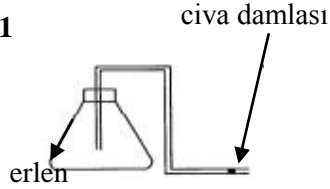
- A) Sıcaklık artınca balon içindeki helyum gazının basıncı artar.
- B) Sıcaklık artınca balon içindeki helyum gaz tanecikleri arasındaki mesafe artar.
- C) Sıcaklık artınca balon içindeki helyum gaz tanecikleri büyür.
- D) Sıcaklık artınca tanecikler arası mesafe azalır.
- E) .....



2.3 Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- A) Eminim.  
B) Emin değilim.

4.1



Yandaki şekilde verilen düzenekte içinde hava bulunan, sabit hacimli ve ağzı kapalı bir erlen ve erlene bağlı bir cam boru bulunmaktadır (Cam borunun hacmi ihmal edilmektedir.) Cam borunun içinde ise bir damla civa damlası bulunmaktadır. Sıcaklık değişimine bağlı olarak civa damlası sağa (→) ya da sola (←) hareket etmektedir. Eğer düzenek, sıcaklığı  $25^{\circ}\text{C}$  olan bir odadan sıcaklığı  $5^{\circ}\text{C}$  olan başka bir odaya götürülürse civa damlacığının hareketi nasıl olur? (Not: Açık hava basıncı her iki sıcaklıkta da  $1\text{ atm}$ 'dir.)

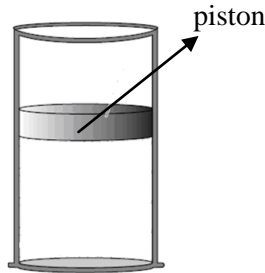
- A) Sola doğru hareket eder.  
B) Hareket etmez.  
C) Sağa doğru hareket eder.

4.2 Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- A) Erlen içindeki havanın basıncı azalır.  
B) Erlen içindeki havanın basıncı artar.  
C) Erlen içindeki havanın hacmi azalır.  
D) Erlen içindeki havanın hacmi artar.  
E) Açık hava basıncı sabittir.  
F) .....

4.3 Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- A) Eminim.  
B) Emin değilim.



Yandaki şekilde hareketli ideal piston içinde normal koşullarda ( $0^{\circ}\text{C}$  ve  $1\text{ atm}$ 'de) gaz halindeki madde bulunmaktadır. Gaz halindeki madde ısıtıldığında piston nasıl hareket eder? (Açık hava basıncı her iki durumda da  $1\text{ atm}$ 'dir.)

- A) Aşağıya doğru hareket eder.  
B) Hareket etmez.  
C) Yukarıya doğru hareket eder.

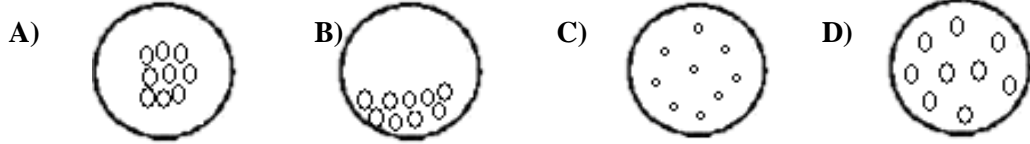
5.2 Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- A) Piston içindeki gaz halindeki maddenin basıncı artar.  
B) Gaz halindeki madde genişler ve tanecikleri büyür.  
C) Isınan gaz halindeki madde yükselir.  
D) Gaz halindeki maddenin taneciklerinin arasındaki ortalama mesafe artar.  
E) Açık hava basıncı sabittir.  
F) .....

5.3 Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- A) Eminim.  
B) Emin değilim.

- 6.1 Yandaki şekilde  $20^{\circ}\text{C}$  ve 3 atm basınçta hidrojen gazı ile dolu silindir şeklindeki çelik bir tankın enine kesiti gösterilmektedir. Şekildeki küçük yuvarlaklar tanktaki hidrojen moleküllerinin dağılımını temsil etmektedir. Aşağıdaki gösterimlerden hangisi sıcaklık  $-5^{\circ}\text{C}$ 'ye düşürüldüğünde kapalı çelik tanktaki hidrojen moleküllerinin olası dağılımını gösterir? (Not:  $-5^{\circ}\text{C}$ 'de hidrojen gaz halindedir.)



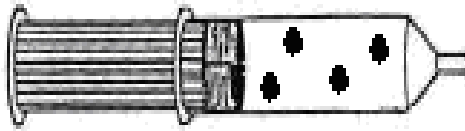
- 6.2 Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- A) Sıcaklık düşünce hidrojen gazı molekülleri birbirine yaklaşır ve hacim azalır.  
 B) Sıcaklık düşünce hidrojen gazı molekülleri küçülür.  
 C) Sıcaklık düşünce hidrojen gazı molekülleri ağırlaşarak dibe çöker.  
 D) Sıcaklık düşünce hidrojen gazı molekülleri yavaşlar ve basınç azalır.  
 E) .....

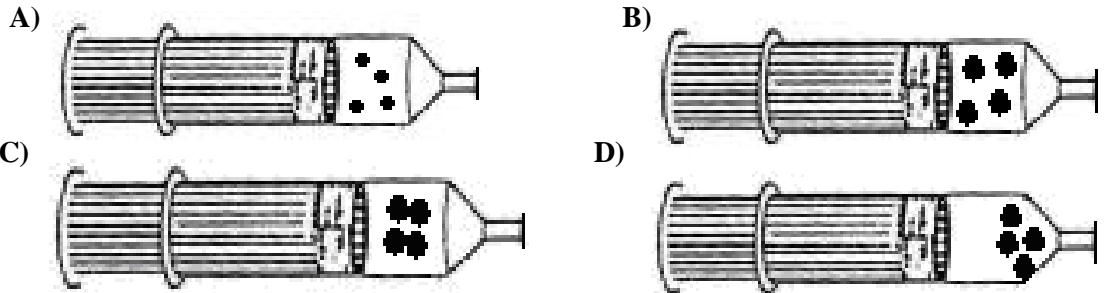
- 6.3 Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- A) Eminim.  
 B) Emin değilim.

- 7.1



Yandaki şekildeki gibi ağzı kapalı ve içinde hava bulunan şırınganın pistonu ileriye doğru itiliyor. Aşağıdaki gösterimlerden hangisi piston itildikten sonraki durumu maddenin tanecikli yapısına göre temsil etmektedir? (Not: Çizimlerde havayı oluşturan tanecikler “●” şeklinde temsil edilmektedir.)



- 7.2 Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- A) Havayı oluşturan tanecikler birbirine yapışır.  
 B) Havayı oluşturan tanecikler basınç dolayısıyla küçülür.  
 C) Havayı oluşturan tanecikler arasındaki mesafe azalır.  
 D) Havayı oluşturan tanecikler basınç dolayısıyla şırınganın ucunda toplanırlar.  
 E) .....

- 7.3 Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- A) Eminim.  
 B) Emin değilim.

8.1



Buket, yandaki şekildeki gibi gösterilen bir kaba bir miktar su koyuyor ve kabın ağzını sıkıca kapattıktan sonra tartıyor. Daha sonra ağzı sıkıca kapalı bu kabtaki suyun hepsini kap sıkıca kapalı iken buharlaştırıp bir tartım daha yapıyor. Buket, tartım sonuçları ile ilgili aşağıdakilerden hangisine ulaşmıştır?

- A) Su buharlaştırıldığında ağırlığı olmaz.
- B) Su buharlaştırıldıktan sonra alınan tartım daha hafif gelir.
- C) Her iki tartım da birbirine eşittir.

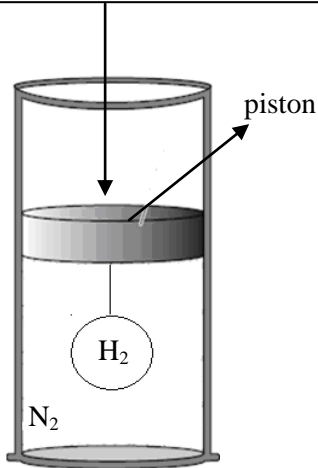
8.2 Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- A) Gaz halindeki maddenin ağırlığı yoktur.
- B) Su buharlaştığında hidrojen ve oksijen gazına ayrışır.
- C) Kap içine giren ya da kaptan çıkan bir madde yoktur.
- D) Sıvı halindeki madde gaz halindeki maddeden daha ağırdır.
- E) .....

8.3 Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- A) Eminim.
- B) Emin değilim.

9.1



Yandaki şekilde pistonlu kap içinde azot gazı bulunmaktadır. Pistona çelik ipe bağlı elastik balonun içinde ise hidrojen gazı bulunmaktadır. Elastik balon kabın hiçbir yüzeyine değmeyecek şekilde, piston aşağıya doğru bir miktar itilirse balonun hacmi nasıl değişir?

- A) Balonun hacmi azalır.
- B) Balonun hacmi değişmez.
- C) Balonun hacmi artar.

9.2 Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- A) Piston aşağıya doğru itilince balon içindeki hidrojen gazı molekülleri birbirine yapışır.
- B) Piston aşağıya doğru itilince balon içindeki hidrojen gazı molekülleri küçülür.
- C) Piston aşağıya doğru itilince balon içindeki hidrojen gazı molekülleri balonun altında toplanır.
- D) Piston aşağıya doğru itilince balon içindeki basınç artar ve hidrojen gazı molekülleri arasındaki mesafe azalır.
- E) Piston aşağıya doğru itilince balon içindeki ve dışındaki basınç eşit olarak artar.
- F) Piston aşağıya doğru itilince balon içindeki hidrojen gazı molekülleri arasındaki mesafe artar.
- G) .....

9.3 Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- A) Eminim.
- B) Emin değilim.

10.1 Bir kaptan su kaynarken sudan kabarcıklar çıktığını görürsünüz. Bu kabarcıkların içinde ne vardır?

- A) Hava
- B) Oksijen gazı
- C) Oksijen ve hidrojen gazı
- D) Su buharı

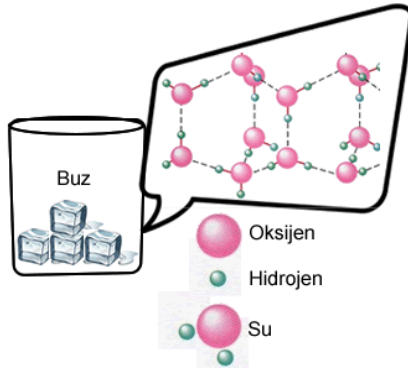
10.2 Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- A) Su gaz haline geçtiğinde hidrojen ve oksijen gazlarına ayrışır.
- B) Su içinde hava vardır ve kaynama sırasında hava baloncukları ortaya çıkar.
- C) Su gaz haline geçtiğinde su molekülleri arasındaki mesafe artar.
- D) .....

10.3 Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- A) Eminim.
- B) Emin değilim.

11.1



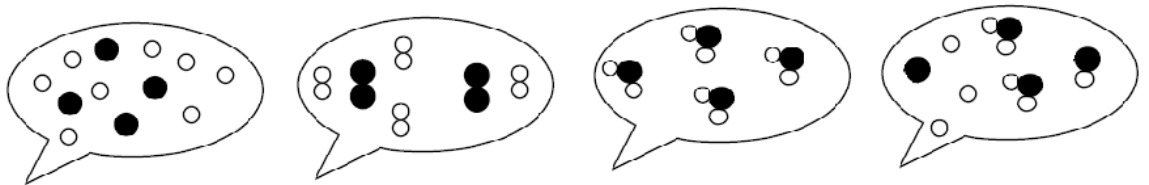
Yandaki şekilde, kapalı kaptaki buzun tanecikli yapıdaki kesiti gösterilmektedir. Buz önce sıvı hale sonra gaz haline geçiyor. Gaz halindeki suyun tanecikli yapıdaki kesitini aşağıdaki gösterimlerden hangisi temsil etmektedir?

A)

B)

C)

D)



11.2 Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- A) Su gaz haline geçtiğinde su molekülleri arasındaki mesafe artar.
- B) Su gaz haline geçtiğinde hidrojen ve oksijen gazlarına ayrışır ve aralarındaki mesafe artar.
- C) Su gaz haline geçtiğinde hidrojen ve oksijen elementlerine ayrışır ve aralarındaki mesafe artar.
- D) .....

11.3 Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- A) Eminim.
- B) Emin değilim.

---

**12.1** Oda sıcaklığında ( $25^{\circ}\text{C}$ ), ağzı açık ve yarıya kadar suyla dolu plastik bir şişe vardır. Eğer bu şişe günlerce dokunulmadan oda sıcaklığında bekletilirse şişedeki su seviyesi hakkında ne söylenebilir? (Havadaki nem oranının az olduğu kabul edilecek.)

- A) Su seviyesi azalır.
- B) Su seviyesi değişmez.
- C) Su seviyesi artar.

**12.2** Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- A) Buharlaşmanın olması için sıcaklığın artması gerekir.
- B) Su kendi iç enerjisi ile sıcaklıktan bağımsız olarak buharlaşır.
- C) Su kaynama noktası olan  $100^{\circ}\text{C}$  ve üstünde buharlaşır.
- D) Buharlaşmanın olması için sistemin her zaman çevresinden ısı alması gerekir.
- E) Sıcak hava şişenin içinde yoğunlaşır.
- F) .....

**12.3** Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- A) Eminim.
  - B) Emin değilim.
- 

**13.1** Oda sıcaklığında ( $25^{\circ}\text{C}$ ), ağzı açık ve yarıya kadar suyla dolu plastik bir şişe vardır. Bu şişe  $10^{\circ}\text{C}$ 'lik başka bir odaya alınıp birkaç gün bekletildiğinde su seviyesi hakkında ne söylenebilir? (Havadaki nem oranının az olduğu kabul edilecek.)

- A) Su seviyesi azalır.
- B) Su seviyesi değişmez.
- C) Su seviyesi artar.

**13.2** Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- A) Su kaynama noktası olan  $100^{\circ}\text{C}$  ve üstünde buharlaşır.
- B) Buharlaşmanın olması için sıcaklığın artması gerekir.
- C) Su kendi iç enerjisi ile sıcaklıktan bağımsız olarak buharlaşır.
- D) Buharlaşmanın olması için sistemin her zaman çevresinden ısı alması gerekir.
- E) Sıcak hava şişenin içinde yoğunlaşır.
- F) .....

**13.3** Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- A) Eminim.
  - B) Emin değilim.
- 

**14.1** Buzdolabında iyice soğumuş ağzı kapalı bir şişe suyu dışarı çıkardığımızda bir süre sonra şişenin dış yüzeyinde su damlacıkları görürüz. Bu su damlacıkları nereden gelmiştir?

- A) Sıcak hava şişenin dış yüzeyinde yoğunlaşarak su damlacıkları oluşturmuştur.
- B) Şişenin etrafını çevreleyen havadaki su buharı şişenin dış yüzeyinde su damlacıkları oluşturmuştur.
- C) Şişenin içinde buharlaşan su şişenin dış yüzeyinde su damlacıkları oluşturmuştur.

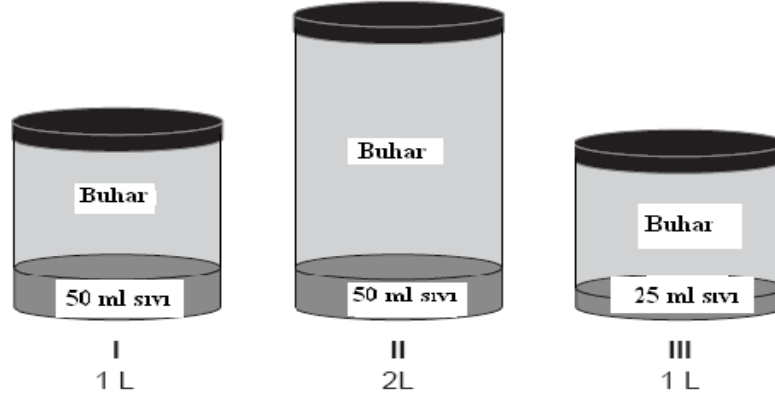
14.2 Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- A) Havada bulunan oksijen ve hidrojen gazları şişenin soğuk yüzeyine çarparak yoğunlaşır ve su damlacıklarını oluşturur.
- B) Havada bulunan gaz halindeki suyun molekülleri şişenin soğuk yüzeyine çarparak yoğunlaşır ve su damlacıklarını oluşturur.
- C) Şişe dolaptan çıkarılarak sıcak bir ortama konduğunda şişenin içindeki su şişenin yüzeyinden geçerek su damlacıklarını oluşturur.
- D) .....

14.3 Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- A) Eminim.
- B) Emin değilim.

15.1 Aşağıda sabit sıcaklıkta I. ve II. kaplarda 50 mL, III. kapta ise 25 mL buharıyla dengede bulunan aynı tür saf sıvı bulunmaktadır (I. ve III. kabın toplam hacmi 1L iken II. kabın toplam hacmi 2L'dir). Bu kaplardaki buhar basınçları hakkında ne söylenebilir?



- A) I=II=III
- B) II=III>I
- C) I>II=III

15.2 Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- A) Gaz halindeki maddenin hacmi azalınca basıncı artar.
- B) Gaz halindeki maddenin hacmi azalınca basıncı azalır.
- C) Sıvının miktarının az olduğu kaptaki buhar basıncı en düşüktür.
- D) Sıvı halindeki saf maddenin buhar basıncı sıcaklıkla değişir.
- E) .....

15.3 Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- A) Eminim.
- B) Emin değilim.

**16.1** Oda sıcaklığında ( $25^{\circ}\text{C}$ ), ağzı sıkıca kapalı ve yarıya kadar suyla dolu plastik bir şişe vardır. Eğer bu şişe günlerce dokunulmadan oda sıcaklığında bekletilirse şişenin kapağının iç yüzeyinde küçük su damlacıkları görürüz. Bu su damlacıkları nereden gelmiştir?

- A) Buharlaştan su kapağın soğuk yüzeyine çarpıp yoğunlaşmıştır.
- B) Şişe içindeki hava kapağın soğuk yüzeyine çarpıp yoğunlaşmıştır.
- C) Şişe su buharı doygunluğuna erişmiş ve yoğunlaşma olmuştur.

**16.2** Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- A) Oksijen ve hidrojen gazları kapağın soğuk yüzeyine çarparak yoğunlaşır ve su damlacıklarını oluşturur.
- B) Gaz halindeki suyun molekülleri kapağın soğuk yüzeyine çarparak yoğunlaşır ve su damlacıklarını oluşturur.
- C) Şişenin içindeki suyun üstünde bulunan havayı oluşturan tanecikler kapağın soğuk yüzeyine çarparak yoğunlaşır ve su damlacıklarını oluşturur.
- D) Şişe içindeki su buharlaşır ve bir müddet sonra doygunluğa ulaştınca yoğunlaşma başlayarak kapakta su damlacıklarını oluşturur.
- E) .....

**16.3** Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- A) Eminim.
- B) Emin değilim.

**17.1** Ağzı açık iki kaptan birinde 50 mL saf su, diğerinde ise 50 mL doygun tuzlu su çözeltisi bulunmaktadır. Bu iki kap atmosfer basıncında kaynatıldığında kaynama süresince buhar basınçları ile ilgili aşağıdakilerden hangisi doğru olur?

- A) Her iki kaptaki buhar basıncı birbirine eşittir.
- B) Saf suyun buhar basıncı tuzlu sudan daha büyüktür.
- C) Tuzlu suyun buhar basıncı saf sudan daha büyüktür.

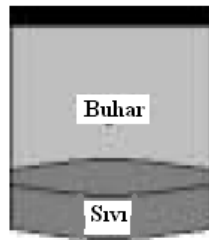
**17.2** Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- A) Uçucu olmayan çözünen (tuz) çözücünün (suyun) buhar basıncını artırır.
- B) Uçucu olmayan çözünen (tuz) çözücünün (suyun) buhar basıncını azaltır.
- C) Kaynama atmosfer basıncının buhar basıncına eşit olduğu noktada olur.
- D) .....

**17.3** Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- A) Eminim.
- B) Emin değilim.

**18.1**



Yandaki şekilde sabit sıcaklıkta kapalı bir kaptan buharıyla dengede bulunan bir sıvı bulunmaktadır. Bu kaptan bir miktar buhar uzaklaştırılıp ağzı tekrar kapatılıp bir müddet beklendiğinde, kaptaki buhar basıncı hakkında ne söylenebilir?

- A) Azalır.
- B) Değişmez.
- C) Artar.

**18.2** Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- A) Buharın mol sayısı azalır.
- B) Buhar uzaklaştırılınca daha fazla sıvı buharlaşır.
- C) Tekrar sıvı-buhar dengesi kurulur.
- D) .....

**18.3** Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- A) Eminim.
- B) Emin değilim.

**19.1** Su deniz seviyesinde ağzı açık bir kaptan 100 °C'de kaynar. Su, Ağrı Dağı'nın tepesinde kaç °C'de kaynar?

- A) 100 °C'den daha düşük bir sıcaklıkta kaynar.
- B) 100 °C'de kaynar.
- C) 100 °C'den daha yüksek bir sıcaklıkta kaynar.

**19.2** Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- A) Yükseklik arttıkça atmosfer basıncı azalır.
- B) Yükseklik arttıkça atmosfer basıncı artar.
- C) Kaynama noktası sıvının cinsine bağlıdır.
- D) Yükseklik arttıkça buhar basıncı azalır.
- E) Yükseklik arttıkça buhar basıncı artar.
- F) .....

**19.3** Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- A) Eminim.
- B) Emin değilim.

### SMDT Answer Key

1.1. A	5.1. C	9.1. A	13.1. A	17.1. A
1.2. D	5.2. D	9.2. D	13.2. C	17.2. C
1.3. A	5.3. A	9.3. A	13.3. A	17.3. A
2.1. B	6.1. D	10.1. D	14.1. B	18.1. B
2.2. E	6.2. D	10.2. C	14.2. B	18.2. C
2.3. A	6.3. A	10.3. A	14.3. A	18.3. A
3.1. C	7.1. B	11.1. C	15.1. A	19.1. A
3.2. B	7.2. C	11.2. A	15.2. D	19.2. A
3.3. A	7.3. A	11.3. A	15.3. A	19.3. A
4.1. A	8.1. C	12.1. A	16.1. C	
4.2. A	8.2. C	12.2. B	16.2. D	
4.3. A	8.3. A	12.3. A	16.3. A	



## A-2 States of Matter Interview Questions for the SMDT

### MADDENİN HALLERİ MÜLAKAT SORULARI

1. Katı, sıvı ve gazlar arasındaki farklılıkları nasıl tanımlarsınız?

ALTERNATİF SORU:

Katı, sıvı ve gazların karakteristik özellikleri nelerdir?

SONDA

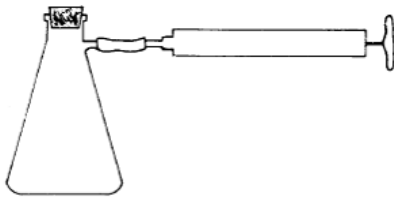
- Neden katılar belli bir şekle sahipken sıvı ve gazlar belli bir şekle sahip değildir?
- Suda yüzeriz, su buharı içinden geçebiliriz ama buzun içinden geçemeyiz. Bunu nasıl açıklarsınız?
- Suyun katı, sıvı ve gaz halini suyu oluşturan tanecikleri dikkate alarak nasıl resmedersiniz? (Çizimlerinizdeki her şeyi etiketleyiniz.)
- Katı, sıvı ve gazlarda taneciklerin hareketleri hakkında ne söyleyebilirsiniz?

2. Odanın bir köşesinden parfüm sıkıldığı zaman diğer köşeden kokuyu hissederiz. Bu durumu nasıl açıklarsınız?

SONDA

- Kokunun size kadar nasıl geldiği ile ilgili düşüncenizi nasıl resmedersiniz?
- Oda sıcaklığı daha yüksek/düşük olsaydı kokuyu daha kısa mı daha uzun bir sürede mi hissederdik? Neden?

3. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi kapalı bir erlen ve erlene bağlı el vakum pompası var. Erlen içinde su buharı bulunmaktadır. Vakum pompası ile su buharının bir kısmı alınıyor. Eğer erlen içindeki su buharını görebilmiş olsaydınız vakum pompası ile erlendeki su buharının bir kısmı alınmadan önceki ve sonraki durumunu maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmederdiniz? (Çizimlerinizdeki her şeyi etiketleyiniz.)



4. Daha önce vantuz gördünüz mü? Vantuzu bazen dolaba ya da duvara bir şeyler asmak için kullanırız. Vantuzu tutturabileceğimiz bir yüzeye bastırdığımızda o yüzeyde tutunur. Bu durumu nasıl açıklarsınız?

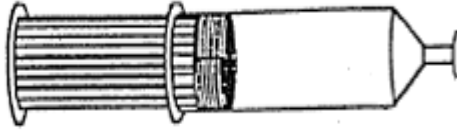
5. Havayla dolu 1 L'lik bir şişenin içindeki oksijen gazının hacmi ne olur?

SONDA

- 1 L'lik havayla dolu bu şişeyi 2 L'lik hava ile doldurabilir miyiz?

6. Gazlı bir içeceğin kapağını açmadan ve açtıktan sonra tartarsanız ağırlıkları konusunda ne söyleyebilirsiniz?

7. Aşağıdaki şekildeki gibi ağzı kapalı ve içinde hava bulunan şırınganın pistonu ileriye doğru itiliyor. Eğer şırınganın içindeki havayı oluşturan tanecikleri görebilseydiniz piston itilmeden önceki ve sonraki durumu maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmederdiniz? (Çizimlerinizdeki her şeyi etiketleyiniz.)



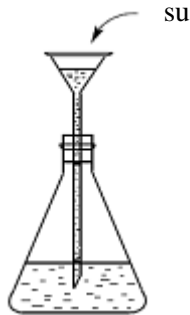
Piston itilmeden önce



Piston itildikten sonra

#### SONDA

- Piston itilmeden önce ve itildikten sonra şırınga tartıldığında ağırlıklar hakkında ne söyleyebilirsiniz?
  - Piston itilmeden önce ve itildikten sonra şırınga içindeki havanın basıncı hakkında ne söyleyebilirsiniz?
  - Piston itilmeden önceki durumdayken sıcaklık artırılıyor. Eğer şırınganın içindeki havayı oluşturan tanecikleri görebilseydiniz sıcaklık arttırılmadan önceki ve sonraki durumu maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmederdiniz?
  - Piston itilmeden önceki durumdayken sıcaklık düşürülüyor. Eğer şırınganın içindeki havayı oluşturan tanecikleri görebilseydiniz sıcaklık düşürülmeden önceki ve sonraki durumu maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmederdiniz?
8. Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi ağzı lastik tıpayla kapalı ve lastik tıpa içinden huni geçirilen bir erlene su dolduruluyor. Su huninin alt ucuna ulaşınca dek çok rahat akıyor. Huninin alt ucuna su ulaşınca ise artık huniyle daha fazla su eklenemiyor. Bu durumu nasıl açıklarsınız?



9. Bisikletinizin tekerine hava bastıktan sonra güneşte uzun süre beklediğinde tekerin sertleştiğini hissedersiniz. Gece sıcaklık düştüğünde ise tekerin sıcağıdaki gibi sert olmadığını görürsünüz. Tekerden hiç hava kaçmadığını düşünürseniz bu durumu nasıl açıklarsınız?

#### SONDA

- Tekerini güneşte beklettikten sonra ve gece soğukta uzun süre kaldıktan sonra tartarsanız ağırlıkları hakkında ne söyleyebilirsiniz?
10. Kapalı bir kap içinde  $-25^{\circ}\text{C}$ 'de bir miktar buz bulunmaktadır. Buz  $125^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtılıyor. Buzun  $-25^{\circ}\text{C}$ 'den  $125^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtılmasını grafikte nasıl gösterirsiniz? (Grafik koordinatlarının birini sıcaklık diğeri de ısı olarak düşünebilirsiniz.)

## SONDA

- Çizmiş olduğunuz grafikte donma, erime, buharlaşma, yoğunlaşma ve kaynamanın nerede olduğunu gösterebilir misiniz?
- Buzun  $-25^{\circ}\text{C}$ 'den  $125^{\circ}\text{C}$ 'ye ısıtılmasında  $-25^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $50^{\circ}\text{C}$ ,  $100^{\circ}\text{C}$  ve  $125^{\circ}\text{C}$ 'deki durumunu maddenin tanecikli yapısını kullanarak nasıl resmedersiniz?

11. Oda sıcaklığında, ağzı açık ve yarıya kadar suyla dolu plastik bir şişe vardır. Eğer bu şişe günlerce dokunulmadan oda sıcaklığında bekletilirse şişedeki su seviyesine ne olacaktır?

## SONDA

- Çamaşırını yıkadıktan sonra kurutmak için dışarı asarız. Bu sırada çamaşırdaki suya ne olur?
- Bir odada, oda sıcaklığında ( $25^{\circ}\text{C}$ ), ağzı açık ve yarıya kadar suyla dolu plastik bir şişe vardır. Bu şişe  $10^{\circ}\text{C}$ 'lik başka bir odaya alınıp birkaç gün bekletildiğinde su seviyesine ne olur?
- $25^{\circ}\text{C}$ 'de ve ısıya karşı izole kapalı bir kapta bulunan su seviyesi birkaç gün bekledikten sonra nasıl değişir?
- Aşağıda sabit sıcaklıkta bulunan ve her biri 100 mL su içeren dört kap gösterilmektedir. (I ve III kapalı, II ve IV açık kaplardır.) Bu kaplardaki buharlaşma hızlarını nasıl karşılaştırırız?



I



II



III



IV

I. kaptaki su buharlaşma öncesi ve sonrası tartılılığında ağırlık nasıl değişir?

- Buharlaşmayı nasıl tanımlarsınız?
- Suyun buharlaşmasını maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmedersiniz? (Tanecikler değişir mi? Sıcaklık için ne dersiniz?)

12. Oda sıcaklığında, ağzı sıkıca kapalı ve yarıya kadar suyla dolu plastik bir şişe vardır. Eğer bu şişe günlerce dokunulmadan oda sıcaklığında bekletilirse şişenin kapağının iç yüzeyinde küçük su damlacıkları görürüz. Bu su damlacıkları nereden gelmiştir?

## SONDA

- Su damlacıkları görülmeden önce ve sonra şişe tartılırsa ağırlık nasıl değişir?
- Buzdolabında iyice soğumuş bir şişe suyu dışarı çıkardığımızda bir süre sonra şişenin dış yüzeyinde su damlacıkları görürüz. Bu su damlacıkları nereden gelmiştir? Bu olayı maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmedersiniz?
- Yoğunlaşmayı nasıl tanımlarsınız?
- Suyun yoğunlaşmasını maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmedersiniz? (Tanecikler değişir mi? Sıcaklık için ne dersiniz?)

13. Bir kapta su kaynarken sudan kabarcıklar çıktığını görürsünüz. (Olayın fotoğrafı öğrencilere gösterilecek.) Bu kabarcıkların içinde ne vardır?

## SONDA

- Kaynama nedir? (ya da kaynama nasıl olur?)
- Suyun kaynamasını maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmedersiniz? (Tanecikler değişir mi? Sıcaklık için ne dersiniz? Buharlaşmadan farkı nedir?)

- Suda yumurtayı deniz seviyesinde mi yoksa Ağrı Dağı'nda mı pişirmek daha kolaydır? Neden?
- Makarna pişirirken suya kaynamadan önce tuz atarız. Bunu neden yaparız?

### A-3 States of Matter Open-Ended Questions for the SMDT

#### MADDENİN HALLERİ AÇIK UÇLU SORULARI

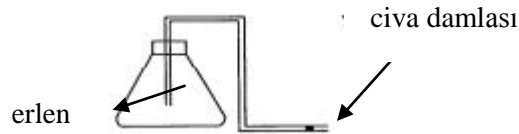
Ad Soyad:..... Okul:.....  
Sınıf:.....

Aşağıda “Maddenin Halleri” ile ilgili 13 soru bulunmaktadır. Lütfen soruları dikkatle okuyunuz ve bütün sorulara cevaplarınızın nedenleriyle birlikte yanıt veriniz. Cevaplarınızı soruların hemen altında yer alan boşluklara yazabilirsiniz. Bilimsel bir çalışmaya katkıda bulunduğunuz için teşekkür ederiz. **Başarılar.**

**Prof. Dr. Ömer Geban**

**Arş. Gör. Z. Demet Kırbulut**

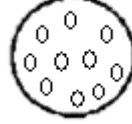
- Şekilde verilen düzenekte içinde hava bulunan, sabit hacimli ve ağzı kapalı bir erlen ve erlene bağlı cam boru bulunmaktadır. Cam borunun içinde ise bir damla civa bulunmaktadır. Sıcaklık değişimine bağlı olarak civa damlası sağa ya da sola hareket etmektedir. Eğer düzenek, sıcaklığı  $25^{\circ}\text{C}$  olan bir odadan sıcaklığı  $5^{\circ}\text{C}$  olan başka bir odaya götürülürse civa damlacığının hareketi nasıl olur? Cevabınızın nedenini açıklayınız. (Not: Cam borunun hacmini ihmal ediniz.)



- Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi Aylin içinde soğuk hava bulunan ağzı kapalı bir kavanozu tartıyor. Daha sonra aynı kavanozu bahçede güneşin altında uzun bir süre bekletiyor ve tekrar bir tartım alıyor. Aylin, kavanozun içinde hava olmadan vakumlu haldeki ağırlığını da biliyor ve bu ağırlığı içinde hava olan tartım sonuçlarından çıkarıyor. Aylin'in ulaştığı soğuk ve sıcak havanın tartım sonuçları ile ilgili ne söylenebilir? Cevabınızın nedenini açıklayınız.

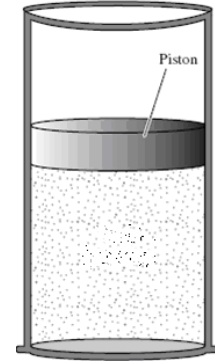


3. Aşağıdaki şekilde  $20^{\circ}\text{C}$  ve 3 atm basınçta hidrojen gazı ile dolu silindir şeklindeki çelik bir tankın enine kesiti gösterilmektedir. Şekildeki küçük yuvarlaklar tanktaki hidrojen moleküllerinin dağılımını temsil etmektedir.

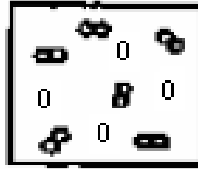


Sıcaklık  $-5^{\circ}\text{C}$ 'ye düşürüldüğünde kapalı çelik tanktaki hidrojen moleküllerinin muhtemel dağılımını nasıl çizersiniz? Cevabınızın nedenini açıklayınız. (Hidrojen gazının kaynama noktası  $-243^{\circ}\text{C}$ 'dir.)

4. Yandaki şekilde hareketli piston içinde normal koşullarda gaz halindeki madde bulunmaktadır. Gaz halindeki madde ısıtıldığında piston nasıl hareket eder? Cevabınızın nedenini açıklayınız.

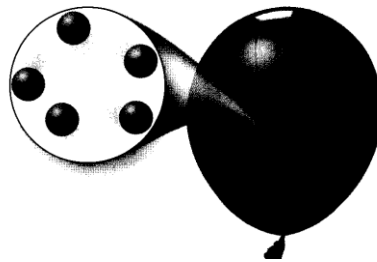


5. Hacmi 200 mL olan kapalı bir kap  $15^{\circ}\text{C}$ 'de şekilde gösterildiği gibi oksijen ( $\infty$ ) ve helyumdan ( $\circ$ ) oluşan bir karışım içermektedir.

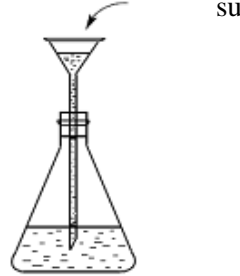


Oksijen gazının kısmi basıncını nasıl resmedersiniz? Cevabınızın nedenini açıklayınız.

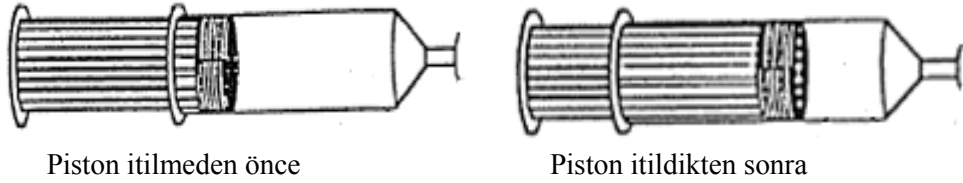
6. Murat  $15^{\circ}\text{C}$ 'deki bir odada bir balonu helyum gazıyla dolduruyor. Daha sonra aynı basınçta fakat  $30^{\circ}\text{C}$ 'deki bir ortama götürüyor.  $15^{\circ}\text{C}$ 'deki balonun tanecikli yapıya göre gösterimi aşağıdaki şekildeki gibi ise  $30^{\circ}\text{C}$ 'deki durumunu nasıl resmedersiniz? Balonun hacmi nasıl değişir? Cevabınızın nedenini açıklayınız.



7. Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi ağzı lastik tıpayla kapalı ve lastik tıpa içinden huni geçirilen bir erlene su dolduruluyor. Su huninin alt ucuna ulaşıncaya dek çok rahat akıyor. Huninin alt ucuna su ulaşınca artık huniyle daha fazla su eklenemiyor. Bu durumu nasıl açıklarsınız?



8. Aşağıdaki şekildeki gibi ağzı kapalı ve içinde hava bulunan şırınganın pistonu ileriye doğru itiliyor. Eğer şırınganın içindeki havayı oluşturan tanecikleri görebilseydiniz piston itilmeden önceki ve sonraki durumu maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmederdiniz? (Çizimlerinizdeki her şeyi etiketleyiniz.) Cevabınızın nedenini açıklayınız.

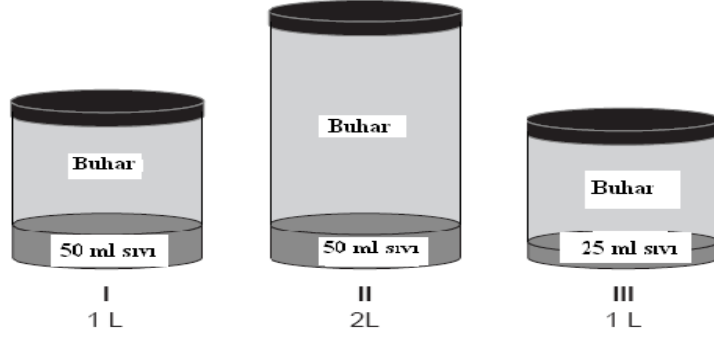


9. Bir odada, oda sıcaklığında ( $25^{\circ}\text{C}$ ), ağzı kapalı ve yarıya kadar suyla dolu plastik bir şişe vardır. Bu şişe  $10^{\circ}\text{C}$ 'lik başka bir odaya alınıp birkaç gün bekletildiğinde su seviyesine ne olur? Cevabınızın nedenini açıklayınız.
10. Aşağıdaki şekilde, kapalı kaptaki buzun tanecikli yapıdaki kesiti gösterilmektedir. Buz önce sıvı hale, sonra gaz haline geçiyor. Gaz halindeki suyun (su buharının) tanecikli yapıdaki kesitini nasıl resmedersiniz? (Çizimlerinizdeki her şeyi etiketleyiniz.) Cevabınızın nedenini açıklayınız.



11. Buzdolabında iyice soğumuş bir şişe suyu dışarı çıkardığımızda bir süre sonra şişenin dış yüzeyinde su damlacıkları görürüz. Bu su damlacıkları nereden gelmiştir? Cevabınızın nedenini açıklayınız.

12. Aşağıda sabit sıcaklıkta I. ve II. kaplarda 50 ml, 3. kaptan ise 25 ml buharıyla dengede bulunan aynı cins sıvı bulunmaktadır. Bu kaplardaki buhar basınçları hakkında ne söylenebilir? Cevabınızın nedenini açıklayınız.



13. Bir kaptan su kaynarken sudan kabarcıklar çıktığını görürsünüz. Bu kabarcıkların içinde ne vardır? Bu olayı tanecikli yapıya göre nasıl resmedersiniz?



## APPENDIX B

## SELF-EFFICACY SCALE TOWARD CHEMISTRY (SETC)

## LİSE KİMYA ÖZ-YETERLİK ÖLÇEĞİ

Ad-Soyad:.....  
 Sınıf:.....  
 Okul:.....

Cinsiyet: Kız  Erkek   
 Yaş:.....

Sevgili öğrenciler, bu anket kimyada yaşadığınız problemleri anlamak amacıyla düzenlenmiştir. Ankette yer alan her maddenin karşısında “yetersiz”den “çok yeterli”ye doğru 1’den 9’a kadar numaralandırılan seçenekler vardır. Lütfen, aşağıda verilen her ifadeyi okuyunuz ve her ifade için sizin düşüncenizi en iyi yansıtan **sadece bir seçeneği** işaretleyiniz. Cevaplarınız gizli tutulacaktır. Yardımlarınız için şimdiden teşekkür ederiz.

	yetersiz		çok az yeterli		biraz yeterli		oldukça yeterli		çok yeterli
1. Kimya kanun ve teorilerini ne derecede açıklayabilirsiniz?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2. Kimya problemlerini çözerken uygun formül kullanmada ne kadar iyisiniz?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3. Laboratuvar da deney prosedürünü uygulamada ne kadar iyisiniz?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4. Laboratuvar araç-gereçlerini ne kadar iyi kullanabilirsiniz?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5. Kimya ve diğer bilimler arasında ilişki kurmada ne kadar iyisiniz?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6. Atomun yapısını tasvir etmede ne kadar iyisiniz?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7. Laboratuvar sırasında verileri yorumlamada ne kadar iyisiniz?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8. Periyodik tabloyu kullanarak elementlerin özelliklerini tanımlamada ne kadar iyisiniz?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
9. Element ve bileşiklerin formüllerini okumada ne kadar iyisiniz?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10. Kimyasal denklemleri yorumlamada ne kadar iyisiniz?	1	2	3	4	5	6	7	8	9

	yetersiz		çok az yeterli		biraz yeterli		oldukça yeterli		çok yeterli
11. Maddenin tanecikli yapısını açıklamada ne kadar iyisiniz?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
12. Laboratuvar düzenliğini ne kadar iyi kurabilirsiniz?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
13. Kimyadaki temel kavramları tanımlamada ne kadar iyisiniz?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
14. Kimya ile ilgili grafik ve çizelgeleri yorumlamada ne kadar iyisiniz?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
15. Laboratuvar sırasında veri toplamada ne kadar iyisiniz?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
16. Temel bulguları özetleyen laboratuvar raporu yazmada ne kadar iyisiniz?	1	2	3	4	5	6	7	8	9

**APPENDIX C****INTERVIEW QUESTIONS ON CONCEPT LEARNING****ÖĞRENCİLERİN KAVRAM ÖĞRENİMLERİ İLE İLGİLİ MÜLAKAT SORULARI**

1. Bir kavramı örneğin erimenin nasıl olduğunu öğrendiğini nasıl anlarsın? (O konuyla ilgili problemleri çözerek, günlük hayatta karşılaştığın durumlara açıklama getirebilerek, o konuyu bir arkadaşına anlatarak v.b.)
2. Arkadaşlarınla bir konu üzerinde tartışırken fikirleriniz arasında farklılıklar varsa o konuyu bir fikrin diğer bir fikirden daha iyi açıkladığına nasıl karar verirsin?
3. Yeni bir kavramı öğrenirken en çok sana neler yardımcı olur? (kitaptan okumak, öğretmenin açıklaması, ön bilgilerin, sınıf tartışması, deney yapma v.b.)
4. Eğer öğrendiğin yeni kavram senin ön bilgilerinle uyuşmuyorsa bu uyumsuzluğu nasıl giderirsin?
  - Yeni bir kavramı öğrenirken ön bilgilerinin etkisi nasıl olur?
  - Yeni bir kavramı öğrendiğinde o kavramla ilgili ön bilgilerine ne olur?
  - Yeni kavramla ilgili açıklamaların senin ön bilgilerinden daha iyi olduğunu nasıl anlarsın?

## APPENDIX D

## STATES OF MATTER INTERVIEW QUESTIONS

## MADDENİN HALLERİ MÜLAKAT SORULARI

1. Katı, sıvı ve gazlar arasındaki farklılıkları nasıl tanımlarsınız?

ALTERNATİF SORU:

Katı, sıvı ve gazların karakteristik özellikleri nelerdir?

## SONDA

- Neden katılar belli bir şekle sahipken sıvı ve gazlar belli bir şekle sahip değildir?
- Suda yüzeriz, su buharı içinden geçebiliriz ama buzun içinden geçemeyiz. Bunu nasıl açıklarsınız?
- Suyun katı, sıvı ve gaz halini suyu oluşturan tanecikleri dikkate alarak nasıl resmedersiniz? (Çizimlerinizdeki her şeyi etiketleyiniz.)
- Katı, sıvı ve gazlarda taneciklerin hareketleri hakkında ne söyleyebilirsiniz?

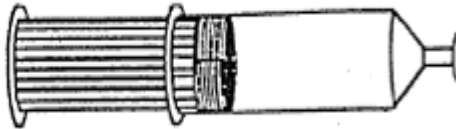
2. Odanın bir köşesinden parfüm sıkıldığı zaman diğer köşeden kokuyu hissederiz. Bu durumu nasıl açıklarsınız?

## SONDA

- Kokunun size kadar nasıl geldiği ile ilgili düşüncenizi nasıl resmedersiniz?
- Oda sıcaklığı daha yüksek/düşük olsaydı kokuyu daha kısa mı daha uzun bir sürede mi hissederdik? Neden?

3. Gazlı bir içeceğin kapağını açmadan ve açtıktan sonra tartarsanız ağırlıkları konusunda ne söyleyebilirsiniz?

4. Aşağıdaki şekildeki gibi ağzı kapalı ve içinde hava bulunan şırınganın pistonu ileriye doğru itiliyor (öğrencilere şırıngayla bu durum gösterilir). Eğer şırınganın içindeki havayı oluşturan tanecikleri görebilseydiniz piston itilmeden önceki ve sonraki durumu maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmederdiniz? (Çizimlerinizdeki her şeyi etiketleyiniz.)



Piston itilmeden önce

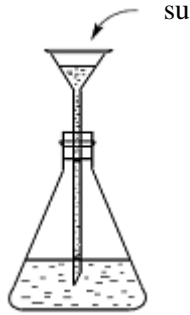


Piston itildikten sonra

## SONDA

- Piston itilmeden önce ve itildikten sonra şırınga tartıldığında ağırlıklar hakkında ne söyleyebilirsiniz?
- Piston itilmeden önce ve itildikten sonra şırınga içindeki havanın basıncı hakkında ne söyleyebilirsiniz?

- Basınç ve hacim arasındaki ilişkiyi (sıcaklık sabit) grafiksel olarak nasıl çizersiniz?
  - Piston itilmeden önceki durumdayken sıcaklık arttırılıyor. Eğer şırınganın içindeki havayı oluşturan tanecikleri görebilseydiniz sıcaklık arttırılmadan önceki ve sonraki durumu maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmederdiniz?
  - Piston itilmeden önceki durumdayken sıcaklık düşürülüyor. Eğer şırınganın içindeki havayı oluşturan tanecikleri görebilseydiniz sıcaklık düşürülmeden önceki ve sonraki durumu maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmederdiniz?
  - Sıcaklık ve hacim arasındaki ilişkiyi (basınç sabit) grafiksel olarak nasıl çizersiniz?
5. Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi ağzı lastik tıpayla kapalı ve lastik tıpa içinden huni geçirilen bir erlene su dolduruluyor. Su huninin alt ucuna ulaşınca dek çok rahat akıyor. Huninin alt ucuna su ulaşınca ise artık huniyle daha fazla su eklenemiyor. Bu durumu nasıl açıklarsınız? (Not: Öğrencilere su huninin alt ucuna ulaşınca sistemi kapalı bir kap olarak düşünmeleri gerektiği ipucu verilebilir.)



6. Bisikletinizin tekerine hava bastıktan sonra güneşte uzun süre beklettiğinizde tekerin hacminde bir değişiklik olur mu? Tekerden hiç hava kaçmadığını düşünürseniz bu durumu nasıl açıklarsınız?

#### SONDA

- Tekerini güneşte beklettikten sonra ve gece soğukta uzun süre kaldıktan sonra tartarsanız ağırlıkları ve özkütleleri hakkında ne söyleyebilirsiniz?
7. Kapalı bir kap içinde  $-25^{\circ}\text{C}$ 'de bir miktar buz bulunmaktadır. Buz  $125^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtılıyor. Buzun  $-25^{\circ}\text{C}$ 'den  $125^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtılmasını grafikte nasıl gösterirsiniz? (Grafik koordinatlarının birini sıcaklık diğerini de ısı olarak düşünebilirsiniz.)

#### SONDA

- Çizmiş olduğunuz grafikte donma, erime, buharlaşma, yoğunlaşma ve kaynamanın nerede olduğunu gösterebilir misiniz?
  - Buzun  $-25^{\circ}\text{C}$ 'den  $125^{\circ}\text{C}$ 'ye ısıtılmasında  $-25^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $50^{\circ}\text{C}$ ,  $100^{\circ}\text{C}$  ve  $125^{\circ}\text{C}$ 'deki durumunu maddenin tanecikli yapısını kullanarak nasıl resmedersiniz? (Su molekülünü kullanarak.)
8. Oda sıcaklığında ( $25^{\circ}\text{C}$ ), ağzı açık ve yarıya kadar suyla dolu plastik bir şişe vardır. Eğer bu şişe günlerce dokunulmadan oda sıcaklığında bekletilirse şişedeki su seviyesine ne olacaktır?

**SONDA**

- Oda sıcaklığında ( $25^{\circ}\text{C}$ ), **ağız kapalı** ve yarıya kadar suyla dolu plastik bir şişe vardır. Eğer bu şişe günlerce dokunulmadan oda sıcaklığında bekletilirse şişedeki su seviyesine ne olacaktır?
- Bir odada, oda sıcaklığında ( $25^{\circ}\text{C}$ ), ağız açık ve yarıya kadar suyla dolu plastik bir şişe vardır. Bu şişe  $10^{\circ}\text{C}$ 'lik başka bir odaya alınıp birkaç gün bekletildiğinde su seviyesine ne olur?
- $25^{\circ}\text{C}$ 'de ve ısıya karşı izole **kapalı** bir kapta (mesela termos) bulunan su seviyesi birkaç gün bekledikten sonra nasıl değişir?
- Aşağıda sabit sıcaklıkta bulunan ve her biri 100 mL su içeren dört kap gösterilmektedir. (I ve III kapalı, II ve IV açık kaplardır.) Bu kaplardaki buharlaşma hızlarını nasıl karşılaştırırsınız?



I



II



III



IV

I. kaptaki su buharlaşma öncesi ve sonrası tartılılığında ağırlık nasıl değişir?

- Buharlaşmayı nasıl tanımlarsınız?
- Suyun buharlaşmasını maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmedersiniz? (Tanecikler değişir mi? Sıcaklık için ne dersiniz?)

9. Oda sıcaklığında, ağız sıkıca kapalı ve yarıya kadar suyla dolu plastik bir şişe vardır. Eğer bu şişe günlerce dokunulmadan oda sıcaklığında bekletilirse şişenin kapağının iç yüzeyinde küçük su damlacıkları görürüz. Bu su damlacıkları nereden gelmiştir?

**SONDA**

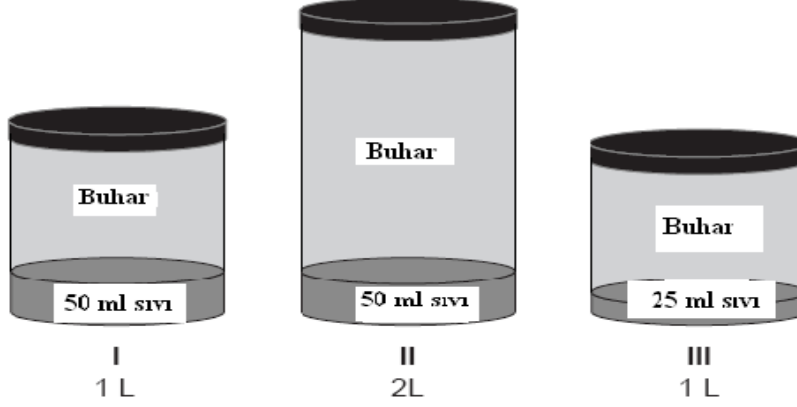
- Su damlacıkları görülmeden önce ve sonra şişe tartılırsa ağırlık nasıl değişir?
- Buzdolabında iyice soğumuş bir şişe suyu dışarı çıkardığımızda bir süre sonra şişenin dış yüzeyinde su damlacıkları görürüz. Bu su damlacıkları nereden gelmiştir? (Olayın fotoğrafı öğrencilere gösterilecek.) Bu olayı maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmedersiniz?
- Yoğunlaşmayı nasıl tanımlarsınız?
- Suyun yoğunlaşmasını maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmedersiniz? (Tanecikler değişir mi? Sıcaklık için ne dersiniz?)

10. Bir kapta su kaynarken sudan kabarcıklar çıktığını görürsünüz. (Olayın fotoğrafı öğrencilere gösterilecek.) Bu kabarcıkların içinde ne vardır?

**SONDA**

- Kaynama nedir? (ya da kaynama nasıl olur?)
- Suyun kaynamasını maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmedersiniz? (Tanecikler değişir mi? Sıcaklık için ne dersiniz? Buharlaşmadan farkı nedir?)
- Yumurtayı suda deniz seviyesinde mi yoksa Ağrı Dağı'nda mı pişirmek daha kolaydır? Neden?
- Düdüklü tencerede ve kapağı açık tencerede suyu kaynattığımızda suyun kaynama noktası hakkında ne dersiniz?

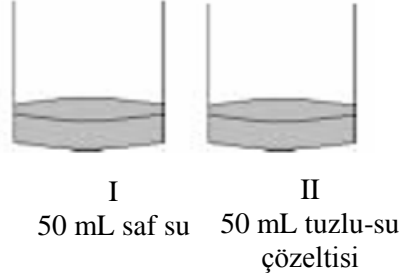
11. Aşağıda sabit sıcaklıkta I. ve II. kaplarda 50 mL, 3. kapta ise 25 mL buharıyla dengede bulunan aynı tür sıvı bulunmaktadır. Bu üç kaptaki buhar basınçlarını nasıl karşılaştırırsınız?



**SONDA**

- Buhar basıncını nasıl tanımlarsınız?

12. Aşağıdaki gibi gösterilen beher içindeki 50 mL saf su ve 50 mL tuzlu-su atmosfer basıncında kaynatılıyor. Saf su ve tuzlu-suyun atmosfer basıncında kaynadığı durumdaki buhar basınçları için ne söyleyebilirsiniz?



**SONDA**

- Saf su ve tuzlu-suyun kaynama noktaları için ne söyleyebilirsiniz?
- Saf su ve tuzlu-suyun kaynamasını grafiksel olarak nasıl ifade edebilirsiniz?

## APPENDIX E

## CLASSROOM OBSERVATION CHECKLIST

Okul: .....  
Sınıf: .....  
İşlenen Konu: .....

Ders süresi: .....  
Değerlendiren: .....  
Tarih: .....

SINIF GÖZLEM FORMU	Evet	Kısmen	Hayır	Gözlenmedi
1. Öğrenciler derste yapılan etkinlikler ya da durumlarla ilgili tahminlerini günlüklerine yazdılar mı?				
2. Ders, öğretmenin konuyu anlatmasıyla mı başlıyor?				
3. Bilimsel kavramlar doğrudan öğretmen tarafından mı açıklanıyor?				
4. Öğretmen öğrencilerin bilimsel kavramlara ulaşmasına rehberlik ediyor mu?				
5. Derste grup içi tartışmalar yapılıyor mu?				
6. Derste sınıf içi tartışmalar yapılıyor mu?				
7. Öğrenciler, etkinliklerle ilgili gözlemlerini ifade ediyor mu?				
8. Öğrenciler, derse aktif olarak katılıyorlar mı?				
9. Konuyla ilgili problemler çözülüyor mu?				
10. Konuyla ilgili etkinlikler yapılıyor mu?				
11. Etkinlik öncesinde öğrencilerin konuyla ilgili tahminleri alınıyor mu?				
12. Öğrenciler yapılan etkinliklerle ilgili tahminlerini gözlem sonuçlarıyla karşılaştırdılar mı?				
13. Öğrencilerin derste işlenen kavramları neden öğrendikleri üzerine fikirleri sınıf tartışmasında ya da günlüklerinde alındı mı?				
14. Öğrencilerin bir kavramı öğrendiklerini nasıl anladıkları üzerine fikirleri sınıf tartışmasında ya da günlüklerinde alındı mı?				
15. Öğrenciler sınıftaki farklı fikirler üzerinde ve bunların hangilerinin kendilerine daha anlamlı ve inandırıcı geldiği üzerinde sınıf tartışmasında ya da günlüklerinde yorum yaptılar mı?				
16. Öğrenciler ders sonunda o gün işlenen konuyla ilgili günlük yazdılar mı?				



	<b>Evet</b>	<b>Kısmen</b>	<b>Hayır</b>	<b>Gözlenmedi</b>
<b>17.</b> Öğrenciler konu başında poster hazırlayıp sundular mı?				
<b>18.</b> Öğrenciler sınıf tartışmasında ya da günlüklerinde konu ile ilgili önbilgilerini/tahminlerini şimdiki fikirleri ile karşılaştırdılar mı?				
<b>19.</b> Öğrenciler sınıf tartışmasında ya da günlüklerinde bir konu üzerindeki fikirlerini neden değiştirdikleri üzerinde konuştular mı?				

## APPENDIX F

### POSTER DRAWING AND JOURNAL WRITING SAMPLE ACTIVITIES FOR PILOT STUDY

#### POSTER HAZIRLAMA

- Öğrenciler 5'erli gruplara ayrılır ve aşağıdaki sorular gruplara verilir. Gruplardaki öğrenciler sorular üzerindeki fikirlerini birbirleriyle tartışır. Grup tartışmaları gruplardaki ses kayıt cihazlarına kaydedilir. Grup tartışması öncesi grup üyeleri isimlerini ses kayıt cihazına söyler ve grup tartışmaları sırasında öğrenciler konuşmadan önce mümkün olduğunca isimlerini de söyler. (10 dk.)
  - Kimyasal bağ nedir ve elementler neden bağ yapar? Kimyasal bağ denilince zihninizde canlanan resmi çiziniz.
  - Orbital örtüşmesi ne demektir? Bir örnekle açıkla mısınız?
  - Kovalent bağ nedir? Atomların kovalent bağ yapması sonucu oluşan taneciklere ne ad verilir? Bir örnekle açıklayınız.
  - Soygazlar neden doğada atomları halinde bulunur ve diğer elementlerle bağ yapmaz?
  - İyonik bağın anlamı nedir? İyonik bağ sonucu oluşan taneciklere ne ad verilir? Eğer tanecikler oluşmuyorsa iyonik bağ sonucu oluşan yapıya ne ad verilir? Bir örnek üzerinde anlatınız.
- Gruplara posterlerini çizmeleri için A3 kağıtları ve renkli kalemler dağıtılır ve öğrenciler gruplarının fikirlerini temsil eden posterleri hazırlarlar. Her grup posterlerinin altına isimlerini de yazar. (15 dk.)
- Gruplar posterlerini sınıfta sunarlar. Öğretmen bu sunumlar sırasında öğrencilerin fikirleri yanlış da olsa müdahalede bulunmaz. Çünkü konuların işlenmesinin ardından öğrencilere posterleri tekrar verilip düşüncelerinin nasıl değiştiği sorulacak. (Herbir gruba ortalama 3 dk. süre verilebilir.) Öğretmen öğrencilerin posterlerini sunarken aşağıdaki soruyu da dikkate almalarını ister: "Grubunuzda soruların yanıtları ile ilgili farklı fikirler nelerdi?"

4.

#### AKTIVITE: GÜNLÜK YAZMA

Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler: Bu aktivite ile öğrencilerin arkadaşlarının fikirlerini ve hem kendi hem de arkadaşlarının fikirlerindeki farklılığı üstbilişsel olarak görüntülemesi sağlanmaya çalışılacaktır.

Öğrencilerin aşağıdaki sorulara cevaplarını günlüklerine yazmalarını istenir:

- Sizce poster hazırlama etkinliğinin amacı neydi?
- Posterinizi hazırlarken yaptığınız grup içi tartışmalarda farklı fikirlere sahip arkadaşlarınız var mıydı? Bu fikirler sizin fikirlerinizden nasıl farklıydı? Örnek vererek açıkla mısınız?
- Posterini hazırlarken tartışmalar sırasında sorularla ilgili düşüncelerindeki sınırlılıkların nelerdi?
- Farklı fikirler olmasına rağmen posterinize koyduğunuz fikirler üzerinde nasıl ortak karar verdiniz?

## APPENDIX G

### SAMPLE STUDENT WORKSHEETS OF METACONCEPTUAL TEACHING ACTIVITIES

#### MADDENİN HALLERİ POSTERİ-GAZLAR (DERS PLANI 1)

Aşağıda verilen soruları grup arkadaşlarınızla tartışın ve bu sorularla ilgili aklınıza gelen her şeyi şekil, resim, yazı vb. ile size verilecek olan A3 kağıdına yine size verilecek renkli kalemlerle ifade ediniz. Posterlerinizin altına grubunuzun üyelerinin isimlerini yazmayı unutmayınız. Posterlerinizi hazırlamak için size tanınan süre 35 dakikadır.

1. Katı, sıvı ve gazlar arasındaki farklılıkları nasıl tanımlarsınız?
2. Katı, sıvı ve gazlarda taneciklerin hareketleri nasıldır?
3. Katı, sıvı ve gazların (örneğin, bir miktar suyu bu fazlarda düşünürseniz) ağırlıkları ve özkütleleri hakkında ne diyebilirsiniz?
4. Katı, sıvı ve gazları (örneğin, bir miktar suyu bu fazlarda düşünürseniz) maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmedersiniz?
5. Gaz basıncını nasıl açıklarsınız?
6. Deniz kenarında mı Ağrı Dağı'nın tepesinde mi üstünüzdeki basınç daha fazladır? Neden?
7. Gazın basıncı ile sıcaklık arasında nasıl bir ilişki olduğunu düşünüyorsunuz? Günlük hayattan bir örnekle bu düşüncenizi nasıl desteklersiniz?
8. Gazın basıncı ile hacmi arasında nasıl bir ilişki olduğunu düşünüyorsunuz? Günlük hayattan bir örnekle bu düşüncenizi nasıl desteklersiniz?

#### GÜNLÜK 1 (DERS PLANI 1-MADDENİN HALLERİ POSTERİ)

Derste aşağıda verilen soruları grup arkadaşlarınızla tartıştınız ve grupça posterlerinizi hazırladınız.

- a. Katı, sıvı ve gazlar arasındaki farklılıkları nasıl tanımlarsınız?
- b. Katı, sıvı ve gazlarda taneciklerin hareketleri nasıldır?
- c. Katı, sıvı ve gazların ağırlıkları hakkında ne diyebilirsiniz?
- d. Katı, sıvı ve gazları maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmedersiniz?
- e. Gaz basıncını nasıl açıklarsınız?
- f. Deniz kenarında mı Ağrı Dağı'nın tepesinde mi üstünüzdeki basınç daha fazladır? Neden?
- g. Gazın basıncı ile sıcaklık arasında nasıl bir ilişki olduğunu düşünüyorsunuz? Günlük hayattan bir örnekle bu düşüncenizi nasıl desteklersiniz?
- h. Gazın basıncı ile hacmi arasında nasıl bir ilişki olduğunu düşünüyorsunuz? Günlük hayattan bir örnekle bu düşüncenizi nasıl desteklersiniz?

Bu etkinliğin tamamını düşünerek aşağıdaki sorularla ilgili düşüncelerinizi günlüğüne yazınız.

1. Sizce poster hazırlama etkinliğinin amacı neydi?

2. Posterinizi hazırlarken yaptığınız grup içi tartışmalarda farklı fikirlere sahip arkadaşlarınız var mıydı? Bu fikirler sizin fikirlerinizden nasıl farklıydı? Örnek vererek açıkla mısınız?
3. Farklı fikirler olmasına rağmen posterinize koyduğunuz fikirler üzerinde nasıl ortak karar verdiniz?

### **POSTERE DÖNÜŞ (MADDENİN HALLERİ POSTERİ)**

“Maddenin Halleri” ünitesinin ilk dersinde aşağıdaki sorular üzerinde tartışarak grupça posterlerinizi hazırlamıştınız:

1. Katı, sıvı ve gazlar arasındaki farklılıkları nasıl tanımlarsınız?
2. Katı, sıvı ve gazlarda taneciklerin hareketleri nasıldır?
3. Katı, sıvı ve gazların (örneğin, bir miktar suyu bu fazlarda düşünürseniz) ağırlıkları ve özkütleleri hakkında ne diyebilirsiniz?
4. Katı, sıvı ve gazları (örneğin, bir miktar suyu bu fazlarda düşünürseniz) maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmedersiniz?
5. Gaz basıncını nasıl açıklarsınız?
6. Deniz kenarında mı Ağrı Dağı'nın tepesinde mi üstünüzdeki basınç daha fazladır? Neden?
7. Gazın basıncı ile sıcaklık arasında nasıl bir ilişki olduğunu düşünüyorsunuz? Günlük hayattan bir örnekle bu düşüncenizi nasıl desteklersiniz?
8. Gazın basıncı ile hacmi arasında nasıl bir ilişki olduğunu düşünüyorsunuz? Günlük hayattan bir örnekle bu düşüncenizi nasıl desteklersiniz?

Bu derste “Maddenin Halleri” ünitesinin başında yaptığınız posterleri geri alacaksınız ve şimdiye kadar öğrendiklerinizi düşünerek aşağıdaki soruları grup arkadaşlarınızla tartışıp grupça yaptığınız değişiklikleri sınıfa sunacaksınız:

- a. Posterinizde değiştirmek istediğiniz yerler var mı?
- b. Posterinize eklemek ya da posterinizden silmek istediğiniz neler var?
- c. Posterinizde yaptığınız değişiklikleri neden yaptınız?

### **GÜNLÜK 14 (DERS PLANI 7-AKTİVİTE 1)**

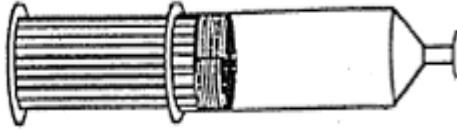
Bu derste bir şırınga alıp şırınganın pistonunu çıkararak içine marshmallow koydunuz ve şırınganın pistonunu tekrar şırıngaya takıp marshmallowa değmeden şırınga içindeki havayı mümkün olduğunca boşalttınız. Daha sonra şırınganın ağzını hava giriş çıkışını önlemek için kapattınız ve pistonu dışarıya doğru çekip marshmallowun davranışını gözlediniz. İkinci durumda ise şırınganın ağzını açıp önce şırınganın pistonunu geriye doğru çektiniz daha sonra şırınganın ağzını kapatarak pistonunu ileriye doğru itip marshmallowun davranışını gözlediniz. Bu etkinliğe göre aşağıdaki soruları yanıtlayınız.

1. Bir şırınga alıp şırınganın pistonunu çıkararak içine marshmallow koydunuz ve şırınganın pistonunu tekrar şırıngaya takıp marshmallowa değmeden şırınga içindeki havayı mümkün olduğunca boşalttınız. Daha sonra şırınganın ağzını hava giriş çıkışını önlemek için kapattınız ve pistonu dışarıya doğru çekip marshmallowun davranışını gözlediniz. İkinci durumda ise şırınganın ağzını açıp önce şırınganın pistonunu geriye doğru çektiniz daha sonra şırınganın ağzını kapatarak pistonunu ileriye doğru itip marshmallowun davranışını gözlediniz. Her iki durumda marshmallowa ne oldu? Neden böyle olduğunu düşünüyorsunuz?
2. Hacim ile basınç arasında nasıl bir ilişki olduğunu düşünüyorsunuz?

### GÜNLÜK 15 (DERS PLANI 7-AKTİVİTE 2)

Aşağıdaki sorularla ilgili cevaplarınızı yazınız.

1. Pistonun üzerine önce 1 kg, sonra 2 kg ve en son toplam 3 kg olacak şekilde ağırlıklar konulup pistonun durduğu hacimleri not edeceksiniz. Eğer ağırlıkları basınç olarak düşünürseniz basınç ile hacim arasında nasıl bir ilişki olduğunu düşünüyorsunuz? Bunun grafiğini bir eksen basınç, bir eksen de hacim olacak şekilde çizer misiniz?
2. Aşağıdaki şekildeki gibi ağzı kapalı ve içinde hava bulunan şırınganın pistonu ileriye doğru itiliyor. Eğer şırınganın içindeki havayı oluşturan tanecikleri görebilseydiniz piston itilmeden önceki ve sonraki durumu maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmederdiniz? Aşağıda verilen pistonlar içinde tanecikleri gösteriniz.
  - Taneciklerde bir değişiklik olur mu?
  - Piston itilmeden önce ve itildikten sonra şırınga tartıldığında ağırlıkları ve içindeki havanın özkütlesi hakkında ne söyleyebilirsiniz?
  - Piston itilmeden önce ve itildikten sonra şırınga içindeki havanın basıncı nasıl değişir?



Piston itilmeden önce



Piston itildikten sonra

### GÜNLÜK 16 (DERS PLANI 7-SON GÜNLÜK)

Bugün derste iki etkinlik gerçekleştirdik. İlk etkinlikte bir şırınga alıp şırınganın pistonunu çıkararak içine marshmallow koydunuz ve şırınganın pistonunu tekrar şırıngaya takıp marshmallowa değmeden şırınga içindeki havayı mümkün olduğunca boşalttınız. Daha sonra şırınganın ağzını hava giriş çıkışını önlemek için kapattınız ve pistonu dışarıya doğru çekip marshmallowun davranışını gözlediniz. İkinci etkinlikte ise pistonun üzerine çeşitli kg'da ağırlıklar koyup pistonun durduğu hacimleri not ettiniz ve basınç-hacim arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak ifade ettiniz. Bu etkinliklerle ilgili aşağıdaki soruları yanıtlayınız.

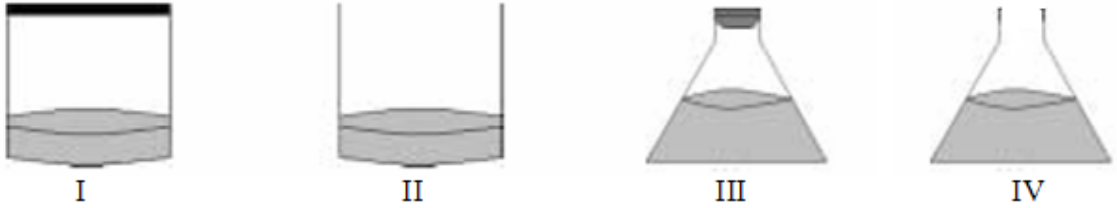
1. Şırınga-marshmallow etkinliğinde “marshmallowun davranışı” ve “basınç ile hacim arasında nasıl bir ilişki olduğu” ile ilgili tahminlerin nelerdi? Bu tahminlerin doğru muydu? Bu tahminlerini neleri düşünerek yaptın yani hangi etkenler mesela günlük hayattaki hangi olaylar bu tahminleri yapmanı sağladı?
2. Şırınga-ağırlık etkinliğinde grup tartışmasından önce kendi başına çizdiğin grafik doğru muydu? Yanlışsa neden yanlış çizdiğini düşünüyorsun?
3. Etkinliklerin sonucunda marshmallowun neden büyüdüğünü, basınç ile hacim arasındaki ilişki ile bunun grafikte gösterimini anladın mı? Anladığını nasıl biliyorsun (yani bir kavramı anlarken onu anlamış olduğundan nasıl emin oluyorsun)?
4. Şırınga-ağırlık etkinliğinden önce günlük yazarken ikinci sorunuz şu şekildeydi: “Ağzı kapalı ve içinde hava bulunan şırınganın pistonu ileriye doğru itiliyor. Eğer şırınganın içindeki havayı oluşturan tanecikleri görebilseydiniz piston itilmeden önceki ve sonraki durumu maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmederdiniz? Taneciklerde bir değişiklik olur mu? Piston itilmeden önce ve itildikten sonra basıncı, ağırlığı ve özkütlesi nasıl değişir?” Bu sorulara verdiğin yanıtlar doğru muydu? Eğer yanlışların varsa nerede hata yaptığını düşünüyorsun?
5. Bu etkinliklerden yeni şeyler öğrendin mi? Bunlar neler?

6. Bu etkinliklerle ilgili grup ve sınıf tartışması sırasında senden daha farklı düşünen arkadaşların var mıydı? Kendi düşüncenle karşılaştığında sana daha anlamlı ve inandırıcı gelen fikirler var mıydı? Neden bu fikirler sana daha anlamlı ve inandırıcı geldi?
7. Bu dersten sonra önceki düşüncelerinde bir değişiklik oldu mu? Önceki düşüncelerinde şimdiki düşüncelerin arasındaki farklılıklar neler? Lütfen bunları örneklerle yazıp fikrinizi neden değiştirdiğinizi de açıklayınız. Değiştirmedeğinizi fikirleriniz varsa lütfen bunları da yazıp neden değiştirmedeğinizi anlatınız.

### GÜNLÜK 26 (DERS PLANI 14-İLK GÜNLÜK)

Konuya başlamadan önce aşağıdaki sorular için cevaplarınızı bireysel olarak günlüklerinize yazınız.

1.  $5^{\circ}\text{C}$ 'de ağzı açık ve yarıya kadar suyla dolu plastik bir şişe vardır. Eğer bu şişe günlerce dokunulmadan bu sıcaklıkta bekletilirse şişedeki su seviyesine ne olacaktır? Neden?
2.  $25^{\circ}\text{C}$ 'de ve ısıya karşı izole **kapalı** bir kaptan (mesela termos) bulunan su seviyesi birkaç gün bekledikten sonra nasıl değişir? Neden?
3. Aşağıda sabit sıcaklıkta bulunan ve herbiri 100 mL su içeren dört kap gösterilmektedir. (I ve III kapalı, II ve IV açık kaplardır.) Bu kaplardaki buharlaşma hızlarını nasıl karşılaştırırsınız?



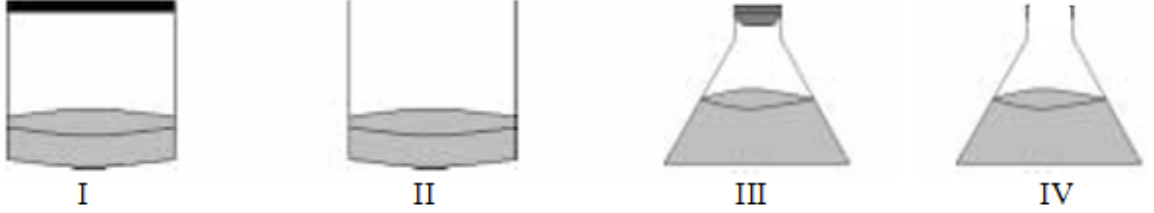
- I. kaptaki suyun hepsi buharlaştırılıp buharlaşma öncesi ve sonrası tartılılığında ağırlık nasıl değişir (Bu sırada kabın ağzı hep kapalı olarak kalacak)?
- 4. Banyodaki ayna siz sıcak suyla yıkandıktan sonra buğulanır ve bir müddet sonra üzerinde su damlacıkları olur. Bu su damlacıkları nereden gelmiştir?
- 5. Sabit sıcaklıkta, ağzı sıkıca kapalı ve yarıya kadar suyla dolu plastik bir şişe vardır. Eğer bu şişe günlerce dokunulmadan o sıcaklıkta bekletilirse şişenin kapağının iç yüzeyinde küçük su damlacıkları görürüz. Bu su damlacıkları nereden gelmiştir?

### GÜNLÜK 27 (DERS PLANI 14-SON GÜNLÜK)

Aşağıda verilen sorularla ilgili fikirlerinizi önce günlüklerinize yazdınız sonra da sınıfta tartıştınız. (NOT: Aşağıdaki 9 soru sadece size hatırlatma amaçlı verilmiştir. Bunları yanıtlandırmayacaksınız. Bu soruların altında yer alan 3 soruyu cevaplayacaksınız.)

1. Buharlaşmayı nasıl tanımlarsınız?
2. Suyun buharlaşmasını maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmedersiniz (Çizdiğiniz her bir taneciğin neyi temsil ettiğini belirtiniz)? (Tanecikler değişir mi? Tanecikler arası/içi bağ nasıl değişir? Sıcaklık için ne dersiniz?)
3. Yoğunlaşmayı nasıl tanımlarsınız?
4. Suyun yoğunlaşmasını maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmedersiniz (Çizdiğiniz her bir taneciğin neyi temsil ettiğini belirtiniz)? (Tanecikler değişir mi? Tanecikler arası/içi bağ nasıl değişir? Sıcaklık için ne dersiniz?)

5.  $5^{\circ}\text{C}$ 'de ağzı açık ve yarıya kadar suyla dolu plastik bir şişe vardır. Eğer bu şişe günlerce dokunulmadan bu sıcaklıkta bekletilirse şişedeki su seviyesine ne olacaktır? Neden?
6.  $25^{\circ}\text{C}$ 'de ve ısıya karşı izole **kapalı** bir kaptan (mesela termos) bulunan su seviyesi birkaç gün bekledikten sonra nasıl değişir? Neden?
7. Aşağıda sabit sıcaklıkta bulunan ve herbiri 100 mL su içeren dört kap gösterilmektedir. (I ve III kapalı, II ve IV açık kaplardır.) Bu kaplardaki buharlaşma hızlarını nasıl karşılaştırırız?



- I. kaptaki suyun hepsi buharlaştırılıp buharlaşma öncesi ve sonrası tartılılığında ağırlık nasıl değişir (Bu sırada kabın ağzı hep kapalı olarak kalacak)?
8. Banyodaki ayna siz sıcak suyla yıkandıktan sonra buğulanır ve bir müddet sonra üzerinde su damlacıkları olur. Bu su damlacıkları nereden gelmiştir?
  9. Sabit sıcaklıkta, ağzı sıkıca kapalı ve yarıya kadar suyla dolu plastik bir şişe vardır. Eğer bu şişe günlerce dokunulmadan o sıcaklıkta bekletilirse şişenin kapağının iç yüzeyinde küçük su damlacıkları görürüz. Bu su damlacıkları nereden gelmiştir?

**NOT: Yukarıdaki sorular sadece size hatırlatma amaçlı verilmiştir. Bu sorularla ve tüm dersle ilgili olarak aşağıdaki üç soru için yanıtlarınızı lütfen detaylı olarak yazınız:**

1. Bu dersten neler öğrendin? Bunların günlük hayatta sana nasıl yardımcı olacağını düşünüyorsun?
2. Yukarıdaki sorularla ilgili tahminlerin nelerdi? Bu tahminlerin doğru muydu? Bu tahminlerini neleri düşünerek yaptın yani hangi etkenler mesela günlük hayattaki hangi olaylar bu tahminleri yapmanı sağladı?
3. Günlüklerinizde cevaplandığınız sorularla ilgili sınıf ve grup tartışması sırasında senden daha farklı düşünen arkadaşların var mıydı? Kendi düşüncenle karşılaştığında sana daha anlamlı ve inandırıcı gelen fikirler nelerdi? Neden bu fikirler sana daha anlamlı ve inandırıcı geldi? **Lütfen bunları örneklerle detaylı olarak açıklayınız.**
4. Bu dersten sonra önceki düşüncelerinde bir değişiklik oldu mu? Önceki düşüncelerle şimdiki düşüncelerin arasındaki farklılıklar neler? **Lütfen bunları örneklerle detaylı yazıp fikrinizi neden değiştirdiğinizi de açıklayınız.** Değiştiremediğiniz fikirleriniz (bunlar doğru ya da yanlış olabilir) varsa lütfen bunları da yazıp neden değiştiremediğinizi anlatınız.

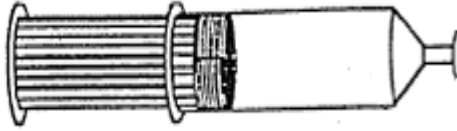
### GRUP TARTIŞMASI ÇALIŞMA YAPRAĞI (DERS PLANI 7)

**ÖNEMLİ NOT: Grup tartışması sırasında hepiniz fikirlerinizi belirtiniz. Konuşmadan önce mutlaka ses kayıt cihazına isminizi söyleyiniz ve ses kayıt cihazına yakın konuşunuz.**

Bu derste grubunuzla beraber iki etkinlik yaptınız. İlk etkinlikte şırınganın içine koyduğunuz marshmallowun pistonun ileriye itilmesi ve geriye çekilmesi sonucundaki davranışını gözlediniz. İkinci etkinlikte ise pistonun üzerine çeşitli kg'larda ağırlıklar koyup pistonun durduğu hacimleri not ettiniz ve basınç-hacim arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak ifade ettiniz.

Bu etkinliklerle ilgili tahminlerinizi günlüklerinize yazdınız. Şimdi bu etkinliklerle ilgili tahminlerinizi ve gözlem sonuçlarınızı sebepleriyle birlikte gruplarınızla tartışacaksınız. Tartışmalarınız sırasında aşağıdaki sorular üzerinde yoğunlaşınız:

1. Bir şırınga alıp şırınganın pistonunu çıkararak içine marshmallow koydunuz ve şırınganın pistonunu tekrar şırıngaya takıp marshmallowa değmeden şırınga içindeki havayı mümkün olduğunca boşalttınız. Daha sonra şırınganın ağzını hava giriş çıkışını önlemek için kapattınız ve pistonu dışarıya doğru çekip marshmallowun davranışını gözlediniz. İkinci durumda ise şırınganın ağzını açıp önce şırınganın pistonunu geriye doğru çektiniz daha sonra şırınganın ağzını kapatarak pistonunu ileriye doğru itip marshmallowun davranışını gözlediniz. Her iki durumda marshmallowa ne oldu? Neden böyle olduğunu düşünüyorsunuz?
2. Hacim ile basınç arasında nasıl bir ilişki olduğunu düşünüyorsunuz?
3. Pistonun üzerine üzerine çeşitli kg'larda ağırlıklar konulup pistonun durduğu hacimleri not edeceksiniz. Eğer ağırlıkları basınç olarak düşünürseniz basınç ile hacim arasında nasıl bir ilişki olduğunu düşünüyorsunuz? Bunun grafiğini bir eksen basınç, bir eksen de hacim olacak şekilde sizlere dağıtılan milimetrik kağıt üzerine çizer misiniz?
4. Aşağıdaki şekildeki gibi ağzı kapalı ve içinde hava bulunan şırınganın pistonu ileriye doğru itiliyor. Eğer şırınganın içindeki havayı oluşturan tanecikleri görebilseydiniz piston itilmeden önceki ve sonraki durumu maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmederdiniz? Aşağıda verilen pistonlar içinde tanecikleri gösteriniz.
  - Taneciklerde bir değişiklik olur mu?
  - Piston itilmeden önce ve itildikten sonra şırınga tartıldığında ağırlıkları ve içindeki havanın özkütlesi hakkında ne söyleyebilirsiniz?
  - Piston itilmeden önce ve itildikten sonra şırınga içindeki havanın basıncı nasıl değişir?



Piston itilmeden önce



Piston itildikten sonra

Grup tartışması için size tanınan süre 10 dakikadır. Daha sonra grup olarak etkinliklerle ilgili yukarıdaki sorularla ilgili tahminlerinizi ve fikirlerinizi sınıfa sunacaksınız.

### GRUP ÇALIŞMA YAPRAĞI (DERS PLANI 8)

**ÖNEMLİ NOT:** Grup tartışması sırasında hepiniz fikirlerinizi belirtiniz. Konuşmadan önce mutlaka ses kayıt cihazına isminizi söyleyiniz ve ses kayıt cihazına yakın konuşunuz.

Bu derste iki etkinlik yapacaksınız. İlk etkinlikte içinde hava olan bir pet şişenin ağzına balon geçirip önce kaynamış suya sonra da buzlu suya daldıracaksınız ve balonun hacmindeki değişikliği gözlemleyeceksiniz. İkinci etkinlikte ise bir balon alıp şişireceksiniz ve önce oda sıcaklığındaki çevresini ölçeceksiniz. Ardından önce buzlu suya sonra kaynamış suya daldırıp bir süre bekledikten sonra çevrelerini ölçüp kaydedeceksiniz. Aldığınız verilere göre de sıcaklık hacim arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak sizlere verilecek milimetrik kağıtlara grup olarak çizeceksiniz.



Bu etkinliklerle ilgili tahminlerinizi günlüklerinize yazdınız. Şimdi bu etkinliklerle ilgili tahminlerinizi ve gözlem sonuçlarınızı sebepleriyle birlikte gruplarınızla tartışacaksınız. Tartışmalarınız sırasında aşağıdaki sorular üzerinde yoğunlaşınız:

1. Ağızına balon geçirilen pet şişe kaynamış suyun içine daldırılırsa balonun hacminde nasıl bir değişiklik olacağını düşünüyorsunuz? Neden öyle olacağını düşünüyorsunuz?
2. Ağızına balon geçirilen pet şişe kaynamış suyun içine daldırıldıktan hemen sonra buzlu suyun içine daldırılırsa balonun hacminde nasıl bir değişiklik olacağını düşünüyorsunuz? Neden öyle olacağını düşünüyorsunuz?
3. Çok basit olarak ağızına balon geçirilmiş pet şişeyi çizip pet şişe a) kaynamış suya daldırılmadan önce, b) kaynamış suya daldırıldıktan sonra ve c) buzlu suya konulduktan sonra balonun duruşu ve **balon ile şişedeki taneciklerin dağılımını çizer misiniz?** Tanecikler arası mesafe nasıl değişir?
  - Pet şişeyi a) kaynamış suya daldırılmadan önce, b) kaynamış suya daldırıldıktan sonra ve c) buzlu suya konulduktan sonra tartarsak içindeki havanın ağırlığı ve özkütlesi nasıl değişir?
  - Balonun ucuna ağırlık bağlanarak buzlu suya daldırıldığında hacminde nasıl bir değişiklik olur? Neden öyle olacağını düşünüyorsunuz?
  - Balonun ucuna ağırlık bağlanarak kaynamış suya daldırıldığında hacminde nasıl bir değişiklik olur? Neden öyle olacağını düşünüyorsunuz?
  - Balonu a) buzlu suya daldırılmadan önce, b) buzlu suya daldırıldıktan sonra ve c) kaynamış suya konulduktan sonra tartarsak içindeki havanın ağırlığı ve özkütlesi nasıl değişir?
  - Sıcaklık ve hacim arasında nasıl bir ilişki olduğunu düşünüyorsunuz? Sıcaklık-hacim arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak bir eksen sıcaklık, bir eksen hacim olacak şekilde sizlere verilecek milimetrik kağıtlara grup olarak çizer misiniz?

Grup tartışması için size tanınan süre 15 dakikadır. Daha sonra grup olarak etkinliklerle ilgili yukarıdaki sorularla ilgili tahminlerinizi ve fikirlerinizi sınıfa sunacaksınız.

### GRUP TARTIŞMASI ÇALIŞMA YAPRAĞI (DERS PLANI 15)

**ÖNEMLİ NOT:** Grup tartışması sırasında hepiniz fikirlerinizi belirtiniz. Konuşmadan önce mutlaka ses kayıt cihazına isminizi söyleyiniz ve ses kayıt cihazına yakın konuşunuz.

Aşağıdaki sorularla ilgili tahminlerinizi günlüklerinize yazdınız. Şimdi bu soruları sebepleriyle birlikte gruplarınızla tartışacaksınız. 3. soruda sizden istenen grafiği de çizeceksiniz.

1. Öğretmeniniz sizlere 20 mL'lik bir şırınga gösterecek ve 10 mL'sini 70 °C'deki suyla dolduracak. Şırınga içindeki suyu kaynatmak için ne yapmalıyız?
  - a. Su kaç °C'de kaynar?
  - b. Şırınganın içinde 70 °C'de su varken içindeki hava boşaltılıp şırınganın ağızı hava giriş-çıkışı önlemek için kapatılırsa ve piston geriye doğru çekilirse (bu durum etkinliği yapmadan sadece öğrencilere yapılacak etkinliği anlatmak için öğretmen tarafından gösterilir) piston içindeki sıcak suya ne olacağını düşünüyorsunuz? Neden?
2. Buhar basıncını nasıl tanımlarsınız?

3. Suyun buzdan buhar haline gelme sürecindeki değişimi gösteren sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) - ısı (Joule) grafiğini çiziniz. Çizmiş olduğunuz grafikte donma, erime, buharlaşma, yoğunlaşma ve kaynamanın nerede olduğunu gösteriniz. Şırınganın içine öğretmeninizin sağladığı sıcak suyu alıp size tarif edilen etkinliği yapın ve gözlem sonuçlarınızı tahminlerinizle karşılaştırın.

## APPENDIX H

### EXPERIMENTAL GROUP LESSON PLAN

#### DERS PLANI 1

**Aktivite:** Poster Çizimi ve Günlük Yazma

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Bu aktivite ile öğrencilerin ön bilgilerinin üstbilişsel farkındalığı ve öğrencilerin arkadaşlarının fikirlerini ve hem kendi hem de arkadaşlarının fikirlerindeki farklılığı üstbilişsel olarak görüntülemesi sağlanmaya çalışılacaktır.

**Konu:**

1. Maddenin katı, sıvı ve gaz hali
2. Gazın basıncı
3. Gazlarda basınç-sıcaklık ilişkisi
4. Gazlarda basınç-hacim ilişkisi

**Kazanımlar:**

- Katı, sıvı ve gazları maddenin tanecikli yapısına göre açıklar.
- Gaz basıncını molekül hareketleri temelinde açıklar.
- Gazların sıcaklık-basınç ilişkisini irdeler.
- Gazların hacim-basınç ilişkisini irdeler.

**Süre:** 2 ders saati

#### DERSİN İŞLENİŞİ

1. Öğrenciler 5'erli gruplara ayrılır ve aşağıdaki sorular gruplara verilir. Gruplardaki öğrenciler sorular üzerindeki fikirlerini birbirleriyle tartışır. Grup tartışmaları gruplardaki ses kayıt cihazlarına kaydedilir. Grup tartışması öncesi grup üyeleri isimlerini ses kayıt cihazına söyler ve grup tartışmaları sırasında öğrenciler konuşmadan önce mümkün olduğunca isimlerini de söyler. (20 dk.)

#### MADDENİN HALLERİ POSTERİ

- Katı, sıvı ve gazlar arasındaki farklılıkları nasıl tanımlarsınız?
- Katı, sıvı ve gazlarda taneciklerin hareketleri nasıldır?
- Katı, sıvı ve gazların (örneğin, bir miktar suyu bu fazlarda düşünürseniz) ağırlıkları ve özkütleleri hakkında ne diyebilirsiniz?
- Katı, sıvı ve gazları (örneğin, bir miktar suyu bu fazlarda düşünürseniz) maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmedersiniz?
- Gaz basıncını nasıl açıklarsınız?
- Deniz kenarında mı Ağrı Dağı'nın tepesinde mi üstünüzdeki basınç daha fazladır? Neden?
- Gazın basıncı ile sıcaklık arasında nasıl bir ilişki olduğunu düşünüyorsunuz? Günlük hayattan bir örnekle bu düşüncenizi nasıl desteklersiniz?
- Gazın basıncı ile hacmi arasında nasıl bir ilişki olduğunu düşünüyorsunuz? Günlük hayattan bir örnekle bu düşüncenizi nasıl desteklersiniz?

2. Gruplara posterlerini çizmeleri için A3 kağıtları ve renkli kalemler dağıtılır ve öğrenciler gruplarının fikirlerini temsil eden posterleri hazırlarlar. Her grup posterlerinin altına isimlerini de yazar. (25 dk.)
3. Gruplar posterlerini sınıfta sunarlar. Öğretmen bu sunumlar sırasında öğrencilerin fikirleri yanlış da olsa müdahalede bulunmaz. Çünkü konuların işlenmesinin ardından öğrencilere posterleri tekrar verilecek ve düşüncelerinin ne şekilde değiştiği sorulacak. (Herbir gruba ortalama 5 dk. süre verilebilir.) Öğretmen öğrencilerin posterlerini sunarken şu soruyu da dikkate almalarını ister: “Grubunuzda soruların yanıtları ile ilgili farklı fikirler nelerdi?”

#### 4.

**Aktivite:** Günlük Yazma

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Bu aktivite ile öğrencilerin arkadaşlarının fikirlerini ve hem kendi hem de arkadaşlarının fikirlerindeki farklılığı üstbilişsel olarak görüntülemesi sağlanmaya çalışılacaktır.

Eğer süre yeterse sınıfta, yetmezse ev ödevi olarak öğrencilerin aşağıdaki sorulara cevaplarını günlüklerine yazmaları istenir:

#### GÜNLÜK 1

1. Sizce poster hazırlama etkinliğinin amacı neydi?
2. Posterinizi hazırlarken yaptığınız grup içi tartışmalarda farklı fikirlere sahip arkadaşlarınız var mıydı? Bu fikirler sizin fikirlerinizden nasıl farklıydı? Örnek vererek açıkla mısınız?
3. Farklı fikirler olmasına rağmen posterinize koyduğunuz fikirler üzerinde nasıl ortak karar verdiniz?

**NOT:** Gazlar konusu bittikten sonra aşağıdaki aktivite yapılır.

**Aktivite:** Posterlerin Düzeltilmesi

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Bu aktivite ile öğrencilerin ön bilgilerinin üstbilişsel farkındalığı ve öğrencilerin arkadaşlarının fikirlerini ve hem kendi hem de arkadaşlarının fikirlerindeki değişikliği üstbilişsel olarak görüntülemesi sağlanmaya çalışılacaktır.

Gazlar konusu bitince öğrencilere posterleri tekrar dağıtılır ve aşağıdaki soruları düşünmeleri istenir:

- Posterinizde değiştirmek istediğiniz yerler var mı?
- Posterinize eklemek ya da posterinizden silmek istediğiniz neler var?
- Posterinizde yaptığımız değişiklikleri neden yaptınız?

Öğrenciler bu soruları dikkate alarak grupları ile posterler üzerinde tekrar tartışır. Ses kayıt cihazı bu sırada yine her grupta devrede olur. Eğer öğrenciler yeni bir poster çizmek isterse çizebilirler.

Bu grup tartışmasından sonra gruplar yine posterlerinde yaptıkları değişiklikleri anlatmak üzere sınıfa sunumlarını yapar.

(Bu etkinlik 1 ders saatinde tamamlanabilir.)

## DERS PLANI 2

### KAĞIDI SUDAN ISLANMADAN NASIL ÇIKARABİLİRİZ?

**Aktivite:** Günlük Yazma ve Grup Tartışması

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Günlük yazma aktivitesi ile öğrencilerin ön bilgilerinin üstbilişsel farkındalığı sağlanmaya çalışılacak grup ve sınıf tartışması ile öğrencilerin kendi ve arkadaşlarının fikirlerini ve aralarındaki farklılıkları üstbilişsel olarak görüntülemesi ve öğrencilerin kendi fikirlerini üstbilişsel olarak değerlendirmesi sağlanmaya çalışılacaktır.

**Konu:**

- Gazların genel özellikleri

**Kazanımlar:**

- Gazların boşlukta yer kapladığını açıklar.

**Süre:** 25 dakika

### DERSİN İŞLENİŞİ

1.

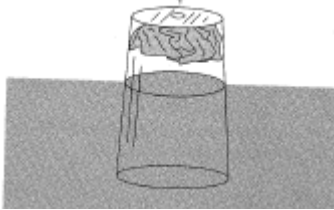
**Aktivite:** Günlük Yazma

Öğrenciler 5'erli gruplara ayrılır ve herbir gruba etkinlikte kullanacakları malzemeler verilir.

**Malzemeler:**

- Plastik bardak
- Plastik bardağı içine alabilecek su ile dolu derin bir kap
- Kuru gazete ya da havlu kağıt yaprakları

Öğrencilere etkinliğin yapılışı anlatılır. Her grup gazete yaprağını buruşturup bardağın dibine düşmeyecek şekilde yerleştirir. Hatta daha sıkı durması için öğrenciler gazete yaprağını bardağın tabanına da bantla yapıştırabilirler. Daha sonra bardağı ters çevirerek su dolu kaba daldırmaları istenir (bakınız Figür 1).



**Figür 1** İçinde kağıt olan ve suda ters çevrilen bardak

Ama bu etkinliği yapmadan önce öğrencilerin aşağıdaki soruyu kendi başlarına düşünüp fikirlerini günlüklerine yazmalarını istenir:

#### GÜNLÜK 2

- İçinde gazete yaprağı olan bardak içi su dolu kaba ters çevrilerek daldırılınca ne olacağını düşünüyorsunuz? Neden?

(Ortalama 10 dk.)

2.

**Aktivite:** Grup Tartışması

Etkinliği yapmadan önce öğrenciler tahminlerini tartışır. Daha sonra etkinlik gruplar tarafından yapılır ve öğrenciler tahmin ve gözlemlerini sebepleriyle birlikte grup arkadaşları ile tartışır. Öğretmen bu sırada gruplar arasında gezip grupların günlüklerine yazdıklarını tartışmalarını ve grup olarak grafiklerini çizirken herkesin düşüncelerini söylemeleri için rehberlik eder. Grup tartışmaları gruptaki ses kayıt cihazlarına kaydedilir. Grup tartışması öncesi grup üyeleri isimlerini ses kayıt cihazına söyler ve grup tartışmaları sırasında öğrenciler konuşmadan önce mümkün olduğunca isimlerini de söyler.  
(Ortalama 10 dk.)

3. Gruplar gözlem sonuçlarını, kağıdın neden ıslanmadığını, nedenleriyle birlikte sınıfa sunarlar. Bu aşamalarda öğretmen öğrencilere doğru cevabı vermeden onların doğru cevabı bulmasına rehberlik eder. Gruplar 1-2 dakikalık sürede fikirlerini sınıfa sunar.  
(Ortalama 5 dk.)

#### 4.

**Aktivite:** Günlük Yazma

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Bu aktivite ile öğrencilerin kendi ve arkadaşlarının fikirlerini ve aralarındaki farklılıkları üstbilişsel olarak görüntülemesi ve öğrencilerin kendi fikirlerini üstbilişsel olarak değerlendirmesi sağlanmaya çalışılacaktır.

Eğer süre yeterse sınıfta, yetmezse ev ödevi olarak öğrencilerin aşağıdaki sorulara cevaplarını günlüklerine yazmaları istenir:

#### GÜNLÜK 3

- Bu etkinliğin amacı neydi?
- Bu etkinlikten önce etkinlikle ilgili düşünce (tahminin) neydi? Etkinlikten sonra düşünce değişti mi? Neden?
- Kağıdın bardakta neden ıslanmadığını anladın mı? Bunun nedenini bir arkadaşına rahatlıkla anlatabileceğini düşünüyor musun?
- Kağıdın bardakta ıslanmamasının sebepleriyle ilgili grup ve sınıf tartışmalarınız sırasında senden farklı düşüncelere sahip arkadaşların var mıydı? Bunlara örnek verebilir misin?
- Kendi düşünceyle karşılaştığında sana daha anlamlı ve inandırıcı gelen fikirler var mıydı? Neden?
- Bu olayı açıklarken fikirlerindeki sınırlılıkların nelerdi?

**Teorik Bilgi:** Gazlar boşlukta bir yer kaplar. Bu etkinlikte bardağın içindeki kağıdın ıslanmama sebebi bardağın içindeki havanın sıkışıp kağıdın bulunduğu alana suyun girmesini önlemesindedir. Bu etkinlik havanın boşlukta yer kapladığını kanıtlar.

### DERS PLANI 3

#### GAZLAR KÜTLEYE SAHIPTİR

**Aktivite:** Günlük Yazma ve Sınıf Tartışması

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Günlük yazma aktivitesi ile öğrencilerin ön bilgilerinin üstbilişsel farkındalığı sağlanmaya çalışılacak sınıf tartışması ile öğrencilerin kendi ve arkadaşlarının fikirlerini ve aralarındaki farklılıkları üstbilişsel olarak görüntülemesi ve öğrencilerin kendi fikirlerini üstbilişsel olarak değerlendirmesi sağlanmaya çalışılacaktır.

**Konu:**

- Gazların genel özellikleri

**Kazanımlar:**

- Gazların kütlesi olduğunu açıklar.

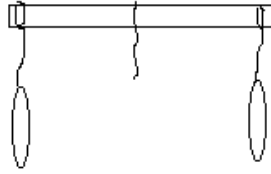
**Süre:** 20 dakika

#### DERSİN İŞLENİŞİ

1.

**Aktivite:** Günlük Yazma

Bir cetvelin iki ucuna özdeş balonlar bağlanır ve cetvelin tam ortasından bir ip geçirilerek Figür 1'deki gibi eşit kollu terazi düzeneği kurulur.



**Figür 1** Cetvelle balonların tartılması

Öğrencilerin aşağıdaki soruyu kendi başlarına düşünüp fikirlerini nedenleriyle birlikte günlüklerine yazmaları istenir:

#### GÜNLÜK 4

- Eğer balonlardan biri alınıp şişirilir ve tekrar yerine bağlanırsa eşit kollu terazinin dengesi değişir mi? Neden?

(Ortalama 10 dk.)

2.

**Aktivite:** Sınıf Tartışması

Öğretmen öğrencilerin günlüklerini yazmalarının ardından öncelikle bu etkinlikle ilgili öğrencilerin tahminlerini alır ve ardından etkinliği yapar. Öğrenciler etkinlik gözlem ve sonuçlarını tartışır. Bu aşamada öğretmen öğrencilere doğru cevabı vermeden onların doğru cevabı bulmasına rehberlik eder. Bu sırada öğretmenin yönlendirebileceği sorular:

- Etkinlik sonucunda ne gözlemlediniz?
- Ayşe .....şeklinde düşünüyor. Siz de ona katılıyor musunuz?
- Ayşe .....şeklinde düşünüyor. Ahmet ise ..... şeklinde düşünüyor. Sizce kimin fikri bu sonucu daha iyi açıklıyor? Neden?
- Bu etkinlikten yeni bir şey öğrendiniz mi?

- Gözlemlerinizi tahminleriniz birbiriyle uyumlu muydu?
- Eğer gözlem ve tahminleriniz birbirinden farklıysa bunun nedenini nasıl açıklarsınız?  
(Ortalama 10 dk.)

### 3.

#### **Aktivite:** Günlük Yazma

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Bu aktivite ile öğrencilerin kendi ve arkadaşlarının fikirlerini ve aralarındaki farklılıkları üstbilişsel olarak görüntülemesi ve öğrencilerin kendi fikirlerini üstbilişsel olarak değerlendirmesi sağlanmaya çalışılacaktır.

Eğer süre yeterse sınıfta, yetmezse ev ödevi olarak öğrencilerin aşağıdaki sorulara cevaplarını günlüklerine yazmaları istenir:

#### **GÜNLÜK 5**

- Bu etkinliğin amacı neydi?
- Bu etkinlikle ilgili etkinlik öncesindeki “eğer balonlardan biri alınıp şişirilir ve tekrar yerine bağlanırsa eşit kollu terazinin dengesi değişir mi” sorusu için tahminin neydi? Bu tahminin doğru muydu? Neden?
- Şişen balonun kütesinin neden daha fazla olduğunu anladın mı? Anladığını nasıl biliyorsun (yani bir kavramı anlarken onu anlamış olduğundan nasıl emin oluyorsun)?
- Bu etkinlikle ilgili sınıf tartışması sırasında senden daha farklı düşünen arkadaşların var mıydı? Kendi düşüncenle karşılaştığında sana daha anlamlı ve inandırıcı gelen fikirler var mıydı? Neden bu fikirler sana daha anlamlı ve inandırıcı geldi?
- Bu etkinliklerden sonra önceki düşüncelerinde bir değişiklik oldu mu? Önceki düşüncelerine şimdiki düşüncelerin arasındaki farklılıklar neler?



## DERS PLANI 4

### MADDENİN TANECİKLİ VE HAREKETLİ YAPISI

**Aktivite:** Günlük Yazma ve Grup Tartışması

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Günlük yazma aktivitesi ile öğrencilerin ön bilgilerinin üstbilişsel farkındalığı sağlanmaya çalışılacak grup tartışması ile öğrencilerin kendi ve arkadaşlarının fikirlerini ve aralarındaki farklılıkları üstbilişsel olarak görüntülemesi ve öğrencilerin kendi fikirlerini üstbilişsel olarak değerlendirmesi sağlanmaya çalışılacaktır.

**Konu:**

- Katı, sıvı ve gazların genel özellikleri

**Kazanımlar:**

- Katı, sıvı ve gaz fazları maddenin tanecikli yapısını göz önüne alarak taneciklerin etkileşimleri ve hareketleri temelinde karşılaştırır.
- Gazların sıkışma/genleşme sürecindeki davranışlarını sorgulayarak gerçek gaz-ideal gaz ayrımı yapar.
- İdeal gazın davranışlarını açıklamada kullanılan temel varsayımları (kinetik teori varsayımları) irdeler.

**Süre:** 1 ders saati

### DERSİN İŞLENİŞİ

1. Bu derste öğrenciler grup olarak 2 etkinlik yapacaklar.

Öğrenciler 5'erli gruplara ayrılır ve herbir gruba ilk etkinlikte kullanacakları malzemeler verilir.

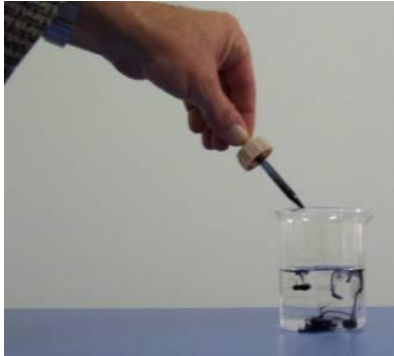
Malzemeler:

- İçinde soğuk su olan bardak
- İçinde sıcak su olan bardak
- Mürekkep
- Damlalık

Gruplara etkinliğin yapılışı anlatılır. Her grup mürekkepten yavaşça 2'şer damla aynı anda soğuk ve sıcak su dolu bardağa damlatır (bakınız Figür 1). Mürekkebin sudaki davranışı izlenir.

**ÖNEMLİ NOT:** Bu sırada öğrencilerin gözlem ve tahminlerini birbirleriyle tartışmamaları gerekiyor çünkü gözlem ve tahminlerini öncelikle günlüklerine yazacaklar. Günlük yazdıktan sonra aralarında tartışacaklar.

(5 dk)



**Figür 1** Mürekkebin sudaki davranışı

## 2.

### **Aktivite: Günlük Yazma**

Öğrenciler bu etkinliği izledikten sonra aşağıdaki sorulara yanıtlarını bireysel olarak günlüklerine yazarlar:

#### **GÜNLÜK 6**

- Sıcak suya ve soğuk suya mürekkep damlattığımızda ne gözlemlediniz? Sıcak suda ve soğuk suda mürekkebin davranışı nasıldı? Neden?
- Maddenin tanecikli yapısına göre ne olduğunu düşünüyorsunuz? Bunun resmini tanecikli yapıya göre çizer misiniz?

(10 dk)

## 3.

Bu etkinliğin ardından 2. etkinlik yapılır. Sınıfın bir köşesinden parfüm sıkılır ve öğrencilerin kokuyu alana kadar süre tutması ve kokuyu aldıklarında sırayla parmak kaldırmaları istenir. Daha sonra öğrenciler kokunun en erken ve en geç ulaştığı noktaları söylerler. Bu etkinliğin ardından öğrenciler yine aşağıdaki sorular hakkındaki fikirlerini günlüklerine yazarlar.

#### **GÜNLÜK 7**

- Parfüm sınıfın bir ucundan sıkıldıktan bir müddet sonra diğer ucundan da kokusu alınabiliyor. Bunun nedeni nedir?
- Maddenin tanecikli yapısına göre parfüm sıkıldığı anda ve kokunun sınıfın en ucundan alındığı zamandaki resmini çizebilir misiniz? Taneciklerin boyutu değişir mi?

(10 dk)

## 4.

### **Aktivite: Grup Tartışması**

Gruplar her iki etkinlikle ilgili fikirlerini ve sorulara verdikleri cevapları aralarında tartışırlar. Daha sonra maddenin tanecikli yapısına göre çizimleri istenen resimleri grupça çizerler. Bu aşamada öğretmen “katılar hareket eder mi” sorusunu da grupların tartışmalarını ister. Öğretmen bu sırada gruplar arasında gezip grupların günlüklerine yazdıklarını tartışmalarını ve grup olarak resimlerini çizerken herkesin düşüncelerini söylemeleri için rehberlik eder. Grup tartışmaları gruplardaki ses kayıt cihazlarına kaydedilir. Grup tartışması öncesi grup üyeleri isimlerini ses kayıt cihazına söyler ve grup tartışmaları sırasında öğrenciler konuşmadan önce mümkün olduğunca isimlerini de söyler.

(10 dk)

5. Gruplar her iki etkinlikle ilgili fikir ve çizimlerini sınıfa sunarlar. Bu sırada öğretmen aşağıdaki soruları yöneltebilir:

- Taneciklerde bir değişiklik olur mu?
- Tanecikler arası etkileşimler katı, sıvı ve gazlarda nasıldır?
- Ayşe .....şeklinde düşünüyor. Siz de ona katılıyor musunuz?
- Ayşe .....şeklinde düşünüyor. Ahmet ise ..... şeklinde düşünüyor. Sizce kimin fikri bu sonucu daha iyi açıklıyor? Neden?
- Sıvı ve gazların hareketine günlük yaşamdan örnekler verebilir misiniz? (Eğer öğrenciler örnek veremezse öğretmen “mesela evdeyken mutfakta anneniz yemek pişirirken kokusunu nasıl alırsınız?” diyebilir.)
- Tamamen dolu olan ve ayakta yolcuları olan bir otobüsteki insanların hareketi, futbol maçı yapan futbolcular ve bir düğünde oynayan insanlar. Bu üç durumdan hangileri katı, sıvı ve gazların hareketini temsil eder? Neden?
- Bu etkinliklerden yeni bir şey öğrendiniz mi?
- Bu etkinlikten sonra önceki düşüncelerinizde bir değişiklik oldu mu? Önceki düşüncelerinizle şimdiki düşünceleriniz arasındaki farklılıklar neler?

Bu tartışmanın ardından öğretmen aşağıdaki simülasyonları gösterebilir (Burada atomların renkli olmadığı da vurgulanır):

Gazlar için:

<http://www.chm.davidson.edu/ChemistryApplets/KineticMolecularTheory/Diffusion.html>

<http://www.biosci.ohiou.edu/introbioslab/Bios170/diffusion/Diffusion.html>

Katılar için:

<http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/thermochem/equilibrium-v1.html>

The motion of particles in three states of matter from the following website:

<http://www.chem.purdue.edu/gchelp/atoms/states.html>

(10 dk)

### Teorik Bilgi:

Maddenin katı, sıvı ve gaz hali oda sıcaklığı baz alınarak söylenir. Katı, sıvı ve gazlar arasındaki bazı farklılıklar aşağıdaki tabloda sunulmuştur:

Katı	Sıvı	Gaz
Sıkıştırılmaz <i>Tanecikler arası boşluklar çok azdır.</i>	Sıkıştırılmaz <i>Tanecikler arası boşluklar çok azdır.</i>	Sıkıştırılabilir <i>Tanecikler arası boşluklar çok fazladır.</i>
Tanecikler arası boşluğun en az olduğu haldir. Bundan dolayı sadece titreşim hareketi yaparlar.	Sıvı halde tanecikler arası boşluk katı hale göre fazla, fakat gaz hale göre azdır. Sıvılar katılara göre daha hareketlidir. Sıvılar titreşim ve öteleme hareketi yaparlar. ( <i>Öteleme hareketi: Taneciklerin birbirini iterek hareket etmesi, yer değiştirmesidir.</i> )	Tanecikler arasındaki boşluk çok fazla olduğu için gaz tanecikleri titreşim, öteleme ve dönme hareketleri yapar.
Tanecikler arası çekim kuvveti en fazla.	Tanecikler arası çekim kuvveti katılardan az, gazlardan fazla.	Tanecikler arası çekim kuvveti en az.

## 6.

### Aktivite: Günlük Yazma

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Bu aktivite ile öğrencilerin kendi ve arkadaşlarının fikirlerini ve aralarındaki farklılıkları üstbilişsel olarak görüntülemesi ve öğrencilerin kendi fikirlerini üstbilişsel olarak değerlendirmesi sağlanmaya çalışılacaktır.

Ev ödevi olarak öğrencilerin aşağıdaki sorulara cevaplarını günlüklerine yazmaları istenir:

### GÜNLÜK 8

- Katı, sıvı ve gazların hareketleriyle ilgili bu dersten önceki düşüncelerin neydi?
- Dersten önce katı, sıvı ve gazları maddenin tanecikli yapısına göre çizdiniz. Bu çizimlerin diğer arkadaşlarından farklı mıydı? Düşüncedeki sınırlılıklar nelerdi?
- Katı, sıvı ve gazları maddenin tanecikli, boşluklu ve hareketli yapısına göre anladığınızı düşünüyor musun? Eğer anladığınızı düşünüyorsan bunu nasıl biliyorsun?
- Bu etkinliklerle ilgili sınıf tartışması sırasında senden daha farklı düşünen arkadaşların var mıydı? Kendi düşüncenle karşılaştığında sana daha anlamlı ve inandırıcı gelen fikirler var mıydı? Neden bu fikirler sana daha anlamlı ve inandırıcı geldi?
- Bu etkinlikten sonra önceki düşüncelerinde bir değişiklik oldu mu? Önceki düşüncelerle şimdiki düşüncelerin arasındaki farklılıklar neler?

Bu etkinlik sonrasında son iki kazanımı (“gazların sıkışma/genleşme sürecindeki davranışlarını sorgulayarak gerçek gaz-ideal gaz ayrımı yapar” ile “ideal gazın davranışlarını açıklamada kullanılan temel varsayımları (kinetik teori varsayımları) irdeler”.) gerçekleştirmek üzere aşağıdaki soru öğretmen tarafından sorulur:

“Sıvılar ve katılar sıkıştırılmazken gazlar sıkıştırılabilir özelliğine sahiptir. Bunu nasıl açıklarsınız?”

Öğrencilerden “gazların sıkıştırılabilir özelliği gaz molekülleri arasındaki boşlukların büyüklüğünden kaynaklanır” cevabı beklenir.

Buradan sonra gazların genleşme özelliğinden kısaca bahsedilir. “Sıcaklığın artmasıyla gazların hacimlerinde meydana gelen değişime *ısı genleşme* denir.

Gazların sıkıştırılabilir ve genleşme özelliğine günlük hayat örnekleri verilir: Oksijen tüplerinde, LPG tüplerinde sıkıştırılarak sıvılaştırılmış gazlar bulunur. Gazların genleşme özelliğinden sıcak hava balonlarında yararlanır.

Bu özellikleri verdikten sonra “Gazların Kinetik Teorisi”ne geçilir:

19. yüzyılın başlarında Ludwig Boltzman ve Clerk Maxwell ve diğer bilim insanlarının çalışmaları gazların kinetik teorisini ortaya koymuştur. Bu teoriye göre;

1. Bir kap içinde gaz molekülleri birbirinden çok uzaktadır. Gaz molekülleri arasındaki bu uzaklığın yanında moleküllerin hacmi ihmal edilebilir.
2. Gaz molekülleri, sürekli ve geliş-güzel hareket ederken aynı zamanda birbirleriyle ve kabın çeperleriyle çarpışırlar (Brown Hareketi). Bu çarpışmalar hızlı ve esnek (Esnek çarpışmalarda enerji kaybı olmaz).
3. Moleküller arasında çarpışma sırasında oluşan zayıf kuvvetlerden başka kuvvetlerin olmadığı kabul edilir.
4. Farklı gazların aynı sıcaklıkta moleküllerinin ortalama kinetik enerjileri birbirine eşit ve sıcaklıkla doğru orantılıdır.

Kinetik teori varsayımlarına uyan gazlara ideal gaz tanımlaması yaparken bu varsayımlara ihmal edilebilir farkla uyan gazları ideale yakın gaz şeklinde nitelendiririz. Molekülleri arasında birbirinin davranışından etkilenmeyen ve aralarında çekim kuvveti olmayan gazlara *ideal gazlar* denir. İdeal gazlarda toplam hacim yanında gaz moleküllerinin hacmi çok küçük

olduğundan gaz moleküllerinin hacmi ihmal edilebilir. Oysaki gazlar sıvılaşılabiliyordu! Demek ki tüm gazlar ideal değil. İdeallikten sapan gazlar da var. Mesela oda sıcaklığında sürtünmesiz hareket edebilen pistonla kapatılmış iki silindir kap içinde belli miktarda CO<sub>2</sub> ve He gazları bulunmaktadır. Silindir içinde bulunan gaz molekülleri basıncın etkisiyle sıkıştırılmıştır. Bu sıkıştırılma sonucunda CO<sub>2</sub> gazının bir süre sonra sıvılaştığı, He'nin ise gaz halinde kaldığı görülüyor. Bu iki gazın göstermiş olduğu davranış farkı, ancak moleküller arası boşluklarla ve moleküller arası çekme kuvveti ile açıklanır. Ortam sıcaklığı ve basınç etkisiyle birbirlerine yaklaşan moleküllerin arasındaki çekme kuvvetinin etkin olduğu durumda gaz sıvı hale geçer. Moleküller arası etkileşimi olan ve moleküllerin birbirinden etkilendiği gazlara *gerçek gazlar* denir. Doğada bulunan gazların hiçbiri ideal gaz değildir. Ancak gerçek gazlar yüksek sıcaklık ve düşük basınçta ideallığe yaklaşır. Burada He'nin gaz halinde olması CO<sub>2</sub> gazına göre ideale daha yakın olmasıdır. (Burada daha detaya inilmez çünkü gerçek gazlar daha sonra tekrar verilecek.)

## DERS PLANI 5

### GRAHAM DİFÜZYON KANUNU

**Aktivite:** Günlük Yazma ve Sınıf Tartışması

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Günlük yazma aktivitesi ile öğrencilerin ön bilgilerinin üstbilişsel farkındalığı sağlanmaya çalışılacak sınıf tartışması ile öğrencilerin kendi ve arkadaşlarının fikirlerini ve aralarındaki farklılıkları üstbilişsel olarak görüntülemesi ve öğrencilerin kendi fikirlerini üstbilişsel olarak değerlendirmesi sağlanmaya çalışılacaktır.

**Konu:**

- Graham Difüzyon Kanunu

**Kazanımlar:**

- Gazların yayılma özelliğini ve yayılma hızlarını kavrar.

**Süre:** 25 dakika

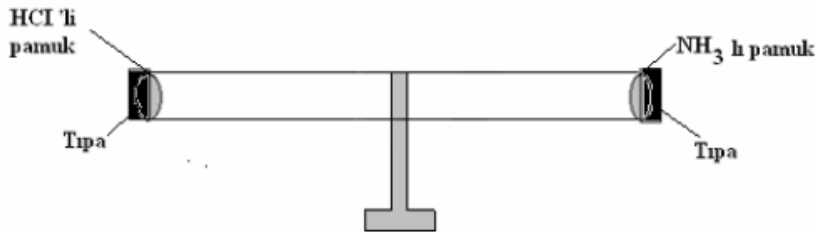
### DERSİN İŞLENİŞİ

1. Bu derste öğretmen aşağıda anlatılan gazların difüzyonu ile ilgili gösteri deneyini yapar.

Malzemeler:

- İki ucu açık, 50 cm uzunluğunda bir cam boru
- 2 adet lastik tıpa
- Pamuk
- HCl
- NH<sub>3</sub>

Her iki ucu açık cam boruyu yatay şekilde Figür 1'deki gibi destek çubuğuna yerleştiriniz. Toplu iğneleri lastik tıpa tutturunuz. Lastik tıpa tuttuğunuz toplu iğnelere biraz pamuk dolayınız. Pamuklardan birine 6-8 damla HCl diğerine de 6-8 damla NH<sub>3</sub> çözeltisi damlatınız. Lastik tıpaları pamuk borunun içine doğru olacak şekilde cam borunun uçlarına aynı anda yerleştiriniz.



**Figür 1** HCl ve NH<sub>3</sub>'ün cam boru içindeki difüzyonu

Öğrencilerden cam boruyu gözlemeleri istenir. Bir müddet sonra öğrenciler cam boruda beyaz bir duman oluşumu gözlerler. Öğretmen sınıf tartışmasından önce öğrencilerin deneyle ilgili gözlem sonuçlarıyla ilgili düşüncelerini günlüklerine yazmalarını ister:

### GÜNLÜK 9

- Cam boruda oluşan beyaz bulut sizce nedir? Nedeni ne olabilir?
  - Beyaz bulut hangi uca daha yakın? Neden böyle olduğunu düşünüyorsunuz?
- (Ortalama 5 dk.)

2.

**Aktivite:** Sınıf Tartışması

Daha sonra öğretmen sınıf tartışmasını başlatmak üzere aşağıdaki soruları sınıfa yönelir. Bu aşamada öğretmen öğrencilere doğru cevabı vermeden onların doğru cevabı bulmasına rehberlik eder. Bu sırada öğretmenin yönlendirebileceği sorular:

- Sizce bu yaptığımız etkinliğin amacı neydi?
- Cam boruda oluşan beyaz bulut sizce nedir? Nedeni ne olabilir? (Öğrenciler zorlanırsa “HCl ve NH<sub>3</sub>’ün gaz halinde olduğu ve karşılaştığı” söylenir.)
- Beyaz bulut hangi uca daha yakın? Neden böyle olduğunu düşünüyorsunuz? (Eğer öğrenciler zorlanırsa “HCl ve NH<sub>3</sub> gazlarından hangisinin daha hızlı hareket ettiğini anlayabilir miyiz?” diye sorulabilir.)
- Moleküllerin hızıyla molekül kütlesi arasında nasıl bir ilişki olabilir? (Şişman ve zayıf adamın hızları benzetmesi kullanılabilir.)
- Ayşe .....şeklinde düşünüyor. Ahmet ise ..... şeklinde düşünüyor. Sizce kimin fikri bu sonucu daha iyi açıklıyor? Neden?
- Bu etkinlikten yeni bir şey öğrendiniz mi?
- Bu etkinlikten sonra önceki düşüncelerinizde bir değişiklik oldu mu? Önceki düşüncelerinizle şimdiki düşünceleriniz arasındaki farklılıklar neler?

(Ortalama 10 dk.)

2. Bu tartışmanın ardından öğretmen öğrencilerin söyledikleri cümleleri de dahil ederek tartışmayı toparlar:

Bu deney sonucunda HCl ve NH<sub>3</sub> gazlarının birleşerek NH<sub>4</sub>Cl(k) katısını oluşturduğunu gördük. Beyaz bulut olarak görünen bu katının HCl pamuklu uca daha yakın oluştuğunu gördük. Peki bu bize molekül hızlarıyla ilgili neyi kanıtlıyordu? Demek ki HCl molekülleri daha yavaş hareket etmiş ki oluşan katı ona yakın mesafede oluşmuş.

Gazların birbiri içinde karışmasını gaz moleküllerinin sürekli ve gelişigüzel hareket ederken birbirleri ile ve kabın çeperlerine çarpmalarıyla açıklayabiliriz. Bu çarpışmalar sırasında moleküller arasında kinetik enerji aktarımı olur. Fakat sistemin toplam kinetik enerjisi değişmez. Sistemde farklı gazlar olsa bile aynı sıcaklıkta bütün gaz moleküllerinin ortalama kinetik enerjileri birbirine eşittir.

$$EK_A = EK_B$$

EK<sub>A</sub>: A molekülünün ortalama kinetik enerjisi

EK<sub>B</sub>: B molekülünün ortalama kinetik enerjisi

$$\frac{1}{2} m_A v_A^2 = \frac{1}{2} m_B v_B^2$$

$$v_A^2/v_B^2 = m_B/m_A$$

Gazların kütlelerinin yerini mol kütleleri alınınca aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$v_A^2/v_B^2 = M_B/M_A$$

Elde edilen eşitlik gazların yayılma hızlarının mol kütlelerinin karekökü ile ters orantılı olduğunu göstermektedir. Bu ters orantı 1883 yılında Thomas Graham’ın yaptığı deneysel çalışmaların sonucunda bulunmuş ve **Graham Difüzyon Kanunu** adını almıştır.

Graham Difüzyon Kanunu gazların öz kütlelerini (gazların özkütelleri mol kütleleriyle doğru orantılıdır) yayılma sürelerini de dikkate alarak daha genel bir biçimde aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$v_A^2/v_B^2 = m_B/m_A = M_B/M_A = d_B/d_A = t_B/t_A$$

MEB kitabı s. 174’teki difüzyonla ilgili günlük hayat örneği verilir. Ayrıca s. 175’teki *gazların efüzyonu* da kısaca anlatılır. Daha sonra örnek 1-2 problem çözülür.

(Ortalama 10 dk.)

#### 4.

**Aktivite:** Günlük Yazma

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Bu aktivite ile öğrencilerin kendi ve arkadaşlarının fikirlerini ve aralarındaki farklılıkları üstbilişsel olarak görüntülemesi ve öğrencilerin kendi fikirlerini üstbilişsel olarak değerlendirmesi sağlanmaya çalışılacaktır.

Ev ödevi olarak öğrencilerin aşağıdaki sorulara cevaplarını günlüklerine yazmaları istenir:

#### **GÜNLÜK 10**

- Sizce bu deneyi neden yaptık?
- Bu deneyle ilgili cam boruda oluşan beyaz bulutun ne olduğu ve hangi uca yakın olduğu ile ilgili tahminin neydi? Bu tahminin doğru muydu? Neden?
- Deney sonucunda oluşan beyaz bulutun neden oluştuğunu ve neden pamuklu uçlardan birine daha yakın olduğunu anladın mı? Anladığını nasıl biliyorsun (yani bir kavramı anlarken onu anlamış olduğundan nasıl emin oluyorsun)?
- Bu etkinlik ile ilgili sınıf tartışması sırasında senden daha farklı düşünen arkadaşların var mıydı? Kendi düşüncenle karşılaştığında sana daha anlamlı ve inandırıcı gelen fikirler var mıydı? Neden bu fikirler sana daha anlamlı ve inandırıcı geldi?
- Neden sınıftaki arkadaşların birbirinden farklı düşüncelere sahipti? Bir olayı açıklarken nasıl bir fikrin diğer bir fikirden daha iyi olduğunu düşünüyorsun?
- Bu etkinlikten sonra önceki düşüncelerinde bir değişiklik oldu mu? Önceki düşüncelerine şimdiki düşüncelerin arasındaki farklılıklar neler? Fikirlerini neden değiştirdin?



## DERS PLANI 6

### AÇIK HAVA BASINCI

**Aktivite:** Günlük Yazma ve Grup Tartışması

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Günlük yazma aktivitesi ile öğrencilerin ön bilgilerinin üstbilişsel farkındalığı sağlanmaya çalışılacak sınıf tartışması ile öğrencilerin kendi ve arkadaşlarının fikirlerini ve aralarındaki farklılıkları üstbilişsel olarak görüntülemesi ve öğrencilerin kendi fikirlerini üstbilişsel olarak değerlendirmesi sağlanmaya çalışılacaktır.

**Konu:**

- Basınç
- Açık hava basıncı

**Kazanımlar:**

- Gaz basıncını molekül hareketleri temelinde açıklar.

**Süre:** 20 dakika

### DERSİN İŞLENİŞİ

1. Öğrenciler 5'erli gruplara ayrılır ve herbir gruba etkinlikte kullanacakları malzemeler verilir. Bu derste öğrenciler iki etkinlik yapacaklardır. İlk etkinlik için kullanacakları malzemeler:

Malzemeler:

- Balon
- 2 adet plastik bardak

Gruplara etkinliğin yapılışı anlatılır ve her grup etkinliği yapar:

Plastik bardakları ağızları birbirine bakacak şekilde tutun. Daha sonra bardakların arasına balonu yerleştirip balonu şişirmeye başlayın. Bu sırada bardaklara dokunmayın. Bardaklar balona yapışık kalacaklardır.

**ÖNEMLİ NOT:** Bu sırada öğrencilerin gözlem ve tahminlerini birbirleriyle tartışmalarını gerekiyor çünkü gözlem ve tahminlerini öncelikle günlüklerine yazacaklar. Günlük yazdıktan sonra aralarında tartışacaklar.

(5 dk)

**2.**

**Aktivite:** Günlük Yazma

Öğrenciler bu etkinliği yaptıktan sonra aşağıdaki sorulara yanıtlarını bireysel olarak günlüklerine yazarlar:

**GÜNLÜK 11**

- Bardaklar neden balona yapışık kaldı?

(5 dk)

**3.**

Bu etkinliğin ardından gruptaki her öğrenci 2. etkinliği yapar.

Malzemeler:

- Pipet
- Su dolu plastik bardak

Her öğrenci su dolu bardaktan pipetle su içer. Daha sonra pipet ağıza yakın olan tarafından öğretmenin yardımıyla delinir. Ve öğrenciler tekrar su içmeye çalışır. Pipet delindikten sonra su içemeyecekler.

**ÖNEMLİ NOT:** Bu sırada öğrencilerin gözlem ve tahminlerini birbirleriyle tartışmalarını gerekiyor çünkü gözlem ve tahminlerini öncelikle günlüklerine yazacaklar. Günlük yazdıktan sonra aralarında tartışacaklar.

(5 dk)

#### 4.

**Aktivite:** Günlük Yazma

Öğrenciler bu etkinliği yaptıktan sonra aşağıdaki sorulara yanıtlarını bireysel olarak günlüklerine yazarlar:

#### **GÜNLÜK 12**

- Pipetle su nasıl içiliyor?
- Pipet delindikten sonra neden su içemediniz?

(5 dk)

**(Bu iki etkinliğin nedeniyle ilgili açıklama: İlk etkinlikte bardakların ağızları birbirine bakarken aralarındaki balon şişirilmiş ve bardaklar da balona yapışmıştı. Bunun nedeni balon şiştiği zaman bardakların içindeki havanın bir kısmını dışarıya iter ve bu da bardakların içindeki basıncın azalmasına neden olur. Dış basınç (atmosfer basıncı) iç basınçtan daha fazla olduğu için bardaklar balona yapışır.**

**İkinci etkinlikte ise yine atmosfer basıncı rol alır. Öğrencilerin çoğu bu olayın nedenini “pipetten suyun emilmesi (ya da vakumlanması)” olarak zanneder. Halbuki olayın nedeni bu değildir. Tıpkı nefes alırken de havanın emilmesi söz konusu olmadığı gibi. Nefes alırken ciğer hacmimizi arttırırız. Hacim artınca içerdeki basınç düşer. Dış basınç daha fazla olduğu için de yüksek basınçtan (dışarıdan) alçak basınca (ciğerlerimize) hava dolar. Pipette de durum bu şekildedir. Pipet içindeki havanın basıncı ciğerlerimizdeki havanın basıncından daha fazladır ve pipetteki hava her iki taraftaki basıncı eşitlemek için pipetten ciğerlerimize akar. Bu da pipetteki basıncın azalmasına yol açar. Atmosfer basıncı pipetteki basınçtan daha fazla olduğu için de su pipetten ağızımıza akar. Pipet delindiğinde ise bu durum gerçekleşmez. Çünkü bu durumda atmosfer basıncı ve pipet içindeki havanın basıncı eşitlenir.) (NOT: Bu açıklama öğrencilere yapılmayacak. Bu açıklama sadece öğretmenin bilgisi için yapılmıştır.)**

**Buraya kadar 45 dakika tamamlanır. 2. ders kalınan yerden devam edilir.**

## **2. DERS**

### 5.

**Aktivite:** Grup Tartışması

Gruplar her iki etkinlikle ilgili fikirlerini ve sorulara verdikleri cevapları aralarında tartışır. Grup tartışmaları gruptaki ses kayıt cihazlarına kaydedilir. Öğretmen bu sırada gruplar arasında gezip grupların günlüklerine yazdıklarını tartışmalarını ve herkesin düşüncelerini söylemeleri için rehberlik eder.

Grup tartışması öncesi grup üyeleri isimlerini ses kayıt cihazına söyler ve grup tartışmaları sırasında öğrenciler konuşmadan önce mümkün olduğunca isimlerini de söyler.

(5 dk)

6. Gruplar her iki etkinlikle ilgili fikirlerini sınıfa sunar. Bu sırada öğretmen aşağıdaki soruları yöneltebilir:

- Sizce bu etkinlikleri neden yaptık?
- Ayşe .....şeklinde düşünüyor. Siz de ona katılıyor musunuz?
- Ayşe .....şeklinde düşünüyor. Ahmet ise ..... şeklinde düşünüyor. Sizce kimin fikri bu sonucu daha iyi açıklıyor? Neden?

Ağrı Dağı'na tırmanan bir dağcı, suyu bir pipet yardımıyla içmek istese en kolay dağın zirvesinde mi yoksa eteklerinde mi içer? (**Açıklama: Bu sorunun cevabı “Ağrı Dağı'nın eteklerinde daha kolay suyu içebiliriz” olacaktır. Çünkü yükseklere çıkıldıkça açık hava basıncı azalır. Torricelli'nin dediği gibi “Biz bir hava denizinin dibinde yaşıyoruz.” Aşağılara indikçe üzerimizdeki havanın basıncı artıyor. Ağrı Dağı'nın eteklerindeki açık hava basıncı zirvesine göre daha fazla olduğundan pipetle suyu daha rahat içeriz. Çünkü sıvının üzerindeki açık hava basıncı fazla olunca sıvı pipetten ağza daha kolay itilir.**) (NOT: Bu açıklama öğrencilere yapılmayacak. Bu açıklama sadece öğretmenin bilgisi için yapılmıştır.)

- Yükseklerle çıkıldıkça basınç nasıl değişir?

- Düşünün ki çok ağır ve içi benzin dolu bir bidonunuz var ve bidon içindeki benzini boşaltacaksınız ama bidonu kaldırıp da içindeki benzini boşaltmanız mümkün değil. Elinizde de sadece bir miktar hortum var. Bu hortumla benzini nasıl boşaltırdınız? Durum gösteri deneyi şeklinde de yapılır. Su dolu bir şişedeki su hortumla boşaltılır. Suyun bu şekilde nasıl boşaltılabildiği ile ilgili tartışılır. (**Açıklama: Hortum içindeki hava alınca sıvının üstüne uygulanan basınç daha fazla olacaktır ve böylece su hortumdan kendiliğinden akacaktır. Hatta şişenin ağzı hortum konulduktan sonra bir havluyla kapatılırsa daha etkili bir sonuç elde edilir çünkü sıvı üzerindeki basınç artmış olur.**) (NOT: Bu açıklama öğrencilere yapılmayacak. Bu açıklama sadece öğretmenin bilgisi için yapılmıştır.)

- Sizce basınç ne demektir?
- Açık hava basıncı ne demektir? Açık hava basıncının oluşmasını sağlayan nedir? (Burada öğretmen öğrencilerin *Graham Difüzyon Yasası* ve taneciklerin hareketli yapısıyla bağlantı kurmasını sağlayacak. Öğrencilere taneciklerin hareketli yapısıyla ilgili etkinlikleri hatırlatacak. Ve basıncın bu hareketli yapıyla ilgili olup olmadığı sorulacak.)

Buradan basıncın tanımına geçilir.

**Basınç:** Gazlar temas ettikleri tüm yüzeylere basınç uygularlar çünkü gaz molekülleri sürekli hareket halindedir. Açık hava basıncı da havada bulunan gaz taneciklerinin hareketinden ve cisimlere çarpmasından oluşur. Kinetik teoriye göre gaz molekülleri buldukları kaba homojen olarak dağılırken hem birbirlerine hem de kabın çeperine çarparak çarptıkları yüzeye bir basınç uygularlar. Bu kuvvete **gazın basıncı** denir ve **P** ile gösterilir.

Basınç= Kuvvet/Alan ve  $P= F/S$

Gazın basıncı birim hacimdeki taneciğin sayısı, hızı ve çarpışma sayısı ile orantılıdır. Dünyamızı saran atmosfer bir gaz karışımıdır ve yeryüzüne bir basınç uygular. Atmosfer basıncını ölçmek için kullanılan araçlara **barometre** denir. Kapalı kaplardaki gazların basıncını ölçmeye yarayan araçlara ise **manometre** denir. (Açık uçlu ve kapalı uçlu manometre çeşitleri tahtaya çizilir.)

Bunun ardından Toricelli'nin kurduğu düzenekle atmosfer basıncını ölçmesi anlatılır: Bildiğimiz gibi hava bir gaz karışımıdır ama eski çağlarda hava tek bir element olarak düşünülüyordu. Tüm maddelerin 4 elementten ibaret olduğu görüşü hakimdi: hava, su, toprak ve ateş. Dolayısıyla havanın olmadığı bir yer olmaz yani “doğa vakumu sevmez” gibi teoriler vardı. Örneğin, emme basma tulumla kullanılarak yerin altından suyun çıkarılmasının

nedeni doğanın vakumu (boşluğu) sevmemesi ile açıklanıyordu. Ancak Toriçelli'nin suyun yükselmesinin doğanın vakumu sevmemesi değil daha farklı bir nedeni olduğunu düşünüyordu. Peki suyu iten şey neydi? Toriçelli'ye göre "biz bir hava denizinin dibinde yaşıyoruz" ve suyun yükselmesinin nedeni suyun üzerindeki havanın suya uyguladığı basınçtı. Buradan sonra MEB kitabı p. 178'den kısaca bahsedilebilir.

Basıncın birimlerinden bahsedilir:

Basıncın SI (uluslar arası birim sistemi) birimi Newton/metrekaare ( $N m^{-2}$ ) veya Paskal (Pa) olarak tanımlanır.

Diğer basınç birimleri ise bar (bar), mbar (milibar), atm (atmosfer) ve mmHg (milimetre civa)

$$1 \text{ paskal} = 1 \text{ N m}^{-2} = 1 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ paskal} \quad 1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg} = 101325 \text{ N m}^{-2} = 101325 \text{ Pa}$$

Aşağıdaki bilgi öğrencilere verilir:

1 cmHg: 1 cm yüksekliğindeki civa sütununun uyguladığı basınçtır.

1 mmHg: 1 mm yüksekliğindeki civa sütununun uyguladığı basınçtır. 1 mmHg aynı zamanda 1 torr'a eşittir. Torr birimi Torricelli adına kullanılır.

1 atm: 76 cm (760mm) yüksekliğindeki civa sütununun uyguladığı basınçtır.

Ayrıca burada "sıvı basıncı" kısmından da bahsedilir:

#### **Sıvı Basıncı**

Sıvı basıncı, sıvının özkütlesine ve yüksekliğine bağlıdır:

$P = h \times d$  formülü ile hesaplanır. (h: sıvının yüksekliği, d: sıvının özkütlesi)

Sıvının basıncı, sıvının özkütlesine ve yüksekliğine bağlı olduğu için kabın şekline bağlı değildir!



Daha sonra öğretmen basınç birimleri ve sıvı basıncı ile ilgili örnek sorular çözer.

Bu tanım sonrası etkinlikler ve burada sorulan benzin bidonunu boşaltmak ve pipetten su içmenin Ağrı Dağı'nın tepesinde mi eteklerinde mi daha kolay olduğu ile ilgili soruların doğru cevabına geçilir. Bu olayların mantıkları öğrencilerin verdikleri yanıtları da dahil ederek açıklanır.

- Bu etkinliklerden yeni bir şey öğrendiniz mi?
- Bu etkinlikten sonra önceki düşüncelerinizde bir değişiklik oldu mu? Önceki düşüncelerinizle şimdiki düşünceleriniz arasındaki farklılıklar neler?

Bunun ardından hacim, mol sayısı ve sıcaklık kısmı anlatılır.

(40 dk)

## 7.

**Aktivite:** Günlük Yazma

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Bu aktivite ile öğrencilerin kendi ve arkadaşlarının fikirlerini ve aralarındaki farklılıkları üstbilişsel olarak görüntülemesi ve öğrencilerin kendi fikirlerini üstbilişsel olarak değerlendirmesi sağlanmaya çalışılacaktır.

Ev ödevi olarak öğrencilerin aşağıdaki sorulara cevaplarını günlüklerine yazmaları istenir:

**GÜNLÜK 13**

- Sizce bu etkinliklerin amacı neydi?
- Derste yaptığımız etkinliklerde “bardakların neden balona yapışık kaldığı”, “pipetle nasıl su içtiğimiz” ve “pipet delinince neden su içemediğimiz” ile ilgili tahminlerin neydi? Bu tahminlerin doğru muydu? Bu tahminlerin doğru muydu? Bu tahminlerini neleri düşünerek yaptın yani hangi etkenler mesela günlük hayattaki hangi olaylar bu tahminleri yapmanı sağladı?
- Önceki düşüncelerindeki sınırlılıklar nelerdi?
- Sınıfta yaptığımız iki etkinliğin nedenini anladın mı (Bardaklar neden balona yapıştı? Pipetten nasıl su içiyoruz?)? Anladığını nasıl biliyorsun (yani bir kavramı anlarken onu anlamış olduğundan nasıl emin oluyorsun)?
- Bu etkinliklerle ilgili grup ve sınıf tartışması sırasında senden daha farklı düşünen arkadaşların var mıydı? Kendi düşüncenle karşılaştığında sana daha anlamlı ve inandırıcı gelen fikirler var mıydı? Neden bu fikirler sana daha anlamlı ve inandırıcı geldi?
- Bu etkinlikten sonra önceki düşüncelerinde bir değişiklik oldu mu? Önceki düşüncelerine şimdiki düşüncelerin arasındaki farklılıklar neler? Lütfen bunları örneklerle yazıp fikrinizi neden değiştirdiğinizi de açıklayınız. Değiştirmedığınız fikirleriniz varsa lütfen bunları da yazıp neden değiştirmedığınızı anlatınız.

## DERS PLANI 7

### BOYLE-MARIOTTE KANUNU

**Aktivite:** Günlük Yazma ve Grup Tartışması

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Günlük yazma aktivitesi ile öğrencilerin ön bilgilerinin üstbilişsel farkındalığı sağlanmaya çalışılacak grup ve sınıf tartışması ile öğrencilerin kendi ve arkadaşlarının fikirlerini ve aralarındaki farklılıkları üstbilişsel olarak görüntülemesi ve öğrencilerin kendi fikirlerini üstbilişsel olarak değerlendirmesi sağlanmaya çalışılacaktır.

**Konu:**

- Boyle-Mariotte Kanunu

**Kazanımlar:**

- Belli miktarda gazın sabit sıcaklıkta basınç-hacim ilişkisini irdeler (Boyle Kanunu).

**Süre:** 2 ders saati

### DERSİN İŞLENİŞİ

1. Bu derste 2 etkinlik yapılacaktır. Öğrenciler 5'erli gruplara ayrılır ve her grup aşağıdaki ilk etkinliği yapar:

Malzemeler:

- Şırınga
- Marshmallow (Lokum benzeri bir şekerleme)

Etkinliğin Yapılışı:

- Şırınganın pistonu çıkarılarak içine marshmallow konulur.
- Piston tekrar şırıngaya takılır ve marshmallowa değmeden şırınga içindeki hava mümkün olduğunca boşaltılır (bakınız Figür 1).
- Bundan sonra şırınganın ağzına kapağı kapatılır. (Kapak yerine parmağınızı ya da bir silgiyi de kullanabilirsiniz. Önemli olan şırınganın içine hava giriş ve çıkışını önlemektir.)
- Piston dışarıya doğru çekilir ve marshmallowun davranışı gözlenir (Öğrenciler marshmallowun büyüdüğünü görecekler).

**ÖNEMLİ NOT:** Bu sırada öğrencilerin gözlem ve tahminlerini birbirleriyle tartışmamaları gerekiyor çünkü gözlem ve tahminlerini öncelikle günlüklerine yazacaklar. Günlük yazdıktan sonra aralarında tartışacaklar.

**Açıklama:** Bu aktivite gazlarda basınç-hacim ilişkisini gösterir. Boyle Kanunu'nun pratikteki gösterimi bu aktiviteyle yapılmış olur. Boyle Kanunu sabit sıcaklıkta belli bir miktar gazın basıncının hacmiyle ters orantılı olduğunu söyler. Bu etkinlikte piston dışarıya doğru çekildiğinde piston içindeki basınç düşürülmüş olur. Bu da marshmallowun büyümesine neden olur. Marshmallowu katı-gaz çözeltisi olarak düşünebiliriz. Dolayısıyla basınç düştüğünde marshmallowun hacmi artar. (NOT: Bu açıklama öğrencilere yapılmayacak. Bu açıklama sadece öğretmenin bilgisi için yapılmıştır.)



**Figür 1** Şırınga içinde marshmallow  
(7 dk)

## 2.

### **Aktivite:** Günlük Yazma

Öğrenciler bu etkinliği yaptıktan sonra aşağıdaki sorulara yanıtlarını bireysel olarak günlüklerine yazarlar:

#### **GÜNLÜK 14**

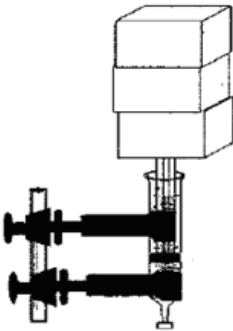
- Şırınganın pistonunu geriye doğru çekince marshmallowa ne oldu? Neden?
  - Hacim ile basınç arasında nasıl bir ilişki olduğunu düşünüyorsun?
- (8 dk)

3. Bu etkinliğin ardından gruplar 2. etkinliğe geçerler. İkinci etkinlik için gereken malzemeler ve etkinliğin yapılışı aşağıdaki gibidir:

#### Malzemeler:

- Şırınga
- Spor ve kıskaç
- 1, 2 ve 3 kg'lık ağırlıklar
- Milimetrik kağıt

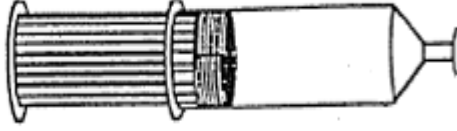
Öğrenciler bir önceki etkinlikteki gruplarıyla bu etkinliğe devam ederler. Şırınga spor ve kıskaç yardımıyla sabitlenir. Daha sonra şırınganın pistonu dereceli bölmenin sonuna kadar çekilir. Şırınganın ağzı hava giriş çıkışını engellemek amacıyla kapatılır (bakınız Figür 2). İlk hacim dereceli bölmeden okunarak kaydedilir. Ardından öğrencilere sırayla önce 1 kg, sonra 2 kg ve en son 3 kg olacak şekilde ağırlıklar pistonun üzerine koyacaklarını ve her ağırlık konulduktan sonraki hacmi not edecekleri söylenir. Ama düzeneği kurduktan sonra ağırlıkları koymadan önce öğrencilere aşağıdaki sorulara cevaplarını bireysel olarak yazmalarını isterler. Sıcaklığın da sabit olduğu söylenir.



**Figür 2** Piston üzerine ağırlıkların konulması

**Aktivite: Günlük Yazma****GÜNLÜK 15**

- Pistonun üzerine önce 1 kg, sonra 2 kg ve en son toplam 3 kg olacak şekilde ağırlıklar konulup pistonun durduğu hacimleri not edeceksiniz. Eğer ağırlıkları basınç olarak düşünürseniz basınç ile hacim arasında nasıl bir ilişki olduğunu düşünüyorsunuz? Bunun grafiğini bir eksen basınç, bir eksen de hacim olacak şekilde çizer misiniz?
- Aşağıdaki şekildeki gibi ağzı kapalı ve içinde hava bulunan şırınganın pistonu ileriye doğru itiliyor. Eğer şırınganın içindeki havayı oluşturan tanecikleri görebilseydiniz piston itilmeden önceki ve sonraki durumu maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmederdiniz? Aşağıda verilen pistonlar içinde tanecikleri gösteriniz.
  - Taneciklerde bir değişiklik olur mu?
  - Piston itilmeden önce ve itildikten sonra şırınga tartıldığında ağırlıkları ve içindeki havanın özkütlesi hakkında ne söyleyebilirsiniz?
  - Piston itilmeden önce ve itildikten sonra şırınga içindeki havanın basıncı nasıl değişir?



Piston itilmeden önce

(8 dk)



Piston itildikten sonra

**4.****Aktivite: Grup Tartışması**

Gruplar pistonun üzerine önce 1 kg, sonra 2 kg ve en son toplam 3 kg olacak şekilde ağırlıkları koyarak pistonun durduğu hacmi not ederler. Daha sonra gruplar kendilerine verilen milimetrik kağıda bir eksen basınç (basınç değişkenleri piston üzerine koydukları ağırlıklar olacak), bir eksen de hacim (pistonun durduğu nokta hacim değişkenleri olacak) olacak şekilde grafiklerini çizerler. Ayrıca da her grup ikinci etkinlikte günlüklerindeki 2. soruda piston itilmeden önce ve itildikten sonraki taneciklerin resmini grup olarak çizerler (Öğrencilere piston şekillerinin olduğu kağıtlar dağıtılır). Bu sırada günlüklerine yazdıkları basınç-hacim arasındaki ilişki ve günlüklerinde çizdikleri grafikleri de gruplarına söylerler. Ayrıca gruplar ilk etkinlik için “piston geriye çekildiğinde marshmallowun neden büyüdüğünü” de tartışır. Öğretmen bu sırada gruplar arasında gezip grupların günlüklerine yazdıklarını tartışmalarını ve grup olarak grafiklerini çizerken herkesin düşüncelerini söylemeleri için rehberlik eder.

Grup tartışmaları gruplardaki ses kayıt cihazlarına kaydedilir. Grup tartışması öncesi grup üyeleri isimlerini ses kayıt cihazına söyler ve grup tartışmaları sırasında öğrenciler konuşmadan önce mümkün olduğunca isimlerini de söyler.

(10 dk)

**5.** Gruplar yaptıkları iki etkinlikle ilgili fikirlerini içlerinden seçtikleri temsilcilerle sınıfa sunarlar. Bu sırada öğretmen aşağıdaki soruları yöneltebilir. Öğretmen öğrencilerin doğru yanıtı bulmalarına rehberlik eder:

- Bu iki etkinliği sizce neden yaptık?
- İlk yaptığımız etkinlikte piston geriye çekildiğinde marshmallow neden büyüdü?
- İlk etkinlikte şırınganın pistonunu geriye doğru çekince şırınganın içindeki basınç nasıl değişir?
- Peki, tüm bu etkinliklere göre basınç ile hacim arasında nasıl bir ilişki olduğunu düşünüyorsunuz?
- Ağzı kapalı bir şırınganın pistonunu ileriye doğru ittiğimizde taneciklerde bir değişiklik olur mu? Piston itilmeden önce ve sonra tartıldığında ağırlığı ve içindeki havanın



özkütlesi değişir mi? (**Öğrencilerden beklenen cevap; taneciklerde ve ağırlıkta bir değişme olmayacağı ancak özkütlenin piston itildikten sonra artacağı çünkü piston itilince hacim azalıyor.**)

- Soluk alış-verişimizle ilgili solunum modeli öğretmen tarafından öğrencilere gösterilecek. (Bu model benim tarafımdan sizlere verilecek. Bir pet şişenin altı kesilerek balondan kesilen plastik kısım şişenin alt kısmına konuluyor ve şişenin ağzına da balon şişenin içinde kalacak şekilde balonun ağzı geçiriliyor. Bakınız Figür 3).



**Figür 3** Solunum modeli

Öğretmen bu modelin soluk alış-verişimizi gösterdiğini söyler. Öğrencilere nasıl soluk alıp-verdiğimiz sorulur. Ortaokul bilgilerinden hatırladıkları kadarıyla 1-2 öğrencinin yanıtları kısaca alınır. Öğretmen soluk alış-verişin nasıl olduğunu çok kısa anlatır. *Soluk alırken; diyafram kası kasılır (yani aşağıya iner) ve kaburgalar arası açılarak hacim artar, göğüs iç basıncı düşer ve içeriye hava girer. Bu esnada göğüs boşluğu genişlemiştir. Soluk verirken; diyafram kası gevşer (yani yukarıya çıkar), kaburgalar birbirine yaklaşarak hacim azalır, göğüs iç basıncı artar ve dışarıya hava verilir. Bu esnada göğüs boşluğu daralmıştır.* Öğretmen daha sonra modelde şişenin altındaki plastiğin diyafram kasımızı, şişenin içindeki balonun da akciğerimizi temsil ettiğini söyler (kaburgalar arası kaslar bu modelde yok). Daha sonra öğretmen şekilde gösterildiği gibi şişenin altındaki plastiği dışarıya doğru çeker (şişenin altındaki plastiğin diyafram kasımızı temsil ettiği söylenir). Bu sırada öğrenciler şişenin içindeki balonunun şiştiğini görür. Bunun ardından öğretmen şişenin içindeki balonun neden şiştiğini öğrencilere sorar. (Burada öğrencilerden beklenen basınç-hacim ilişkisini söyleyebilmeleridir. Şişenin altındaki plastik şişeden dışarıya doğru çekildiğinde şişenin içindeki basınç düşer ve basınç düşünce de şişenin içindeki balona uygulanan basınç da azalacağından balonun hacmi artar. Soluk alıp-verme de bu şekildedir. Tabii bu yanıt öğrencilerden gelmezse öğretmen tarafından bu olay açıklanır.)

- Ayşe .....şeklinde düşünüyor. Ahmet ise ..... şeklinde düşünüyor. Sizce kimin fikri bu sonucu daha iyi açıklıyor? Neden?
- Düşünün ki bir uzay gemisi içindesiniz. Uzay gemisi içindeki basınç atmosfer basıncıyla aynı olup 1 atmosferdir. Elinizde de bu derste ilk etkinliğimizde kullandığımız marshmallow var. Bu marshmallowu elinize alıp uzay yürüyüşüne çıktınız. Biliyorsunuz ki atmosfer basıncı havanın ağırlığından kaynaklanıyor. Uzayda ise basıncın sıfır olduğunu kabul ediyoruz. Bu durumda marshmallowun hacmi nasıl değişir? Bir diğer durumda da marshmallowu alıp 30 m'ye daldığınızı düşünün (30 m'deki atmosfer basıncı yaklaşık 4 atmosferdir). Bu durumda marshmallowun hacmi nasıl değişir? (**Öğrencilerden beklenen cevap “uzay yürüyüşünde marshmallowun hacmi basınç düştüğünden artar, 30 m’ye daldığında ise basınç arttığından azalır” olacaktır.**)
- Bu etkinliklerden yeni bir şey öğrendiniz mi?

(12 dk)

**(NOT: Bu dersin tartışmaları 2. ders saatine de kayabilir. Bu yüzden her ihtimale karşın 2. ders saatinde fazladan 10 dakikalık bir zaman bırakıyorum.)**

## 6.

### Aktivite: Günlük Yazma

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Bu aktivite ile öğrencilerin kendi ve arkadaşlarının fikirlerini ve aralarındaki farklılıkları üstbilişsel olarak görüntülemesi ve öğrencilerin kendi fikirlerini üstbilişsel olarak değerlendirmesi sağlanmaya çalışılacaktır.

Ev ödevi olarak öğrencilerin aşağıdaki sorulara cevaplarını günlüklerine yazmaları istenir:

#### GÜNLÜK 16

- Şırınga-marshmallow etkinliğinde “marshmallowun davranışı” ve “basınç ile hacim arasında nasıl bir ilişki olduğu” ile ilgili tahminlerin nelerdi? Bu tahminlerin doğru muydu? Bu tahminlerini neleri düşünerek yaptın yani hangi etkenler mesela günlük hayattaki hangi olaylar bu tahminleri yapmanı sağladı?
- Şırınga-ağırlık etkinliğinde grup tartışmasından önce kendi başına çizdiğin grafik doğru muydu? Yanlışsa neden yanlış çizdiğini düşünüyorsun?
- Etkinliklerin sonucunda marshmallowun neden büyüdüğünü, basınç ile hacim arasındaki ilişki ile bunun grafikte gösterimini anladın mı? Anladığını nasıl biliyorsun (yani bir kavramı anlarken onu anlamış olduğundan nasıl emin oluyorsun)?
- Şırınga-ağırlık etkinliğinden önce günlük yazarken ikinci sorunuz şu şekildeydi: “Ağzı kapalı ve içinde hava bulunan şırınganın pistonu ileriye doğru itiliyor. Eğer şırınganın içindeki havayı oluşturan tanecikleri görebilseydiniz piston itilmeden önceki ve sonraki durumu maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmederdiniz? Taneciklerde bir değişiklik olur mu? Piston itilmeden önce ve itildikten sonra basıncı, ağırlığı ve özkütlesi nasıl değişir?” Bu sorulara verdiğin yanıtlar doğru muydu? Eğer yanlışların varsa nerede hata yaptığını düşünüyorsun?
- Bu etkinliklerden yeni şeyler öğrendin mi? Bunlar neler?
- Bu etkinliklerle ilgili grup ve sınıf tartışması sırasında senden daha farklı düşünen arkadaşların var mıydı? Kendi düşüncenle karşılaştığında sana daha anlamlı ve inandırıcı gelen fikirler var mıydı? Neden bu fikirler sana daha anlamlı ve inandırıcı geldi?
- Bu dersten sonra önceki düşüncelerinde bir değişiklik oldu mu? Önceki düşüncelerle şimdiki düşüncelerin arasındaki farklılıklar neler? Lütfen bunları örneklerle yazıp fikrinizi neden değiştirdiğinizi de açıklayınız. Değiştirmedığınız fikirleriniz varsa lütfen bunları da yazıp neden değiştirmedığınızı anlatınız.

## 2. DERS

### BOYLE-MARIOTTE KANUNU'NA DEVAM

**Süre:** 35 dakika (dersin 10 dakikası bir önceki ders için ayrıldı.)

#### DERSİN İŞLENİŞİ

1. Geçen dersimizde basınç ile hacim arasındaki ilişkiyi incelemiştik. Basınç ile hacim arasında nasıl bir ilişki bulmuştuk? Peki, bunu bir eşitlik olarak ifade etmemiz gerekirse nasıl ifade edebiliriz?

Bu sorular öğrencilere sorulur ve aşağıda verilen eşitliğin cevabı alınmaya çalışılır.

Alınmazsa etkinlikler ve çizdikleri grafik hatırlatılır:

- Şırınga-marshmallow etkinliğinde şırınganın pistonu geriye çekilince yani şırınga içindeki basınç azalınca marshmallowun hacmine ne olmuştu? (Öğrenciler hacmi artmıştı derlerse o halde basınç azalınca hacim artıyormuş denir.)
- Peki yaptığımız ikinci etkinlikte şırınganın pistonu üzerine çeşitli ağırlıklar koymuş ve bunu basınç olarak düşünüp, pistonun durduğu hacimle piston üzerine koyduğumuz ağırlıkları grafiksel olarak ifade etmiştik. Sonuçta nasıl bir ilişki bulmuştuk yani piston üzerine koyduğumuz ağırlıklar arttıkça pistonun durduğu hacme ne olmuştu? (Bu soruda da öğrencilerden basınç arttıkça hacim azalıyor cevabı alınmaya çalışılır.)

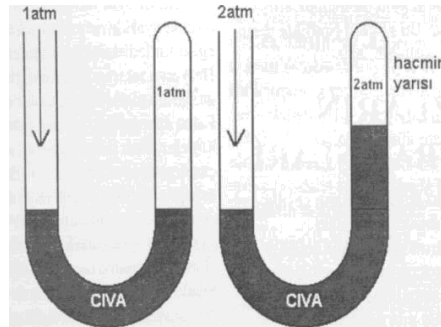
**Daha sonra öğrencilere “O halde geçen ders yaptığımız tüm etkinliklere göre basınç ile hacim arasında ters orantılı bir ilişki varsa bunu matematiksel olarak nasıl ifade edebiliriz?” sorusu sorulur ve birkaç öğrenciden yanıt alınarak aşağıdaki eşitlik tahtaya yazılır:**

$$P \propto 1/V \text{ ve } P V = k$$

(8 dk)

2. Bu eşitlik verildikten sonra basınç-hacim ilişkisini ilk defa bulan Boyle Mariotte'den bahsedilir. Figür 1 tahtaya çizilir:

Bizim bu etkinliklerden çıkardığımız basınç-hacim ilişkisini ilk defa Boyle Mariotte 1662'de bulmuş. Boyle, hava basıncının hacim üzerindeki etkilerini gözlemlemek için bir ucu kapalı U borusunun içine cıva koydu (bakınız Figür 1). Tabii cıvanın konulmasıyla bir miktar hava U borusunun kapalı ucunda sıkışmış oldu. Boyle daha sonra gerek havanın hacmini, gerekse konulan cıvanın yüksekliğini ölçmek için borunun iki tarafına ölçek yerleştirdi. Sıkışan havanın basıncı atmosfer basıncı (barometre ile ölçülüyor) ile cıva kolununun yaptığı basınca eşitti. Boyle, daha sonra U borusuna bir miktar daha cıva ekleyerek sıkışan havanın basıncını biraz daha arttırdı ve her seferinde de sıkışan havanın hacmini ölçtü. Bu hacmi hesaplarken sıkışan hava kolununun yüksekliği ile tüpün çapını kullandı.



**Figür 1** U borusu

Böylece, Boyle, sabit sıcaklıkta, bir miktar gazın hacmi azaltılınca, gazın basıncının arttığını buldu. Sabit sıcaklıkta sabit miktardaki bir gazın basıncı hacmi ile ters orantılıdır ve

buna **Boyle Kanunu** denir. Boyle Kanunu olarak tanımlanan basınç ve hacim arasındaki ilişkinin matematiksel ifadesi bizim etkinliklerle ilgili tahtaya yazdığımız ifade şeklindedir:

$$P \propto 1/V \text{ ve } P V = k$$

veya bu bağıntı aşağıdaki şekilde de yazılabilir:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = P_3 V_3 = \dots = k$$

**(Konuyla ilgili simülasyon öğrencilere gösterilir:**

**[http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Gas\\_Properties](http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Gas_Properties))**

(8 dk)

4. Bu eşitliklerin ardından tahtaya şırınga-ağırlık etkinliğindeki durum piston üzerinde ağırlıklar (bildiğimiz sürtünmesiz piston şekli olarak) olarak çizilir ve bulunan hacimler tahtaya yazılır. Tabii etkinlikteki piston sürtünmesiz piston olmadığından ölçümler ideal sonuçları yansıtmayacaktır. Bu öğrencilere bilgi olarak söylenir. Ve ideal durumdaki değerlerin  $P_1 V_1 = P_2 V_2 = P_3 V_3$  eşitliği yazılır. Ardından bu etkinliğin doğru grafiksel ifadesi (bakınız Grafik 1) tahtaya çizilir. Örnek 2 soru çözülür.



**Grafik 1** Basınç-hacim ilişkisi

(15 dk)

## DERS PLANI 8

### CHARLES KANUNU

**Aktivite:** Günlük Yazma ve Grup Tartışması

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Günlük yazma aktivitesi ile öğrencilerin ön bilgilerinin üstbilişsel farkındalığı sağlanmaya çalışılacak grup ve sınıf tartışması ile öğrencilerin kendi ve arkadaşlarının fikirlerini ve aralarındaki farklılıkları üstbilişsel olarak görüntülemesi ve öğrencilerin kendi fikirlerini üstbilişsel olarak değerlendirmesi sağlanmaya çalışılacaktır.

**Konu:**

- Charles Kanunu

**Kazanımlar:**

- Belli miktarda gazın basıncı sabitken sıcaklık-hacim; hacmi sabitken de sıcaklık-basınç ilişkisini irdeler (Charles Kanunu).
- Charles Kanunu'ndan yararlanarak mutlak sıcaklık eşelini açıklar.

**Süre:** 2 ders saati

### DERSİN İŞLENİŞİ

1. Bu derste öğrenciler iki etkinlik yapacaklar. Öğrenciler yine 5'erli gruplara ayrılırlar. Yapılacak iki etkinlikte de buz gerektiği için ilk etkinliği yaparken çok zaman kaybetmemeye çalışılacak. İlk etkinlikte öğrencilerin kullanacakları malzemeler aşağıdaki gibidir:

Malzemeler:

- 1 adet pet şişe
- 1 adet balon
- 1 adet plastik bardak
- 1 şişe buz
- Kaynatılmış su (Bunun için kettle kullanılabilir.)
- 1 adet termometre

Öğrencilere etkinliğin yapılışı anlatılır. Öğrencilere içi boş pet şişenin ağzına balon geçireceklerini ve önce kaynamış suyun içine daldırıp gözleyecekleri sonra da buzlu suyun içine daldırıp gözleyecekleri söylenecek. Bu aşamada öğrenciler sadece pet şişenin ağzına balonu geçirecekler.

**Açıklama:** Bu etkinlikle Charles Kanunu'nun pratikteki uygulaması gösterilmiş olur. Ağzına balon geçirilmiş olan pet şişe kaynamış suya daldırıldığında balon şişecek, buzlu suda ise balon pet şişenin içine doğru gider. Pet şişe kaynamış suya daldırıldığında içindeki hava ısınır, kinetik enerji artar, daha hızlı hareket eder ve pet şişe içindeki basınç artar ancak şişenin ağzındaki balonun hacmi artarak basıncı dengeler. Pet şişe buzlu su içine daldırıldığında ise pet şişe içindeki hava soğur, kinetik enerji azalır ve basınç düşer ancak bu kez balon hacmi küçülterek basıncı dengelemeye çalışır.

**(NOT: Bu açıklama öğrencilere yapılmayacak. Bu açıklama sadece öğretmenin bilgisi için yapılmıştır.)**

Öğrenciler ikinci etkinlikte ise aşağıdaki malzemeleri kullanacaklar:

Malzemeler:

- 1 adet balon

- Şişirilmiş balonu içine alabilecek derin bir kap
- Cetvel
- İp
- Makas
- Termometre
- Ağırlık (Balonun suyun içine dalmasını sağlamak için kullanılacak.)
- Mürekkebi çıkmayan CD kalem
- 1 şişe buz
- Kaynatılmış su (Bunun için kettle kullanılabilir.)
- Milimetrik kağıt

Daha sonra öğrencilere bu etkinlikte ise balonu şişirip (hatta balonun esnekliğini kazanması için etkinlikten önce öğrencilerin birkaç defa şişirmeleri iyi olur) bir ip ve cetvel yardımıyla çevresini ölçeceklerini, bunu kaydedeceklerini ve balona ipin sarıldığı kısmı CD kalem ile işaretleyecekleri söylenecek. Daha sonra balon bir ip yardımıyla ağırlığa bağlanarak önce buzlu su içine atılıp 3 dakika kadar bekletilecek ve ardından buzlu sudan çıkarılarak balonun daha önce CD kalem ile işaretli kısmı ip ve cetvel yardımıyla ölçülecek ve kaydedilecek. Bu işlem sırasında çok fazla vakit kaybedilmemesi gerekiyor. Ardından aynı balon ağırlıkla beraber kaynamış suyun içine daldırılacak ve yine 3 dakika kadar bekletildikten sonra kaynamış sudan çıkarılarak yine balonun daha önce CD kalem ile işaretli kısmı ip ve cetvel yardımıyla ölçülecek ve kaydedilecek. Ardından öğrencilere milimetrik kağıtlar verilerek bir eksen sıcaklık, bir eksen de hacim olmak üzere sıcaklık hacim grafiğini çizecekler.

Bu iki etkinlik de öğrencilere bu şekilde anlatılacak ancak öğrenciler bu etkinlikleri yapmadan önce yani ilk ve ikinci etkinlikte pet şişe ve balonu kaynamış ve buzlu su içine daldırmadan önce öğrenciler günlüklerine kendilerine sorulan soruların yanıtlarını yazacaklar.

(7 dk)

## 2.

**Aktivite:** Günlük Yazma

Öğrenciler bu etkinlikleri yapmadan önce aşağıdaki sorulara yanıtlarını bireysel olarak günlüklerine yazarlar:

## GÜNLÜK 17

**Pet şişe-balon etkinliği için:**

- Ağzına balon geçirilen pet şişe kaynamış suyun içine daldırılırsa balonun hacminde nasıl bir değişiklik olacağını düşünüyorsun? Neden öyle olacağını düşünüyorsun?
- Ağzına balon geçirilen pet şişe kaynamış suyun içine daldırıldıktan hemen sonra buzlu suyun içine daldırılırsa balonun hacminde nasıl bir değişiklik olacağını düşünüyorsun? Neden öyle olacağını düşünüyorsun?
- Çok basit olarak ağzına balon geçirilmiş pet şişeyi çizip pet şişe a) kaynamış suya daldırılmadan önce, b) kaynamış suya daldırıldıktan sonra ve c) buzlu suya konulduktan sonra balonun duruşu ve balon ile şişedeki taneciklerin dağılımını çizer misiniz? Tanecikler arası mesafe nasıl değişir?
  - Pet şişeyi a) kaynamış suya daldırılmadan önce, b) kaynamış suya daldırıldıktan sonra ve c) buzlu suya konulduktan sonra tartarsak içindeki havanın ağırlığı ve özkütlesi nasıl değişir?

## GÜNLÜK 18

### Balon etkinliği için:

- Balonun ucuna ağırlık bağlanarak buzlu suya daldırıldığında hacminde nasıl bir değişiklik olur? Neden öyle olacağını düşünüyorsun?
- Balonun ucuna ağırlık bağlanarak kaynamış suya daldırıldığında hacminde nasıl bir değişiklik olur? Neden öyle olacağını düşünüyorsun?
- Balonu a) buzlu suya daldırılmadan önce, b) buzlu suya daldırıldıktan sonra ve c) kaynamış suya konulduktan sonra tartarsak içindeki havanın ağırlığı ve özkütlesi nasıl değişir?
- Sıcaklık ve hacim arasında nasıl bir ilişki olduğunu düşünüyorsun? Sıcaklık-hacim arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak bir eksen sıcaklık, bir eksen hacim olacak şekilde çizer misin?

(20 dk)

## 2.

### Aktivite: Grup Tartışması

Öğrenciler günlüklerini yazdıktan sonra grupça etkinlikleri gerçekleştirirler. İlk etkinlik için ağızına balon geçirilmiş pet şişeyi önce kaynamış suya daldırıp balonun hacmindeki değişimi gözlerler ve hemen ardından buzlu suya daldırıp gözlem yaparlar ve gözlemlerini bir kağıda yazarlar. Ardından öğrenciler günlüklerine yazdıkları yanıtları tartışır ve grup olarak ağızına balon geçirilmiş pet şişeyi çizip pet şişe a) kaynamış suya daldırılmadan önce, b) kaynamış suya daldırıldıktan sonra ve c) buzlu suya konulduktan sonra balonun duruşu ve balon ile şişedeki taneciklerin dağılımını çizerler.

Daha sonra öğrenciler ikinci etkinliğe geçerler. İkinci etkinlik için ilk maddede anlatılanları yaparlar ve gruplara dağıtılan milimetrik kağıtlara gruplarına ait grafikleri çizerler. Bu sırada öğrenciler günlüklerine yazdıkları yanıtları da tartışır.

Öğretmen bu sırada gruplar arasında gezip grupların günlüklerine yazdıklarını tartışmalarını ve grup olarak grafiklerini çizerken herkesin düşüncelerini söylemeleri için rehberlik eder.

Grup tartışmaları gruplardaki ses kayıt cihazlarına kaydedilir. Grup tartışması öncesi grup üyeleri isimlerini ses kayıt cihazına söyler ve grup tartışmaları sırasında öğrenciler konuşmadan önce mümkün olduğunca isimlerini de söyler.

(15 dk)

## 2. DERS (45 DAKİKA)

4. Gruplar yaptıkları iki etkinlikle ilgili fikirlerini içlerinden seçtikleri temsilcilerle sınıfa sunarlar. Bu sırada öğretmen aşağıdaki soruları yöneltebilir. Öğretmen öğrencilerin doğru yanıtı bulmalarına rehberlik eder:

- Bu iki etkinliği sizce neden yaptık?
- Yaptığımız etkinliklerde pet şişeyi ve balonu kaynamış suya daldırdığımızda balonun hacmi artarken buzlu suda neden balonun hacmi küçüldü?
- Peki tüm bu etkinliklere göre sıcaklık ile hacim arasında nasıl bir ilişki olduğunu düşünüyorsunuz?
- Yaptığımız etkinliklerde pet şişeyi ve balonu buzlu suya ve kaynamış suya daldırdığımızda taneciklerde bir değişiklik olur mu? Tanecikler arası mesafe nasıl değişir? Sıcak suda tanecikler büyür mü? **(Öğrencilerden beklenen cevap taneciklerde bir değişim olmayacağı ama tanecikler arası mesafenin değişeceği.)**
- Yaptığımız iki etkinlik için pet şişe-balon ve balonu a) kaynamış suya daldırılmadan önce, b) kaynamış suya daldırıldıktan sonra ve c) buzlu suya konulduktan sonra tartarsak içindeki havanın ağırlığı ve özkütlesi nasıl değişir? Soğuk hava mı ağırdır, sıcak hava mı? **(Öğrencilerden beklenen cevap; ağırlıkta bir değişim olmayacağı, ancak**

**özkütle için eğer ilk etkinlikteki pet şişe-balonu da ikinci etkinlikteki balon gibi esnek kabul edersek kaynamış suya daldırıldıktan sonra hacim artıp kütle sabit kalacağı için özkütlenin azalacağı fakat buzlu suya daldırıldığında hacim azalıp kütle sabit kalacağı için özkütlenin artacağı şeklindedir.)**

- Düşünün ki anneniz reçel yaptı ve cam kavanozlara doldurup dolaba koydu. Siz de ertesi sabah kahvaltı hazırlamak için uyandınız ve reçeli dolaptan çıkardınız ancak kapak öyle sıkışmış ki bir türlü açamıyorsunuz. Bir anda önceki gün derste gazları gördüğünüzü ve bu duruma çözüm olabilecek bir şey aklınıza geliyor. Kavanozun üzerine biraz sıcak su döküyorsunuz kapağı kolayca açıyorsunuz. Peki, sizce kapağın sıkışma nedeni ve sıcak su dökünce açılmasının nedeni nedir? (**Açıklama: Kavanozun kapağının sıkışmasının nedeni reçelle kapak arasındaki havada buharın yoğunlaşması ve bunun ani basınç düşüşüne neden olması ve kavanoz içindeki basıncın açık hava basıncından düşük olması nedeniyle de kapağın basıncı dengelemek için bir miktar içeriye doğru esnemesidir. Daha sonra sıcak su dökülünce yoğunlaşan buhar tekrar gaz haline geçer ve iç ve dış basınç dengelenir. Bu durumda da kapak rahatça açılır.**)
- Ayşe .....şeklinde düşünüyor. Ahmet ise ..... şeklinde düşünüyor. Sizce kimin fikri bu sonucu daha iyi açıklıyor? Neden?

(15 dk)

5. Peki yaptığımız etkinlikler sonucunda hacim ile sıcaklık arasında bulduğumuz ilişkiyi matematiksel olarak nasıl ifade edebiliriz?

Birkaç öğrenciden yanıt alınarak aşağıdaki eşitlikler tahtaya yazılır:

$$V \propto T \text{ ve } V = kT$$

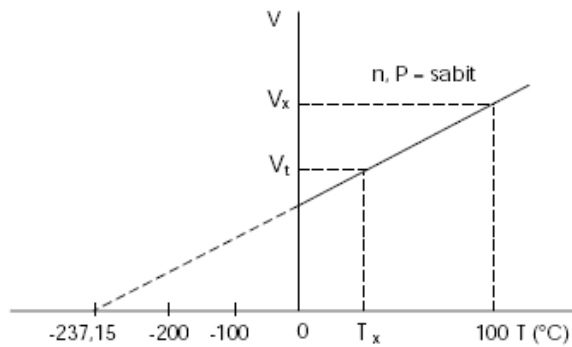
$$V_1/T_1 = V_2/T_2$$

Sabit basınç altında belli miktardaki bir gazın hacmiyle sıcaklığı arasındaki ilişkiyi ilk defa Jaques Charles tarafından 1787’de incelendi. Sabit basınçta, belli bir miktar gazın hacmiyle sıcaklığı doğru orantılıdır ve buna **Charles Kanunu** denir.

**(Konuyla ilgili simülasyon öğrencilere gösterilir:**

**[http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Gas\\_Properties](http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Gas_Properties))**

Daha sonra sıcaklık-hacim arasındaki ilişkiyi ifade eden grafik tahtaya çizilir (bakınız Grafik 1):



**Grafik 1** Gaz hacminin sıcaklıkla değişimi

Ayrıca tahtaya sıcaklık birimini Kelvin olarak da grafik çizilir. Ardından da mutlak sıfır noktası ile ilgili durumun açıklamasına geçilir:

Grafikten de görüleceği üzere doğru uzatıldığında sıcaklık eksenini  $-273,15^{\circ}\text{C}$ 'ta kestiği görülür. Bu durumu ilk kez İskoç Fizikçi Lord Kelvin fark ederek en düşük sıcaklık



olan  $-273,15^{\circ}\text{C}$ 'ye **mutlak sıfır noktası** olarak tanımlamıştır. Mutlak sıfır noktasını başlangıç noktası olarak alan sıcaklık ölçeğine **Kelvin (mutlak) sıcaklık ölçeği** adı verilmiştir.

Mutlak sıfır noktası (0 Kelvin ya da  $-273,15^{\circ}\text{C}$ ), moleküllerin toplam enerjisinin en düşük değere sahip olduğu sıcaklıktır. Yani, maddeyi daha fazla soğutmanın artık mümkün olmadığı noktadır. Dikkat etmemiz gereken nokta, en düşük sıcaklığın sadece en düşük enerji anlamına gelmesidir, en düşük hareket değil. İlk önce, her maddenin atomlarının en düşük sıcaklıkta bile bir titreşim hareketi yaptığını belirtmemiz gerekiyor. "Sıfır noktası hareketi" olarak adlandırılan bu olay tamamen bir kuantum etkisidir. Hatırlarsanız "Atomun Yapısı" ünitesinde Kuantum Mekanikliği'nin tarihsel gelişiminde Heisenberg Belirsizlik İlkesi'nden bahsetmiştik. Bu hareketin varlığını anlamak için kuantum belirsizlik ilkesi kullanılır: Bir cismin hareket etmemesi hızının sıfır olması anlamına gelir, yani hızda herhangi bir belirsizlik yoktur. Belirsizlik ilkesine göre konum ve hızdaki belirsizliklerin çarpımı belli bir değerden büyük olmak zorundadır. Bu durumda konumun belirsizliğinin sonsuz olması gerekir. Ki bu mümkün değildir çünkü konumun belirsizliğinin sonsuz olması demek ise o atomun hareketli olduğunu gösterir.

Bu bilginin ardından öğrencilere yapılan bilimsel çalışmalarda mutlak sıfır noktasına erişilip erişilmediği sorulur ve aşağıdaki açıklama yapılır:

Şu ana dek bu sıcaklığa ulaşılamamış. Evrendeki en düşük sıcaklıkların, galaksiler arasındaki boşlukta yer alması beklenir. Nitekim dünyadan 5000 ışık yılı mesafedeki Boomerang Nebula'sındaki sıcaklığın  $-272$  santigrat ( $1,15\text{ K}$ ) olduğu belirlenmiş bulunuyor. Dünyadaki, laboratuvar dışında ölçülmüş olan en düşük sıcaklık ise, 21 Temmuz 1983 tarihinde Antarktika'daki bir Rus istasyonunda  $-89,4$  santigrat derece olarak ölçülmüş. Halbuki laboratuvarlarda çok daha düşük sıcaklıklara inilebiliyor. 2003 yılı itibariyle laboratuvarlarda başarılmış olan en düşük sıcaklık  $4,5 \times 10^{-10}\text{ K}$  (450 pikokelvin).

Peki, mutlak sıfır noktasının altına inilmesi mümkün müdür?

Mutlak sıfır noktasının altına inilmesi mümkün değil. Çünkü mutlak sıfırda madde, mümkün olan en düşük enerji düzeyine oturmuş oluyor.

Bu sorulardan sonra Celsius ve Kelvin sıcaklık ölçeği arasındaki ilişki verilir:

Sıcaklıklar genelde Celsius ölçeğine göre ölçülür fakat hesaplamalarda Kelvin'e dönüştürülerek kullanılır böylelikle negatif sayılarla uğraşılmamış olur.

$T (\text{K}) = t (^{\circ}\text{C}) + 273,15$  Fakat hesaplamalarda kolaylık olsun diye  $273,15$  değeri  $273$  olarak alınır.

Daha sonra Gay-Lussac Kanunu'nu anlatmak için çok basit bir gösteri deneyi yapılır. İçi boş bir pet şişe ağzı açık olarak buzlu suda soğutulur. 1 dakika bekletildikten sonra buzlu sudan çıkarılır. Şişenin kapağı ters çevrilir ve şişenin ağzına konmadan önce şişenin üzerinden kaymasını önlemek için üzeri suyla biraz ıslatılır. Birkaç saniye sonra öğrenciler şişenin üzerindeki kapağın oynadığını görecekler. Bu sırada öğrencilere aşağıdaki sorular yöneltilir:

- Sizce kapak neden oynuyor?
- Basınç ile sıcaklık arasında nasıl bir ilişki olabilir? NOT: Burada öğrencilerin yanıldığı noktalar var:

-Sıcaklık artınca hacim artar basınç azalır.

-Basınç arttıkça hacim artar, basınç artar.

Burada öğrenciler balonu sabit basınçlı olarak düşünmüyorlar, hataları buradan kaynaklanıyor. Bu yüzden aşağıdaki soru öğrencilere sorulabilir:

-Düdüklü tencere ve balonda sıcaklık-hacim-basınç ilişkisi nasıldır?

Bunun ardından Gay Lussac Kanunu anlatılır: Charles Kanunu'nun matematiksel ifadesindeki orantıya benzer bir orantı da sabit hacimde belirli miktarda gazın basıncı ile sıcaklığı arasında vardır. Buna göre sabit hacimde bir gazın basıncı sıcaklık arttırıldığında artar, azaltıldığında azalır:

$$P \propto T \text{ ve } P = kT$$

$$P_1/T_1 = P_2/T_2$$

Daha sonra Charles ve Gay-Lussac ile ilgili 1'er örnek soru çözülür.

Örnek soruların çözülmesinin ardından "Mutlak Sıcaklığın Molekül Hızlarının Dağılımına Etkisi"ne geçilir:

Gazların Kinetik Teorisi'nde de bahsettiğimiz gibi taneciklerin ortalama kinetik enerjisi mutlak sıcaklıkla doğru orantılıdır. Taneciklerin kinetik enerjisinin matematiksel ifadesi şu şekildeydi:

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2$$

Taneciklerin ortalama kinetik enerjisi mutlak sıcaklıkla doğru orantılı olduğundan aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{3}{2} kT; \quad k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

Bir gazın 1 molünün toplam kinetik enerjisi ise  $\frac{3}{2} RT$ 'ye eşittir.

$\frac{1}{2} mV^2 = \frac{3}{2} RT$ ; Eşitlikteki "m" yerine " $M_A$ " yazılabilir çünkü 1 molün kütlesi molekül kütlesine eşittir:

$$v^2 = 3RT/M_A; \quad R = 8,314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$$

Bu denklemde gaz moleküllerinin hızının sıcaklığa ve molekül kütlesine bağlı olarak değiştiği görülmektedir.

Denklem verildikten sonra örnek soru çözülür.

(30 dk)

## 6.

**Aktivite:** Günlük Yazma

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Bu aktivite ile öğrencilerin kendi ve arkadaşlarının fikirlerini ve aralarındaki farklılıkları üstbilişsel olarak görüntülemesi ve öğrencilerin kendi fikirlerini üstbilişsel olarak değerlendirmesi sağlanmaya çalışılacaktır.

Ev ödevi olarak öğrencilerin aşağıdaki sorulara cevaplarını günlüklerine yazmaları istenir:

### GÜNLÜK 19

- Bu derste iki etkinlik yaptınız. İlk etkinlikte içinde hava olan bir pet şişenin ağzına balon geçirip önce kaynamış suya sonra da buzlu suya daldırdınız ve balonun hacmindeki değişikliği gözlemlediniz. İkinci etkinlikte ise bir balon alıp şişirdiniz ve önce oda sıcaklığındaki çevresini ölçtünüz. Ardından önce buzlu suya sonra kaynamış suya daldırıp bir süre bekledikten sonra çevrelerini ölçüp kaydettiniz. Aldığımız verilere göre de sıcaklık hacim arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak çizdiniz. Yaptığımız bu etkinliklerden neler öğrendin?
- Sence neden Charles Kanunu'nu öğreniyoruz? Bunların günlük hayatta sana nasıl yardımcı olacağını düşünüyorsun?
- Pet şişe-balon etkinliğinde ağzına balon geçirilen pet şişe kaynamış suyun ve buzlu suyun içine daldırılırsa balonun hacminde nasıl bir değişiklik olacağı, taneciklerin pet şişe ve balon içindeki dağılımı ve pet şişeyi a) kaynamış suya daldırılmadan önce, b) kaynamış suya daldırıldıktan sonra ve c) buzlu suya konulduktan sonraki tartımları ve özkütleleri ile ilgili tahminlerin nelerdi? Bu tahminlerin doğru muydu? Bu tahminlerin

doğru muydu? Bu tahminlerini neleri düşünerek yaptın yani hangi etkenler mesela günlük hayattaki hangi olaylar bu tahminleri yapmanı sağladı?

- İkinci etkinlikte balon buzlu suya ve kaynamış suya daldırıldığında hacim değişimi, balon a) buzlu suya daldırılmadan önce, b) buzlu suya daldırıldıktan sonra ve c) kaynamış suya konulduktan sonra tartım sonuçları, özkütleleri ve hacim-sıcak arasındaki ilişkinin grafiksel gösterimi ile ilgili tahminlerin nelerdi? Bu tahminlerin doğru muydu? Bu tahminlerin doğru muydu? Bu tahminlerini neleri düşünerek yaptın yani hangi etkenler mesela günlük hayattaki hangi olaylar bu tahminleri yapmanı sağladı?
- Hacim ile sıcaklık arasındaki ilişkiyi anladın mı? Grup ve sınıf tartışmalarından önce hacim ve sıcaklık arasındaki ilişkiyi nasıl düşünüyordun?
- Bu etkinliklerle ilgili grup ve sınıf tartışması sırasında senden daha farklı düşünen arkadaşların var mıydı? Kendi düşüncenle karşılaştığında sana daha anlamlı ve inandırıcı gelen fikirler var mıydı? Neden bu fikirler sana daha anlamlı ve inandırıcı geldi?
- Bu etkinlikten sonra önceki düşüncelerinde bir değişiklik oldu mu? Önceki düşüncelerine şimdiki düşüncelerin arasındaki farklılıklar neler? Lütfen bunları örneklerle yazıp fikrinizi neden değiştirdiğinizi de açıklayınız. Değiştirmedeğinizi fikirleriniz varsa lütfen bunları da yazıp neden değiştirmedeğinizi anlatınız.

## DERS PLANI 9

### AVOGADRO KANUNU VE İDEAL GAZ DENKLEMİ

Bu konu klasik tarzda anlatılıp problem çözümleri yapılacak. Yalnız ideal gaz denklemi verildikten hemen sonra ünitenin başında yapılan poster etkinliğine geri dönülecek ve öğrencilerin posterlerinde yapmak istedikleri değişiklikleri yapacaklar. Bu etkinlik için 20 dakika ayrılacak.

#### **Konu:**

- Avogadro Kanunu
- İdeal Gaz Denklemi

#### **Kazanımlar:**

- Belli sıcaklıkta bir gazın, sabit basınç altında mol sayısı-hacim ve sabit hacimde iken mol sayısı-basınç ilişkisini açıklar (Avogadro Kanunu).
- İdeal gaz denklemini kullanarak bir gazın, basıncı, kütlesi, mol sayısı, hacmi, yoğunluğu ve sıcaklığı ile ilgili hesaplamaları yapar.

**Süre:** 3 ders saati

### **1. DERS**

#### **DERSİN İŞLENİŞİ**

**1. Avogadro Kanunu (hacim-mol ilişkisi)** verilir: Sıcaklığın ve basıncın sabit tutulduğu bir ortamda gazın hacmiyle miktarı doğru orantılıdır. Bu ilişkinin matematiksel olarak ifadesi:

$$V = k n$$

$$V_1/n_1 = V_2/n_2$$

Bu eşitlikle beraber hacim-miktar ilişkisi grafiği de tahtaya çizilir.

Sabit sıcaklık ve basınçta ideal gazların belli miktarının kapladığı hacim ölçümleri ile ilgili deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda gazın cinsine bakılmaksızın belli sayıdaki gaz moleküllerinin aynı hacmi kapladığı görülmüştür. Bu durum Avogadro'nun ileri sürdüğü "eşit hacimde eşit sayıda tanecik" ifadesinin gerçekleştiğini göstermiştir. Bu ifadeden bütün gazların aynı koşullarda bir molünün hacminin birbirine eşit olduğu anlaşılmaktadır. Gazlar için belirtilen bu basınç ve sıcaklık koşulları **standart koşul** ya da **normal koşullar (NK)** olarak adlandırılır. 1 mol ideal gaz için normal koşullarda sıcaklık 0 °C (273 K), basınç 1 atm'dir. 1 mol ideal gazın normal koşullardaki hacmi 22,4 L olarak ölçülmüştür.

(7 dk)

#### **2. İdeal Gaz Denklemi**

İdeal gaz denkleminin gaz kanunlarına göre türetilmesi anlatılırken ilgili etkinlikler de hatırlatılır. Böylelikle öğrencilerin yapılan etkinliklerle bağlantı kurmaları sağlanır.

Boyle Kanunu'nda T ve n sabit, V ile P arasındaki ilişki;

$V \propto 1/P$  şeklindedir.

Charles Kanunu'nda ise P ve n sabit, V ile T arasındaki ilişki;

$V \propto T$ 'dir.

Avogadro Kanunu'nda P ve T sabit, V ile n arasındaki ilişki;

$V \propto n$  şeklindedir.

Bu ilişkileri tüm bu değişkenleri- V, P, n, T- içerecek şekilde tek bir eşitlikte nasıl ifade edilebilir?

Öncelikle bu 4 değişkeni içeren orantıyı yazmaya çalışalım. (Bu sırada bu orantı ile ilgili öğrencilerin de görüşleri alınır.)

Birkaç öğrenciden yanıt alındıktan sonra orantı tahtaya yazılır:

$$V \propto nT/P$$

Peki, orantı yerine orantı sabiti konularak eşitlik tekrar düzenlendiğinde hangi denklem ortaya çıkar? Öğrencilerden yanıtlar alındıktan sonra öğrencilerin de katılımıyla ideal gaz denklemini tahtaya yazılır:

$$P V = n R T; \quad R: \text{orantı sabiti (gaz sabiti)}$$

R gaz sabitinin değeri 1 mol gazın NK'daki hacim (22,4 L), sıcaklık (0 °C) ve basınç (1 atm) değerleri ideal gaz denkleminde yerine konularak bulunabilir:

$$1 \text{ atm} \times 22,4 \text{ L} = 1 \text{ mol} \times R \times 273 \text{ K}$$

$$R = 0,0821 \text{ atm L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

İdeal gaz denklemini kullanılarak gaz haldeki maddenin molekül kütlesi ve yoğunluğu da bulunabilir. Denklemde mol sayısı yerine  $n = m/M_A$  ifadesi yazıldığında  $P V = m/M_A R T$  eşitliği ortaya çıkar. Eşitlik düzenlendiğinde;

$$M_A = mRT/P V \text{ elde edilir.}$$

Bir gazın yoğunluğu  $d = m/V$  formülü ile gösterilir. İdeal gaz denkleminde gerekli düzenlemeler yapılarak;

$$P V = m/M_A R T; \quad P M_A = m/V R T \text{ eşitliği elde edilir. Eşitlikte } m/V \text{ yerine } d \text{ konularak;}$$

$$P M_A = dRT \text{ eşitliği elde edilir.}$$

(10 dk)

### 3. Postere Dönüş

Öğrencilere posterleri tekrar dağıtılır ve aşağıdaki soruları düşünmeleri istenir:

- Posterinizde değiştirmek istediğiniz yerler var mı?
- Posterinize eklemek ya da posterinizden silmek istediğiniz neler var?
- Posterinizde yaptığımız değişiklikleri neden yaptınız?

Öğrenciler bu soruları dikkate alarak grupları ile posterler üzerinde tekrar tartışırlar. Ses kayıt cihazı bu sırada yine her grupta devrede olur. Eğer öğrenciler yeni bir poster çizmek isterse çizebilirler.

Bu grup tartışmasından sonra gruplar yine posterlerinde yaptıkları değişiklikleri anlatmak üzere sınıfa sunumlarını yapar.

(25 dk)

Eğer süre artarsa ideal gaz denklemini ile ilgili örnek soru çözümüne geçilir.

## **2. ve 3. DERS saatinde ideal gazlarla ilgili problem çözümüne devam edilir.**

## DERS PLANI 10

### GAZ KARIŞIMLARI

Bu konu klasik tarzda anlatılıp problem çözümleri yapılacaktır.

#### Konu:

- Gaz Karışımları

#### Kazanımlar:

- Kısmi basınç ve kısmi hacim kavramlarını açıklar.
- Gaz karışımları ile ilgili hesaplamaları yapar.

**Süre:** 2 ders saati

### 1. DERS

#### DERSİN İŞLENİŞİ

##### 1. Dalton'un Kısmi Basınçlar Kanunu

Derse bir soruyla başlanır:

- Sizce kısmi basınç ne demektir? (Öğrencilerden yanıtları alınır ve cevabını bu derste öğrenecekleri söylenir.)

Çevremizde bulunan gazların çoğu karışım halindedir. Örneğin, hava bir gaz karışımıdır ve içinde yaklaşık olarak %78 azot, %21 oksijen ve %1 diğer gazların karışımından oluşur. Dalton 1801 yılında kuru havanın (içinde su buharı olmayan hava) içine su buharı eklemiş ve toplam basıncın eklenen su buharının basıncı kadar arttığını gözlemlemiştir:

$$P_T = P_{\text{kuru hava}} + P_{\text{su buharı}}$$

Yani karışımın toplam basıncı karışımı oluşturan gazların kısmi basınçları toplamına eşitti. Dalton'un yapmış olduğu bu çalışma daha sonra **Dalton Kısmi Basınçlar Kanunu** olarak adlandırıldı: Birbiriyle reaksiyona girmeyen gaz karışımının **toplam basıncı**, karışımı oluşturan gazların kısmi basınçları toplamına eşittir. Bu kanunun matematiksel olarak ifadesi:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$

Burada geçen "kısmi basınç" terimi herbir gazın kendi başına uyguladığı basıncı ifade eder. Tabii burada gazın ideal gaz olduğunu unutmayalım!

- Peki, ideal gaz ne demektir? (Öğrencilere bu ünitenin başında bunu gördükleri hatırlatılır. İdeal gaz tanımını yapamazlarsa gazların kinetik teorisindeki varsayımları söylemeleri istenir ve cevaplarıyla bağlantılı bir şekilde ideal gaz tanımı tekrar verilir.)

Molekülleri arasında birbirinin davranışından etkilenmeyen ve aralarında çekim kuvveti olmayan gazlara *ideal gazlar* diyorduk. Gaz karışımındaki gazların kabın çeperiyle çarpışırken birbirlerinden etkilenmediklerini yani her gazın birbirinden bağımsız olarak basınç uyguladıklarını ve bu basınçlar toplamının gaz karışımının toplam basıncını oluşturduğunu düşünüyoruz. Bu konudan sonra gerçek gazları da göreceğiz. Daha önce de söylediğimiz gibi doğada hiçbir gaz ideal değildir ancak ideale yakın davranır. Ancak pratikteki uygulamalar için gazları ideal olarak düşünüyoruz.

Bir karışımı oluşturan gazların sıcaklıkları aynıdır. Eğer sabit hacimli bir kaptaysalar nasıl bir eşitlik yazabiliriz? (Öğrencilerden yanıt alınmaya çalışılır ve eşitlik tahtaya yazılır.)

Önce ideal gaz denklemi yazılır ve hacim ve sıcaklığın sabit olduğu belirtilir:

$$P V = n R T; V \text{ ile } T \text{ sabit}$$

Örneğin, kapta hidrojen ve helyum gazından oluşan bir karışım varsa;

$$P_{H_2} V_T / P_T V_T = n_{H_2} R T / n_T R T$$

$$P_{H_2} / P_T = n_{H_2} / n_T \text{ orantısına elde edilir.}$$

Elde edilen  $n_{H_2} / n_T$  oranısı **mol kesridir** ve  $X_{H_2}$  ile gösterilir.

**Mol kesri**, gaz karışımındaki bir gazın mol sayısının, karışımındaki bütün gazların mol sayıları toplamına oranıdır. Herhangi bir gaz karışımındaki bütün gazların mol kesirleri toplamı daima 1'e eşittir.

Sıcaklığın sabit olduğu durumda ve toplam basınç altında, karışımındaki her bir gazın tek başına doldurduğu hacim **kısmi hacim** olarak bulunabilir.

$$V_{H_2} / V_T = n_{H_2} / n_T$$

İdeal gaz karışımında kısmi basıncın toplam basınca oranı ile kısmi hacmin toplam hacme oranı birbirine ve mol kesrine eşittir.

$$P_{H_2} / P_T = V_{H_2} / V_T = n_{H_2} / n_T = X_{H_2}$$

n tane gazdan oluşmuş bir karışım için,

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n; \quad n_T = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_n \text{ yazılabilir.}$$

$P_T$  ve  $n_T$  birbirine oranlanırsa, eşitlikleri de birbirine oranlanabilir.

$$P_T / n_T = P_1 / n_1 = P_2 / n_2 = P_n / n_n$$

Örnek soru çözümüne geçilir.

Birinci dersin sonuna doğru öğrencilere aşağıdaki soru sorulur:

➤ Kısmi basıncı dersten önce nasıl düşünüyordunuz? Fikrinizi değiştirdiniz mi?

(45 dk)

## **2. DERS**

“Gazların Su Üstünde Toplanması” konusundan bahsedilir:

Su üzerinde gaz toplama yöntemi karışımlardaki gazları saf olarak elde etmek için kullanılır. Dalton'un kısmi basınçlar kanunu, su üzerinde toplanan gazların basıncının hesaplanmasında da kullanılır. Örneğin, oksijen gazı elde etmek için  $KClO_3$  (Potasyum Klorat) ısıtılır ve açığa çıkan oksijen gazı bir düzenek ile su dolu tüp içinde toplanır. Toplanan oksijen gazı saf değildir. Çünkü tüpte su buharı da vardır. Toplam gaz basıncı, oksijen gazının kısmi basıncı ile su buharının kısmi basıncının toplamına eşittir.

$$P_T = P_{O_2} + P_{\text{su buharı}}$$

Su buharının basıncı sıcaklığa bağlıdır. Toplam basınç hesaplanırken suyun o sıcaklıktaki buhar basıncı bilinmelidir. Bunlar sorularda sizlere verilir.

Daha sonra “bağıl nem” tanımı ve formülü verilir:

Bağıl nem, su buharı kısmi basıncının aynı sıcaklıkta suyun buhar basıncına oranıdır ve % ile tanımlanır.

$$\text{Bağıl nem} = \text{Su buharının kısmi basıncı} / \text{Suyun buhar basıncı} \times 100$$

Soru çözümüne geçilir. Sorular hem kısmi basınç hem de şimdiye dek görülen kısımlarla ilgili olabilir.

## DERS PLANI 11

### GERÇEK GAZLAR

**Aktivite:** Günlük Yazma ve Düşün-Eşleş-Paylaş (Think-Pair-Share)

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Günlük yazma aktivitesi ile öğrencilerin ön bilgilerinin üstbilişsel farkındalığı sağlanmaya çalışılacak Düşün-Eşleş-Paylaş ile öğrencilerin kendi ve arkadaşlarının fikirlerini ve aralarındaki farklılıkları üstbilişsel olarak görüntülemesi ve öğrencilerin kendi fikirlerini üstbilişsel olarak değerlendirmesi sağlanmaya çalışılacaktır.

**Konu:**

- Gerçek Gazlar

**Kazanımlar:**

- İdeal gaz kavramının fiziksel gerçekliğini irdeler.
- Gazların hangi hallerde ideallikten uzaklaştığını fark eder.
- Gerçek gazların sıvılaşması sürecini moleküller arası bağlar ile ilişkilendirir.
- Gerçek ve ideal gazlarda Joule-Thomson olayını açıklar.
- Joule-Thomson olayının gündelik hayatta uygulamalarına örnekler verir.
- “Gaz” ve “buhar” kavramları arasında ayırım yapar.

**Süre:** 2 ders saati

### 1. DERS

#### DERSİN İŞLENİŞİ

**1.**

**Aktivite:** Günlük Yazma

Derse başlamadan önce öğrencilerin aşağıdaki sorular için cevaplarını bireysel olarak günlüklerine yazmaları istenir:

**GÜNLÜK 20**

- İdeal gaz ve gerçek gaz ne demektir?
  - Doğada ideal gaz var mıdır? Örnekle açıkla mısınız?
  - Gazlarla ilgili problemleri çözerken gazları neden ideal olarak düşünüyoruz?
- (8 dk)

**2.**

Öğrenciler günlüklerini yazdıktan sonra yanlarındaki arkadaşlarıyla fikirlerini tartışırlar. Öğrencilere daha sonra 2’li gruplardaki düşüncelerini sınıfa sunacakları söylenir. **(Bu sırada 2’li gruplarda takip edilen öğrencilerin bulunması daha iyi olur. Ses kayıt cihazları öncelikle bu öğrencilerin bulunduğu masalara konulmalı artan ses kayıt cihazları da diğer masaları içerecek ortak yerlere konur. Bu sırada öğretmen masaları gezerek öğrencilerin fikirlerini tartışmalarına rehberlik eder.)**

(5 dk)



### 3. (Bu kısım dersin kalan 32 dakikasında anlatılır.)

Öğrenciler 2'li gruplardaki fikirlerini 1'er dakikalık sürede sınıfa sunarlar. Bu sırada öğretmen öğrencilerden gelen yanıtlara göre sorular yöneltir. Daha sonra öğrencilerin de yanıtları dahil edilerek konunun açıklamasına geçilir:

- İdeal gaz ne demektir? (Öğrencilere geçen ders de bu konu üzerinde durulduğu hatırlatılır. Yanıt alınmazsa aşağıdaki soru sorulur.)
- Kinetik teorinin varsayımlarını ilk derslerde görmüştük. Bunları sayabilir misiniz? (Öğrencilerin maddeleri saymaları beklenir eğer yanıt alınmazsa söylenir.)

Kinetik teori varsayımları:

1. Bir kap içinde gaz molekülleri birbirinden çok uzaktır. Gaz molekülleri arasındaki uzaklığın yanında moleküllerin hacmi ihmal edilebilir.
2. Gaz molekülleri, sürekli ve geliş-güzel hareket ederken aynı zamanda birbirleriyle ve kabın çeperleriyle çarpışırlar (Brown Hareketi). Bu çarpışmalar hızlı ve esnek (Esnek çarpışmalarda enerji kaybı olmaz).
3. Moleküller arasında çarpışma sırasında oluşan zayıf kuvvetlerden başka kuvvetlerin olmadığı kabul edilir.
4. Farklı gazların aynı sıcaklıkta moleküllerinin ortalama kinetik enerjileri birbirine eşit ve sıcaklıkla doğru orantılıdır.

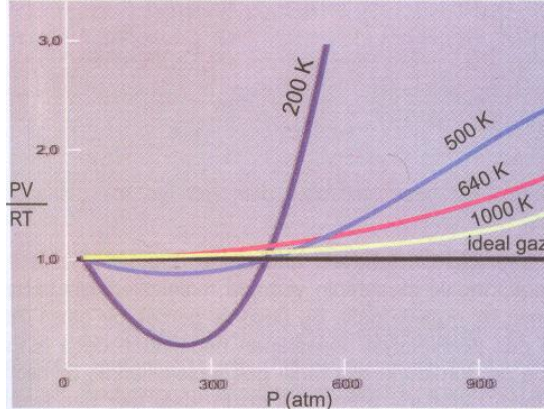
Kinetik teori varsayımlarına uyan gazlara ideal gaz demiştik. Molekülleri arasında birbirinin davranışından etkilenmeyen ve aralarında çekim kuvveti olmayan gazlara *ideal gazlar* denir. İdeal gazlarda toplam hacim yanında gaz moleküllerinin hacmi çok küçük olduğundan gaz moleküllerinin hacmi ihmal edilebilir. Oysaki gazlar sıvılaşılabiliyordu! Demek ki tüm gazlar ideal değil. İdeallikten sapan gazlar da var. Mesela oda sıcaklığında sürtünmesiz hareket edebilen pistonla kapatılmış iki silindir kap içinde belli miktarda CO<sub>2</sub> ve He gazları bulunmaktadır. Silindir içinde bulunan gaz molekülleri basıncın etkisiyle sıkıştırılmıştır. Bu sıkıştırılma sonucunda CO<sub>2</sub> gazının bir süre sonra sıvılaştığı, He'nin ise gaz halinde kaldığı görülüyor. Bu iki gazın göstermiş olduğu davranış farkı, ancak moleküller arası boşluklarla ve moleküller arası çekme kuvveti ile açıklanır. Ortam sıcaklığı ve basınç etkisiyle birbirlerine yaklaşan moleküller arasındaki çekme kuvvetinin etkin olduğu durumda gaz sıvı hale geçer. Moleküller arası etkileşimi olan ve moleküllerin birbirinden etkilendiği gazlara *gerçek gazlar* denir. Doğada bulunan gazların hiçbiri ideal gaz değildir. Ancak gerçek gazlar yüksek sıcaklık ve düşük basınçta ideallığe yaklaşır.

Gaz yasaları, kinetik teori varsayımlarıyla uyumludur. Ancak gazlarla ilgili deneysel sonuçlar gerçek gazlara aittir. Bir gaz için ideal gaz denkleminde elde edilen sonuçlar yaklaşık değerlerdir.

Yukarıda anlatılan kısımlar sınıf tartışması sırasında öğrencilerin cevapları dahil edilerek anlatıldıktan sonra "ideal gaz varsayımından sapmalar" kısmına geçilir:

#### İdeal Gaz Varsayımından Sapmalar

İdeal gaz denklemi  $P V = n R T$  olduğuna göre 1 mol gaz için  $PV/RT = 1$ 'dir. İdeale yakın gazlar (tabii ideal gaz derken doğada aslında ideal gazın olmadığı sadece ideale yakın gazlar olduğu ve bunları ideal gaz olarak düşündüğümüz vurgulanmalı). Ancak idealden uzak gazlar (bu gazlara da gerçek gazlar diyeceğiz) her koşulda bu eşitliği sağlayamaz. Örneğin Grafik 1'de CH<sub>4</sub> (metan) gazının PV/RT oranının basınçla değişimini gösterilmektedir (Grafik çok basit olarak tahtaya çizilebilir).  $PV/RT = 1$  değerindeki sapma miktarı gazın ideal gaz denkleminde hesaplanan sonuçtan ne kadar saptığını gösterir. Grafikten de görüldüğü gibi CH<sub>4</sub> gazı 200 K (-73 °C) sıcaklığında ideal gaz denkleminde hesaplanan değerden oldukça çok saptmıştır. 1000 K (-727 °C) sıcaklığında ise ideal gaz denkleminde hesaplanan sonuca oldukça yaklaşmıştır.



**Grafik 1** CH<sub>4</sub> (metan) gazının değişik sıcaklıklarda PV/RT oranının basınçla değişimi ve ideal gaz denkleminde hesaplanan değerden sapması

Daha sonra öğrencilere aşağıdaki soru yöneltilir:

- Gazlar neden ideal gaz denkleminde hesaplanan sonuçtan saparlar?

Öğrencilerin yanıtları alındıktan sonra bu durum açıklanır:

Gerçek bir gazın ideal gaz denkleminde hesaplanan sonuçtan sapması gazın cinsi (molekülün polarlığı), basınç ve sıcaklık gibi nedenlere bağlıdır.

Basınç ve sıcaklıkla ilgili nedenin öğrenciler tarafından açıklanması istenir.

Açıklayamazlarsa kinetik teori varsayımları ve ideal gaz tanımı hatırlatılır ve yüksek sıcaklık ve düşük basınçta gazlar birbirinden etkilenmeleri yani aralarındaki çekim de minimum olacağından ideale yaklaşır denir. Kinetik teoriye göre gaz moleküllerinin öz hacmi, toplam hacim yanında ihmal edilebilir. Düşük basınç ve yüksek sıcaklıkta birbirinden oldukça uzakta bulunan gaz moleküllerinin buldukları hacmin yanında öz hacimlerini ihmal etmek büyük bir hataya neden olmaz. Yüksek basınç ve düşük sıcaklıkta moleküller birbirine oldukça yaklaşır ve moleküller arasındaki mesafe ihmal edilemez bir düzeye gelir. Bu nedenle gerçek bir gazın ölçülen hacmi ideal gaz denkleminde hesaplanan hacimden daha büyüktür.

Ardından aşağıdaki soru sorulur:

- Peki, ideal gazdan sapmalar gazın cinsine de yani molekülün polarlığına da bağlı demiştik. Bunun nedenini nasıl açıklarsınız?

Birkaç öğrenciden yanıt alındıktan sonra moleküller arasındaki etkileşim ne kadar fazlaysa gazın ideallikten o kadar uzaklaştığı söylenir. Daha sonra aşağıdaki Tablo 1 öğrencilere dağıtılır (bu tablo tarafından sizlere verilecek) ve bu tabloyu inceleyerek moleküller arasındaki etkileşimler ile ideallikten sapma arasında bir ilişki kurup kuramayacakları sorulur.

**Tablo1** Bazı gazların kaynama noktaları ve molekülleri arasındaki etkileşimler

Gazlar	Kaynama Noktası (°C)	Molekülleri Arasındaki Etkileşimin Türü
H <sub>2</sub> O	100	Dipol-dipol Hidrojen bağı London kuvvetleri
CH <sub>3</sub> OH	64,96	Dipol-dipol Hidrojen bağı London kuvvetleri
SO <sub>2</sub>	-10	Dipol-dipol London kuvvetleri
Cl <sub>2</sub>	-34,6	London kuvvetleri
CO <sub>2</sub>	-78,5	London kuvvetleri
O <sub>2</sub>	-182,9	London kuvvetleri
F <sub>2</sub>	-188,1	London kuvvetleri
He	-268,6	London kuvvetleri

Öğrencilerden aşağıdaki yanıt alınmaya çalışılır. Alınmazsa onların verdikleri yanıtları da kullanarak durum açıklanır:

Tablo 1’de yukarıdan aşağıya doğru inildikçe moleküller arasındaki etkileşimin şiddeti azalırken kaynama sıcaklığının da arttığı görülür. Bu durumda gaz molekülleri arasındaki etkileşimin şiddeti ne kadar az ise gaz ideallığe o kadar yakındır. Gaz molekülleri arasındaki etkileşimin şiddeti arttıkça madde gaz halden sıvı hale geçeceği için ideallikten uzaklaşır. İdeal gazlarda moleküller arasındaki etkileşimler de ihmal edilir. Oysa bütün gazlar sıcaklıkları düşürüldüğünde sıvılaşır. Yüksek sıcaklıklarda gaz molekülleri çok hızlı hareket ettiklerinden moleküller arasındaki çekme kuvvetleri moleküllerin kinetik enerjileri yanında ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Düşük sıcaklıklarda ise çekme kuvvetleri molekülleri birbirine yaklaştırır. Bu durumda gerçek bir gazın ölçülen basıncı, ideal gaz denkleminde hesaplanan basınçtan daha küçüktür. Molekülleri arasındaki etkileşimleri yüksek olan gazların ölçülen basıncı, ideal gaz denkleminde hesaplanan basınçtan daha düşüktür.

**Hollandalı fizikçi Johannes van der Waals (1837-1923) ideal gaz denklemini ( $PV = nRT$ ) gerçek gazların davranışlarına tam uygunluk sağlamak için incelemiştir. Van der Waals moleküllerinin öz hacimleri ile moleküllerarası çekim kuvvetlerini gözönüne alarak ideal gaz denkleminde düzeltmeler yapmıştır.**

**Gerçek bir gazın ölçülen basıncı moleküller arası çekme kuvvetlerinden, ideal gaz denkleminde hesaplanan basınçtan daha küçük olduğunu söylemiştik. Dolayısıyla moleküller arası çekim kuvveti basınca eklenmeli ve basınç:**

$$P_{\text{ideal}} = P_{\text{gerçek}} + n^2 a/V^2 \text{ olmalıdır.}$$

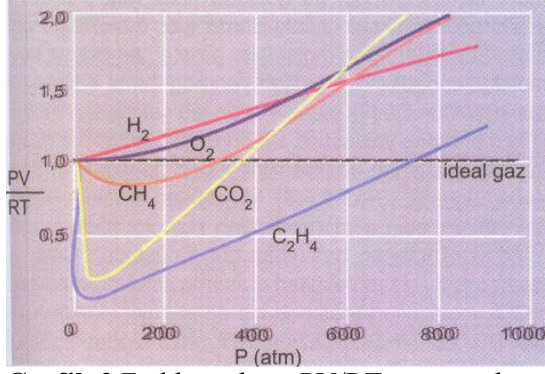
**Gerçek gazların hacimlerinin ise ideal kabul edilen gazların hacimlerinden daha büyük olduğunu çünkü gerçek gazlarda moleküllerin sıkıştırılmayan öz hacimlerinin de gözönüne alındığını söylemiştik. Buna göre ideal hacim;**

$$V_{\text{ideal}} = V_{\text{gerçek}} - n b \text{ olur.}$$

**Bu iki düzeltme sonucundaki Van der Waals eşitliği:**

$$(P_{\text{gerçek}} + n^2 a/V^2) (V_{\text{gerçek}} - n b); a, b: \text{ her gaz için deneylerle belirlenen Van der Waals sabitleri}$$

Daha sonra aşağıdaki Grafik 2 öğrencilere dağıtılıp grafikte ideallikten en çok sapan gazın hangisi olduğu ve nedeni sorulur (öğrencilerden ideallikten en çok sapan gazın C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> gazı olduğu çünkü molekülleri arasındaki etkileşimin en kuvvetli gaz olduğu yanıtı beklenir).



**Grafik 2** Farklı gazların PV/RT oranının basınçla değişimi ve ideal gaz denkleminde hesaplanan değerden sapmaları

#### 4.

**Aktivite:** Günlük Yazma

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Bu aktivite ile öğrencilerin kendi ve arkadaşlarının fikirlerini ve aralarındaki farklılıkları üstbilişsel olarak görüntülemesi ve öğrencilerin kendi fikirlerini üstbilişsel olarak değerlendirmesi sağlanmaya çalışılacaktır.

Ev ödevi olarak öğrencilerin aşağıdaki sorulara cevaplarını günlüklerine yazmaları istenir:

#### **GÜNLÜK 21**

- Gerçek gazları neden öğreniyoruz?
- Doğadaki gazların neden ideallikten saptığını anladın mı? Bu konuyu bilmeyen bir kişiye nasıl anlattırдың?
- Gazların ideallikten sapmaları ile ilgili grafikleri yorumlayabiliyor musun? Yorumlayamıyorsan eksiğinin ne olduğunu düşünüyorsun?
- Yanındaki arkadaşınla günlüğüne yazdığın soruları tartışırken ikinizin fikirleri arasındaki farklılıklar ve benzerlikler nelerdi? Hanginizin fikri daha anlamlı ve inandırıcıydı, neden?

#### **2. DERS (45 dakika)**

**NOT: Bu dersin artan süresi olursa gazlarla (hatta gerçek ve ideal gazlar farkına yönelik sorular da olabilir) ilgili problem çözülebilir.**

#### 1.

##### **Joule-Thomson Olayı**

Aşağıdaki soru ile konuya başlanır:

- Hiç bisiklet pompası ile bisikletinizin tekerini şişirdiniz mi? Bu sırada bisikletinizin pompasının hava çıkış vanasının ısındığını ve bisikletinizin sibobunun soğuduğunu fark ettiniz mi? Sizce bunun nedeni ne olabilir?

Öğrencilerden yanıtları alındıktan sonra aşağıdaki açıklamaya geçilir:

Bir gazın kinetik enerjisinin sıcaklığa bağlılığını gösteren kinetik teoremin formülü tahtaya yazılır:

$$E_K = 3/2 kT \quad k: \text{sabit, } T: \text{Mutlak sıcaklık}$$

Buna göre gazın sıcaklığı arttırıldığında kinetik enerjisi artar. Sıcaklığı azaltıldığında ise kinetik enerjisi azalır. Gazların kinetik enerjisini düşürebilmek için gaz moleküllerine bir iş yaptırmak gerekir. Gaz molekülleri düşük sıcaklıkta düşük ortalama hıza sahip olduklarına göre molekülleri yavaşlatmak, gazı soğutmak anlamına gelir. Gazlar genişletildiğinde

moleküller birbirinden uzaklaşır ve ortalama hızları düşer. Genleşen gazın molekülleri arasındaki çekim kuvvetlerinin yenilmesi için gereken enerji eğer sistem ısıca yalıtılmışsa ortamdan alınamaz. Bu durumda moleküller enerjiyi kendi öz ısılarını kullanarak karşıladıklarından hızla geniştirilen gazlar soğur. Eğer sistem ısıca yalıtılmamışsa soğuyan gaz bulunduğu ortamı da soğutur. İşte bisikletinizin tekerini şişirirken sibobun soğumasının nedeni de budur.

James Joule ve William Thomson bu konu hakkında ilk defa çalışan bilim insanlarıdır ve bu bilim insanlarının anısına bu olaya **Joule-Thomson Olayı** ya da **Joule-Thomson Genleşmesi** adı verilir.

Daha sonra aşağıdaki sorular öğrencilere sorulur:

- Joule-Thomson olayı sonucunda genleşme sırasındaki sıcaklık değişimi ne kadar az ise o gaz için ideale yakın mı idealden uzak mı deriz?

(Öğrencilerden beklenen yanıt ideale o kadar yakındır olacak.)

- Joule-Thomson olayı ile ilgili günlük hayattan örnek verebilir misiniz?

Öğrencilerden yanıtları alınır ve aşağıdaki iki örnek verilir:

-Soğutucularda Joule-Thomson olayından yararlanılarak amonyak, metil klorür, propan gibi kolay buharlaşabilen akıcı maddeler kullanılır. Sıvı hale getirilen madde borularla dolabın iç yüzeyine verilir. Madde borular içinde gaza dönüşürken dolabın içini soğutur. Aynı gaz kompresör tarafından basınç altında yeniden sıvı duruma getirilir.

-Ayrıca araçlarda ve evlerde kullanılan klimalardaki gaz bir kompresör aracılığıyla emilip sıkıştırılarak sıvılaştırılır. Sıkıştırma sırasında açığa çıkan ısı bir fan vasıtasıyla atmosferik çevreye atılır. Bu sıvı daha sonra üzerindeki basıncın düşürülmesi ile bulunduğu ortamdan ısı çekerek gaz hale dönüşür. Bu sırada bulunduğu ortamdan ısı çektiği için ortam sıcaklığını da düşürmüş olur. Soğutma akışkanı kompresör tarafından emilerek çevrim aynı şekilde tekrarlanır.

## 2.

### Gaz, Buhar ve Kritik Sıcaklık

Bu konuya aşağıdaki sorunun öğrencilere sorulmasıyla giriş yapılır (Bu sırada özellikle takip edilen öğrencilerin konuşması sağlanır.)

- Buhar ile gaz arasında fark var mıdır? Neden?

Öğrencilerin bu soru ile ilgili düşünceleri alınır. Ardından konunun anlatımına geçilir:

Bu soruya açıklık getirmek için önce **kritik sıcaklık** nedir onu bilmemiz lazım denir ve öğrencilerden “kritik sıcaklık”ın ne olduğunu bilen olup olmadığı sorulur. Daha sonra “kritik sıcaklık” tanımına geçilir:

**Kritik Sıcaklık:** Bir gazın sıcaklığı ne kadar yüksekse sıvılaşması o kadar zordur ve gazı sıvılaştırmak için gereken basınç da o kadar yüksektir. Herbir gaz için farklı değerde olan öyle bir sıcaklık vardır ki bu sıcaklığın üzerinde bulunan gaz hiçbir basınç altında sıvılaştırılmaz. Her gaz için ayrı olan bu sıcaklığa *kritik sıcaklık* adı verilir. Yani kritik sıcaklık bir gazın basınç uygulanarak sıvılaştırılabileceği en yüksek sıcaklıktır ve  $T_K$  ile gösterilir. Kritik sıcaklık değeri; kaynama noktası, özkütle, iletkenlik gibi maddenin ayırt edici özelliklerindedir.

Peki, bu tanım bizim ne işimize yarayacak?

Gaz ile buhar arasındaki ayrımı yaparken kriterimiz “kritik sıcaklık” olacak:

**Gaz:** Bulunduğu sıcaklıkta, hiçbir basınç altında sıvılaştırılamayan sıkıştırılabilir akışkanlar “gaz” olarak tanımlanır.

**Buhar:** Gazlar gibi davrandıkları halde, buldukları sıcaklıkta basınçla sıvılaştırılabilen akışkanlara “buhar” adı verilir.

Daha sonra öğrencilere aşağıdaki iki soru sorulur. (Tablo öğrencilere tarafımdan dağıtılacak)

Tablo 1’de bazı maddelerin kritik sıcaklıkları ve kaynama noktaları verilmiştir. Bu bilgilerden yararlanarak aşağıdaki soruları yanıtlayınız:

1. Oda koşullarında hangi maddelerin buhar hangi maddelerin gaz halde olduğunu belirleyiniz.
2. Bu maddelerden hangileri soğutucu akışkan olarak kullanılabilir?

**Tablo 1** Bazı maddelerin kritik sıcaklıkları ve kaynama noktaları

Madde	Kritik Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	Kaynama Noktası ( $^{\circ}\text{C}$ )
He	-267,8	-268,6
Ne	-228,6	-245,93
Ar	-122,3	-185,7
H <sub>2</sub>	-240,01	-252,75
O <sub>2</sub>	-118,2	-182,82
N <sub>2</sub>	-146,8	-195,79
F <sub>2</sub>	-129	-188,1
Cl <sub>2</sub>	144	-34,6
Br <sub>2</sub>	311	58,3
CO <sub>2</sub>	31,2	-78
H <sub>2</sub> O	374,3	100
NH <sub>3</sub>	132,4	-33,34
CH <sub>4</sub>	-82,4	-164
CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> (Freon-12)	420	-29,8

(Soruların Yanıtı:

1. Oda koşullarında Tablo 1’de verilen maddelerden He, Ne, Ar, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, F<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> gaz halde, Br<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O sıvı halde, Cl<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> ve CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub> (Freon-12) buhar halinde bulunur.

2. Helyumun kaynama noktası ve kritik sıcaklık değerleri oldukça düşüktür. Ayrıca Joule-Thomson genişlemesi ile soğumaz. Çünkü oda koşullarında He ideale en yakın gazdır. H<sub>2</sub>O’nun kritik sıcaklık değeri oldukça yüksektir ancak kaynama noktasının da yüksek olması oda koşullarında sıvı halde bulunmasına neden olur. Soğutucu akışkan olarak kullanılacak maddenin basınçla sıvılaştırılabilmesi ve üzerindeki basınç kaldırıldığında genişerek buhar haline geçmesi gerekmektedir. H<sub>2</sub>O oda koşullarında sıvı halde olduğu için bu koşulları sağlayamaz ve soğutucu akışkan olarak kullanılamaz. NH<sub>3</sub>’ün kaynama noktası düşük ve kritik sıcaklığı yüksek olduğu için oda koşullarında buhar halde bulunur. Basınçla sıvılaştırılabilir ve üzerindeki basınç kaldırıldığı zaman Joule-Thomson genişlemesi ile soğur. Bu nedenle soğutucu akışkan olarak kullanılabilir. Tabloda verilen maddelerden soğutucu akışkan olarak kullanılacak en iyi madde CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub> (Freon-12)’dir. Çünkü soğutucu akışkanların kritik sıcaklığının yüksek olması ve düşük kaynama noktasına sahip olması çok düşük sıcaklıklarda uygulama imkanı sağlar. Soğutucularda daha önceleri NH<sub>3</sub> gibi maddeler kullanılmaktaydı ancak bu maddelerin zehirleyici etkisi nedeniyle daha sonraki yıllarda keşfedilen CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub> (Freon-12) soğutucularda kullanılmıştır.)

Konunun bitiminde öğrencilere aşağıdaki sorular yönlendirilir. (Bu sırada özellikle takip edilen öğrencilerin konuşması sağlanır.)

- Gaz ile buhar arasındaki fark ile ilgili konuyu görmeden önceki düşünceleriniz değişti mi?
- (Derse başlamadan önce sorulan soruda gaz ile buhar arasındaki farkı hatalı tanımlamış öğrenciler için) Sizce neden hatalı düşündünüz? Düşüncelerinizdeki sınırlılık neydi?

## DERS PLANI 12

**Aktivite:** Poster Çizimi ve Günlük Yazma

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Bu aktivite ile öğrencilerin ön bilgilerinin üstbilişsel farkındalığı ve öğrencilerin arkadaşlarının fikirlerini ve hem kendi hem de arkadaşlarının fikirlerindeki farklılığı üstbilişsel olarak görüntülemesi sağlanmaya çalışılacaktır.

**Konu:**

- Maddenin plazma hali
- Erime ve Donma
- Buharlaşma
- Yoğunlaşma
- Kaynama
- Buhar basıncı

**Süre:** 60 dakika (**NOT: Gruplar posterlerini sunarken süre yetmeyebilir o zaman bir sonraki dersin ilk 15 dakikası da öğrencilere verilir.**)

### DERSİN İŞLENİŞİ

1. Öğrenciler öncelikle aşağıdaki sorular hakkındaki düşüncelerini bireysel olarak günlüklerine yazarlar (10 dk).

#### GÜNLÜK 22

2. Daha sonra öğrenciler 5'erli gruplara ayrılır ve aşağıdaki sorular gruplara verilir. Gruplardaki öğrenciler sorular üzerindeki fikirlerini birbirleriyle tartışır ve bu sırada posterlerini çizerler. Gruplara posterlerini çizmeleri için A3 kağıtları ve renkli kalemler dağıtılır ve öğrenciler gruplarının fikirlerini temsil eden posterleri hazırlarlar. Her grup posterlerinin altına isimlerini de yazar. Grup tartışmaları gruplardaki ses kayıt cihazlarına kaydedilir. Grup tartışması öncesi grup üyeleri isimlerini ses kayıt cihazına söyler ve grup tartışmaları sırasında öğrenciler konuşmadan önce mümkün olduğunca isimlerini de söyler. (30 dk.)
  - Madde katı, sıvı ve gaz halinden başka hangi halde bulunabilir? Örnek verebilir misiniz?
  - Buharlaşmayı nasıl tanımlarsınız?
  - Suyun buharlaşmasını maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmedersiniz? (Çizdiğiniz her bir taneciğin neyi temsil ettiğini belirtiniz? Tanecikler değişir mi? Tanecikler arası/içi bağ nasıl değişir? Sıcaklık için ne dersiniz?) NOT: Öğrenciler posterlerini sunarken öğretmen şu soruyu da mutlaka öğrencilere sormalı: “su için buharlaşırken oksijen ve hidrojen arasındaki bağ uzar mı?” tabii bu sorunun cevabı şu anda verilmeyecek!
  - Yoğunlaşmayı nasıl tanımlarsınız?
  - Suyun yoğunlaşmasını maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmedersiniz (Çizdiğiniz her bir taneciğin neyi temsil ettiğini belirtiniz)? (Tanecikler değişir mi? Tanecikler arası/içi bağ nasıl değişir? Sıcaklık için ne dersiniz?)
  - Kaynama nedir? (ya da kaynama nasıl olur?)
  - Suyun kaynamasını maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmedersiniz (Çizdiğiniz her bir taneciğin neyi temsil ettiğini belirtiniz)? (Tanecikler değişir mi? Tanecikler arası/içi bağ nasıl değişir? Sıcaklık için ne dersiniz?)
  - Kaynama ile buharlaşmanın farkı nedir?



- Suyun buzdan buhar haline gelme sürecindeki değişimi gösteren sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) - ısı (Joule) grafiğini nasıl çizersiniz? Çizmiş olduğunuz grafikte donma, erime, buharlaşma, yoğunlaşma ve kaynamanın nerede olduğunu gösterebilir misiniz?
3. Gruplar posterlerini sınıfta sunarlar. **Öğretmen bu sunumlar sırasında öğrencilerin fikirleri yanlış da olsa müdahalede bulunmaz. Çünkü konuların işlenmesinin ardından öğrencilere posterleri tekrar verilip düşüncelerinin nasıl değiştiği sorulacak.** Gruplar posterlerini sınıfa sunarken herbir grubun sunması için süre yetmeyeceği için bir grup tahtaya kaldırılıp herbir onlar herbir soru için düşüncelerini söylerken diğer gruplara da fikirleri sorulur! Öğretmen öğrencilerin posterlerini sunarken aşağıdaki soruyu da dikkate almalarını ister: “Grubunuzda soruların yanıtları ile ilgili farklı fikirler nelerdi?” (20 dk)

#### 4.

**Aktivite:** Günlük Yazma

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Bu aktivite ile öğrencilerin arkadaşlarının fikirlerini ve hem kendi hem de arkadaşlarının fikirlerindeki farklılığı üstbilişsel olarak görüntülemesi sağlanmaya çalışılacaktır.

Eğer süre yeterse sınıfta, yetmezse ev ödevi olarak öğrencilerin aşağıdaki sorulara cevaplarını günlüklerine yazmalarını isteriz:

#### GÜNLÜK 23

1. Sizce poster hazırlama etkinliğinin amacı neydi?
2. Posterinizi hazırlarken yaptığınız grup içi tartışmalarda farklı fikirlere sahip arkadaşlarınız var mıydı? Bu fikirler sizin fikirlerinizden nasıl farklıydı? Örnek vererek açıkla mısınız?
3. Farklı fikirler olmasına rağmen posterinize koyduğunuz fikirler üzerinde nasıl ortak karar verdiniz?

**NOT:** Hal Değişimleri konusu bittikten sonra aşağıdaki aktivite yapılır.

**Aktivite:** Posterlerin Düzeltilmesi

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Bu aktivite ile öğrencilerin ön bilgilerinin üstbilişsel farkındalığı ve öğrencilerin arkadaşlarının fikirlerini ve hem kendi hem de arkadaşlarının fikirlerindeki değişikliği üstbilişsel olarak görüntülemesi sağlanmaya çalışılacaktır.

Hal Değişimleri konusu bitince öğrencilere posterleri tekrar dağıtılır ve aşağıdaki soruları düşünmeleri istenir:

- Posterinizde değiştirmek istediğiniz yerler var mı?
- Posterinize eklemek ya da posterinizden silmek istediğiniz neler var?
- Posterinizde yaptığımız değişiklikleri neden yaptınız?

Öğrenciler bu soruları dikkate alarak grupları ile posterler üzerinde tekrar tartışır. Ses kayıt cihazı bu sırada yine her grupta devrede olur. Eğer öğrenciler yeni bir poster çizmek isterse çizebilirler.

Bu grup tartışmasından sonra gruplar yine posterlerinde yaptıkları değişiklikleri anlatmak üzere sınıfa sunumlarını yapar.

## DERS PLANI 13

**NOT:** Dersin ilk 15 dakikası poster etkinliğinde sunum sırasındaki tartışma için ayrılır.

### **Konu:**

- Maddenin plazma hali
- Hal değişimleri ve ısı
- Erime ve donma

### **Kazanımlar:**

- Maddenin katı, sıvı ve gaz halinden başka plazma hali olduğunu da bilir.
- Hal değişim olayları ve ısı alış-verişi arasında ilişki kurar.
- Erime ve donma olayını maddenin tanecikli yapısına göre açıklar.

**Süre:** 30 dakika (dersin 15 dakikası bir önceki derste yapılan posterlerin sunumu için ayrıldı.)

### **DERSİN İŞLENİŞİ**

**1.** Öğrenciler bir önceki ders yaptıkları posterlerde maddenin plazma halinden de bahsetmeleri bekleniyordu. Onların plazma hali için söyledikleri de dikkate alınarak bu halden bahsedilir:

Maddenin katı, sıvı ve gaz halinden başka çok yüksek sıcaklıklarda karşılaşılan, plazma olarak adlandırılan dördüncü bir hali de vardır. Katı bir cismi oluşturan ve hareketleri çok az olan taneciklerin enerjisi arttırıldığında madde önce sıvıya sonra da gaza dönüştürülür. Eğer gaz halinden sonra da enerji verilmeye devam edilirse gaz atomunun elektronu çekirdeğin çekiminden kurtulur ve geriye iyon halinde gaz kalır ama bazı atomlar da nötr kalmaya devam eder. Oluşan bu iyon, elektron ve nötr atom karışımı (iyonize olan gaz) plazmadır. Bu karışım elektrikçe nötrdür. Plazma hali oluşturan türlerin (bağıl bollukları) sıcaklıkla değişebilir.

Güneş ve diğer yıldızlar (nötron yıldızları hariç) tamamen plazma halindedir. Plazma haline uzay boşluğunda da bolca rastlanır. Uzaydaki plazma çok daha soğuk olmasına rağmen, çok seyreltik olduğu için birleşerek nötr atomlar oluşturma ihtimali düşüktür. Yıldırım, alev vb. plazmalara örnek verilebilir.

Plazma yüksüz olmasına rağmen çok iyi bir iletkenidir. Yüksek sıcaklıkta düşük yoğunluğa sahiptir. Fazla enerji yaymaz ve manyetik alana etki eder. Bu özellikler sebebi ile kağıt endüstrisinde, uzay endüstrisinde, elmas yapımında, elektronik çip yapımında ve plazma televizyonlarda kullanılmaktadır. (*Plazma televizyonlar*, iki paralel cam tabakanın arasında yer alan ve ızgara şeklinde yerleşik, içi plazma adı verilen neon ve ksenon gazları ile dolu binlerce odacıktan oluşur. Elektrik akımı bu odacıklarda bulunan plazmaya ulaştığında, oluşan çok küçük bir ultraviyole ışınımı fosforlu bir tabakaya çarparak kırmızı, mavi veya yeşil renklerden birine sahip bir piksel oluşturur. Ekran yüzünde oluşan bunun gibi yüzbinlerce piksel bir araya gelerek ekranda gördüğümüz görüntüyü oluşturur.)

(2 dk)

**2.**

### **Hal Değişim Olayları ve Isı**

Aşağıdaki sorular sınıfa sorulur ve sınıfça tartışılır:

- Isı ile sıcaklık arasında nasıl bir fark vardır? (**Açıklama: Isı, sıcaklık farkından dolayı transfer olan enerjidir; sıcaklık ise maddeyi oluşturan taneciklerin ortalama kinetik enerjisidir. NOT: Bu açıklama öğretmenin bilgisi için yapılmıştır. Öğrencilerden cevapları alınır ve onların da cevapları dahil edilerek bu açıklama yapılır.**)

- Bugün hava ..... 10 °C olacak derken “hava sıcaklığı” mı “hava ısısı” mı deriz? Neden? (Açıklama: “hava sıcaklığı” denir. Çünkü sıcaklık termometre ile ölçülür ancak ısıнын bir ölçüsü yoktur. Isı sıcaklık farkından dolayı transfer olan enerjidir. Burada ayrıca günlük hayatta ısı ve sıcaklığın yanlışlıkla birbiri yerine kullanıldıkları vurgulanır. NOT: Bu açıklama öğretmenin bilgisi için yapılmıştır. Öğrencilerden cevapları almır ve onların da cevapları dahil edilerek bu açıklama yapılır.)
- Aynı sıcaklıkta bir bardak ve bir kova su özdeş ısıtıcılarla eşit sürelerde ısıtıldıklarında bir bardak ve bir kova suyun sıcaklık değişimlerini ve aldıkları ısı enerjilerini karşılaştırdığımızda ne dersiniz? (Bardaktaki suyun sıcaklığı, kovadaki suyun sıcaklığından fazla olur. Aynı cins maddeler özdeş ısıtıcılarla eşit sürelerde ısıtıldıklarında, maddelerin kütleleri farklı ise, maddelerin sıcaklık değişimleri de farklı olur. Kütle büyük olan maddede ısı enerjisi daha fazla taneciğe aktarılır ve taneciklerin ortalama kinetik enerjilerindeki artış yani sıcaklık artışı daha az olur.)
- Hal değişimi ne demektir?  
Isı ve sıcaklık ile ilgili tartışmanın ardından hal değişimine geçilir. Öğrencilerden hal değişimi tanımını alındıktan sonra aşağıdaki tanım verilir:

Maddenin bir halden diğer haline dönüşümüne **hal değişimi** denir. Maddenin hal değişimlerine ısı eşlik eder. Bu dönüşümlerde madde ısı alır veya verir.

Daha sonra tahtaya ısı alış-verişi ile ilgili bir soru yazılır. Öğrencilere okların üzerine “ısı alır” mı “ısı verir” mi yazılması gerektiği sorulur:

Buz → Su  
Su → Su Buharı  
Su → Buz  
(8 dk)

### 3.

#### Erime ve Donma

**Aktivite:** Günlük Yazma

Öğrenciler aşağıdaki sorulara yanıtlarını bireysel olarak günlüklerine yazarlar:

#### GÜNLÜK 24

- Erimeyi nasıl tanımlarsınız?
- Donma nedir?
- Saf bir katı madde sıvı hale geçerken ya da saf bir sıvı katı hale geçerken sıcaklığı değişir mi? Tanecikler değişir mi? Neden?
- Suya tuz eklenmesi suyun donma noktasını nasıl etkiler? Neden?
- Sabit sıcaklıkta buzla suyun dengede olduğu bir kaba piston takip buzlu su üzerindeki basıncı artırırsak buz erir mi? Neden?
- Kışın göller donduğunda buz tabakasının altında canlıların hayatını devam ettirmeleri mümkün olur. Bu durum suyun hangi özelliği dolayısıyla gerçekleşir?

(10 dk)

**Aktivite: Sınıf Tartışması**

Öğretmen öğrencilerin günlüklerini yazmalarının ardından sınıf tartışmasına geçer. Bu aşamada öğretmen öğrencilere doğru cevabı vermeden onların doğru cevabı bulmasına rehberlik eder. Öğrencilerin günlüklerine yazdıkları sorular sınıfça tartışılır. Sorular sınıfa yönlendirilir ve bu sırada çalışma boyunca takip edilen öğrencilere de söz hakkı verilmesine dikkat edilir. Öğretmen öğrencilerin doğru cevabı bulmalarına rehberlik eder.

(20 dk)

**NOT: Aşağıdaki sorularla ilgili açıklamalar öğretmenin bilgisi için gündühteki soruların cevapları için yapılmıştır. Öğrencilerden cevapları alınır ve onların da cevapları dahil edilerek bu açıklamalar yapılır.**

➤ **Erimeyi nasıl tanımlarsınız?**

Katıyı oluşturan atom, iyon ya da molekül gibi taneciklerin titreşim hareketi yaptığını biliyorsunuz. Genellikle katılar ısıtılınca yapısında bulunan taneciklerin titreşim hareketi hızlanır. Öyle bir sıcaklığa ulaşılır ki bu titreşimler sonucu atom ya da moleküller arasındaki etkileşimler zayıflar ve madde hal değiştirerek sıvı hale geçer. Bu olaya yani maddenin erime sıcaklığında katı halden sıvı hale geçmesine erime (ergime) denir. Erimenin olduğu sıcaklığa erime noktası denir. Saf bir katı madde erirken ısı alır ancak sıcaklığı değişmez. Çünkü alınan ısı moleküller arasındaki çekim kuvvetlerini yenmek için kullanılır.

➤ **Donma nedir?**

Sıvılar soğutulduğu zaman tanecikleri gitgide daha yavaş hareket eder. Soğutma işleminin devamında öyle bir sıcaklığa gelinir ki tanecikler arası çekim kuvvetleri onların bir kristal içinde istiflenmesine sebep olur. Bir sıvının katıya dönüşmesine donma ve donmanın olduğu sıcaklığa da donma noktası denir. Saf bir sıvı madde donarken ısı verir ancak sıcaklığı değişmez.

➤ **Su donduğunda taneciklerde bir değişim olur mu?**

➤ **Suya tuz eklenmesi suyun donma noktasını nasıl etkiler? Neden?**

Suya tuz eklenmesi, buza çarpan su molekülü sayısını azaltır. Bu da donma hızının düşmesine neden olur. Buza çarpan tuz moleküllerininse, su moleküllerinden oluşan ağ örgüsüne kolayca giremedikleri için donma hızına katkıları yoktur. Buna karşın, buzdan sıvıya doğru olan erime hızıysa değişmez. Bu nedenle, yani daha fazla molekül katıdan sıvıya geçtiği için, buz gözle görülür oranda erir. Tuz, suyun donma noktasını düşürür. Çünkü kaptaki buzun erimesi dışarıdan ısı alan bir olaydır; bu nedenle de tüm kabın sıcaklığı düşer. Sıcaklığın, tuzlu suyun donma noktasına kadar düşmesi gerekir. Bu sıcaklığa erişildikten sonra da tuzlu su ve buz denge konumuna gelir.

➤ **Sabit sıcaklıkta buzla suyun dengede olduğu bir kaba piston takıp buzlu su üzerindeki basıncı artırırsak buz erir mi? Neden?**

Burada suya özgü bir özelliği kullanmamız gerekir. Buz eridiğinde hacmi azalır -ya da buzun yoğunluğu suyunkinden azdır. Su-buz karışımının basıncı artırıldığında, karışım bu basıncı azaltacak yönde harekete geçmeli. Bunun tek yolu, bir miktar buzun eriyerek toplam hacmi azaltması. Dolayısıyla bu durumda da bir miktar buz erir. Yine yukarıdakine benzer bir akıl yürütmeye buradan "basıncı artarsa suyun donma noktası düşer" sonucunu çıkarabiliriz. Sadece suyun bu özelliğe sahip olduğunu belirtelim. Su dışındaki maddelerin hemen hepsinin erime noktaları basınçla artar, çünkü eridiklerinde hacimleri artar. Suya eklenen tuz, sıvıdan katıya geçen molekül sayısını azaltır.

➤ **Kışın göller donduğunda buz tabakasının altında canlıların hayatını devam ettirmeleri mümkün olur. Bu durum suyun hangi özelliği dolayısıyla gerçekleşir?**

Sıcaklık artarsa hacim de artar. Hemen hemen bütün maddeler bu davranışı gösterir. Hatta suda bile bu davranış görülür: +4 derecenin üzerinde su genişir; bu normal davranış şekli. Artan sıcaklıkla hacmin azalması ise anormal. Bu çok az sayıda maddede görülür ve nedeni de moleküller arası etkileşimlerin hesaba katmadığımız yönleri. *Su ve bizmut yanında, silisyum, galyum, germanyum gibi elementler de belli sıcaklık aralıklarında bu anormal davranışı gösterir.* Su molekülleri, biliyorsunuz, iki hidrojen ve bir oksijenden oluşur. Molekülü oluşturan bağlar, elektronların belli bir bölgede yoğunlaşmasına neden olduğu için bu molekülün polar bir karakteri var. Hidrojen atomları pozitif yüklü ve oksijenin bağlardan uzak kısımları da negatif yüklü. Yani, molekülün toplam yükü sıfır olmasına karşın, yük dağılımında farklılıklar var ve bu da molekülün diğer moleküllerle etkileşimini yönetime bağımlı yapıyor. İki su molekülü için, birinin hidrojenleri diğerinin oksijenine çekiliyor. Bu çekim iki molekülü birbirine bağlarsa o zaman bu bağa “hidrojen bağı” diyoruz. Buzdaki moleküller bu tipte hidrojen bağlarıyla birbirlerine bağlanıyorlar. Ama aynı bağlanma sıvıda da gerçekleşebilir. Enerjileri ortalamadan düşük iki molekül bir süreliğine de olsa birbirine bağlanabilir. Burada önemli olan, bağlanma oluştuğunda moleküllerin belli yönlerde yönelmiş olmaları. Normal buz için, her bir molekülün sadece 4 tane molekülle bağ kurduğu bulunmuş. Böyle bir yapının özelliği moleküller arasında büyük boşluklar oluşması. İşte bu boşluklar anormal davranışın anahtarı. Boşlukların etkisi şöyle: Düşük sıcaklıklarda moleküllerin enerjisi düşüktür. Yerlerinden pek kıvılcamazlar ve kristal yapıyı bozmazlar, boşluklar da olduğu gibi durur. Sıcaklığı artırdıkça bunlar yerlerinden oynamaya, başka yerlere gitmeye çalışırlar. Bir molekülün normalde bulunması gereken yerden ayrılması, komşu dört molekülün geride kalan boşluğa doğru hareket etmesi demek. Bu tip olaylar kristal yapıyı içine doğru çökertiyor. Erime noktasında ise, yerinden ayrılan bir molekülün tekrar eski yere dönmesi artık gerekmiyor. Bütün moleküller hareketli. Boşluklar da kısmen dolduruluyor. 0 ile 4 derece arasındaki suyun anormal davranışı, suyun yapısal olarak buza benzemesinden kaynaklanmakta.

#### 4.

**Aktivite:** Günlük Yazma

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Bu aktivite ile öğrencilerin kendi ve arkadaşlarının fikirlerini ve aralarındaki farklılıkları üstbilişsel olarak görüntülemesi ve öğrencilerin kendi fikirlerini üstbilişsel olarak değerlendirmesi sağlanmaya çalışılacaktır.

Ev ödevi olarak öğrencilerin aşağıdaki sorulara cevaplarını günlüklerine yazmalarını isterim:

#### **GÜNLÜK 25**

- Günlüklerinizde cevaplandığınız sorularla ilgili sınıf tartışması sırasında senden daha farklı düşünen arkadaşların var mıydı? Kendi düşüncenle karşılaştığında sana daha anlamlı ve inandırıcı gelen fikirler nelerdi? Neden bu fikirler sana daha anlamlı ve inandırıcı geldi?
- Neden sınıftaki arkadaşların birbirinden farklı düşüncelere sahipti? Bir olayı açıklarken nasıl bir fikrin diğer bir fikirden daha iyi olduğunu düşünüyorsun?
- Bu dersten sonra önceki düşüncelerinde bir değişiklik oldu mu? Önceki düşüncelerle şimdiki düşüncelerin arasındaki farklılıklar neler? Lütfen bunları örneklerle yazıp fikrinizi neden değiştirdiğinizi de açıklayınız. Değiştiremediğiniz fikirleriniz varsa lütfen bunları da yazıp neden değiştiremediğinizi anlatınız.

## DERS PLANI 14

**NOT:** Dersin ilk 10 dakikası erime-donma ile ilgili sınıf tartışmasının devamı için ayrılır.

**Aktivite:** Günlük Yazma ve Grup Tartışması

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Günlük yazma aktivitesi ile öğrencilerin ön bilgilerinin üstbilişsel farkındalığı sağlanmaya çalışılacak grup ve sınıf tartışması ile öğrencilerin kendi ve arkadaşlarının fikirlerini ve aralarındaki farklılıkları üstbilişsel olarak görüntülemesi ve öğrencilerin kendi fikirlerini üstbilişsel olarak değerlendirmesi sağlanmaya çalışılacaktır.

**Konu:**

- Buharlaşma ve Yoğunlaşma

**Kazanımlar:**

- Buharlaşma ve yoğunlaşma olayını maddenin tanecikli yapısına göre açıklar.
- Buharlaşma hızını etkileyen faktörleri açıklar.

**Süre:** 35 dakika (dersin ilk 10 dakikası bir önceki derste yapılan erime-donma ile ilgili sınıf tartışmasının devamı için ayrıldı.)

### DERSİN İŞLENİŞİ

1.

**Aktivite:** Günlük Yazma

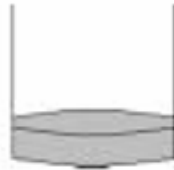
Derse başlamadan önce öğrenciler aşağıdaki sorularla ilgili düşüncelerini günlüklerine yazarlar:

#### GÜNLÜK 26

- 5 °C’de ağzı açık ve yarıya kadar suyla dolu plastik bir şişe vardır. Eğer bu şişe günlerce dokunulmadan bu sıcaklıkta bekletilirse şişedeki su seviyesine ne olacaktır? Neden?
- 25 °C’de ve ısıya karşı izole **kapalı** bir kaptta (mesela termos) bulunan su seviyesi birkaç gün bekledikten sonra nasıl değişir? Neden?
- Aşağıda sabit sıcaklıkta bulunan ve herbiri 100 mL su içeren dört kap gösterilmektedir. (I ve III kapalı, II ve IV açık kaplardır.) Bu kaplardaki buharlaşma hızlarını nasıl karşılaştırırız?



I



II



III



IV

I. kaptaki suyun hepsi buharlaştırılıp buharlaşma öncesi ve sonrası tartılılığında ağırlık nasıl değişir (Bu sırada kabın ağzı hep kapalı olarak kalacak)?

- Banyodaki ayna siz sıcak suyla yıkandıktan sonra buğulanır ve bir müddet sonra üzerinde su damlacıkları olur. Bu su damlacıkları nereden gelmiştir?
- Sabit sıcaklıkta, ağzı sıkıca kapalı ve yarıya kadar suyla dolu plastik bir şişe vardır. Eğer bu şişe günlerce dokunulmadan o sıcaklıkta bekletilirse şişenin kapağının iç yüzeyinde küçük su damlacıkları görürüz. Bu su damlacıkları nereden gelmiştir?

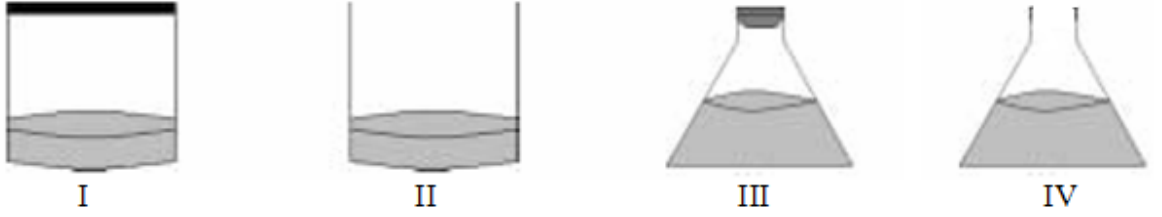
(10 dk)

## 2.

**Aktivite:** Grup Tartışması

Öğrenciler Günlük 22 ve Günlük 26'daki sorularla ilgili düşüncelerini aralarında tartışırlar. Öğrencilerin tartışacakları sorular aşağıdaki gibidir (Bu sırada gruplara bu soruların yer aldığı sorular verilir):

1. Buharlaşmayı nasıl tanımlarsınız?
2. Suyun buharlaşmasını maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmedersiniz (Çizdiğiniz her bir taneciğin neyi temsil ettiğini belirtiniz)? (Tanecikler değişir mi? Tanecikler arası/içi bağ nasıl değişir? Sıcaklık için ne dersiniz?)
3. Yoğunlaşmayı nasıl tanımlarsınız?
4. Suyun yoğunlaşmasını maddenin tanecikli yapısına göre nasıl resmedersiniz (Çizdiğiniz her bir taneciğin neyi temsil ettiğini belirtiniz)? (Tanecikler değişir mi? Tanecikler arası/içi bağ nasıl değişir? Sıcaklık için ne dersiniz?)
5.  $5^{\circ}\text{C}$ 'de ağzı açık ve yarıya kadar suyla dolu plastik bir şişe vardır. Eğer bu şişe günlerce dokunulmadan bu sıcaklıkta bekletilirse şişedeki su seviyesine ne olacaktır? Neden?
6.  $25^{\circ}\text{C}$ 'de ve ısıya karşı izole **kapalı** bir kaptan (mesela termos) bulunan su seviyesi birkaç gün bekledikten sonra nasıl değişir? Neden?
7. Aşağıda sabit sıcaklıkta bulunan ve herbiri 100 mL su içeren dört kap gösterilmektedir. (I ve III kapalı, II ve IV açık kaplardır.) Bu kaplardaki buharlaşma hızlarını nasıl karşılaştırırsınız?



- I. kaptaki suyun hepsi buharlaştırılıp buharlaşma öncesi ve sonrası tartılılılığında ağırlık nasıl değişir (Bu sırada kabın ağzı hep kapalı olarak kalacak)?
8. Banyodaki ayna siz sıcak suyla yıkandıktan sonra buğulanır ve bir müddet sonra üzerinde su damlacıkları olur. Bu su damlacıkları nereden gelmiştir?
  9. Sabit sıcaklıkta, ağzı sıkıca kapalı ve yarıya kadar suyla dolu plastik bir şişe vardır. Eğer bu şişe günlerce dokunulmadan o sıcaklıkta bekletilirse şişenin kapağının iç yüzeyinde küçük su damlacıkları görürüz. Bu su damlacıkları nereden gelmiştir?

Öğretmen bu sırada gruplar arasında gezip grupların günlüklerine yazdıklarını tartışmalarını ve grup olarak resimlerini çizerken herkesin düşüncelerini söylemeleri için rehberlik eder. Grup tartışmaları gruplardaki ses kayıt cihazlarına kaydedilir. Grup tartışması öncesi grup üyeleri isimlerini ses kayıt cihazına söyler ve grup tartışmaları sırasında öğrenciler konuşmadan önce mümkün olduğunca isimlerini de söyler.

(15 dk)

3. Gruplar yukarıdaki sorularla ilgili fikir ve çizimlerini sınıfa sunarlar. *Gruplar fikirlerini sınıfa sunarken her bir grubun sunması için süre yetmeyeceği için bir grup tahtaya kaldırılıp her bir onlar her bir soru için düşüncelerini söylerken diğer gruplara da fikirleri sorulur!* Bu sırada öğretmen aşağıdaki soruları yöneltebilir:

- Yukarıda grup tartışmasındaki 2. ve 4. soruda öğrenciler çok çeşitli cevaplar verebilir: Buharlaşmanın tanecikli yapıya göre resmini çizerken:
  - taneciklerin büyüdüğünü,
  - su olarak düşünürsek buharlaşmada suyun hidrojen ve oksijene ayrıştığını ya da

- buharlaşmada su molekülünü oluşturan O-H arasındaki bağların uzadığını söyleyebilir.

Yoğunlaşmada ise tam tersi olarak;

- taneciklerin küçüldüğünü,
- yoğunlaşmada hidrojen ve oksijenin birleşerek suyu oluşturduğunu ya da
- yoğunlaşmada su molekülünü oluşturan O-H arasındaki bağların kısaldığını söyleyebilir.

**Bu durumların hepsi öğrencilere sorulup düşünceleri alınmalı ve doğru cevaba giden tartışmaya gidilir.**

- 5. ve 6. soruların cevabı suyun seviyesinin azalacağıdır. Burada öğrencilere bu cevap verilmeden **5. ve 6. sorular için düşünceleri alınıp doğru cevaba gidilecek bir tartışmaya gidilir (Doğru cevap: su kendi iç enerjisi ile sıcaklıktan bağımsız olarak buharlaşır). Ayrıca “su için buharlaşma 100 °C'nin üzerinde mi olur?” sorusu da burada tartışılır.**
- 8. soru açık sistemde gerçekleşen yoğunlaşmayla ilgili bir örnekken 9. soru kapalı sistemdeki yoğunlaşmaya örnektir. 8. soru için öğrencilerin çoğunluğu ayna üzerinde oluşan su damlacıklarının nereden geldiği konusunda bir fikir yürütememektedir. Öğrencilerin verdiği hatalı yanıtlar:
  - Ayna soğuktur, sıcak havayla karşılaşır ve su oluşur.
  - Havada bulunan oksijen ve hidrojen birleşerek ayna üzerindeki suyu oluşturur.

Halbuki doğru cevap hava içindeki su buharının aynanın üzerinde yoğunlaşmasıdır. **Burada öğrencilerin yukarıda bahsedilen yanlışları kullanılarak bir tartışma ortamı yaratılır ve doğru cevaba gidilir.**

Burada ayrıca öğrencilerin düştüğü yanlış yoğunlaşmanın özellikle kapalı sistem için sadece sıcaklık düşüşü dolayısıyla (yani 9. soru için pet şişe içinde buharlaşan moleküller kapağa çarpar ve yoğunlaşır çünkü kapak soğuktur derler) olduğunu söylemeleridir. Halbuki 9. soru için yoğunlaşma şişedeki su buhar bakımından **doygunluğa ulaşınca** olur. **Burada öğrencilerin yanda bahsedilen yanlışları (yani “yoğunlaşma için sıcaklık düşüşü olmalıdır” yanlışlığı) kullanılarak bir tartışma ortamı yaratılır ve doğru cevaba gidilir.**

- Bu tartışmaların ardından öğrencilerden 1. (buharlaşmanın tanımı) ve 3. soru (yoğunlaşmanın tanımı) ile ilgili fikirleri alınır. Doğru tanıma yakın öğrencilerin cevapları da kullanılarak bu iki olayın bilimsel tanımları verilir:

*Buharlaşma:* Bir sıvının belirli bir molekülünün kinetik enerjisi, molekül diğer moleküllerle çarpıştıkça sürekli değişir. Herhangi bir anda toplam moleküllerin bir kısmı oldukça yüksek bir kısmı da oldukça düşük enerjiye sahiptir. Çevresindeki moleküllerin çekim kuvvetiniyenecek kadar yüksek kinetik enerjili moleküller eğer yüzeye yakın ve doğru yönde hareket ediyorsa sıvı fazdan gaz faza geçebilirler (bu yüzden buharlaşma sıvının yüzeyinde olur deriz) ki bu olay buharlaşmadır.

*Yoğunlaşma:* Bir gaz ya da buharın sıvıya dönüşmesine yoğunlaşma denir. Yoğunlaşma kapalı bir sistemdeyse sistemin buhar doygunluğuna erişmesi gerekir ki yoğunlaşma başlasın.

- 7. soru buharlaşma hızı ile ilgilidir. Bu soruya öğrencilerin verdikleri yanıtlar alınır ve hangisi en mantıklı diye sorulur. Ardından öğrencilerin verdikleri yanıtları da içererek (yani doğru cevap veren kişiler ve cevapları) buharlaşma hızı ve etkileyen faktörlere geçilir.

Buharlaşma Hızını Etkileyen Bazı Faktörler:



- yüzey alanı (buharlaşma sıvının yüzeyinden olduğu için yüzey alanı arttıkça buharlaşma hızı da artar.)
- sıcaklık (sıcaklık arttıkça buharlaşma hızı da artar. Sıcaklık arttırıldığında moleküllerin ortalama kinetik enerjisi ve dolayısıyla buhar fazına geçebilecek kadar yüksek kinetik enerjili moleküllerin sayısı da artar.)
- moleküller arası çekim kuvveti (moleküller arası çekim kuvveti ne kadar zayıfsa buharlaşma hızı o kadar fazladır.)  
Öğrencilere tartışmanın en başında oda sıcaklığında iki termometre gösterilir ve birine asetona batırılmış pamuk sarılır diğerine de suya batırılmış pamuk sarılır. Bu konuya gelindiğinde öğrencilere neden asetona sarılı termometredeki sıcaklık düşüşünün daha fazla olduğu sorulur. (Asetonun K.N'si 56, suyun K.N'si 100 0C olarak verilir.)
- Havadaki nem oranı (havadaki nem oranı ne kadar az ise buharlaşma o kadar hızlı olur.)  
Öğrencilere, “Deniz seviyesinde mi çamaşırlar daha çabuk kurur yoksa Nevşehir’de mi?” sorusu sorulur.
- Rüzgar (difüzyon ve konveksiyon yoluyla su buharının sıvı yüzeyinden uzaklaşmasını sağladığından buharlaşmayı hızlandırır.)  
Öğrencilere, “Rüzgarlı havada mı çamaşır daha çabuk kurur?” sorusu sorulur.

(30 dk)

Dersin sonunda süblimleşme, geri süblimleşme ve kırılgılaşma tanımları verilir:

- Giysilerimizi güveden korumak için aralarına naftalin koyarız. Koyduğumuz naftalinin azalarak bir süre sonra yerinde olmadığını görürüz. Madde vardan yok olmadığına göre naftaline ne olmuştur?

Maddenin katı halden sıvı hale dönüşmeden gaz hale dönüşmesine **süblimleşme** denir. Örnek olarak naftalin, kurubuz (katı CO<sub>2</sub>) ve tuvaletlere koyduğumuz ernetler verilebilir. Katıdan gaz hale geçerken madde ısı alır. Süblimleşmenin tersine maddenin gaz halden doğrudan katı hale geçmesine **geri süblimleşme** denir. Gaz haldeki su moleküllerinin katı hale geçmesine (su moleküllerinin geri süblimleşmesine) ise **kırılgılaşma** denir.

#### 4.

**Aktivite:** Günlük Yazma

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Bu aktivite ile öğrencilerin kendi ve arkadaşlarının fikirlerini ve aralarındaki farklılıkları üstbilişsel olarak görüntülemesi ve öğrencilerin kendi fikirlerini üstbilişsel olarak değerlendirmesi sağlanmaya çalışılacaktır.

Ev ödevi olarak öğrencilerin aşağıdaki sorulara cevaplarını günlüklerine yazmaları istenir:

#### GÜNLÜK 27

1. Bu dersten neler öğrendin? Bunların günlük hayatta sana nasıl yardımcı olacağını düşünüyorsun?
2. Günlüklerinizde cevaplandığınız sorularla ilgili sınıf tartışması sırasında senden daha farklı düşünen arkadaşların var mıydı? Kendi düşüncenle karşılaştığında sana daha anlamlı ve inandırıcı gelen fikirler nelerdi? Neden bu fikirler sana daha anlamlı ve inandırıcı geldi? **Lütfen bunları örneklerle detaylı olarak açıklayınız.**
3. Bu dersten sonra önceki düşüncelerinde bir değişiklik oldu mu? Önceki düşüncelerine şimdiki düşüncelerin arasındaki farklılıklar neler? **Lütfen bunları örneklerle detaylı yazıp fikrinizi neden değiştirdiğinizi de açıklayınız.** Değiştiremediğiniz fikirleriniz (bunlar doğru ya da yanlış olabilir) varsa lütfen bunları da yazıp neden değiştiremediğinizi anlatınız.

## DERS PLANI 15

**NOT:** Dersin ilk 15 dakikası “buharlaştırma ve yoğunlaştırma” ile ilgili sınıf tartışmasının devamı için ayrılır.

**Aktivite:** Günlük Yazma ve Grup Tartışması

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Günlük yazma aktivitesi ile öğrencilerin ön bilgilerinin üstbilişsel farkındalığı sağlanmaya çalışılacak grup ve sınıf tartışması ile öğrencilerin kendi ve arkadaşlarının fikirlerini ve aralarındaki farklılıkları üstbilişsel olarak görüntülemesi ve öğrencilerin kendi fikirlerini üstbilişsel olarak değerlendirmesi sağlanmaya çalışılacaktır.

**Konu:**

- Kaynama ve Buhar Basıncı

**Kazanımlar:**

- Katı halden gaz hale kadar ısıtma/soğutma süreçlerini gösteren grafikler üzerinde erime-donma, buharlaştırma-yoğuşma, kaynama ve yalnızca ısınma olaylarının yer aldığı bölgeleri ayırt eder.
- Kapalı kaplarda buharlaştırma-yoğuşma süreçleri üzerinden denge buhar basıncını ve normal kaynama noktasını açıklar.
- Kaynama sıcaklığı ile coğrafi irtifa ve dış basınç arasında ilişki kurar.
- Denge buhar basıncı üzerinden bağıl nem ile ilgili problemleri çözer.

**Süre:** 30 dakika (dersin ilk 15 dakikası bir önceki derste yapılan “buharlaştırma ve yoğunlaştırma” ile ilgili sınıf tartışmasının devamı için ayrıldı.)

### DERSİN İŞLENİŞİ

1. Bu derste öğrenciler aşağıdaki etkinliği yapacaklar. Ancak öğrenciler bu etkinliği yapmadan önce günlüklerine aşağıdaki soruların cevaplarını yazacaklar.

**Aktivite:** Günlük Yazma

Derse başlamadan önce öğrenciler aşağıdaki sorularla ilgili düşüncelerini günlüklerine yazarlar:

#### GÜNLÜK 28

- Öğretmeniniz sizlere 20 mL’lik bir şırınga gösterecek ve 10 mL’sini 70 °C’deki suyla dolduracak. Şırınga içindeki suyu kaynatmak için ne yapmalısınız?
  - Su kaç °C’de kaynar?
  - Şırınganın içinde 70 °C’de su varken içindeki hava boşaltılıp şırınganın ağzı hava giriş-çıkışı önlemek için kapatılırsa ve piston geriye doğru çekilirse (bu durum etkinliği yapmadan sadece öğrencilere yapılacak etkinliği anlatmak için öğretmen tarafından gösterilir) piston içindeki sıcak suya ne olacağını düşünüyorsunuz? Neden?
- Buhar basıncını nasıl tanımlarsınız?

(5 dk)

#### 2. Grup Tartışması

Öğrenciler 5’erli gruplara ayrılır ve önce aşağıdaki soruları grupça tartışırlar. Daha sonra “şırıngada suyu kaynatma” etkinliğini yapıp gözlemlerini tartışırlar. Yapılacak etkinlikte kullanacak malzemeler aşağıdaki gibidir:

### Malzemeler:

- 1 adet şırınga
- Sıcak su (60-70 °C'de)

Grupların tartışacakları sorular:

- Öğretmeniniz sizlere 20 mL'lik bir şırınga gösterecek ve 10 mL'sini 70 °C'deki suyla dolduracak. Şırınga içindeki suyu kaynatmak için ne yapmalıyız?
  - Su kaç °C'de kaynar?
  - Şırınganın içinde 70 °C'de su varken içindeki hava boşaltılıp şırınganın ağzı hava giriş-çıkışını önlemek için kapatılırsa ve piston geriye doğru çekilirse (bu durum etkinliği yapmadan sadece öğrencilere yapılacak etkinliği anlatmak için öğretmen tarafından gösterilir) piston içindeki sıcak suya ne olacağını düşünüyorsunuz? Neden?
- Buhar basıncını nasıl tanımlarsınız?
- Suyun buzdan buhar haline gelme sürecindeki değişimi gösteren sıcaklık (°C) - ısı (Joule) grafiğini çiziniz. Çizmiş olduğunuz grafikte donma, erime, buharlaşma, yoğunlaşma ve kaynamanın nerede olduğunu gösteriniz.
- Şırınganın içine öğretmeninizin sağladığı sıcak suyu alıp size tarif edilen etkinliği yapın ve gözlem sonuçlarınızı tahminlerinizle karşılaştırın.

(10 dk)

### **3. Sınıf Tartışması**

Grup tartışmasının ardından gruplardan biri tahtaya kaldırılarak onlar üzerinden sınıf tartışmasına geçilir:

- Şırınganın pistonunu geriye doğru çektiğinizde ne gözlemlediniz? Neden?
    - Düdüklü tencerede ve ağzı açık tencerede su kaynatıldığında kaç °C'de kaynar?
    - Deniz seviyesinde ve Erciyes Dağı'nın tepesinde su kaç °C'de kaynar?
    - Su normalde 100 °C'de kaynadığı halde nasıl oluyor da şırınganın içinde 70 °C'de kaynadı?
    - Piston geriye doğru çekildiğinde şırınganın içindeki basınç nasıl değişti? (Eğer basınçla ilişkilendiremezlerse bu soru sorulur ve cevapları alınır.)
    - Kaynamayı nasıl tanımlarsınız? (**Açıklama: Burada öğrencilerin yukarıdaki sorulara ve bu soruya verdikleri doğru yanıtları da dahil ederek kaynama tanımı verilir: Sıvının sıcaklığı arttırıldığında moleküllerin kinetik enerjisi artar ve daha fazla molekül buhar fazına geçer. Dolayısıyla sıvının buhar basıncı artar ve bir süre sonra sıvının buhar basıncı atmosfer basıncına eşit olur. Bir sıvının buhar basıncının dış basınca eşit olduğu noktaya *kaynama noktası* bu sırada gerçekleşen olaya da *kaynama* denir. *Normal Kaynama Noktası:* Dış basıncın 1 atm olduğu durumdaki kaynama noktasına denir. *Deniz seviyesinden yukarılara çıkıldıkça açık hava basıncı düşer. 1 atm'den küçük bir değer alır bu yüzden sıvının kaynama noktası düşer. Burada yaptığımız şırıngada su kaynatma etkinliğinde de şırınga içindeki basınç düştüğünden suyun buhar basıncı dış basınca daha kolay eşitlenir yani daha düşük sıcaklıkta eşit olur. Aksine sıvıya uygulanan dış basınç arttırılırsa sıvının kaynama naktası artırılabilir. Mesela düdüklü tencerede sıvının buharı dışarı çıkamaz ve tenceredeki basınç artar. Düdüklü tencereler, içlerindeki havayı normal hava basıncının yaklaşık iki katı kadar bir basınç altında tutacak şekilde tasarlanmıştır. Bu basınç altında da suyun kaynama sıcaklığı 121 °C'dir.)*** NOT: Kaynamaya etki eden faktörlere geçilir: Birinin bu tartışmalar sonucu "açık hava basıncı" olduğu sonucuna varılır. "Sıvının Cinsi" için aşağıdaki örnek soru sorulabilir:
- Etil alkol ve su kaç °C'de kaynar? Neden?
- Buradan tanecikler arası etkileşimin yani sıvının cinsinin kaynama noktası üzerinde etkisi olduğu sonucuna gidilir.

- **Öğrencilerin günlüklerinde (“Hal Değişimi” posteri öncesinde günlüklerine çizdikleri grafikler) ve grup tartışması sırasında çizdikleri grafikler tahtaya çizilir.** NOT: Grafikte donma, erime, buharlaşma, yoğunlaşma ve kaynamanın nerede olduğu konusunda tartışma yapılır. Öğrenciler buharlaşmanın kaynamadan sonra olduğunu düşünüyor. Ayrıca yoğunlaşmanın ise örneğin, su için sadece 100 °C'nin üstündeki sıcaklıklarda olduğunu düşünüyor. Bu iki durumla ilgili öğrencilerin düşünceleri alınacak. (Doğru cevap: Buharlaşma her sıcaklıkta olur. Katı halde bile mesela buzda bile buharlaşma olur. Yoğunlaşma da buharlaşmanın olduğu her yerde olur. Kaynama belli bir noktada olur. Kaynama noktasına ulaşmış bir sıvıya enerji verilmeye devam edilse bile sıcaklık sabit kalır çünkü verilen enerji sıvının buharlaşmasında kullanılır.
- Buharlaşma ile kaynama arasında nasıl bir fark vardır?
- Suyun kaynaması sırasında üzerinde görülen beyaz duman nedir? (**Öğrenciler buna su buharı diyorlar halbuki su buharı gözle görülmez. Görünen beyaz duman yoğunlaşmış sudur.**)
- Yüksek yerlerde yemekler daha mı geç daha mı erken pişer?

(Açıklama: Yükseklere çıktıkça hava basıncı düştüğü için, buralarda su 100°C'den daha düşük sıcaklıklarda kaynamaya başlar. Yemek pişirmenin basit bir su ısıtmadan (örneğin çay yapmak için su ısıtmak) en önemli farkı, pişmesi için yemeği kaynar durumda bir süre bekletmek zorunda olmamız. Yani suyun kaynaması yetmiyor, tam pişme için gerekli kimyasal reaksiyonların tamamlanmasını sağlamak için de bir süre daha beklememiz gerekiyor. Bu reaksiyonların hızının sıcaklığa bağlılığı da pişirme süremizi belirliyor.

Bazı noktaları biraz daha açıklayalım. Sulu bir yemeği pişirirken, ilk aşamada altını çok açarız ki hemen kaynamaya başlasın. Altını ne kadar çok açarsak, o kadar çok ısı veririz, suyun sıcaklığı da o kadar hızlı artar. Fakat yemek kaynamaya başlayınca altı kısılır. Bunun nedeni, suyun sıcaklığının kaynama noktasının üzerine çıkamaması. Yani bu aşamada yemeğe verdiğimiz fazladan ısı, sıcaklığı artırmak yerine suyu buharlaştırmaya yarıyor. Yemeğin pişme süresi ise sadece içinde bulunduğu suyun sıcaklığına bağlı, bu suyun ne kadar çabuk buharlaştığına değil. Özetlersek, bir kere kaynamaya başladıktan sonra yemeğin sıcaklığı sabit kalıyor (suyun kaynama sıcaklığı). Ocağı ne kadar çok açarsanız açın, bu sıcaklığı kesinlikle artıramıyorsunuz. Ocağın fazla açık olması suyun tamamen buharlaşma ve yemeğin yanma olasılığını artırdığı için de ocağı mümkün olduğu kadar kısıyoruz.

Buna ek olarak, bir yemeğin pişme süresi sıcaklık arttıkça kısılır (yüksek sıcaklıklarda reaksiyonlar daha hızlı gerçekleştiği için). Dolayısıyla, yüksek yerlerde suyun kaynama noktası daha düşük olduğundan ve yemekler bu sıcaklıkta piştiğinden, pişirme süresi deniz seviyesine göre daha uzun olacaktır.

Son olarak, düdüklü tencerelerin bu olayı kullanarak pişirme süresini kısalttığını ekleyelim. Bu kaplar, içlerindeki havayı normal hava basıncının yaklaşık iki katı kadar bir basınç altında tutacak şekilde tasarlanmıştır. Bu basınç altında da suyun kaynama sıcaklığı 121°C'dir. Düdüklü tenceredeki yemek kaynamaya başladığında sıcaklık tam bu değere eriştiği için, yemeğin ağız açık kaplardakinden çok daha hızlı pişmesi sağlanıyor.)

- Buhar basıncı nedir?

(Açıklama: Buharlaşma ve yoğunlaşma, beraber yürüyen olaylar. Bir bardak suyu bir yere bıraktığımızda, bardak içindeki suyun miktarı artabilir ya da azalabilir. Bu, buharlaşmanın mı yoksa yoğunlaşmanın mı daha hızlı olduğuna bağlı. Çoğunlukla havada yeteri kadar su buharı bulunmadığı için buharlaşma daha hızlıdır ve bardak içindeki su seviyesi azalır. Ama, örneğin, bol sıcak sulu bir banyo yaptıktan sonra havada normalden çok daha fazla su buharı olduğu için bu durumda yoğunlaşma çok daha hızlıdır ve banyoda duran bir bardak sadece sıvı suyun olduğu yerlerde değil, banyonun duvarlarında bile oluşabilir.

**Buharlaşma hızının, yoğunlaşma hızına eşit olduğu duruma “denge” deniyor. Denge, bardaktaki su seviyesi gibi gözlemlenebilir Şeylerin zamanla değişmediği durumları anlatmak için, günlük dilde kastettiğimizden daha geniş anlamlarda sıkça kullanılan bir sözcük. Eğer bir sıvı (ya da katı) ile buharı denge halindeyse, buharın (kısmi) basıncına teknik literatürde “buhar basıncı” deniyor. Buhar basıncı sadece sıvılar için geçerli olan bir kavram değildir. Buharlaşan bütün maddeler için geçerlidir. Örneğin buzun da belli bir buhar basıncı vardır çünkü buzda bulunan su molekülleri de yavaş da olsa buharlaşırlar.)**

- Buhar basıncına sıcaklığın etkisi nasıldır? NOT: Charles Yasası’nda yaptığımız etkinlikler hatırlatılır ve sıcaklıkla basınç ilişkisi sorulur bunun ardından buhar basıncının sıcaklıkla olan ilişkisinin nasıl olacağı sorulur.

Buhar basıncına sıcaklığın etkisi verildikten sonra buhar basıncını sıvının cinsinin de etkilediği konusundan bahsedilir: Aynı sıcaklıkta bazı sıvılar diğerlerine göre daha hızlı buharlaşırlar çünkü moleküller arası çekim kuvvetleri daha zayıftır. Bu tanım da verildikten sonra aşağıdaki üç soru tartışılır:

- Oda sıcaklığında etil alkol ve suyun buhar basınçları nasıldır? (**Cevap: Etil alkolün moleküller arası çekim kuvveti daha zayıf olduğundan buhar basıncı daha fazladır.**)
- Etil alkol ve su aynı ortamda ve açık kaplarda kaynadığında buhar basınçları nasıldır? (**Cevap: Birbirine eşitir çünkü kaynama sıvının buhar basıncının atmosfer basıncına eşit olduğu noktada olur.**)
- Kapalı ve sabit hacimli bir kapta buharıyla dengede su ile He gazının olduğu Şekil ve pistonlu kapta buharıyla dengede su ile He gazının olduğu sistem tahtaya çizilir ve öğrencilere bu iki kapta sıcaklık arttığında buhar basıncı nasıl değişir diye sorulur.

NOT: Öğrencilere buhar basıncı ile ilgili Şu kısım not aldırılabilir: Buhar basıncı iki faktöre bağlıdır: sıvının sıcaklığı ve sıvının cinsi. Aynı sıcaklıkta molekülleri arasındaki çekim kuvveti büyük olan sıvının buhar basıncı düşük olur. Bu tür sıvılara uçuculuğu az olan sıvılar denir. Buhar basıncı büyük olan sıvılara ise uçuculuğu büyük olan sıvılar denir. Uçuculukla buhar basıncı ters orantılıdır. Buhar basıncı sıvının kabın Şekline ve sıvı üzerindeki kabın hacmine bağlı değildir.

“Bağıl nem” verilir.

(30 dk)

#### 4.

**Aktivite:** Günlük Yazma

**Aktive edilebilecek üstbilişsel faaliyetler:** Bu aktivite ile öğrencilerin kendi ve arkadaşlarının fikirlerini ve aralarındaki farklılıkları üstbilişsel olarak görüntülemesi ve öğrencilerin kendi fikirlerini üstbilişsel olarak değerlendirmesi sağlanmaya çalışılacaktır.

Ev ödevi olarak öğrencilerin aşağıdaki sorulara cevaplarını günlüklerine yazmaları istenir:

#### **GÜNLÜK 29**

1. Bu dersten neler öğrendin? Bunların günlük hayatta sana nasıl yardımcı olacağını düşünüyorsun?
2. Günlüklerinizde cevaplandırđınız sorularla ilgili grup ve sınıf tartışması sırasında senden daha farklı düşünen arkadaşların var mıydı? Kendi düşünceyle karşılaştırdığında sana daha anlamlı ve inandırıcı gelen fikirler nelerdi? Neden bu fikirler sana daha anlamlı ve inandırıcı geldi? **Lütfen bunları örneklerle detaylı olarak açıklayınız.**
3. Bu dersten sonra önceki düşüncelerinde bir değişiklik oldu mu? Önceki düşüncelerinde Şimdiki düşüncelerin arasındaki farklılıklar neler? **Lütfen bunları örneklerle detaylı yazıp fikrinizi neden değiştirdiğinizi de açıklayınız.** Değiştiremediğiniz fikirleriniz

(bunlar doğru ya da yanlış olabilir) varsa lütfen bunları da yazıp neden değiştiremediğinizi anlatınız.

Bu dersten sonraki derste ise ısı-sıcaklık grafiği üzerinden hal değişim ısısı konusuna geçilir ve problemleri çözülr.

## APPENDIX I

## CONTROL GROUP LESSON PLAN

## KONTROL GRUBU DERS PLANLARI

## DERS PLANI 1

**Konu:**

- Gazların genel özellikleri

**Kazanımlar:**

- Katı, sıvı ve gaz fazları maddenin tanecikli yapısını göz önüne alarak taneciklerin etkileşimleri ve hareketleri temelinde karşılaştırır.
- Gazların boşlukta yer kapladığını açıklar.
- Gazların kütlesi olduğunu açıklar.

**Süre:** 1 ders saati

**DERSİN İŞLENİŞİ**

- İlk derste öğretmen maddenin katı, sıvı ve gaz hali arasındaki farklılıklardan bahseder. Derse şu şekilde bir giriş yapılabilir: Maddenin doğada en çok 3 hali bilinir. Bunlar katı, sıvı ve gaz halleridir. Ayrıca son yıllarda maddenin 4. hali olan plazma hali de dikkate alınmaya başlanmıştır. Maddenin katı, sıvı ve gaz hali oda sıcaklığı baz alınarak söylenmiştir.

Öğretmen aşağıdaki tablo gibi ya da istediği şekilde katı, sıvı ve gazlar arasındaki farklılıkları öğrencilere not aldirabilir:

<b>Katı</b>	<b>Sıvı</b>	<b>Gaz</b>
Sıkıştırılmaz <i>Tanecikler arası boşluklar çok azdır.</i>	Sıkıştırılmaz <i>Tanecikler arası boşluklar çok azdır.</i>	Sıkıştırılabilir <i>Tanecikler arası boşluklar çok fazladır.</i>
Tanecikler arası boşluğun en az olduğu haldir. Bundan dolayı sadece titreşim hareketi yaparlar.	Sıvı halde tanecikler arası boşluk katı hale göre fazla, fakat gaz hale göre azdır. Sıvılar katılara göre daha hareketlidir. Sıvılar titreşim ve öteleme hareketi yaparlar. ( <i>Öteleme hareketi: Taneciklerin birbirini iterek hareket etmesi, yer değiştirmesidir.</i> )	Tanecikler arasındaki boşluk çok fazla olduğu için gaz tanecikleri titreşim, öteleme ve dönme hareketleri yapar.
Tanecikler arası çekim kuvveti en fazla.	Tanecikler arası çekim kuvveti katılardan az, gazlardan fazla.	Tanecikler arası çekim kuvveti en az.

(15 dk)

2. Bu bölümde maddenin gaz halini inceleyeceğiz. Gazlar hayatımızda çok önemli bir yer kaplamaktadır. Hayatımızın devamı için en temel maddelerden birisi olan hava bir gaz karışımıdır. Bu derste gazların genel özelliklerini inceleyeceğiz.

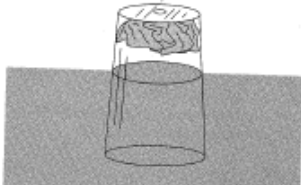
- Gazlar boşlukta bir yer kaplar.

Daha sonra öğretmen gazların boşlukta yer kapladığına dair aşağıdaki etkinliği gösteri deneyi olarak yapar:

**Malzemeler:**

- Plastik bardak
- Plastik bardağı içine alabilecek su ile dolu derin bir kap
- Kuru gazete ya da havlu kağıt yaprakları

Öğretmen gazete yaprağını buruşturup bardağın dibine yerleştirir. Hatta daha sıkı durması için gazete yaprağı bardağın tabanına bantla yapıştırılabilir. Daha sonra bardak ters çevrilerek su dolu kaba daldırılır (bakınız Figür 1).



**Figür 1** İçinde kağıt olan ve suda ters çevrilen bardak

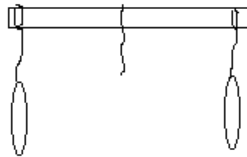
Bu etkinliğin ardından öğretmen öğrencilere ne gözlediklediklerini sorar. Öğrenciler gözlem sonuçlarını sözel olarak ifade ederler.

Daha sonra yapılan etkinliğin sonucu öğretmen tarafından sınıfa açıklanır: Gazların boşlukta yer kapladığını söylemiştik. Bu etkinlikte bardağın içindeki kağıdın ıslanmama sebebi bardağın içindeki havanın sıkışıp kağıdın bulunduğu alana suyun girmesini önlemesindedir. Bu etkinlik havanın boşlukta yer kapladığını kanıtlar.

(15 dk)

3. Bu etkinliğin ardından öğrencilere gazların bir ağırlığının olduğu söylenir ve ardından aşağıdaki etkinlik yapılır:

Bir cetvelin iki ucuna özdeş balonlar bağlanır ve cetvelin tam ortasından bir ip geçirilerek Figür 2'deki gibi eşit kollu terazi düzeneği kurulur.



**Figür 2** Cetvelle balonların tartılması

Öğrencilere cetvelin iki ucuna özdeş balonlar asıldığında ne gözledikleri sorulur. Ardından balonlardan biri alınıp şişirilir ve tekrar yerine bağlanır ve yine öğrencilerden gözlem sonuçlarını sözel olarak söylemeleri istenir. Ardından öğretmen bu etkinlikle ilgili açıklamayı yapar. Gazların da ağırlıklarının olduğunu söyler.

(15 dk)



## DERS PLANI 2

### **Konu:**

- Gazların genel özellikleri

### **Kazanımlar:**

- Katı, sıvı ve gaz fazları maddenin tanecikli yapısını göz önüne alarak taneciklerin etkileşimleri ve hareketleri temelinde karşılaştırır.
- Gazların hareketli yapısını kavrar.
- Gazların sıkışma/genleşme sürecindeki davranışlarını sorgulayarak gerçek gaz-ideal gaz ayrımı yapar.
- İdeal gazın davranışlarını açıklamada kullanılan temel varsayımları (kinetik teori varsayımları) irdeler.

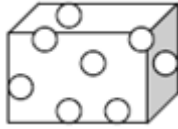
**Süre:** 1 ders saati

### **DERSİN İŞLENİŞİ**

1. Öğrencilere gazların hareketli olduğundan ilk derste bahsettiğimizi ve bununla ilgili bir etkinlik yapacağımız söylenir:

Öğretmen tarafından sınıfın bir köşesinden parfüm sıkılır ve öğrencilerin kokuyu alana kadar süre tutması ve kokuyu aldıklarında sırayla parmak kaldırmaları istenir. Daha sonra öğrenciler kokunun en erken ve en geç ulaştığı noktaları söylerler.

Ardından öğretmen öğrencilere bu olayın nedenini açıklar. Parfüm kokusunun alınmasının nedeninin gazların hareketli olmasından kaynaklandığı söylenir: Gazlarda tanecikler arasındaki boşluk çok fazla olduğu için gaz tanecikleri titreşim, öteleme ve dönme hareketleri yapar. Ayrıca günlük yaşamdan da bir örnek verilir. Mesela anneleriniz yemek pişirirken kokusunu almanızın nedeni gazların hareketli yapısından kaynaklanır denir. Ardından parfüm sıkıldığı anda taneciklerin görüntüsü ile ilgili model (bakınız Figür 1) tahtaya çizilir ve taneciklerde bir değişim olmadığı söylenir.



**Figür 1** Parfüm sıkıldıktan sonra taneciklerin modeli

NOT: Bu anlatımlar sırasında öğretmen öğrencilere istediği şekilde not aldırabilir.  
(15 dk)

2. Bu etkinliğin ardından öğretmen bir önceki ders sıvıların da hareketli olduğundan bahsettiğimizi söyler ve aşağıdaki etkinliği sınıfta yapar:

#### Malzemeler:

- İçinde soğuk su olan bardak
- İçinde sıcak su olan bardak
- Mürekkep
- Damlalık

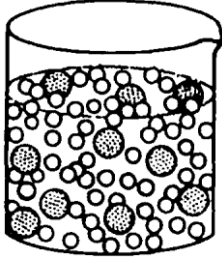
Öğretmen mürekkepten yavaşça 2'şer damla aynı anda soğuk ve sıcak su dolu bardağa damlatır (bakınız Figür 2). Mürekkebin sudaki davranışı öğrenciler tarafından izlenir. Daha sonra öğretmen öğrencilerin ne gözlediklerini sorar ve ardından olayın açıklamasını yapar. Bir müddet sonra mürekkebin su içinde her tarafa yayıldığını ve bunun sıcak suda daha hızlı olduğunu söyler: Sıvı halde tanecikler arası boşluk katı hale göre fazla, fakat gaz hale göre

azdır. Sıvılar katılara göre daha hareketlidir. Sıvılar titreşim ve öteleme hareketi yaparlar. (*Öteleme hareketi*: Taneciklerin birbirini iterek hareket etmesi, yer değiştirmesidir.)



**Figür 2** Mürekkebin sudaki davranışı

Bu açıklamanın ardından da öğretmen mürekkebin suda dağılmış halini gösteren modeli (bakınız Figür 3) tahtaya çizer.

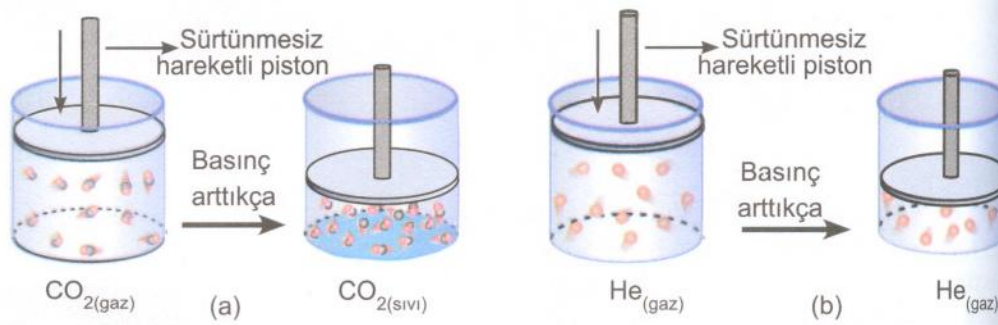


**Figür 3** Mürekkebin tanecikli yapıya göre sudaki davranışı  
(15 dk)

### 3.

Daha sonra “Gazların Sıkışma ve Genleşme Özelliği” konusuna geçilir:

Figür 4’te oda sıcaklığında sürtünmesiz hareket eden pistonla kapatılmış iki silindir kap içinde belli miktarda  $\text{CO}_2$  ve He gazları bulunmaktadır.



**Figür 4** (a)  $\text{CO}_2$  gazının ve (b) He gazının basınçla sıkıştırılması

Silindir içinde bulunan gaz molekülleri basıncın etkisiyle sıkıştırılmıştır. Bu sıkıştırılma sonucunda  $\text{CO}_2$  gazının bir süre sonra sıvılaştığı, He'nin ise gaz halinde kaldığı görülüyor. Bu iki gazın göstermiş olduğu davranış farkı, ancak moleküller arası boşluklarla ve moleküller arası çekim kuvveti ile açıklanır. Ortam sıcaklığı ve basınç etkisiyle birbirine yaklaşan moleküllerin arasındaki çekme kuvvetinin etkin olduğu durumda gaz sıvı hale geçer. Moleküller arası etkileşimi olan ve moleküllerin birbirinden etkilendiği gazlara **gerçek gazlar** denir. Molekülleri arasındaki etkileşimlerin sonucunda gerçek gazlar basınçla sıvılaşabilir. Gerçek gazlarda moleküllerin hacmi ihmal edilemez. Molekülleri arasında birbirinin davranışından etkilenmeyen ve aralarında çekim kuvveti olmayan gazlara **ideal gazlar** denir. İdeal gazlarda toplam hacim yanında gaz moleküllerinin hacmi çok küçük olduğundan gaz moleküllerinin hacmi ihmal edilebilir.

Figür 4’te oda sıcaklığında (aynı şartlarda bulunan) He ve CO<sub>2</sub> gazlarından CO<sub>2</sub>’nin basınç uygulanarak sıvılaştığı ancak He’nin sıvılaşmadığı görülür. Bu durumda CO<sub>2</sub> gazını gerçek gaz, He gazını ise ideale yakın gaz olarak nitelendirebiliriz. Doğada bulunan gazların hiçbiri ideal gaz değildir. Ancak gerçek gazlar düşük basınç ve yüksek sıcaklıkta ideallığe yaklaşır.

Buradan sonra gazların genleşme özelliğinden kısaca bahsedilir. “Sıcaklığın artmasıyla gazların hacimlerinde meydana gelen değişime *ısıl genleşme* denir. Gazların sıkıştırılabilme ve genleşme özelliğine günlük hayat örnekleri verilir: Oksijen tüplerinde, LPG tüplerinde sıkıştırılarak sıvılaştırılmış gazlar bulunur. Gazların genleşme özelliğinden sıcak hava balonlarında yararlanılır.

Bu özellikleri verdikten sonra “Gazların Kinetik Teorisi”ne geçilir:

19. yüzyılın başlarında Ludwig Boltzman ve Clerk Maxwell ve diğer bilim insanlarının çalışmaları gazların kinetik teorisini ortaya koymuştur. Bu teoriye göre;

1. Bir kap içinde gaz molekülleri birbirinden çok uzaktadır. Gaz molekülleri arasındaki bu uzaklığın yanında moleküllerin hacmi ihmal edilebilir.
2. Gaz molekülleri, sürekli ve geliş-güzel hareket ederken aynı zamanda birbirleriyle ve kabın çeperleriyle çarpışırlar (Brown Hareketi). Bu çarpışmalar hızlı ve esnektir (Esnek çarpışmalarda enerji kaybı olmaz).
3. Moleküller arasında çarpışma sırasında oluşan zayıf kuvvetlerden başka kuvvetlerin olmadığı kabul edilir.
4. Farklı gazların aynı sıcaklıkta moleküllerinin ortalama kinetik enerjileri birbirine eşit ve sıcaklıkla doğru orantılıdır.

(15 dk)

NOT: Bu derste artan kısım kalırsa bir sonraki derste anlatılabilir.

## DERS PLANI 3

### GRAHAM DİFÜZYON KANUNU

**Konu:**

- Graham Difüzyon Kanunu

**Kazanımlar:**

- Gazların yayılma özelliğini ve yayılma hızlarını kavrar.

**Süre:** 1 ders saati

### DERSİN İŞLENİŞİ

1. Dersin ilk 10 dakikasında öğretmen aşağıdaki simülasyonları gösterir:

Gazlar için:

<http://www.chm.davidson.edu/ChemistryApplets/KineticMolecularTheory/Diffusion.html>

<http://www.biosci.ohiou.edu/introbioslab/Bios170/diffusion/Diffusion.html>

Katılar için:

<http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/thermochem/equilibrium-v1.html>

The motion of particles in three states of matter from the following website:

<http://www.chem.purdue.edu/gchelp/atoms/states.html>

(10 dk)

2. Bu derste öğretmen gazların difüzyonu konusunu işleyeceğini söyler:

Gazların birbiri içinde karışmasını gaz moleküllerinin sürekli ve gelişigüzel hareket ederken birbirleri ile ve kabın çeperlerine çarpmalarıyla açıklayabiliriz. Bu çarpışmalar sırasında moleküller arasında kinetik enerji aktarımı olur. Fakat sistemin toplam kinetik enerjisi değişmez. Sistemde farklı gazlar olsa bile aynı sıcaklıkta bütün gaz moleküllerinin ortalama kinetik enerjileri birbirine eşittir.

$$EK_A = EK_B$$

$EK_A$ : A molekülünün ortalama kinetik enerjisi

$EK_B$ : B molekülünün ortalama kinetik enerjisi

$$\frac{1}{2} m_A v_A^2 = \frac{1}{2} m_B v_B^2$$

$$v_A^2/v_B^2 = m_B/m_A$$

Gazların kütlelerinin yerini mol kütleleri alınınca aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$v_A^2/v_B^2 = M_B/M_A$$

Elde edilen eşitlik gazların yayılma hızlarının mol kütlelerinin karekökü ile ters orantılı olduğunu göstermektedir. Bu ters orantı 1883 yılında Thomas Graham'ın yaptığı deneysel çalışmaların sonucunda bulunmuş ve **Graham Difüzyon Kanunu** adını almıştır.

Graham Difüzyon Kanunu gazların öz kütlelerini (gazların özkütelleri mol kütleleriyle doğru orantılıdır) yayılma sürelerini de dikkate alarak daha genel bir biçimde aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$v_A^2/v_B^2 = m_B/m_A = M_B/M_A = d_B/d_A = t_B/t_A$$

MEB kitabı s. 174'teki difüzyonla ilgili günlük hayat örneği verilir. Ayrıca s. 175'teki *gazların efüzyonu* da kısaca anlatılır. Daha sonra örnek 1-2 problem çözülür.

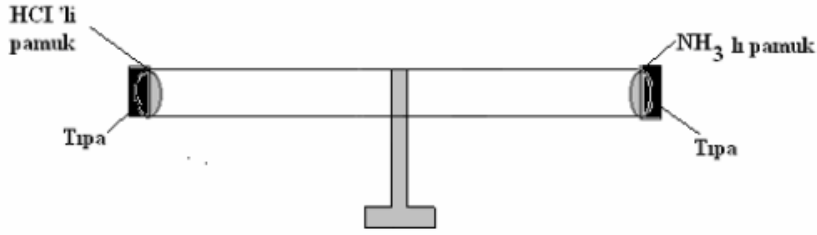
(25 dk)

3. Daha sonra öğretmen aşağıda anlatılan gazların difüzyonu ile ilgili gösteri deneyini yapar.

**Malzemeler:**

- İki ucu açık, 50 cm uzunluğunda bir cam boru
- 2 adet lastik tıpa
- Pamuk
- HCl
- NH<sub>3</sub>

Her iki ucu açık cam boruyu yatay şekilde Figür 1'deki gibi destek çubuğuna yerleştiriniz. Toplu iğneleri lastik tıpaaya tutturunuz. Lastik tıpaaya tutturduğunuz toplu iğnelere biraz pamuk dolayınız. Pamuklardan birine 6-8 damla HCl diğerine de 6-8 damla NH<sub>3</sub> çözeltisi damlatınız. Lastik tıpaları pamuk borunun içine doğru olacak şekilde cam borunun uçlarına aynı anda yerleştiriniz.



**Figür 1** HCl ve NH<sub>3</sub>'ün cam boru içindeki difüzyonu

- Öğrencilerden cam boruyu gözlemeleri istenir. Bir müddet sonra öğrenciler cam boruda beyaz bir duman oluşumu gözlerler. Daha sonra öğretmen deneyin sonucunu açıklar: Bu deney sonucunda HCl ve NH<sub>3</sub> gazlarının birleşerek NH<sub>4</sub>Cl(k) katısını oluşturduğunu gördük. Beyaz bulut olarak görünen bu katının HCl pamuklu uca daha yakın oluştuğunu gördük. Demek ki HCl molekülleri daha yavaş hareket etmiş ki oluşan katı ona yakın mesafede oluşmuş. (Şişman-zayıf adam benzetmesi söylenir.)

(10 dk)

## DERS PLANI 4

### AÇIK HAVA BASINCI

**Konu:**

- Basınç
- Açık hava basıncı

**Kazanımlar:**

- Gaz basıncını molekül hareketleri temelinde açıklar.

**Süre:** 1 ders saati

### DERSİN İŞLENİŞİ

**1. Bu derste gazların basıncı ile sıvı basıncını işleyeceğimiz söylenir:**

**Basınç:** Gazlar temas ettikleri tüm yüzeylere basınç uygularlar çünkü gaz molekülleri sürekli hareket halindedir. Açık hava basıncı da havada bulunan gaz taneciklerinin hareketinden ve cisimlere çarpmasından oluşur. Kinetik teoriye göre gaz molekülleri buldukları kaba homojen olarak dağılırken hem birbirlerine hem de kabın çeperine çarparak çarptıkları yüzeye bir basınç uygularlar. Bu kuvvete **gazın basıncı** denir ve **P** ile gösterilir.

Basınç= Kuvvet/Alan ve  $P= F/S$

Gazın basıncı birim hacimdeki taneciğin sayısı, hızı ve çarpışma sayısı ile orantılıdır.

Dünyamızı saran atmosfer bir gaz karışımıdır ve yeryüzüne bir basınç uygular. Atmosfer basıncını ölçmek için kullanılan araçlara **barometre** denir. Kapalı kaplardaki gazların basıncını ölçmeye yarayan araçlara ise **manometre** denir. (Açık uçlu ve kapalı uçlu manometre çeşitleri tahtaya çizilir.)

Bunun ardından Toriçelli'nin kurduğu düzenekle atmosfer basıncını ölçmesi anlatılır:

Bildiğimiz gibi hava bir gaz karışımıdır ama eski çağlarda hava tek bir element olarak düşünülüyordu. Tüm maddelerin 4 elementten ibaret olduğu görüşü hakimdi: hava, su, toprak ve ateş. Dolayısıyla havanın olmadığı bir yer olmaz yani “doğa vakumu sevmeyiz” gibi teoriler vardı. Örneğin, emme basma tulumba kullanarak yerin altından suyun çıkarılmasının nedeni doğanın vakumu (boşluğu) sevmemesi ile açıklanıyordu. Ancak Toriçelli'nin suyun yükselmesinin doğanın vakumu sevmemesi değil daha farklı bir nedeni olduğunu düşünüyordu. Peki suyu iten şey neydi? Toriçelli'ye göre “biz bir hava denizinin dibinde yaşıyoruz” ve suyun yükselmesinin nedeni suyun üzerindeki havanın suya uyguladığı basınçtı. Buradan sonra MEB kitabı p. 178'den kısaca bahsedilebilir.

Basıncın birimlerinden bahsedilir:

Basıncın SI (uluslararası birim sistemi) birimi Newton/metre kare ( $N m^{-2}$ ) veya Paskal (Pa) olarak tanımlanır.

Diğer basınç birimleri ise bar (bar), mbar (milibar), atm (atmosfer) ve mmHg (milimetre cıva)

$1 \text{ paskal} = 1 \text{ N m}^{-2} = 1 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2}$

$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ paskal}$      $1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg} = 101325 \text{ N m}^{-2} = 101325 \text{ Pa}$

Aşağıdaki bilgi öğrencilere verilir:

1 cmHg: 1 cm yüksekliğindeki cıva sütununun uyguladığı basınçtır.

1 mmHg: 1 mm yüksekliğindeki cıva sütununun uyguladığı basınçtır. 1 mmHg aynı zamanda

1 torr'a eşittir. Torr birimi Torricelli adına kullanılır.

1 atm: 76 cm (760mm) yüksekliğindeki cıva sütununun uyguladığı basınçtır.

Ayrıca burada “sıvı basıncı” kısmından da bahsedilir:

#### **Sıvı Basıncı**

Sıvı basıncı, sıvının özkütlesine ve yüksekliğine bağlıdır:

$P = h \times d$  formülü ile hesaplanır. (h: sıvının yüksekliği, d: sıvının özkütlesi)

Sıvının basıncı, sıvının özkütlesine ve yüksekliğine bağlı olduğu için kabın şekline bağlı değildir!



Daha sonra öğretmen basınç birimleri ve sıvı basıncı ile ilgili örnek sorular çözer.  
(25 dk)

2. Konu anlatımından sonra öğretmen aşağıdaki etkinliği yapar:

Malzemeler:

- Balon
- 2 adet plastik bardak

Plastik bardakları ağızları birbirine bakacak şekilde tutun. Daha sonra bardakların arasına balonu yerleştirip balonu şişirmeye başlayın. Bu sırada bardaklara dokunmayın. Bardaklar balona yapışık kalacaklardır.

Öğrencilerden gözlemlerini ifade etmeleri istenir. Daha sonra olayın açıklaması yapılır: Balon şiştiği zaman bardakların içindeki havanın bir kısmını dışarıya iter ve bu da bardakların içindeki basıncın azalmasına neden olur. Dış basınç (atmosfer basıncı) iç basınçtan daha fazla olduğu için bardaklar balona yapışır.

(7 dk)

3. Daha sonra pipetle nasıl su içtiğimiz ile ilgili etkinlik öğretmen tarafından yapılır:

Malzemeler:

- Pipet
- Su dolu plastik bardak

Öğretmen su dolu bardaktan pipetle su içer. Daha sonra pipet ağıza yakın olan tarafından delinir ve öğretmen tekrar su içmeye çalışır. Pipet delindikten sonra öğrenciler öğretmenin su içemediğini görürler. Öğrencilerin gözlemlerinden sonra bu olayın da açıklaması öğretmen tarafından yapılır: Pipet içindeki havanın basıncı ciğerlerimizdeki havanın basıncından daha fazladır ve pipetteki hava her iki taraftaki basıncı eşitlemek için pipetten ciğerlerimize akar. Bu da pipetteki basıncın azalmasına yol açar. Atmosfer basıncı pipet içindeki havanın basıncından daha fazla olduğu için de su pipetten ağızımıza akar. Pipet delindiğinde ise bu durum gerçekleşmez. Çünkü bu durumda atmosfer basıncı ve pipet içindeki havanın basıncı eşitlenir.

Bu açıklamanın ardından “Ağrı Dağı’na tırmanan bir dağcı, suyu bir pipet yardımıyla içmek istese en kolay dağın zirvesinde mi yoksa eteklerinde mi içer?” sorusu öğrencilerin fikirleri alınmadan öğretmen tarafından cevabı verilir: Bu sorunun cevabı “Ağrı Dağı’nın eteklerinde daha kolay suyu içebiliriz” olacak. Çünkü yükseklere çıktıkça açık hava basıncı azalır. Torricelli’nin dediği gibi “Biz bir hava denizinin dibinde yaşıyoruz.” Aşağılara indikçe üzerimizdeki havanın basıncı artıyor. Ağrı Dağı’nın eteklerindeki açık hava basıncı zirvesine göre daha fazla olduğundan pipetle suyu daha rahat içeriz. Çünkü sıvının üzerindeki açık hava basıncı fazla olunca sıvı pipetten ağıza daha kolay itilir. Eğer süre artarsa hacim, mol sayısı ve sıcaklık kısmı anlatılır. Ancak bu derste süre yetmezse 5. dersin başında da anlatılabilir.

(13 dk)

## DERS PLANI 5

### BOYLE-MARIOTTE KANUNU

#### Konu:

- Boyle-Mariotte Kanunu

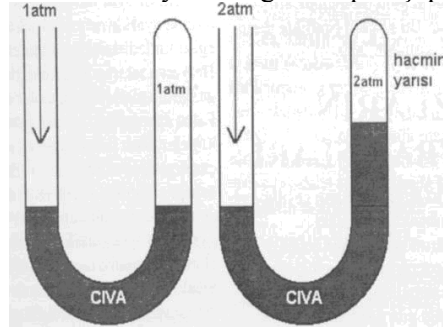
#### Kazanımlar:

- Belli miktarda gazın sabit sıcaklıkta basınç-hacim ilişkisini irdeler (Boyle Kanunu).

Süre: 2 ders saati

### DERSİN İŞLENİŞİ

1. Bilindiği gibi gazlar sıkıştırılabilir ve genişleme özelliğine sahiptir. Basınç-hacim ilişkisini ilk defa Boyle Mariotte 1662'de bulmuş. Boyle, hava basıncının hacim üzerindeki etkilerini gözlemlemek için bir ucu kapalı U borusunun içine civa koydu (bakınız Figür 1). Tabii civanın konulmasıyla bir miktar hava U borusunun kapalı ucunda sıkışmış oldu. Boyle daha sonra gerek havanın hacmini, gerekse konulan civanın yüksekliğini ölçmek için borunun iki tarafına ölçek yerleştirdi. Sıkışan havanın basıncı atmosfer basıncı (barometre ile ölçülüyor) ile civa kolunun yaptığı basınca eşitti. Boyle, daha sonra U borusuna bir miktar daha civa ekleyerek sıkışan havanın basıncını biraz daha arttırdı ve her seferinde de sıkışan havanın hacmini ölçtü. Bu hacmi hesaplarken sıkışan hava kolunun yüksekliği ile tüpün çapını kullandı.



Figür 1U borusu

Böylece, Boyle, sabit sıcaklıkta, bir miktar gazın hacmi azaltılınca, gazın basıncının arttığını buldu. Sabit sıcaklıkta sabit miktardaki bir gazın basıncı hacmi ile ters orantılıdır ve buna **Boyle Kanunu** denir. Boyle Kanunu olarak tanımlanan basınç ve hacim arasındaki ilişkinin matematiksel ifadesi:

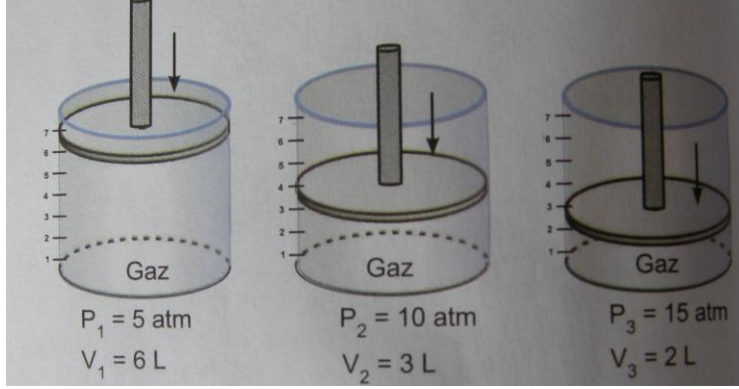
$$P \propto 1/V \text{ ve } P V = k$$

veya bu bağıntı aşağıdaki şekilde de yazılabilir:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = P_3 V_3 = \dots = k$$

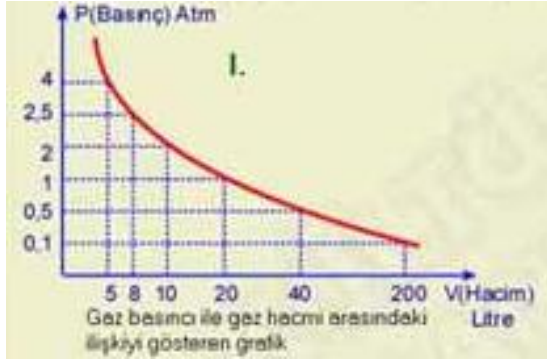
Sabit sıcaklıkta gaza uygulanan basıncın gazın hacmine etkisini içinde bir miktar gaz örneği bulunan sürtünmesiz piston örneği üzerinde inceleyelim. Öğretmen Figür 2'yi tahtaya çizer ve gazlarda basınç ile hacim arasında ters orantı olduğunu söyler.





**Figür 2** Basınç-hacim ilişkisi

Basınç-hacim arasındaki ilişkiyi gösteren grafik (bakınız Grafik 1) tahtaya çizilir:



**Grafik 1** Basınç-hacim ilişkisi

(30 dk)

2. Örnek soru çözümü yapılır. İkinci derste de devam edilebilir.  
(15 dk)

## **2. DERS**

### **BOYLE-MARIOTTE KANUNU'NA DEVAM**

#### **DERSİN İŞLENİŞİ**

**Dersin başında örnek soru çözümüne devam edilir ve kalan 25 dakikada aşağıdaki gösteri deneyleri yapılır.**

1. Bu derste 2 etkinlik gösteri deneyi şeklinde öğretmen tarafından yapılacaktır.

#### **Malzemeler:**

- Şırınga
- Marshmallow (Lokum benzeri bir şekerleme)

#### **Etkinliğin Yapılışı:**

- Şırınganın pistonu çıkarılarak içine marshmallow konulur.
- Piston tekrar şırıngaya takılır ve marshmallowa değmeden şırınga içindeki hava mümkün olduğunca boşaltılır (bakınız Figür 1).
- Bundan sonra şırınganın ağzına kapağı kapatılır.

- Piston dışarıya doğru çekilir ve marshmallowun davranışı öğrencilere aşağıdaki gibi açıklanır. Tabii öncelikle öğrenciler gözlem sonuçlarını söyler ardından öğretmen aşağıdaki açıklamayı yapar:



**Figür 1** Şırınga içinde marshmallow

**Boyle Kanunu sabit sıcaklıkta belli bir miktar gazın basıncının hacmiyle ters orantılı olduğunu söyler. Bu etkinlikte piston dışarıya doğru çekildiğinde piston içindeki basınç düşürülmüş olur. Bu da marshmallowun büyümesine neden olur. Marshmallowu katı-gaz çözeltisi olarak düşünebiliriz. Dolayısıyla basınç düştüğünde marshmallowun hacmi artar. Bu açıklamanın ardından öğretmen uzay yürüyüşüne ve 30 m derine dalarken marshmallowu da alsaydık hacmi şu şekilde değişirdi denir: Uzay yürüyüşünde marshmallowun hacmi basınç düştüğünden (ki uzayda basınç sıfır kabul edilir) artar, 30 m’ye dalındığında ise basınç arttığından azalır.**

**Daha sonra öğrencilere “Ağız kapalı ve içinde hava olan bir şırınganın pistonunu ileriye doğru ittiğimizde taneciklerde bir değişiklik olur mu? Piston itilmeden önce ve sonra tartıldığında ağırlığı ve içindeki havanın özkütlesi değişir mi?” sorusu sorulur ve cevabı öğretmen tarafından açıklanır: Taneciklerde ve ağırlıkta bir değişme olmaz ancak özkütle piston itildikten sonra artar çünkü piston itilince hacim azalır.**

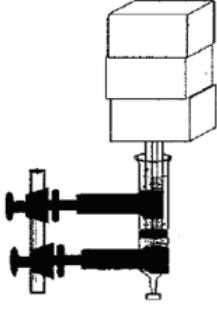
*(10 dk)*

2. Bu etkinliğin ardından öğretmen 2. etkinliği gösteri deneyi şeklinde yapar. İkinci etkinlik için gereken malzemeler ve etkinliğin yapılışı aşağıdaki gibidir:

Malzemeler:

- Şırınga
- Spor ve kısıkaç
- 1, 2 ve 3 kg’lık ağırlıklar

Şırınga spor ve kısıkaç yardımıyla sabitlenir. Daha sonra şırınganın pistonu dereceli bölmenin sonuna kadar çekilir. Şırınganın ağız hava giriş çıkışını engellemek amacıyla kapatılır (bakınız Figür 2). İlk hacim dereceli bölmeden okunarak kaydedilir. Ardından öğretmen sırayla önce 1 kg, sonra 2 kg ve en son 3 kg olacak şekilde ağırlıklar pistonun üzerine koyup ve her ağırlık konulduktan sonraki hacmi söyler.



**Figür 2** Piston üzerine ağırlıkların konulması

Bu etkinlikle de hacim ve basınç arasında ters orantının görüldüğü öğrencilere söylenir ve basit bir şekilde basınç-hacim grafiği tahtaya çizilir.  
(15 dk)

## DERS PLANI 6

### CHARLES KANUNU

#### Konu:

- Charles Kanunu

#### Kazanımlar:

- Belli miktarda gazın basıncı sabitken sıcaklık-hacim; hacmi sabitken de sıcaklık-basınç ilişkisini irdeler (Charles Kanunu).
- Charles Kanunu'ndan yararlanarak mutlak sıcaklık eşelini açıklar.

Süre: 2 ders saati

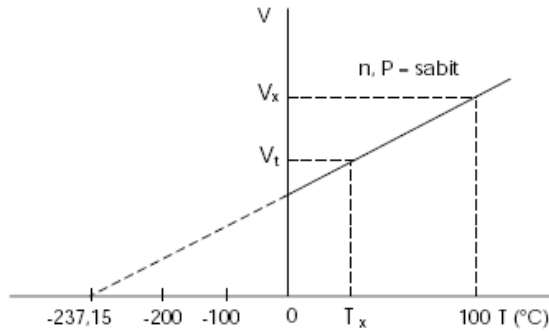
### DERSİN İŞLENİŞİ

1. Sabit basınçta sıcaklık değişimiyle gazların hacmi artar veya azalır. Sabit basınç altında belli miktardaki bir gazın hacmiyle sıcaklığı arasındaki ilişkiyi ilk defa Jaques Charles tarafından 1787'de incelendi. Sabit basınçta, belli bir miktar gazın hacmiyle sıcaklığı doğru orantılıdır ve buna **Charles Kanunu** denir. Charles Kanunu'nun matematiksel olarak ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$V \propto T \text{ ve } V = kT$$

$$V_1/T_1 = V_2/T_2$$

Daha sonra sıcaklık-hacim arasındaki ilişkiyi ifade eden grafik tahtaya çizilir (bakınız Grafik 1):



**Grafik 1** Gaz hacminin sıcaklıkla değişimi

Ayrıca tahtaya sıcaklık birimini Kelvin olarak da grafik çizilir. Ardından da mutlak sıfır noktası ile ilgili durumun açıklamasına geçilir:

Grafikten de görüleceği üzere doğru uzatıldığında sıcaklık eksenini  $-273,15^{\circ}\text{C}$ 'ta kestiği görülür. Bu durumu ilk kez İskoç Fizikçi Lord Kelvin fark ederek en düşük sıcaklık olan  $-273,15^{\circ}\text{C}$ 'ye **mutlak sıfır noktası** olarak tanımlamıştır. Mutlak sıfır noktasını başlangıç noktası olarak alan sıcaklık ölçeğine **Kelvin (mutlak) sıcaklık ölçeği** adı verilmiştir.

Mutlak sıfır noktası (0 Kelvin ya da  $-273,15^{\circ}\text{C}$ ), moleküllerin toplam enerjisinin en düşük değere sahip olduğu sıcaklıktır. Yani, maddeyi daha fazla soğutmanın artık mümkün olmadığı noktadır. Dikkat etmemiz gereken nokta, en düşük sıcaklığın sadece en düşük enerji anlamına gelmesidir, en düşük hareket değil. İlk önce, her maddenin atomlarının en düşük sıcaklıkta bile bir titreşim hareketi yaptığını belirtmemiz gerekiyor. "Sıfır noktası hareketi" olarak adlandırılan bu olay tamamen bir kuantum etkisidir. Hatırlarsanız "Atomun

Yapısı” ünitesinde Kuantum Mekanikliği'nin tarihsel gelişiminde Heisenberg Belirsizlik İlkesi'nden bahsetmiştik. Bu hareketin varlığını anlamak için kuantum belirsizlik ilkesi kullanılıyor: Bir cismin hareket etmemesi hızının sıfır olması anlamına gelir, yani hızda herhangi bir belirsizlik yoktur. Belirsizlik ilkesine göre konum ve hızdaki belirsizliklerin çarpımı belli bir değerden büyük olmak zorundadır. Bu durumda konumun belirsizliğinin sonsuz olması gerekir. Ki bu mümkün değildir çünkü konumun belirsizliğinin sonsuz olması demek ise o atomun hareketli olduğunu gösterir.

Bu bilginin ardından öğrencilere yapılan bilimsel çalışmalarda mutlak sıfır noktasına erişilip erişilmediği sorulur ve aşağıdaki açıklama yapılır:

Şu ana dek bu sıcaklığa ulaşamamış. Evrendeki en düşük sıcaklıkların, galaksiler arasındaki boşlukta yer alması beklenir. Nitekim dünyadan 5000 ışık yılı mesafedeki Boomerang Nebula'sındaki sıcaklığın -272 santigrat (1.15 K) olduğu belirlenmiş bulunuyor. Dünyadaki, laboratuvar dışında ölçülmüş olan en düşük sıcaklık ise, 21 Temmuz 1983 tarihinde Antarktika'daki bir Rus istasyonunda -89,4 santigrat derece olarak ölçülmüş. Halbuki laboratuvarlarda çok daha düşük sıcaklıklara inilebiliyor. 2003 yılı itibariyle laboratuvarında başarılmış olan en düşük sıcaklık  $4,5 \times 10^{-10}$  K (450 pikokelvin).

Peki, mutlak sıfır noktasının altına inilmesi mümkün müdür?

Mutlak sıfır noktasının altına inilmesi mümkün değil. Çünkü mutlak sıfırda madde, mümkün olan en düşük enerji düzeyine oturmuş oluyor.

Daha sonra Celcius ve Kelvin sıcaklık ölçeği arasındaki ilişki verilir:

Sıcaklıklar genelde Celcius ölçeğine göre ölçülür fakat hesaplamalarda Kelvin'e dönüştürülerek kullanılır böylelikle negatif sayılarla uğraşılmamış olur.

$T (K) = t (^{\circ}C) + 273,15$  Fakat hesaplamalarda kolaylık olsun diye 273,15 değeri 273 olarak alınır.

Bunun ardından Gay Lussac Kanunu anlatılır: Charles Kanunu'nun matematiksel ifadesindeki orantıya benzer bir orantı da sabit hacimde belirli miktarda gazın basıncı ile sıcaklığı arasında vardır. Buna göre sabit hacimde bir gazın basıncı sıcaklık arttırıldığında artar, azaltıldığında azalır:

$$P \propto T \text{ ve } P = kT$$

$$P_1/T_1 = P_2/T_2$$

Daha sonra Charles ve Gay-Lussac ile ilgili 1'er örnek soru çözülür.

Örnek soruların çözülmesinin ardından “Mutlak Sıcaklığın Molekül Hızlarının Dağılımına Etkisi”ne geçilir:

Gazların Kinetik Teorisi'nde de bahsettiğimiz gibi taneciklerin ortalama kinetik enerjisi mutlak sıcaklıkla doğru orantılıdır. Taneciklerin kinetik enerjisinin matematiksel ifadesi şu şekildeydi:

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

Taneciklerin ortalama kinetik enerjisi mutlak sıcaklıkla doğru orantılı olduğundan aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{3}{2} kT; \quad k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

Bir gazın 1 molünün toplam kinetik enerjisi ise  $\frac{3}{2} RT$ 'ye eşittir.

$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{3}{2} RT$ ; Eşitlikteki “m” yerine “ $M_A$ ” yazılabilir çünkü 1 molün kütlesi molekül kütlesine eşittir:

$$v^2 = 3RT/M_A; \quad R = 8,314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

Bu denklemde gaz moleküllerinin hızının sıcaklığa ve molekül kütlesine bağlı olarak değiştiği görülmektedir.

Denklem verildikten sonra örnek soru çözülür.

(45 dk)

Soru çözümüne 2. ders saatinde de devam edilebilir.

## **2. DERS**

### **CHARLES KANUNU'NA DEVAM**

#### **DERSİN İŞLENİŞİ**

**Dersin başında örnek soru çözümüne devam edilir ve kalan 25 dakikada aşağıdaki gösteri deneyleri yapılır.**

1. Bu derste 3 etkinlik gösteri deneyi şeklinde öğretmen tarafından yapılacaktır. İlk etkinlikte kullanılacak malzemeler:

##### **Malzemeler:**

- 1 adet pet şişe
- 1 adet balon
- 1 adet plastik bardak
- 1 şişe buz
- Kaynatılmış su (Bunun için kettle kullanılabilir.)
- 1 adet termometre

İçi boş pet şişenin ağzına balon geçirilip önce kaynamış suyun içine daldırılacak ve gözlenecek sonra da buzlu suyun içine daldırılıp gözlenecek. Öğrenciler gözlem sonuçlarını söyler. Ardından aşağıdaki açıklama öğrencilere öğretmen tarafından yapılacak:

**Ağzına balon geçirilmiş olan pet şişe kaynamış suya daldırıldığında balon şişecek, buzlu suda ise balon pet şişenin içine doğru gider. Pet şişe kaynamış suya daldırıldığında içindeki hava ısınır, kinetik enerji artar, daha hızlı hareket eder ve pet şişe içindeki basınç artar ancak şişenin ağzındaki balonun hacmi artarak basıncı dengeler. Pet şişe buzlu su içine daldırıldığında ise pet şişe içindeki hava soğur, kinetik enerji azalır ve basınç düşer ancak bu kez balon hacmi küçülterek basıncı dengelemeye çalışır.**

2. Öğretmen ikinci etkinlikte ise aşağıdaki malzemeleri kullanacak:

##### **Malzemeler:**

- 1 adet balon
- Şişirilmiş balonu içine alabilecek derin bir kap
- Cetvel
- İp
- Makas
- Termometre
- Ağırlık (Balonun suyun içine dalmasını sağlamak için kullanılacak.)
- Mürekkebi çıkmayan CD kalem
- 1 şişe buz
- Kaynatılmış su (Bunun için kettle kullanılabilir.)

Bu etkinlikte ise öğretmen balonu şişirip (hatta balonun esnekliğini kazanması için etkinlikten önce öğrencilerin birkaç defa şişirmeleri iyi olur) bir ip ve cetvel yardımıyla çevresini ölçecek ve bunu tahtaya yazacak. Bu sırada bir öğrenciden yardım da alabilir. Balona ipin sarıldığı kısım CD kalem ile işaretlenecek. Daha sonra balon bir ip yardımıyla ağırlığa bağlanarak önce buzlu su içine atılıp 3 dakika kadar bekletilecek ve ardından buzlu

sudan çıkarılarak balonun daha önce CD kalem ile işaretli kısmı ip ve cetvel yardımıyla ölçülecek ve kaydedilecek. Bu işlem sırasında çok fazla vakit kaybedilmemesi gerekiyor. Ardından aynı balon ağırlıkla beraber kaynamış suyun içine daldırılacak ve yine 3 dakika kadar bekletildikten sonra kaynamış sudan çıkarılarak yine balonun daha önce CD kalem ile işaretli kısmı ip ve cetvel yardımıyla ölçülecek ve kaydedilecek. Ardından öğretmen tahtaya bir eksen sıcaklık, bir eksen de hacim olmak üzere sıcaklık hacim grafiğini çizecek.

Bu etkinliklerin ardından öğretmen aşağıdaki soruları sınıfa yöneltir ve cevabını kendisi verir:

- Yaptığımız etkinliklerde pet şişeyi ve balonu buzlu suya ve kaynamış suya daldırdığımızda taneciklerde bir değişiklik olur mu? Tanecikler arası mesafe nasıl değişir? **(Öğretmen taneciklerde bir değişme olmayacağını ama tanecikler arası mesafenin değişeceğini söyler.)**
- Yaptığımız iki etkinlik için pet şişe-balon ve balonu a) kaynamış suya daldırılmadan önce, b) kaynamış suya daldırıldıktan sonra ve c) buzlu suya konulduktan sonra tartarsak içindeki havanın ağırlığı ve özkütlesi nasıl değişir? **(Öğretmen; ağırlıkta bir değişme olmayacağını, ancak özkütle için eğer ilk etkinlikteki pet şişe-balonu da ikinci etkinlikteki balon gibi esnek kabul edersek kaynamış suya daldırıldıktan sonra hacmin artıp kütle sabit kalacağı için özkütlenin azalacağı fakat buzlu suya daldırıldığında hacmin azalıp kütle sabit kalacağı için özkütlenin artacağı açıklamasını yapar.)**

(20 dk)

Kalan son 5 dakikada öğretmen Gay-Lussac Kanunu'nu anlatmak için çok basit bir gösteri deneyi yapacağını söyler. İçi boş bir pet şişe ağzı açık olarak buzlu suda soğutulur. 1 dakika bekletildikten sonra buzlu sudan çıkarılır. Şişenin kapağı ters çevrilir ve şişenin ağzına konmadan önce şişenin üzerinden kaymasını önlemek için üzeri suyla biraz ıslatılır. Birkaç saniye sonra öğrenciler şişenin üzerindeki kapak oynar. Öğrenciler gözlem sonuçlarını söyledikten sonra öğretmen bu olayın Gay Lussac Kanunu ile ilgili olduğunu açıklar: Sabit hacimde belirli miktarda gazın basıncı ile sıcaklığı arasında doğru orantı vardır.

## DERS PLANI 7

### AVOGADRO KANUNU VE İDEAL GAZ DENKLEMİ

**Konu:**

- Avogadro Kanunu
- İdeal Gaz Denklemi

**Kazanımlar:**

- Belli sıcaklıkta bir gazın, sabit basınç altında mol sayısı-hacim ve sabit hacimde iken mol sayısı-basınç ilişkisini açıklar (Avogadro Kanunu).
- İdeal gaz denklemini kullanarak bir gazın, basıncı, kütlesi, mol sayısı, hacmi, yoğunluğu ve sıcaklığı ile ilgili hesaplamaları yapar.

**Süre:** 3 ders saati

#### DERSİN İŞLENİŞİ

**1. Avogadro Kanunu** (hacim-mol ilişkisi) verilir: Sıcaklığın ve basıncın sabit tutulduğu bir ortamda gazın hacmiyle miktarı doğru orantılıdır. Bu ilişkinin matematiksel olarak ifadesi:

$$V = k n$$

$$V_1/n_1 = V_2/n_2$$

Bu eşitlikle beraber hacim-miktar ilişkisi grafiği de tahtaya çizilir.

Sabit sıcaklık ve basınçta ideal gazların belli miktarının kapladığı hacim ölçümleri ile ilgili deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda gazın cinsine bakılmaksızın belli sayıdaki gaz moleküllerinin aynı hacmi kapladığı görülmüştür. Bu durum Avogadro'nun ileri sürdüğü "eşit hacimde eşit sayıda tanecik" ifadesinin gerçekleştiğini göstermiştir. Bu ifadeden bütün gazların aynı koşullarda bir molünün hacminin birbirine eşit olduğu anlaşılmaktadır. Gazlar için belirtilen bu basınç ve sıcaklık koşulları **standart koşul** ya da **normal koşullar (NK)** olarak adlandırılır. 1 mol ideal gaz için normal koşullarda sıcaklık 0 °C (273 K), basınç 1 atm'dir. 1 mol ideal gazın normal koşullardaki hacmi 22,4 L olarak ölçülmüştür.

#### 2. İdeal Gaz Denklemi

Boyle Kanunu'nda T ve n sabit, V ile P arasındaki ilişki;

$V \propto 1/P$  şeklindedir.

Charles Kanunu'nda ise P ve n sabit, V ile T arasındaki ilişki;

$V \propto T$ 'dir.

Avogadro Kanunu'nda P ve T sabit, V ile n arasındaki ilişki;

$V \propto n$  şeklindedir.

$$V \propto nT/P$$

$$P V = n R T; \quad R: \text{orantı sabiti (gaz sabiti)}$$

R gaz sabitinin değeri 1 mol gazın NK'daki hacim (22,4 L), sıcaklık (0 °C) ve basınç (1 atm) değerleri ideal gaz denkleminde yerine konularak bulunabilir:

$$1 \text{ atm} \times 22,4 \text{ L} = 1 \text{ mol} \times R \times 273 \text{ K}$$

$$R = 0,0821 \text{ atm L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$



İdeal gaz denklemi kullanılarak gaz haldeki maddenin molekül kütlesi ve yoğunluğu da bulunabilir. Denklemde mol sayısı yerine  $n = m/M_A$  ifadesi yazıldığında  $P V = m/M_A R T$  eşitliği ortaya çıkar. Eşitlik düzenlendiğinde;  
 $M_A = mRT/P V$  elde edilir.

Bir gazın yoğunluğu  $d = m/V$  formülü ile gösterilir. İdeal gaz denkleminde gerekli düzenlemeler yapılarak;  
 $P V = m/M_A R T$ ;  $P M_A = m/V R T$  eşitliği elde edilir. Eşitlikte  $m/V$  yerine  $d$  konularak;  
 $P M_A = dRT$  eşitliği elde edilir.

**2. VE 3. DERS** saati dahil örnek problemler çözülebilir.

## DERS PLANI 8

### GAZ KARIŞIMLARI

#### Konu:

- Gaz Karışımları

#### Kazanımlar:

- Kısmi basınç ve kısmi hacim kavramlarını açıklar.
- Gaz karışımları ile ilgili hesaplamaları yapar.

Süre: 1 ders saati

### DERSİN İŞLENİŞİ

#### 1. Dalton'un Kısmi Basınçlar Kanunu

Çevremizde bulunan gazların çoğu karışım halindedir. Örneğin, hava bir gaz karışımıdır ve içinde yaklaşık olarak %78 azot, %21 oksijen ve %1 diğer gazların karışımından oluşur. Dalton 1801 yılında kuru havanın (içinde su buharı olmayan hava) içine su buharı eklemiş ve toplam basıncın eklenen su buharının basıncı kadar arttığını gözlemlemiştir:

$$P_T = P_{\text{kuru hava}} + P_{\text{su buharı}}$$

Yani karışımın toplam basıncı karışımı oluşturan gazların kısmi basınçları toplamına eşitti. Dalton'un yapmış olduğu bu çalışma daha sonra **Dalton Kısmi Basınçlar Kanunu** olarak adlandırıldı: Birbiriyle reaksiyona girmeyen gaz karışımının **toplam basıncı**, karışımı oluşturan gazların kısmi basınçları toplamına eşittir. Bu kanunun matematiksel olarak ifadesi:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$

Burada geçen "kısmi basınç" terimi herbir gazın kendi başına uyguladığı basıncı ifade eder. Tabii burada gazın ideal gaz olduğunu unutmayalım!

Molekülleri arasında birbirinin davranışından etkilenmeyen ve aralarında çekim kuvveti olmayan gazlara *ideal gazlar* diyorduk. Gaz karışımındaki gazların kabın çeperiyle çarpışırken birbirlerinden etkilenmediklerini yani her gazın birbirinden bağımsız olarak basınç uyguladıklarını ve bu basınçlar toplamının gaz karışımının toplam basıncını oluşturduğunu düşünüyoruz. Bu konudan sonra gerçek gazları da göreceğiz. Daha önce de söylediğimiz gibi doğada hiçbir gaz ideal değildir ancak ideale yakın davranır. Ancak pratikteki uygulamalar için gazları ideal olarak düşünüyoruz.

Bir karışımı oluşturan gazların sıcaklıkları aynıdır.

Önce ideal gaz denklemini yazılır ve hacim ve sıcaklığın sabit olduğu belirtilir:

$$P V = n R T; V \text{ ile } T \text{ sabit}$$

Örneğin, kapta hidrojen ve helyum gazından oluşan bir karışım varsa;

$$P_{H_2} V_T / P_T V_T = n_{H_2} R T / n_T R T$$

$$P_{H_2} / P_T = n_{H_2} / n_T \text{ orantısına elde edilir.}$$

Elde edilen  $n_{H_2} / n_T$  orantısı **mol kesridir** ve  $X_{H_2}$  ile gösterilir.

**Mol kesri**, gaz karışımındaki bir gazın mol sayısının, karışımındaki bütün gazların mol sayıları toplamına oranıdır. Herhangi bir gaz karışımındaki bütün gazların mol kesirleri toplamı daima 1'e eşittir.

Sıcaklığın sabit olduğu durumda ve toplam basınç altında, karışımdaki her bir gazın tek başına doldurduğu hacim **kısmi hacim** olarak bulunabilir.

$$V_{H_2}/V_T = n_{H_2}/n_T$$

İdeal gaz karışımında kısmi basıncın toplam basınca oranı ile kısmi hacmin toplam hacme oranı birbirine ve mol kesrine eşittir.

$$P_{H_2}/P_T = V_{H_2}/V_T = n_{H_2}/n_T = X_{H_2}$$

n tane gazdan oluşmuş bir karışım için,

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n; \quad n_T = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_n \text{ yazılabilir.}$$

$P_T$  ve  $n_T$  birbirine oranlanırsa, eşitlikleri de birbirine oranlanabilir.

$$P_T/n_T = P_1/n_1 = P_2/n_2 = P_n/n_n$$

Örnek soru çözümüne geçilir.

## DERS PLANI 9

**Süre: 1 ders saati**

**Bir önceki haftadan konuya devam edilip soru çözümü yapılır.**

“Gazların Su Üstünde Toplanması” konusundan bahsedilir:

Su üzerinde gaz toplama yöntemi karışımlardaki gazları saf olarak elde etmek için kullanılır. Dalton’un kısmi basınçlar kanunu, su üzerinde toplanan gazların basıncının hesaplanmasında da kullanılır. Örneğin, oksijen gazı elde etmek için  $KClO_3$  (Potasyum Klorat) ısıtılır ve açığa çıkan oksijen gazı bir düzenek ile su dolu tüp içinde toplanır. Toplanan oksijen gazı saf değildir. Çünkü tüpte su buharı da vardır. Toplam gaz basıncı, oksijen gazının kısmi basıncı ile su buharının kısmi basıncının toplamına eşittir.

$$P_T = P_{O_2} + P_{su \text{ buharı}}$$

Su buharının basıncı sıcaklığa bağlıdır. Toplam basınç hesaplanırken suyun o sıcaklıktaki buhar basıncı bilinmelidir. Bunlar sorularda sizlere verilir.

Daha sonra “bağıl nem” tanımı ve formülü verilir:

Bağıl nem, su buharı kısmi basıncının aynı sıcaklıkta suyun buhar basıncına oranıdır ve % ile tanımlanır.

$$\text{Bağıl nem} = \frac{\text{Su buharının kısmi basıncı}}{\text{Suyun buhar basıncı}} \times 100$$

Soru çözümüne geçilir. Sorular hem kısmi basınç hem de şimdiye dek görülen kısımlarla ilgili olabilir.

## DERS PLANI 10

### GERÇEK GAZLAR

#### **Konu:**

- Gerçek Gazlar

#### **Kazanımlar:**

- İdeal gaz kavramının fiziksel gerçekliğini irdeler.
- Gazların hangi hallerde ideallikten uzaklaştığını fark eder.
- Gerçek gazların sıvılaşması sürecini moleküller arası bağlar ile ilişkilendirir.
- Gerçek ve ideal gazlarda Joule-Thomson olayını açıklar.
- Joule-Thomson olayının gündelik hayatta uygulamalarına örnekler verir.
- “Gaz” ve “buhar” kavramları arasında ayırım yapar.

**Süre:** 3 ders saati

### 1. DERS

#### **DERSİN İŞLENİŞİ**

##### **1.**

Kinetik teori varsayımları:

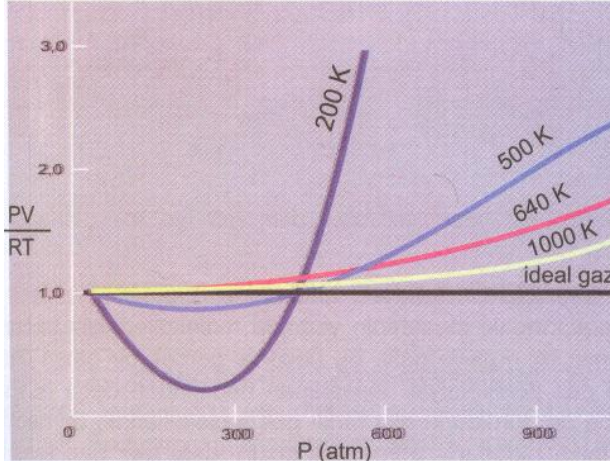
1. Bir kap içinde gaz molekülleri birbirinden çok uzaktadır. Gaz molekülleri arasındaki bu uzaklığın yanında moleküllerin hacmi ihmal edilebilir.
2. Gaz molekülleri, sürekli ve gelişi-güzel hareket ederken aynı zamanda birbirleriyle ve kabın çeperleriyle çarpışırlar (Brown Hareketi). Bu çarpışmalar hızlı ve esnek (Esnek çarpışmalarda enerji kaybı olmaz).
3. Moleküller arasında çarpışma sırasında oluşan zayıf kuvvetlerden başka kuvvetlerin olmadığı kabul edilir.
4. Farklı gazların aynı sıcaklıkta moleküllerinin ortalama kinetik enerjileri birbirine eşit ve sıcaklıkla doğru orantılıdır.

Kinetik teori varsayımlarına uyan gazlara ideal gaz demiştik. Molekülleri arasında birbirinin davranışından etkilenmeyen ve aralarında çekim kuvveti olmayan gazlara *ideal gazlar* denir. İdeal gazlarda toplam hacim yanında gaz moleküllerinin hacmi çok küçük olduğundan gaz moleküllerinin hacmi ihmal edilebilir. Oysaki gazlar sıvılaşabiliyordu! Demek ki tüm gazlar ideal değil. İdeallikten sapan gazlar da var. Mesela oda sıcaklığında sürtünmesiz hareket edebilen pistonla kapatılmış iki silindir kap içinde belli miktarda CO<sub>2</sub> ve He gazları bulunmaktadır. Silindir içinde bulunan gaz molekülleri basıncın etkisiyle sıkıştırılmıştır. Bu sıkıştırılma sonucunda CO<sub>2</sub> gazının bir süre sonra sıvılaşığı, He'nin ise gaz halinde kaldığı görülüyor. Bu iki gazın göstermiş olduğu davranış farkı, ancak moleküller arası boşluklarla ve moleküller arası çekme kuvveti ile açıklanır. Ortam sıcaklığı ve basınç etkisiyle birbirlerine yaklaşan moleküller arasındaki çekme kuvvetinin etkin olduğu durumda gaz sıvı hale geçer. Moleküller arası etkileşimi olan ve moleküllerin birbirinden etkilendiği gazlara *gerçek gazlar* denir. Doğada bulunan gazların hiçbiri ideal gaz değildir. Ancak gerçek gazlar yüksek sıcaklık ve düşük basınçta idealliğe yaklaşır.

Gaz yasaları, kinetik teori varsayımlarıyla uyumludur. Ancak gazlarla ilgili deneysel sonuçlar gerçek gazlara aittir. Bir gaz için ideal gaz denkleminde elde edilen sonuçlar yaklaşık değerlerdir.

### İdeal Gaz Varsayımından Sapmalar

İdeal gaz denklemleri  $P V = n R T$  olduğuna göre 1 mol gaz için  $PV/RT = 1$ 'dir. İdeale yakın gazlar (tabii ideal gaz derken doğada aslında ideal gazın olmadığı sadece ideale yakın gazlar olduğu ve bunları ideal gaz olarak düşündüğümüz vurgulanmalı). Ancak idealden uzak gazlar (bu gazlara da gerçek gazlar diyeceğiz) her koşulda bu eşitliği sağlayamaz. Örneğin Grafik 1'de  $CH_4$  (metan) gazının  $PV/RT$  oranının basınçla değişimini gösterilmektedir (Grafik çok basit olarak tahtaya çizilebilir).  $PV/RT = 1$  değerindeki sapma miktarı gazın ideal gaz denkleminde hesaplanan sonuçtan ne kadar saptığını gösterir. Grafikten de görüldüğü gibi  $CH_4$  gazı 200 K ( $-73^\circ C$ ) sıcaklığında ideal gaz denkleminde hesaplanan değerden oldukça çok saptmıştır. 1000 K ( $-727^\circ C$ ) sıcaklığında ise ideal gaz denkleminde hesaplanan sonuca oldukça yaklaşmıştır.



**Grafik 1**  $CH_4$  (metan) gazının değişik sıcaklıklarda  $PV/RT$  oranının basınçla değişimi ve ideal gaz denkleminde hesaplanan değerden saptması

Gerçek bir gazın ideal gaz denkleminde hesaplanan sonuçtan saptması gazın cinsi (molekülün polarlığı), basınç ve sıcaklık gibi nedenlere bağlıdır.

Yüksek sıcaklık ve düşük basınçta gazlar birbirinden etkilenmeleri yani aralarındaki çekim de minimum olacağından ideale yaklaşır denir. Kinetik teoriye göre gaz moleküllerinin öz hacmi, toplam hacim yanında ihmal edilebilir. Düşük basınç ve yüksek sıcaklıkta birbirinden oldukça uzakta bulunan gaz moleküllerinin buldukları hacmin yanında öz hacimlerini ihmal etmek büyük bir hataya neden olmaz. Yüksek basınç ve düşük sıcaklıkta moleküller birbirine oldukça yaklaşır ve moleküller arasındaki mesafe ihmal edilemez bir düzeye gelir. Bu nedenle gerçek bir gazın ölçülen hacmi ideal gaz denkleminde hesaplanan hacimden daha büyüktür.

İdeal gazdan sapmalar gazın cinsine de yani molekülün polarlığına da bağlı demiştik. Bunun nedenini moleküller arasındaki etkileşim kuvveti ile ilgilidir. Moleküller arasındaki etkileşim kuvveti ne kadar fazlaysa gaz ideallikten o kadar uzaklaşır. Daha sonra aşağıdaki Tablo 1 tahtaya çizilir ve öğrencilere bu tabloyu inceleyerek moleküller arasındaki etkileşimler ile ideallikten sapma arasında bir ilişki kurup kuramayacakları sorulur.

**Tablo1** Bazı gazların kaynama noktaları ve molekülleri arasındaki etkileşimler

Gazlar	Kaynama Noktası (°C)	Molekülleri Arasındaki Etkileşimin Türü
H <sub>2</sub> O	100	Dipol-dipol Hidrojen bağı London kuvvetleri
CH <sub>3</sub> OH	64,96	Dipol-dipol Hidrojen bağı London kuvvetleri
SO <sub>2</sub>	-10	Dipol-dipol London kuvvetleri
Cl <sub>2</sub>	-34,6	London kuvvetleri
CO <sub>2</sub>	-78,5	London kuvvetleri
O <sub>2</sub>	-182,9	London kuvvetleri
F <sub>2</sub>	-188,1	London kuvvetleri
He	-268,6	London kuvvetleri

Tablo 1’de yukarıdan aşağıya doğru inildikçe moleküller arasındaki etkileşimin şiddeti azalırken kaynama sıcaklığının da arttığı görülür. Bu durumda gaz molekülleri arasındaki etkileşimin şiddeti ne kadar az ise gaz ideallığe o kadar yakındır. Gaz molekülleri arasındaki etkileşimin şiddeti arttıkça madde gaz halden sıvı hale geçeceği için ideallikten uzaklaşır. İdeal gazlarda moleküller arasındaki etkileşimler de ihmal edilir. Oysa bütün gazlar sıcaklıkları düşürüldüğünde sıvılaşır. Yüksek sıcaklıklarda gaz molekülleri çok hızlı hareket ettiklerinden moleküller arasındaki çekme kuvvetleri moleküllerin kinetik enerjileri yanında ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Düşük sıcaklıklarda ise çekme kuvvetleri molekülleri birbirine yaklaştırır. Bu durumda gerçek bir gazın ölçülen basıncı, ideal gaz denkleminde hesaplanan basınçtan daha küçüktür. Molekülleri arasındaki etkileşimleri yüksek olan gazların ölçülen basıncı, ideal gaz denkleminde hesaplanan basınçtan daha düşüktür.

**Hollandalı fizikçi Johannes van der Waals (1837-1923) ideal gaz denklemini ( $PV = nRT$ ) gerçek gazların davranışlarına tam uygunluk sağlamak için incelemiştir. Van der Waals moleküllerinin öz hacimleri ile moleküllerarası çekim kuvvetlerini gözönüne alarak ideal gaz denkleminde düzeltmeler yapmıştır.**

**Gerçek bir gazın ölçülen basıncı moleküller arası çekme kuvvetlerinden, ideal gaz denkleminde hesaplanan basınçtan daha küçük olduğunu söylemiştik. Dolayısıyla moleküller arası çekim kuvveti basınca eklenmeli ve basınç:**

$$P_{\text{ideal}} = P_{\text{gerçek}} + n^2 a/V^2 \text{ olmalıdır.}$$

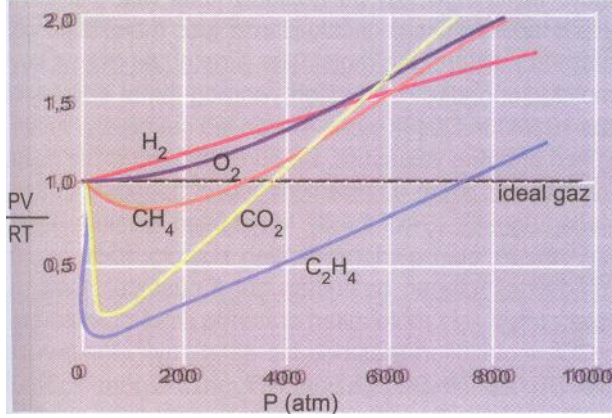
**Gerçek gazların hacimlerinin ise ideal kabul edilen gazların hacimlerinden daha büyük olduğunu çünkü gerçek gazlarda moleküllerin sıkıştırılmayan öz hacimlerinin de gözönüne alındığını söylemiştik. Buna göre ideal hacim;**

$$V_{\text{ideal}} = V_{\text{gerçek}} - n b \text{ olur.}$$

**Bu iki düzeltme sonucundaki Van der Waals eşitliği:**

$$(P_{\text{gerçek}} + n^2 a/V^2) (V_{\text{gerçek}} - n b); a, b: \text{ her gaz için deneylerle belirlenen Van der Waals sabitleri}$$

Daha sonra aşağıdaki Grafik 2 tahtaya çizilip grafikte ideallikten en çok sapan gazın hangisi olduğu üzerinde açıklama yapılır. (İdeallikten en çok sapan gazın C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> gazı olduğu çünkü molekülleri arasındaki etkileşimin en kuvvetli gaz olduğu söylenir.)



**Grafik 2** Farklı gazların PV/RT oranının basınçla değişimi ve ideal gaz denkleminde hesaplanan değerden sapmaları

## **2. DERS (45 dakika)**

**NOT: Bu dersten sonra gazlarla ilgili genel olarak ve hatta gerçek ve ideal gazlar farkına yönelik sorular da çözülebilir.**

## **3. DERS (45 dakika)**

**3. ders saatinde “Joule-Thomson Olayı” ile “Gaz, Buhar ve Kritik Sıcaklık” konuları anlatılır.**

### **1. Joule-Thomson Olayı**

Buzdolabının ve derin dondurucuların olmadığı dönemlerde insanlar yaşadıkları yerleşim bölgelerinin yakınında bulunan dağların zirvelerinden kar getirerek soğutucuya olan gereksinimlerini karşılıyorlardı. Bir maddeyi soğutmanın yollarından birisi de kendisinden daha soğuk bir maddenin içi ne koymaktır. Bu amaçla kullanılan soğutucu maddeler; buz, sıvı hava, kuru buz (katı CO<sub>2</sub>), aseton-alkol veya aseton-eter karışımıdır. Sıvı hava bulunduğu ortamı -180 °C'ye kadar, sıvı hidrojen ise -250 °C'ye kadar soğutabilir. Normal şartlar altında hava ve hidrojen sıvı halde bulunamayacağına göre gazlar buldukları ortamın sıcaklığından daha düşük sıcaklıklara kadar nasıl bir yöntemle soğutuluyor? İşte James Joule ve William Thomson bu konu hakkında ilk defa çalışan bilim insanlarıdır. Joule ve Thomson yaptıkları deneyler sonucunda hızla geniştirilen bazı gazların sıcaklığında değişiklik olmadığını, bazı gazların ısındığını, bazı gazların ise soğuduğunu gözlemlemiştir. Bir gazın kinetik enerjisinin sıcaklığa bağlılığını gösteren kinetik teoremin formülü aşağıdaki gibidir.

$$E_k = 3/2 kT \quad k: \text{sabit, } T: \text{Mutlak sıcaklık}$$

Buna göre gazın sıcaklığı arttırıldığında kinetik enerjisi artar. Sıcaklığı azaltıldığında ise kinetik enerjisi azalır. Gazların kinetik enerjisini düşürebilmek için gaz moleküllerine bir iş yaptırmak gerekir. Gaz molekülleri düşük sıcaklıkta düşük ortalama hızla sahip olduklarına göre molekülleri yavaşlatmak, gazı soğutmak anlamına gelir. Gazlar geniştirildiğinde moleküller birbirinden uzaklaşır ve ortalama hızları düşer. Genleşen gazın molekülleri arasındaki çekim kuvvetlerinin yenilmesi için gereken enerji eğer sistem ısıya yalıtılmışsa ortamdaki çekim kuvvetlerinin yenilmesi için gereken enerji eğer sistem ısıya yalıtılmamışsa ortamdan alınamaz. Bu durumda moleküller enerjiyi kendi öz ısılarını kullanarak karşıladıklarından hızla geniştirilen gazlar soğur. Eğer sistem ısıya yalıtılmamışsa soğuyan gaz bulunduğu ortamı da soğutur. Mesela bisikletinizin tekerini şişirirken sibobun soğumasının nedeni de budur.



James Joule ve William Thomson'ın anısına bu olaya **Joule-Thomson Olayı** ya da **Joule-Thomson Genleşmesi** adı verilir.

**Joule-Thomson olayı ile gündelik hayatta karşılaştığımız yerler:**

-Soğutucularda Joule-Thomson olayından yararlanılarak amonyak, metil klorür, propan gibi kolay buharlaşabilen akıcı maddeler kullanılır. Sıvı hale getirilen madde borularla dolabın iç yüzeyine verilir. Madde borular içinde gaza dönüşürken dolabın içini soğutur. Aynı gaz kompresör tarafından basınç altında yeniden sıvı duruma getirilir.

-Ayrıca araçlarda ve evlerde kullanılan klimalardaki gaz bir kompresör aracılığıyla emilip sıkıştırılarak sıvılaştırılır. Sıkıştırma sırasında açığa çıkan ısı bir fan vasıtasıyla atmosferik çevreye atılır. Bu sıvı daha sonra üzerindeki basıncın düşürülmesi ile bulunduğu ortamdan ısı çekerek gaz hale dönüşür. Bu sırada bulunduğu ortamdan ısı çektiği için ortam sıcaklığını da düşürmüş olur. Soğutma akışkanı kompresör tarafından emilerek çevrim aynı şekilde tekrarlanır.

**2. Gaz, Buhar ve Kritik Sıcaklık**

**Kritik Sıcaklık:** Bir gazın sıcaklığı ne kadar yüksekse sıvılaşması o kadar zordur ve gazı sıvılaştırmak için gereken basınç da o kadar yüksektir. Herbir gaz için farklı değerde olan öyle bir sıcaklık vardır ki bu sıcaklığın üzerinde bulunan gaz hiçbir basınç altında sıvılaştırılmaz. Her gaz için ayrı olan bu sıcaklığa *kritik sıcaklık* adı verilir. Yani kritik sıcaklık bir gazın basınç uygulanarak sıvılaştırılabileceği en yüksek sıcaklıktır ve  $T_K$  ile gösterilir. Kritik sıcaklık değeri; kaynama noktası, özkütle, iletkenlik gibi maddenin ayırt edici özelliklerindedir.

Gaz ile buhar arasındaki ayrımı yaparken kriterimiz “kritik sıcaklık”tır:

**Gaz:** Bulunduğu sıcaklıkta, hiçbir basınç altında sıvılaştırılamayan sıkıştırılabilir akışkanlar “gaz” olarak tanımlanır.

**Buhar:** Gazlar gibi davrandıkları halde, buldukları sıcaklıkta basınçla sıvılaştırılabilen akışkanlara “buhar” adı verilir.

Daha sonra öğrencilere aşağıdaki iki soru sorulur. (Tablo öğretmen tarafından tahtaya çizilebilir)

Tablo 1’de bazı maddelerin kritik sıcaklıkları ve kaynama noktaları verilmiştir. Bu bilgilerden yararlanarak aşağıdaki soruları yanıtlayınız:

1. Oda koşullarında hangi maddelerin buhar hangi maddelerin gaz halde olduğunu belirleyiniz.
2. Bu maddelerden hangileri soğutucu akışkan olarak kullanılabilir?

**Tablo 1** Bazı maddelerin kritik sıcaklıkları ve kaynama noktaları

Madde	Kritik Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	Kaynama Noktası ( $^{\circ}\text{C}$ )
He	-267,8	-268,6
Ne	-228,6	-245,93
Ar	-122,3	-185,7
H <sub>2</sub>	-240,01	-252,75
O <sub>2</sub>	-118,2	-182,82
N <sub>2</sub>	-146,8	-195,79
F <sub>2</sub>	-129	-188,1
Cl <sub>2</sub>	144	-34,6
Br <sub>2</sub>	311	58,3
CO <sub>2</sub>	31,2	-78
H <sub>2</sub> O	374,3	100
NH <sub>3</sub>	132,4	-33,34
CH <sub>4</sub>	-82,4	-164
CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> (Freon-12)	420	-29,8

**(Soruların Yanıtı:**

**1. Oda koşullarında Tablo 1’de verilen maddelerden He, Ne, Ar, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, F<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> gaz halde, Br<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O sıvı halde, Cl<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> ve CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub> (Freon-12) buhar halinde bulunur.**

**2. Helyumun kaynama noktası ve kritik sıcaklık değerleri oldukça düşüktür. Ayrıca Joule-Thomson genişlemesi ile soğumaz. Çünkü oda koşullarında He ideale en yakın gazdır. H<sub>2</sub>O’nun kritik sıcaklık değeri oldukça yüksektir ancak kaynama noktasının da yüksek olması oda koşullarında sıvı halde bulunmasına neden olur. Soğutucu akışkan olarak kullanılacak maddenin basınçla sıvılaştırılabilmesi ve üzerindeki basınç kaldırıldığında genişerek buhar haline geçmesi gerekmektedir. H<sub>2</sub>O oda koşullarında sıvı halde olduğu için bu koşulları sağlayamaz ve soğutucu akışkan olarak kullanılamaz. NH<sub>3</sub>’ün kaynama noktası düşük ve kritik sıcaklığı yüksek olduğu için oda koşullarında buhar halde bulunur. Basınçla sıvılaştırılabilir ve üzerindeki basınç kaldırıldığı zaman Joule-Thomson genişlemesi ile soğur. Bu nedenle soğutucu akışkan olarak kullanılabilir. Tabloda verilen maddelerden soğutucu akışkan olarak kullanılacak en iyi madde CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub> (Freon-12)’dir. Çünkü soğutucu akışkanların kritik sıcaklığının yüksek olması ve düşük kaynama noktasına sahip olması çok düşük sıcaklıklarda uygulama imkanı sağlar. Soğutucularda daha önceleri NH<sub>3</sub> gibi maddeler kullanılmaktaydı ancak bu maddelerin zehirleyici etkisi nedeniyle daha sonraki yıllarda keşfedilen CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub> (Freon-12) soğutucularda kullanılmıştır.)**

## DERS PLANI 11

### Konu:

- Maddenin plazma hali
- Hal değişimleri ve ısı
- Erime ve donma

### Kazanımlar:

- Maddenin katı, sıvı ve gaz halinden başka plazma hali olduğunu da bilir.
- Hal değişim olayları ve ısı alış-verişi arasında ilişki kurar.
- Erime ve donma olayını maddenin tanecikli yapısına göre açıklar.

**Süre:** 45 dakika

### DERSİN İŞLENİŞİ

#### 1. Derse maddenin plazma haliyle başlanır:

Daha önceki derslerde maddenin katı, sıvı ve gaz halini görmüştük. Maddenin katı, sıvı ve gaz halinden başka çok yüksek sıcaklıklarda karşılaşılan, plazma olarak adlandırılan dördüncü bir hali de vardır. Katı bir cisim oluşturan ve hareketleri çok az olan taneciklerin enerjisi arttırıldığında madde önce sıvıya sonra da gaza dönüştürülür. Eğer gaz halinden sonra da enerji verilmeye devam edilirse gaz atomunun elektronu çekirdeğin çekiminden kurtulur ve geriye iyon halinde gaz kalır ama bazı atomlar da nötr kalmaya devam eder. Oluşan bu iyon, elektron ve nötr atom karışımı (iyonize olan gaz) plazmadır. Bu karışım elektrikçe nötrdür. Plazma hali oluşturan türlerin (bağıl bollukları) sıcaklıkla değişebilir.

Güneş ve diğer yıldızlar (nötron yıldızları hariç) tamamen plazma halindedir. Plazma haline uzay boşluğunda da bolca rastlanır. Uzaydaki plazma çok daha soğuk olmasına rağmen, çok seyreltik olduğu için birleşerek nötr atomlar oluşturma ihtimali düşüktür. Yıldırım, alev vb. plazmalara örnek verilebilir.

Plazma yüksüz olmasına rağmen çok iyi bir iletkenidir. Yüksek sıcaklıkta düşük yoğunluğa sahiptir. Fazla enerji yaymaz ve manyetik alana etki eder. Bu özellikler sebebi ile kağıt endüstrisinde, uzay endüstrisinde, elmas yapımında, elektronik çip yapımında ve plazma televizyonlarda kullanılmaktadır. (*Plazma televizyonlar*, iki paralel cam tabakanın arasında yer alan ve ızgara şeklinde yerleşik, içi plazma adı verilen neon ve ksenon gazları ile dolu binlerce odacıktan oluşur. Elektrik akımı bu odacıklarda bulunan plazmaya ulaştığında, oluşan çok küçük bir ultraviyole ışınımı fosforlu bir tabakaya çarparak kırmızı, mavi veya yeşil renklerden birine sahip bir piksel oluşturur. Ekran yüzünde oluşan bunun gibi yüzbinlerce piksel bir araya gelerek ekranda gördüğümüz görüntüyü oluşturur.)

#### 2.

#### Hal Değişim Olayları ve Isı

Maddenin hal değişimlerine ısı eşlik eder. Bu dönüşümlerde “madde ısı alır veya verir”. Öğrencilere aşağıdaki gibi durumlar verilir ve okların üzerine “ısı alır” mı “ısı verir” mi yazılması gerektiği sorulur:

Buz  $\xrightarrow{\text{ısı alır}}$  Su  
 Su  $\longrightarrow$  Su Buharı  
 Su  $\longrightarrow$  Buz  
 İyot  $\longrightarrow$  İyot buharı  
 Su buharı  $\longrightarrow$  Kırağı

Isı akış yönüne göre maddenin hangi halinde sıcaklığın daha fazla olduğu söylenebilir. Bir katıyı ısıttığımız zaman katının molekül, atom veya iyonları gittikçe daha hızlı hareket eder.

Komşu taneciklerle arasındaki çekim kuvvetlerinin etkisinden kurtulur. Çekim kuvvetlerinin etkisinden kurtulmak enerji ister. Enerji, iş yapabilme kapasitesidir. Sıcak bir cisimden soğuk bir cisme aktarılan enerjiye **ısı** denir. Isı, sıcaklık farkından dolayı transfer olan enerjidir; sıcaklık ise maddeyi oluşturan taneciklerin ortalama kinetik enerjisidir. Mesela, bugün hava ..... 10 °C olacak derken “hava ısı” değil “hava sıcaklığı” deriz. Çünkü sıcaklık termometre ile ölçülür ancak ısının bir ölçüsü yoktur. Isı sıcaklık farkından dolayı transfer olan enerjidir.

Aynı sıcaklıkta bir bardak ve bir kova su özdeş ısıtıcılarla eşit sürelerde ısıtıldıklarında bardaktaki suyun sıcaklığı, kovadaki suyun sıcaklığından fazla olur. Aynı cins maddeler özdeş ısıtıcılarla eşit sürelerde ısıtıldıklarında, maddelerin kütleleri farklı ise, maddelerin sıcaklık değişimleri de farklı olur. Kütleli büyük olan maddede ısı enerjisi daha fazla taneciğe aktarılır ve taneciklerin ortalama kinetik enerjilerindeki artış yani sıcaklık artışı daha az olur.

Isı aktarımı sadece sıcaklıkta değişikliğe neden olmaz, aynı zamanda bazı durumlarda, maddenin halini de değiştirebilir. Madde hal değiştirirken çoğu kez ısı alır veya verir. Maddenin bir halden diğer haline dönüşümüne **hal değişimi** denir.

### 3.

#### **Erime ve Donma**

Katıyı oluşturan atom, iyon ya da molekül gibi taneciklerin titreşim hareketi yaptığını biliyorsunuz. Genellikle katılar ısıtılınca yapısında bulunan taneciklerin titreşim hareketi hızlanır. Öyle bir sıcaklığa ulaşılır ki bu titreşimler sonucu atom ya da moleküller arasındaki etkileşimler zayıflar ve madde hal değiştirerek sıvı hale geçer. Bu olaya yani maddenin erime sıcaklığında katı halden sıvı hale geçmesine **erime (ergime)** denir. Erimenin olduğu sıcaklığa erime noktası denir. Saf bir katı madde erirken ısı alır ancak sıcaklığı değişmez. Çünkü alınan ısı moleküller arasındaki çekim kuvvetlerini yenmek için kullanılır.

Sıvılar soğutulduğu zaman tanecikleri gitgide daha yavaş hareket eder. Soğutma işleminin devamında öyle bir sıcaklığa gelinir ki tanecikler arası çekim kuvvetleri onların bir kristal içinde istiflenmesine sebep olur. Bir sıvının katıya dönüşmesine **donma** ve donmanın olduğu sıcaklığa da **donma noktası** denir. Saf bir sıvı madde donarken ısı verir ancak sıcaklığı değişmez.

#### ➤ **Suya tuz eklenmesi suyun donma noktasını düşürür.**

Suya tuz eklenmesi, buza çarpan su molekülü sayısını azaltır. Bu da donma hızının düşmesine neden olur. Buza çarpan tuz moleküllerininse, su moleküllerinden oluşan ağ örgüsüne kolayca giremedikleri için donma hızına katkıları yoktur. Buna karşın, buzdan sıvıya doğru olan erime hızıysa değişmez. Bu nedenle, yani daha fazla molekül katıdan sıvıya geçtiği için, buz gözle görülür oranda erir. Tuz, suyun donma noktasını düşürür. Çünkü kaptaki buzun erimesi dışarıdan ısı alan bir olaydır; bu nedenle de tüm kabın sıcaklığı düşer. Sıcaklığın, tuzlu suyun donma noktasına kadar düşmesi gerekir. Bu sıcaklığa erişildikten sonra da tuzlu su ve buz denge konumuna gelir.

#### ➤ **Sabit sıcaklıkta buzla suyun dengede olduğu bir kaba piston takıp buzlu su üzerindeki basıncı artırırsak buz erir.**

Burada suya özgü bir özelliği kullanmamız gerekir. Buz eridiğinde hacmi azalır -ya da buzun yoğunluğu suyunkinden azdır. Su-buz karışımının basıncı artırıldığında, karışım bu basıncı azaltacak yönde harekete geçmeli. Bunun tek yolu, bir miktar buzun eriyerek toplam hacmi azaltması. Dolayısıyla bu durumda da bir miktar buz erir. Yine yukarıdakine benzer bir akıl yürütmeye buradan “basınç artarsa suyun donma noktası düşer” sonucunu çıkarabiliriz.

Sadece suyun bu özelliğe sahip olduğunu belirtelim. Su dışındaki maddelerin hemen hepsinin erime noktaları basınçla artar, çünkü eridiklerinde hacimleri artar. Suyu eklenen tuz, sıvıdan katıya geçen molekül sayısını azaltır.

➤ **Kışın göller donduğunda buz tabakasının altında canlıların hayatını devam ettirmeleri mümkün olur. Bu durum şu şekilde gerçekleşir.**

Sıcaklık artarsa hacim de artar. Hemen hemen bütün maddeler bu davranışı gösterir. Hatta suda bile bu davranış görülür: +4 derecenin üzerinde su genleşir; bu normal davranış şekli. Artan sıcaklıkla hacmin azalması ise anormal. Bu çok az sayıda maddede görülür ve nedeni de moleküller arası etkileşimlerin hesaba katmadığımız yönleri. *Su ve bizmut yanında, silisyum, galyum, germanyum gibi elementler de belli sıcaklık aralıklarında bu anormal davranışı gösterir.* Su molekülleri, biliyorsunuz, iki hidrojen ve bir oksijenden oluşur. Molekülü oluşturan bağlar, elektronların belli bir bölgede yoğunlaşmasına neden olduğu için bu molekülün polar bir karakteri var. Hidrojen atomları pozitif yüklü ve oksijenin bağlardan uzak kısımları da negatif yüklü. Yani, molekülün toplam yükü sıfır olmasına karşın, yük dağılımında farklılıklar var ve bu da molekülün diğer moleküllerle etkileşimini yönelime bağımlı yapıyor. İki su molekülü için, birinin hidrojenleri diğerinin oksijenine çekiliyor. Bu çekim iki molekülü birbirine bağlarsa o zaman bu bağa “hidrojen bağı” diyoruz. Buzdaki moleküller bu tipte hidrojen bağlarıyla birbirlerine bağlanıyorlar. Ama aynı bağlanma sıvıda da gerçekleşebilir. Enerjileri ortalamadan düşük iki molekül bir süreliğine de olsa birbirine bağlanabilir. Burada önemli olan, bağlanma oluştuğunda moleküllerin belli yönlere yönelmiş olmaları. Normal buz için, her bir molekülün sadece 4 tane molekülle bağ kurduğu bulunmuş. Böyle bir yapının özelliği moleküller arasında büyük boşluklar oluşması. İşte bu boşluklar anormal davranışın anahtarı. Boşlukların etkisi şöyle: Düşük sıcaklıklarda moleküllerin enerjisi düşüktür. Yerlerinden pek kıvılcamazlar ve kristal yapıyı bozmazlar, boşluklar da olduğu gibi durur. Sıcaklığı artırdıkça bunlar yerlerinden oynamaya, başka yerlere gitmeye çalışırlar. Bir molekülün normalde bulunması gereken yerden ayrılması, komşu dört molekülün geride kalan boşluğa doğru hareket etmesi demek. Bu tip olaylar kristal yapıyı içine doğru çökertiyor. Erime noktasında ise, yerinden ayrılan bir molekülün tekrar eski yere dönmesi artık gerekmiyor. Bütün moleküller hareketli. Boşluklar da kısmen dolduruluyor. 0 ile 4 derece arasındaki suyun anormal davranışı, suyun yapısal olarak buza benzemesinden kaynaklanmakta.

## DERS PLANI 12

### Konu:

- Buharlaşma ve Yoğunlaşma

### Kazanımlar:

- Buharlaşma ve yoğunlaşma olayını maddenin tanecikli yapısına göre açıklar.
- Buharlaşma hızını etkileyen faktörleri açıklar.

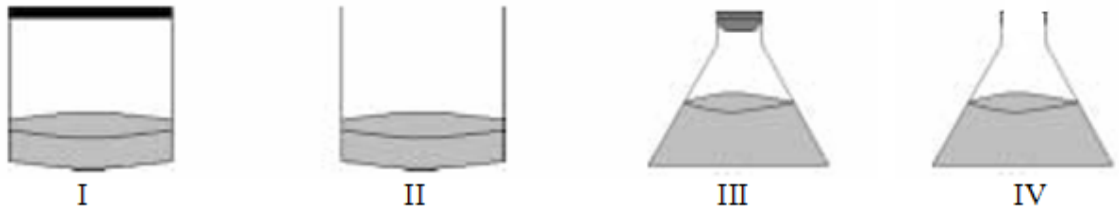
Süre: 2 ders saati

## DERSİN İŞLENİŞİ

### 1. Buharlaşma ve Yoğunlaşma

#### Aşağıdaki soruların cevapları üzerinde konuşulur:

1. Buharlaşmayı nasıl tanımlarsınız? Tanecikler değişir mi?
2. Yoğunlaşmayı nasıl tanımlarsınız? Tanecikler değişir mi?
3. 5 °C'de ağzı açık ve yarıya kadar suyla dolu plastik bir şişe vardır. Eğer bu şişe günlerce dokunulmadan bu sıcaklıkta bekletilirse şişedeki su seviyesine ne olacaktır? Neden?
4. 25 °C'de ve ısıya karşı izole **kapalı** bir kaptan (mesela termos) bulunan su seviyesi birkaç gün bekledikten sonra nasıl değişir? Neden?
5. Aşağıda sabit sıcaklıkta bulunan ve herbiri 100 mL su içeren dört kap gösterilmektedir. (I ve III kapalı, II ve IV açık kaplardır.) Bu kaplardaki buharlaşma hızlarını nasıl karşılaştırırsınız?



- I. kaptaki suyun hepsi buharlaştırılıp buharlaşma öncesi ve sonrası tartılılığında ağırlık nasıl değişir (Bu sırada kabın ağzı hep kapalı olarak kalacak)?
6. Banyodaki ayna siz sıcak suyla yıkandıktan sonra buğulanır ve bir müddet sonra üzerinde su damlacıkları olur. Bu su damlacıkları nereden gelmiştir?
7. Sabit sıcaklıkta, ağzı sıkıca kapalı ve yarıya kadar suyla dolu plastik bir şişe vardır. Eğer bu şişe günlerce dokunulmadan o sıcaklıkta bekletilirse şişenin kapağının iç yüzeyinde küçük su damlacıkları görürüz. Bu su damlacıkları nereden gelmiştir?

**Buharlaşma:** Bir sıvının belirli bir molekülünün kinetik enerjisi, molekül diğer moleküllerle çarpıştıkça sürekli değişir. Herhangi bir anda toplam moleküllerin bir kısmı oldukça yüksek bir kısmı da oldukça düşük enerjiye sahiptir. Çevresindeki moleküllerin çekim kuvvetini yenecek kadar yüksek kinetik enerjili moleküller eğer yüzeye yakın ve doğru yönde hareket ediyorsa sıvı fazdan gaz faza geçebilirler (bu yüzden buharlaşma sıvının yüzeyinde olur deriz) ki bu olay buharlaşmadır.

**Yoğunlaşma:** Bir gaz ya da buharın sıvıya dönüşmesine yoğunlaşma denir. Yoğunlaşma kapalı bir sistemdeyse sistemin buhar doymunluğuna erişmesi gerekir ki yoğunlaşma başlasın.

Buharlaşma ve yoğunlaşma sırasında taneciklerin büyüklüğü, şekli değişmez. Buharlaşma her sıcaklıkta olur. Örneğin, ağzı açık ya da kapalı suyla dolu bir kap uzun süre bir odada beklerse su seviyesi azalır.

Yoğunlaşma için her zaman sıcaklık düşüşü gerekmez. Örneğin, sabit sıcaklıkta kapalı bir kaptaki yoğunlaşma kaptaki sıvı buhar bakımından doğunluğa ulaşınca olur.

Banyo yaptığınızda banyodaki aynanın buğulandığını ve bir süre sonra üzerinde su damlacıklarının olduğunu görürsünüz. Bu su damlacıkları havadaki su buharının aynanın yüzeyinde yoğunlaşması ile olur. Ya da sabit sıcaklıkta, ağzı sıkıca kapalı ve yarıya kadar suyla dolu plastik bir şişeyi günlerce dokunulmadan o sıcaklıkta bekletirsek şişenin kapağının i yüzeyinde küçük su damlacıkları görürüz. Bu su damlacıkları şişedeki su buharının doğunluğa ulaşmasıyla ve sıvı-buhar dengesinin sağlanmasıyla olur.

Bunlar verildikten sonra buharlaşma hızına geçilir.

Buharlaşma Hızını Etkileyen Bazı Faktörler:

- yüzey alanı (buharlaşma sıvısının yüzeyinden olduğu için yüzey alanı arttıkça buharlaşma hızı da artar.)
- sıcaklık (sıcaklık arttıkça buharlaşma hızı da artar. Sıcaklık arttırıldığında moleküllerin ortalama kinetik enerjisi ve dolayısıyla buhar fazına geçebilecek kadar yüksek kinetik enerjili moleküllerin sayısı da artar.)
- moleküller arası çekim kuvveti (moleküller arası çekim kuvveti ne kadar zayıfsa buharlaşma hızı o kadar fazladır.)
- Havadaki nem oranı (havadaki nem oranı ne kadar az ise buharlaşma o kadar hızlı olur.)
- Rüzgar (difüzyon ve konveksiyon yoluyla su buharının sıvı yüzeyinden uzaklaşmasını sağladığından buharlaşmayı hızlandırır.)

## 2. Süblimleşme, Geri Süblimleşme ve Kırաılařma

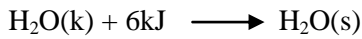
Maddenin katı halden sıvı hale dönüşmeden gaz hale dönüşmesine **süblimleşme** denir.

rnek olarak naftalin, kurubuz (katı CO<sub>2</sub>) ve tuvaletlere koyduğumuz ernetler verilebilir.

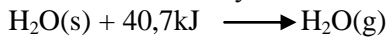
Katıdan gaz hale geçerken madde ısı alır. Sblimleşmenin tersine maddenin gaz halden doğrudan katı hale geçmesine **geri süblimleşme** denir. Gaz haldeki su moleküllerinin katı hale geçmesine (su moleküllerinin geri sblimleşmesine) ise **kırաılařma** denir.

## 3. Bu konuların ardından ısı hesaplamalarına geçilir.

Genellikle hal değişim ısıları 1 mol madde için hesaplanır. Örneğin, 1 mol yani 18 g buz 0 °C'de su haline getirmek için 6kJ'lk bir enerji gerekir. 0 °C'de 1 mol su donarken 6kJ ısı verir.



100 °C'de 1 mol suyu 100 °C'deki buhar haline getirmek için 40,7 kJ ısı vermek gerekir.



1 mol buz sblimleşirken mol başına alması gereken ısı, 1 mol suyun erime ısısı ile 1 mol suyun buharlaşma ısısının toplamına eşittir. 1 mol su buharı geri süblimleşme ısısı 1 mol su buharının yoğunlaşma ve donma ısılarının toplamına eşittir.

Kartopu oynarken elimizde tuttuğumuz karın bir süre sonra eridiğini görürüz. Çünkü elimizden kartopuna ısı geçişi olmuştur. Kartopunu eriten bu ısının miktarı hesaplanabilir mi?

Hal değiştirme ısısının hesaplanabilmesi için aşağıda verilen kavramların ve bağıntuların bilinmesi gerekir.

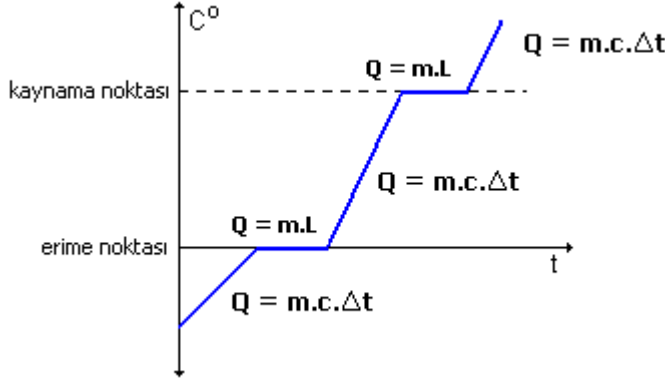
**Hal değişim ısısı (L):** Maddenin 1 gramının bir halden başka bir hale geçmesi sırasındaki değişimidir. Birimi joule/gram ( $J g^{-1}$ )'dır. Hal değişim ısısı, madde eriyorsa *erime gizli ısısı* ( $L_e$ ), madde buharlaşıyorsa *buharlaşma gizli ısısı* ( $L_v$ ) şeklinde ifade edilir. Erime sıcaklığındaki 1 mol katının erimesi için gerekli ısı **molar erime ısısı**, kaynama noktasındaki 1 mol sıvının buharlaşması için gerekli ısı **molar buharlaşma ısısıdır**.

**Kütle (m):** Hal değişimine uğrayan maddenin kütesidir. Birimi gram (g)'dır.

**Öz ısı (c):** Bir maddenin 1 gramının sıcaklığını  $1^{\circ}C$  arttırmak için gereken ısı miktarıdır. Birimi Joule/gram Celcius ( $J g^{-1} ^{\circ}C^{-1}$ )'dur.

**Sıcaklık farkı ( $\Delta t$ ):** Son sıcaklık ile ilk sıcaklık arasındaki farktır ve birimi Celcius ( $^{\circ}C$ )'dur.

Aşağıda gösterilen Grafik 1'de bu bağıntular grafik üzerinde gösterilmektedir.



**Grafik 1** Buzun buhar haline gelme sürecindeki değişimi gösteren zaman-sıcaklık grafiği Hal değişimi sırasında erime ve kaynama noktalarında bir süre sıcaklık değişmez alınan ısı moleküllerin arasındaki çekim kuvvetlerini yenmek için harcanır. Bu noktalarda harcanan enerji aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q = m.L$$

$$Q = ısı$$

$$m = \text{kütle}$$

$$L = \text{Bu harlaşma yada erime erime ısısı.}$$

Hal değişiminde yukarıda anlatılan süre dışında harcanan ısı enerjisi miktarı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$Q = m.c.\Delta t$$

$$Q = ısı$$

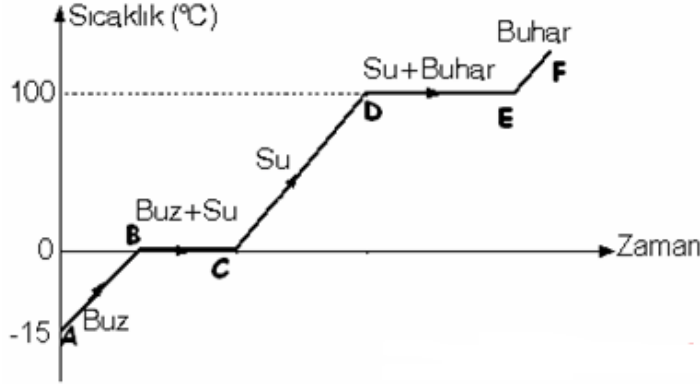
$$m = \text{kütle}$$

$$c = \text{öz ısı}$$

$$\Delta t = \text{sıcaklık değişimi}$$

Suyun zaman-sıcaklık grafiği (bakınız Grafik 2) verilir ve grafik üzerinde erime, donma ve kaynama noktaları gösterilir.





**Grafik 2** Suyun sıcaklık-zaman grafiği

A ve B noktası arasına I. bölge, B ve C noktası arasına II. bölge, C ve D noktası arasına III. bölge, D ve E noktası arasına IV. bölge ve E'nin üzerine V. bölge denilir ve grafik üzerinde gösterilir:

NOT: Bir maddeye ısı verilirken sıcaklık yükselirse ortalama kinetik enerji artar, sıcaklık yükselmezse potansiyel enerji artar.

*Potansiyel enerji:* Tanecikleri birbirinden uzaklaştırmak için enerji kullanılır. Tanecikler arasına enerji depo edilir ve bu enerjiye potansiyel enerji denir.

*Kinetik enerji:* Serbest kalan tanecikler hareket etmeye başlar. Hareketleri sonucu elde edilen enerjiye kinetik enerji denir. Sıcaklığı arttırılan maddenin tanecikleri daha hızlı hareket eder ve kinetik enerjileri artar.

I. bölge:  $-15^{\circ}\text{C}$ 'de 1 g buzı ısıtmaya başladığımızda  $0^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar buzun sıcaklığı artar. Sıcaklık arttıkça su moleküllerinin kinetik enerjileri artarak titreşim hareketleri hızlanır ve moleküller birbiri üzerinden kayar. Buz suya dönüşmeye yani erimeye başlar. (Kinetik enerji artar.)

II. bölge: Sıcaklık  $0^{\circ}\text{C}$ 'ye gelince bir kısım buz eridiği için  $0^{\circ}\text{C}$ 'de buz-su karışımı olur. Düzenli biçimde ısı vermeye devam edersek buz erirken sıcaklık sabit kalır çünkü alınan ısı moleküllerin arasındaki çekim kuvvetlerini yenmek için harcanır. Bu olay buzun tamamı eriyinceye kadar devam eder. (Potansiyel enerji artar.)

III. bölge: Buzun tamamı eridikten sonra sıcaklık tekrar yükselmeye başlar. Verilen ısı suyun sıcaklığını yükseltir. Bu yükselme  $100^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar devam eder. (Kinetik enerji artar.)

IV. bölge:  $100^{\circ}\text{C}$ 'ye gelince buharlaşma hızlanır. Sıcaklık yine sabit kalır. Sıcaklık verilmeye devam edilirse suyun hepsi buharlaşır. (Potansiyel enerji artar.)

V. bölge: Sıcaklık artmaya devam eder. (Kinetik enerji artar.)

Daha sonra ısı hesaplamaları ile ilgili problem çözümüne geçilir.

## DERS PLANI 13

### Konu:

- Kaynama ve Buhar Basıncı

### Kazanımlar:

- Katı halden gaz hale kadar ısıtma/soğutma süreçlerini gösteren grafikler üzerinde erime-donma, buharlaşma-yoğuşma, kaynama ve yalnızca ısınma olaylarının yer aldığı bölgeleri ayırt eder.
- Kapalı kaplarda buharlaşma-yoğuşma süreçleri üzerinden denge buhar basıncını ve normal kaynama noktasını açıklar.
- Kaynama sıcaklığı ile coğrafi irtifa ve dış basınç arasında ilişki kurar.
- Denge buhar basıncı üzerinden bağıl nem ile ilgili problemleri çözer.

**Süre:** 1 ders saati

## DERSİN İŞLENİŞİ

### 1. Kaynama

Sıvının sıcaklığı arttırıldığında moleküllerin kinetik enerjisi artar ve daha fazla molekül buhar fazına geçer. Dolayısıyla sıvının buhar basıncı artar ve bir süre sonra sıvının buhar basıncı atmosfer basıncına eşit olur. Bir sıvının buhar basıncının dış basınca eşit olduğu noktaya *kaynama noktası* bu sırada gerçekleşen olaya da *kaynama* denir.

*Normal Kaynama Noktası:* Dış basıncın 1 atm olduğu durumdaki kaynama noktasına denir. Kaynama noktasına ulaşmış bir sıvıya enerji verilmeye devam edilse bile sıcaklık sabit kalır.

#### **Kaynama Noktasına Etki Eden Faktörler:**

##### **a. Sıvının Cinsi**

Farklı sıvıların moleküller arası çekim kuvvetleri farklıdır. Bu yüzden kaynama noktaları da farklıdır. Örneğin, etil alkol  $78,5^{\circ}\text{C}$ 'de, su ise  $100^{\circ}\text{C}$ 'de kaynar çünkü sudaki moleküller arası çekim kuvveti daha büyüktür.

##### **b. Açık Hava Basıncı**

Deniz seviyesinden yukarılara çıkıldıkça açık hava basıncı düşer. 1 atm'den küçük bir değer alır bu yüzden sıvının kaynama noktası düşer. Aksine sıvıya uygulanan dış basınç arttırılırsa sıvının kaynama naktası artırılabilir. Mesela düdüklü tencerede sıvının buharı dışarı çıkamaz ve tenceredeki basınç artar. Düdüklü tencereler, içlerindeki havayı normal hava basıncının yaklaşık iki katı kadar bir basınç altında tutacak şekilde tasarlanmıştır. Bu basınç altında da suyun kaynama sıcaklığı  $121^{\circ}\text{C}$ 'dir.

- Suyun kaynaması sırasında üzerinde görülen beyaz duman su buharı değil, yoğunlaşmış sudur.
- Yüksek yerlerde yemekler daha mı geç daha mı erken pişer? (Öğrencilerin tahminleri alınmadan konunun açıklaması yapılır.)

**Yükseklere çıktıkça hava basıncı düştüğü için, buralarda su  $100^{\circ}\text{C}$ 'den daha düşük sıcaklıklarda kaynamaya başlar. Yemek pişirmenin basit bir su ısıtmadan (örneğin çay yapmak için su ısıtmak) en önemli farkı, pişmesi için yemeği kaynar durumda bir süre bekletmek zorunda olmamız. Yani suyun kaynaması yetmiyor, tam pişme için gerekli kimyasal reaksiyonların tamamlanmasını sağlamak için de bir süre daha beklememiz gerekiyor. Bu reaksiyonların hızının sıcaklığa bağımlılığı da pişirme süremizi belirliyor.**

**Bazı noktaları biraz daha açıklayalım. Sulu bir yemeği pişirirken, ilk aşamada altını çok açarız ki hemen kaynamaya başlasın. Altını ne kadar çok açarsak, o kadar çok ısı veririz, suyun sıcaklığı da o kadar hızlı artar. Fakat yemek kaynamaya başlayınca altı kısılır. Bunun nedeni, suyun sıcaklığının kaynama noktasının üzerine çıkamaması. Yani bu aşamada yemeğe verdiğimiz fazladan ısı, sıcaklığı arttırmak yerine suyu**

buharlaştırmaya yarıyor. Yemeğin pişme süresi ise sadece içinde bulunduğu suyun sıcaklığına bağlı, bu suyun ne kadar çabuk buharlaştığına değil. Özetlersek, bir kere kaynamaya başladıktan sonra yemeğin sıcaklığı sabit kalıyor (suyun kaynama sıcaklığı). Ocağı ne kadar çok açarsanız açın, bu sıcaklığı kesinlikle artıramıyorsunuz. Ocağın fazla açık olması suyun tamamen buharlaşma ve yemeğin yanma olasılığını artırdığı için de ocağı mümkün olduğu kadar kısıyoruz.

Buna ek olarak, bir yemeğin pişme süresi sıcaklık arttıkça kısalmır (yüksek sıcaklıklarda reaksiyonlar daha hızlı gerçekleştiği için). Dolayısıyla, yüksek yerlerde suyun kaynama noktası daha düşük olduğundan ve yemekler bu sıcaklıkta piştiğinden, pişirme süresi deniz seviyesine göre daha uzun olacaktır.

Son olarak, düdüklü tencerelerin bu olayı kullanarak pişirme süresini kısalttığını ekleyelim. Bu kaplar, içlerindeki havayı normal hava basıncının yaklaşık iki katı kadar bir basınç altında tutacak şekilde tasarlanmıştır. Bu basınç altında da suyun kaynama sıcaklığı 121°C'dir. Düdüklü tenceredeki yemek kaynamaya başladığında sıcaklık tam bu değere eriştiği için, yemeğin ağız açık kaplardakinden çok daha hızlı pişmesi sağlanıyor.

Daha sonra şırınganın içinde su kaynatma etkinliği yapılır:

Şırınganın içinde 70 °C'de su varken içindeki hava boşaltılıp şırınganın ağız hava giriş-çıkışını önlemek için kapatılır ve piston geriye doğru çekilir. Bu sırada şırınga içindeki 70 °C'deki suyun kaynadığı görülür. Bunun nedeni piston geriye doğru çekilince şırınga içindeki basıncın düşmesi dolayısıyla sıvının buhar basıncının dış basınca daha kolay eşitlenmesinden olduğu söylenir.

## 2. Buhar Basıncı

Buharlaşma ve yoğunlaşma, beraber yürüyen olaylardır. Bir bardak suyu bir yere bıraktığınızda, bardak içindeki suyun miktarı artabilir ya da azalabilir. Bu, buharlaşmanın mı yoksa yoğunlaşmanın mı daha hızlı olduğuna bağlı. Çoğunlukla havada yeteri kadar su buharı bulunmadığı için buharlaşma daha hızlıdır ve bardak içindeki su seviyesi azalır. Ama, örneğin, bol sıcak sulu bir banyo yaptıktan sonra havada normalden çok daha fazla su buharı olduğu için bu durumda yoğunlaşma çok daha hızlıdır ve banyoda duran bir bardak sadece sıvı suyun olduğu yerlerde değil, banyonun duvarlarında bile oluşabilir.

Buharlaşma hızının, yoğunlaşma hızına eşit olduğu duruma “denge” deniyor. Denge, bardaktaki su seviyesi gibi gözlemlenebilir şeylerin zamanla değişmediği durumları anlatmak için, günlük dilde kastettiğimizden daha geniş anlamlarda sıkça kullanılan bir sözcük. Eğer bir sıvı (ya da katı) ile buharı denge halindeyse, buharın (kısmi) basıncına teknik literatürde “buhar basıncı” deniyor. Buhar basıncı sadece sıvılar için geçerli olan bir kavram değildir. Buharlaşan bütün maddeler için geçerlidir. Örneğin buzun da belli bir buhar basıncı vardır çünkü buzda bulunan su molekülleri de yavaş da olsa buharlaşırlar.

### Buhar Basıncına Etki Eden Faktörler:

**a. Sıcaklık:** Sıvının buhar basıncı sıcaklık artışı ile artar. Çünkü sıcaklık moleküllerin ortalama hızını artırır ve birim zamanda gaz haline geçen molekül sayısı artar ve dolayısıyla sıvının buhar basıncı da artar.

**b. Sıvının Cinsi:** Aynı sıcaklıkta molekülleri arasındaki çekim kuvveti büyük olan sıvının buhar basıncı düşük olur. Bu tür sıvılara uçuculuğu az olan sıvılar denir. Buhar basıncı büyük olan sıvılara ise uçuculuğu büyük olan sıvılar denir. Uçuculukla buhar basıncı ters orantılıdır. Buhar basıncı sıvının kabın şekline ve sıvı üzerindeki kabın hacmine bağlı değildir. Örneğin, oda sıcaklığında etil alkol ve suyun buhar basınçlarını karşılaştırdığımızda etil alkolün moleküller arası çekim kuvveti daha zayıf olduğundan buhar basıncı daha fazladır ayrıca kaynama anında etil alkol ve suyun buhar basınçları birbirine eşit olup atmosfer basıncına eşittir.

Kapalı ve sabit hacimli bir kapta buharıyla dengede su ile He gazının olduğu şekil ve pistonlu kapta buharıyla dengede su ile He gazının olduğu sistem tahtaya çizilir ve öğrencilere bu iki kapta sıcaklık arttığında buhar basıncı nasıl değişeceği öğretmen tarafından anlatılır.

**APPENDIX J****KEYWORD LIST****LIST OF KEYWORDS**

- Constructivism
- Metacognition
- Conceptual Change
- Self-efficacy
- Science Education
- Chemistry Education
- Multimethod Design
- Metaconceptual Activities
- Metaconceptual Teaching Instruction
- Alternative Conceptions
- Gases
- Boiling
- Evaporation
- Condensation
- Vapor Pressure
- Melting
- Freezing
- States of Matter
- Phase Change
- Different combinations of these keywords

## APPENDIX K

## PERMISSION DOCUMENT

<p>T.C. ANKARA VALİLİĞİ Milli Eğitim Müdürlüğü</p>	<p><b>EĞİTİM FAKÜLTESİ DEKANLIĞI</b> Ev. Arş. Md. Saat:</p>
<p>BÖLÜM : İstatistik Bölümü SAYI : B.B.08.4.MEM.4.06.00.04-312/ 87206 KONU : Araştırma İzni Zübeyde Demet KIRBULUT</p>	<p>08/10/2009</p>
<p>ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİNE (Fen Matematik Alanları Eğitimi Ana Bilim Dalı)</p>	
<p>İLGİ : a) ODTÜ Fen ve Matematik Alanları Eğitimi Anabilim Dalının 14/09/2009 tarih ve 12547 sayılı yazısı. b) 07.10.2009 tarih ve 87232 sayılı Valilik Oluru.</p>	
<p>Üniversiteniz Ortaöğretim Fen ve Matematik Alanları Eğitimi EADB Doktora Öğrencisi Zübeyde Demet KIRBULUT'un "Üst Kavramsal Öğretim Faaliyetlerinin 10. Sınıf Öğrencilerinin Maddenin Halleri Konusu ile İlgili Kavramları Anlamaları ve Kimya Özyeterlilikleri Üzerine Etkisi" konulu tez ile ilgili çalışma yapma isteği ilgi (b) Valilik Oluru ile uygun görülmüş ve araştırmanın yapılacağı İlçe Milli Eğitim Müdürlüğüne bilgi verilmiştir.</p>	
<p>Mühürlü anketler (12 sayfadan oluşan) ekte gönderilmiş olup, uygulama yapılacak sayıda çoğaltılması ve çalışmanın bitiminde iki örneğinin (CD/disket) Müdürlüğümüz İstatistik Bölümüne gönderilmesini rica ederim.</p>	
<p><i>[Signature]</i> Edilçin VYSAL Müdür a. Müdür Yardımcısı</p>	
<p><b>EKLER</b> : Valilik Oluru (1 sayfa) Anket (12 sayfa)</p>	
<p>12.10.09 018306</p>	
<p>İl Milli Eğitim Müdürlüğü-Beşevler Strateji Geliştirme Bölümü Bilgi İçin: Kamil COŞGUN</p>	<p>Tel : 215 15 43- 413 36 66- 212 66 40/110 Fax: 215 15 43 strateji06@meb.gov.tr</p>

## APPENDIX L

## RAW DATA

School	Gender	TM	PRE SETC	POST SETC	PRE SMDT	POST SMDT	RSMDT	RSETC
B	1	1	85.00	113.00	.00	13.00	11.00	113.00
B	1	1	110.00	118.00	5.00	14.00	17.00	122.00
B	1	1	70.00	94.00	.00	9.00	9.00	84.00
B	1	1	110.00	112.00	4.00	15.00	14.00	114.00
B	1	1	92.00	115.00	.00	12.00	8.00	115.00
B	1	1	94.00	120.00	4.00	10.00	10.00	114.00
B	1	1	130.00	141.00	2.00	16.00	17.00	140.00
B	1	1	104.00	132.00	3.00	12.00	11.00	116.00
B	2	1	109.00	131.00	3.00	17.00	14.00	134.00
B	2	1	111.00	123.00	2.00	13.00	15.00	125.00
B	1	1	111.00	95.00	4.00	8.00	11.00	99.00
B	2	1	107.00	116.00	1.00	11.00	13.00	120.00
B	1	1	127.00	125.00	.00	11.00	10.00	122.00
B	1	1	109.00	107.00	4.00	14.00	17.00	121.00
B	1	1	116.00	119.00	1.00	8.00	8.00	116.00
B	1	1	110.00	106.00	3.00	12.00	13.00	118.00
B	1	1	112.00	108.00	3.00	5.00	9.00	120.00
B	2	1	107.00	118.00	5.00	11.00	13.00	120.00
B	1	1	137.00	140.00	5.00	18.00	17.00	140.00
B	1	1	99.00	121.00	1.00	16.00	10.00	128.00
B	1	1	131.00	139.00	1.00	10.00	9.00	128.00
B	2	1	80.00	90.00	2.00	8.00	3.00	75.00
B	1	1	99.00	105.00	.00	6.00	8.00	94.00
A	1	1	48.00	91.00	.00	12.00	11.00	89.00
A	1	1	105.00	109.00	5.00	9.00	8.00	127.00
A	1	1	133.00	129.00	1.00	11.00	7.00	134.00
A	1	1	112.00	111.00	1.00	11.00	8.00	116.00
A	2	1	116.00	103.00	4.00	7.00	6.00	137.00
A	1	1	112.00	118.00	1.00	8.00	8.00	115.00
A	2	1	91.00	87.00	4.00	10.00	7.00	104.00
A	1	1	119.00	124.00	1.00	9.00	7.00	122.00
A	2	1	99.00	90.00	1.00	8.00	6.00	108.00
A	2	1	113.00	118.00	3.00	10.00	13.00	126.00
A	2	1	88.23	113.00	3.00	11.00	9.00	114.00
A	2	1	103.00	110.00	4.00	6.00	4.00	93.00
A	1	1	106.00	111.00	2.00	14.00	14.00	125.00
A	1	1	106.00	119.00	1.00	9.00	7.00	134.00
A	1	1	112.00	124.00	4.00	11.00	14.00	125.00
A	1	1	118.00	108.00	.00	9.00	8.00	115.00

A	1	1	66.00	99.00	4.00	8.00	10.00	117.00
A	1	1	108.00	123.00	2.00	10.00	11.00	123.00
A	2	1	117.00	135.00	8.00	13.00	15.00	127.00
A	1	1	108.00	112.00	5.00	11.00	10.00	122.00
A	1	1	106.00	117.00	1.00	11.00	10.00	119.00
A	1	1	100.00	121.00	3.00	6.00	11.00	110.00
A	1	1	113.00	116.00	5.00	11.00	11.00	128.00
A	2	1	102.00	115.00	.00	4.00	3.00	117.00
A	2	1	125.00	95.00	1.00	9.00	3.00	128.00
A	1	1	109.00	104.00	2.00	11.00	10.00	120.00
A	2	1	111.00	77.00	1.00	5.00	3.00	78.70
A	2	1	108.32	114.00	10.00	16.00	14.00	105.00
A	2	1	141.00	103.00	6.00	11.00	4.00	80.00
A	2	1	69.12	90.00	1.00	7.00	6.00	83.00
B	1	2	84.00	60.00	2.00	7.00	12.00	55.00
B	1	2	113.00	122.00	7.00	.00	11.00	93.00
B	1	2	113.00	116.00	2.00	4.00	3.00	119.00
B	1	2	74.00	73.00	.00	1.00	11.00	64.00
B	2	2	102.00	104.00	.00	8.00	8.00	97.00
B	1	2	103.00	112.00	2.00	5.00	7.00	109.00
B	1	2	108.00	108.00	3.00	7.00	10.00	124.00
B	1	2	80.00	101.00	1.00	6.00	3.00	102.00
B	1	2	51.00	65.00	4.00	8.00	7.00	90.00
B	1	2	97.00	107.00	.00	6.00	7.00	115.00
B	2	2	105.00	111.00	5.00	3.00	4.00	89.00
B	2	2	93.00	114.00	4.00	7.00	6.00	122.00
B	2	2	134.00	127.00	1.00	2.00	4.00	130.00
B	2	2	129.00	139.00	8.00	13.00	4.00	139.00
B	1	2	66.00	75.00	.00	6.00	4.00	82.00
B	2	2	127.00	112.00	5.00	11.00	11.00	104.00
B	2	2	102.00	99.55	4.00	1.00	2.00	104.00
B	2	2	104.00	97.00	4.00	5.00	3.00	100.00
B	2	2	132.00	142.00	6.00	13.00	12.00	141.00
B	2	2	85.00	111.00	4.00	7.00	N/A	N/A
A	1	2	94.00	112.00	3.00	9.00	2.00	117.00
A	1	2	87.00	90.66	4.00	9.00	7.00	107.00
A	1	2	68.00	81.00	4.00	2.00	8.00	86.00
A	2	2	77.00	81.00	.00	.00	.00	95.00
A	2	2	105.00	116.00	5.00	9.00	10.00	106.00
A	1	2	88.00	96.00	.00	10.00	7.00	100.00
A	1	2	68.31	66.00	.00	1.00	3.00	92.00
A	1	2	110.45	125.00	1.00	2.00	4.00	134.00
A	2	2	72.00	75.00	1.00	1.00	3.00	74.00
A	2	2	91.23	75.00	5.00	13.00	12.00	85.00
A	1	2	112.00	93.00	1.00	2.00	1.00	105.00
A	2	2	76.00	112.00	.00	.00	.00	93.70
A	1	2	106.00	110.00	6.00	7.00	7.00	111.00
A	1	2	60.00	109.00	.00	6.00	3.00	94.00
A	1	2	106.00	113.00	4.00	4.00	4.00	117.00
A	1	2	93.00	112.00	5.00	6.00	8.00	110.00



A	1	2	76.00	97.00	2.00	3.00	4.00	97.00
A	2	2	93.00	99.00	1.00	3.00	3.00	89.00
A	1	2	84.00	102.00	1.00	1.00	3.00	92.00
A	2	2	110.45	100.00	2.00	3.00	.00	104.14
A	2	2	85.00	94.00	1.00	3.00	3.00	88.00
A	1	2	94.00	98.00	.00	3.00	3.00	83.00
A	1	2	108.00	115.00	3.00	3.00	2.00	115.00
A	1	2	102.00	116.00	1.00	6.00	3.00	110.00
A	2	2	83.00	89.00	5.00	7.00	9.00	103.00
A	2	2	82.00	92.00	4.00	12.00	4.00	105.00
A	2	2	58.00	68.00	3.00	5.00	.00	62.00
A	2	2	111.00	113.00	3.00	4.00	2.00	80.00
A	2	2	100.24	73.00	1.00	1.00	1.00	80.00

## CURRICULUM VITAE

### PERSONAL INFORMATION

Surname, Name : Kırbulut, Zübeyde Demet  
 Nationality : Turkish (TC)  
 Date of Birth : 10 February 1981  
 Place of Birth : Ankara  
 Marital Status : Single  
 Phone : +903122104086  
 e-mail : demetkirbulut@yahoo.com

### EDUCATION

Degree	Institution	Year of Graduation
MS	Gazi University Chemistry Education	2003
BS	Gazi University Chemistry Education	2003

### WORK EXPERIENCE

Year	Place	
2004 – Present	METU	Research Assistant
10 December 2007-11 January 2009	University of Wisconsin Oshkosh	Visiting Scholar
22 January 2008-12 May 2008	University of Wisconsin Madison	Honorary Fellow

### FOREIGN LANGUAGE

English

### HOBBIES

Scuba Diving, Underwater Photography, Swimming, Volleyball, Reading, Travelling