

DEVELOPMENT OF A THREE-TIER TEST TO ASSESS NINTH GRADE
STUDENTS' MISCONCEPTIONS ABOUT SIMPLE ELECTRIC CIRCUITS

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

BY

HAKİ PEŞMAN

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

SEPTEMBER 2005

Approval of the Graduate School of Natural and Applied Sciences

Prof. Dr. Canan ÖZGEN
Director

I certify that this thesis satisfies all the requirements as a thesis for the degree of Master of Science

Prof. Dr. Ömer GEBAN
Head of Department

This is to certify that we have read this thesis and that in our opinion it is fully adequate, in scope and quality, as a thesis for the degree of Master of Science

Assist. Prof. Dr. Ali ERYILMAZ
Supervisor

Examining Committee Members

Assoc. Prof. Dr. Bilal GÜNEŞ (Gazi Univ., SSME) _____

Assist. Prof. Dr. Ali ERYILMAZ (METU, SSME) _____

Assoc. Prof. Dr. Safure BULUT (METU, SSME) _____

Assist. Prof. Dr. Jale ÇAKIROĞLU (METU, ELE) _____

Dr. Mehmet SANCAR (METU, SSME) _____

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 : Haki PEŞMAN

Signature :

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A THREE-TIER TEST TO ASSESS NINTH GRADE STUDENTS' MISCONCEPTIONS ABOUT SIMPLE ELECTRIC CIRCUITS

Peşman, Haki

M.S., Department of Secondary Science and Mathematics Education

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ali ERYILMAZ

September 2005, 171 pages

The main purpose of this study was to develop a three-tier test for assessing ninth-grade students' misconceptions about simple electric circuits. The first tier of an item on the test presents an ordinary multiple choice question, the second tier presents a set of reasons for the response given to the first tier, and the third tier questions if examinees are confident for their responses to the first two tiers. The study was carried in Polatlı, the biggest outlying district of capital Ankara. In the light of the related literature, interviews were conducted by the researcher so as to collect information about students' understanding of simple electric circuits. Thereby, a list of misconceptions was acquired and it was used for developing an open-ended questionnaire. Next, the questionnaire was examined by two physics teachers and an instructor from METU for establishing content validity. The questionnaire was administered to 99 ninth-grade students and their responses were categorized in the purpose

of determining the distracters of the three-tier test; the Simple Electric Circuit Diagnostic Test (SECDT). At last, the SECDT was developed and administered to 124 ninth-grade students. The validity of the SECDT was established by means of quantitative methods in addition to the qualitative methods. A positive correlation coefficient was estimated between student scores and confidence levels, that is, successful students on the SECDT were more confident for their responses than unsuccessful students. This result means that the SECDT works properly, for example, students generally understood the items and found their reasoning among the distracters. Also, what items measure was investigated by means of factor analysis, and three reasonable factors were obtained. Furthermore, proportions of false positives and negatives were estimated and found as 17.47 % and 10.82 %, respectively. As well as, Cronbach alpha reliability coefficient of student scores was estimated as 0.69, but the reliability coefficient of student misconception scores was estimated as 0.33. Consequently, the SECDT scores are valid and reliable measure of students' qualitative understanding of simple electric circuits; however, misconception scores may not be reliable.

Keywords: Physics education, science education, misconceptions, simple electric circuits, diagnostic test, misconception test, three-tier test

ÖZ

DOKUZUNCU SINIF ÖĞRENCİLERİNİN BASİT ELEKTRİK DEVRELERİ İLE İLGİLİ KAVRAM YANILGILARINI ÖLÇMEK AMACIYLA ÜÇ BASAMAKLI BİR TESTİN GELİŞTİRİLMESİ

Peşman, Haki

Yüksek Lisans, Ortaöğretim Fen ve Matematik Alanları Eğitimi Bölümü

Tez Yöneticisi: Yrd. Doç. Dr. Ali ERYILMAZ

Eylül 2005, 171 sayfa

Bu çalışmanın asıl amacı dokuzuncu sınıf öğrencilerinin basit elektrik devreleri hakkındaki kavram yanlışlarını ölçmek için üç basamaklı bir test geliştirmektir. Testteki bir sorunun birinci basamağı sıradan bir çoktan seçmeli soru sunar, ikinci basamak birinci basamağa verilen cevap için bir grup neden sunar, ve üçüncü basamak öğrencilerin ilk iki basamağa verdikleri cevaplar için emin olup olmadıklarını sorgular. Çalışma başkent Ankara'nın en büyük dış ilçesi olan Polatlı'da yapıldı. İlgili literatürün ışığında, öğrencilerin basit elektrik devrelerini kavrayışları hakkında bilgi toplamak amacıyla araştırmacı mülakatlar gerçekleştirdi. Böylece, bir kavram yanlışları listesi elde edildi ve açık uçlu bir sınav geliştirmek için kullanıldı. Sonra, sınav iki fizik öğretmeni ve ODTÜ'den bir öğretim üyesi tarafından kapsam geçerliğini sağlamak için incelendi. Sınav dokuzuncu sınıf 99 öğrenciye uygulandı ve onların cevapları üç basamaklı test olan Basit Elektrik Devreleri Tanı Testi'nin (BEDTT) seçeneklerini belirlemek

amacıyla kategorilere ayrıldı. Sonunda, BEDTT geliştirildi ve dokuzuncu sınıf 124 öğrenciye uygulandı. BEDTT'nin geçerliği nitel yöntemlerin yanında nicel yöntemlerle sağlandı. Öğrenci puanları ve özgüven seviyeleri arasında pozitif bir korelasyon hesaplandı. Yani, BEDTT'deki başarılı öğrenciler verdikleri cevaplar için kendilerine başarısız öğrencilerden daha çok güvenmişlerdi. Bu sonuç BEDTT'nin doğru düzgün çalıştığı anlamına gelir. Mesela, öğrenciler genelde soruları anlamış ve gerekçelerini seçenekler arasında bulmuşlardır. Faktör Analizi aracılığıyla soruların ne ölçtükleri de araştırıldı ve üç mantıklı faktör elde edildi. Bunlara ek olarak, yanlış sebepli doğruların ve doğru sebepli yanlışların oranları hesaplandı ve sırasıyla % 17,47 ve %10,82 olarak bulundu. Bunlara ilaveten, öğrenci skorlarının güvenilirlik katsayısı 0.69 olarak hesaplandı, fakat öğrenci kavram yanılgıları skorlarının güvenilirlik katsayısı 0.33 olarak hesaplandı. Sonuç olarak, BEDTT skorları öğrencilerin basit elektrik devrelerini nitel anlamalarının geçerli ve güvenilir bir ölçütüdür, fakat kavram yanılgıları skorları güvenilir olmayabilir.

Anahtar Kelimeler: Fizik eğitimi, fen eğitimi, kavram yanılgıları, basit elektrik devreleri, tanı testi, kavram yanılgısı testi, üç-basamaklı test

To My Parents

ACKNOWLEDGMENTS

First of all, I want to thank my supervisor Assist. Prof. Dr. Ali Eryılmaz because he has always given me helpful guidance on the study and provided with overcoming all issues.

I next want to thank my wife, Fatma for her patients and support.

I also thank my parents İsmail and Yasemin Peşman, my lovely sister Zeynep, and my dear brother Onur. They have always been a constant source of support and inspiration for me. Whenever I meet them, they always give me the incentive to continue.

Finally, I want to thank my friend Yasin Kutluay for his support. During the study, we shared all what we know.

TABLE OF CONTENTS

PLAGIARISM.....	iii
ABSTRACT	iv
ÖZ	vi
DEDICATION.....	viii
ACKNOWLEDGMENTS.....	ix
TABLE OF CONTENTS.....	x
LIST OF TABLES.....	xiv
LIST OF FIGURES.....	xv
LIST OF ABBREVIATIONS.....	xvi
CHAPTERS	
1. INTRODUCTION	1
1.1. Research Questions	3
1.1.1. The main problem	4
1.1.2. The sub-problems	4
1.2. Definition of Important Terms	5
1.3. Significance of the Study	6
2. REVIEW THE LITERATURE.....	8
2.1. Methods for Diagnostic Evaluation	8
2.1.1. Interviews	8
2.1.2. Multiple choice tests.....	10
2.1.3. Two tier tests	16
2.1.4. Three tier tests	19
2.2. Misconceptions about Simple Electric Circuits.....	21
2.3. Force Concept Inventory	26
2.3.1. Development of the Force Concept Inventory	27

2.3.2.	Some Concerns about the Force Concept Inventory	29
2.4.	Summary	31
3.	METHOD	35
3.1.	Population and Sample.....	35
3.1.1.	Sample group for interviews.....	35
3.1.2.	Sample group for the Open Ended Questionnaire	38
3.1.3.	Sample group for the SECDT.....	38
3.2.	Variables	39
3.3.	Instruments	42
3.3.1.	Interest and Experience Questionnaire about Electricity.....	42
3.3.2.	Interviews	43
3.3.3.	Open Ended Questionnaire.....	44
3.3.4.	Simple Electric Circuit Diagnostic Test	45
3.4.	Procedure.....	45
3.5.	Analysis of Data.....	48
3.6.	Assumptions	50
4.	RESULTS	51
4.1.	Analysis of the Interviews.....	51
4.1.1.	Sink model	52
4.1.2.	Attenuation model.....	53
4.1.3.	Shared current model.....	54
4.1.4.	Clashing current model	55
4.1.5.	Empirical rule model.....	55
4.1.6.	Short circuit misconception.....	56
4.1.7.	Power supply as a constant current source.....	57
4.1.8.	Parallel circuit misconception.....	58
4.1.9.	Sequential reasoning	59
4.1.10.	Local reasoning	60

4.1.11. Confusion between current flow and water flow	61
4.1.12. Vibrating tungsten filament	62
4.2. Analysis of the Open Ended Questionnaire	62
4.2.1. Categorization of Responses Given to the Open Ended Questionnaire	62
4.2.2. Analysis of the categories	66
4.3. Analysis of the SECDT.....	68
4.3.1. Validity AND Reliability of the SECDT	68
4.3.2. Results of the SECDT	84
4.4. Summary of the Results.....	88
5. CONCLUSIONS, DISCUSSION AND IMPLICATIONS.....	90
5.1. Overview of the Study	90
5.2. Conclusions	91
5.3. Discussion of the Results	95
5.4. Internal Validity of the Study	97
5.5. External Validity of the Study	99
5.6. Implications of the Study	99
5.7. Recommendations for Further Research.....	101
REFERENCES.....	103
APPENDICES	
A. INTEREST AND EXPERIENCE QUESTIONNAIRE ABOUT ELECTRICITY	109
B. INTERVIEW CARD	111
C. INTERVIEW GUIDE.....	112
D. OPEN ENDED QUESTIONNAIRE.....	115
E. CATEGORIES BASED ON THE OPEN- ENDED QUESSTIONNAIRE	121
F. SPECIFICATIONS FOR THE OPEN-ENDED QUESTIONNAIRE	156

G. SIMPLE ELECTRIC CIRCUIT DIAGNOSTIC TEST.....	157
H. ANSWER KEY OF THE SEC DT	164
I. CHOICE SELECTIONS INDICATING A MISCONCEPTION ACCORDING TO ONLY FIRST TIERS AND ALL THREE TIERS	165
J. RAW DATA OBTAINED FROM THE SEC DT	166

LIST OF TABLES

TABLES

Table 2.1 Percentages of Biology non-Majors and Majors Selecting each Response Combination for Item 3 on Diffusion and Osmosis Diagnostic Test	18
Table 3.1 List of the Interviewees	36
Table 3.2 Students Having Taken the Open Ended Questionnaire	38
Table 3.3 Students Having Taken the SECDT.....	38
Table 3.4 Diagrams on the Interview Card from the Related Literature	43
Table 3.5 Additional Items on the Open Ended Questionnaire	44
Table 3.6 SPSS Settings for Factor Analysis	49
Table 4.1 Summary of Categories for Each Item on the Open Ended Questionnaire	63
Table 4.2 Correlations between Scores-2 and Confidence Levels	69
Table 4.3 SPSS Output Showing KMO and Bartlett's Test.....	71
Table 4.4 SPSS Output Showing Communalities	72
Table 4.5 SPSS Output Showing the Rotated Component Matrix	72
Table 4.6 Interpretations of the Factors Extracted from Table 4.5	74
Table 4.7 Results of Factor Analysis with Successful Students' Misconceptions-4	77
Table 4.8 Overall Descriptive Statistics.....	80
Table 4.9 Discrimination Indexes of each Misconception Based on All Three Tiers	81
Table 4.10 Output of the ITEMAN	83

LIST OF FIGURES

FIGURES

Figure 2.1 Example of Electric Circuits by Students Holding Electric Sinks.....	22
Figure 2.2 Two Identical Bulbs which are in Series	23
Figure 2.3 Electrical Circuit Used for Assessment of the Sequential Model	23
Figure 2.4 Circuit Used for Eliciting the Short Circuit Misconception.....	24
Figure 2.5 Question Used by Heller and Finley (1992).....	25
Figure 3.1 Scores-1 according to only the first tiers on the SECDT	40
Figure 4.1 Drawings Representing the Students' Connections.....	52
Figure 4.2 Diagram in the Episode from the Interview with Çağrı.....	53
Figure 4.3 Diagram in the Episode from the Interview with Tarık	56
Figure 4.4 Diagram Used for Assessing Short Circuit Misconception.....	57
Figure 4.5 Diagrams Used for Assessing Power Supply as a Constant Current Source	58
Figure 4.6 Drawing Used for Assessing Parallel Circuit Misconception.....	58
Figure 4.7 Drawing Used for Assessing Sequential Reasoning	60
Figure 4.8 Diagram Used for Assessing Local Reasoning.....	61
Figure 4.9 Diagram Used for Assessing Current at Junction Divide.....	61
Figure 4.10 Scattergram of Scores-2 vs. Confidence Levels	70
Figure 4.11 Histogram of Scores-3 and Misconceptions-4	82
Figure 4.12 Misconceptions in terms of Type of the Test.....	85
Figure 4.13 Correct Responses in terms of Type of the Test.....	87

LIST OF SYMBOLS

SYMBOLS

FCI	: Force Concept Inventory
KR-20	: Kuder-Richardson-20
MBT	: Mechanics Baseline Test
MDT	: Mechanics Diagnostic Test
SECDT	: Simple Electric Circuit Diagnostic Test

CHAPTER 1

INTRODUCTION

There is extensive literature on the fact that students come to their classes with an enormous variety of preconceptions most of which are acquired from their life experiences (Driver, 1989; Halloun & Hestenes, 1985; Hammer, 1996; Tytler, 2002). Nevertheless, plenty of preconceptions do not match with scientific conceptions and such preconceptions are mostly named misconceptions. Halloun and Hestenes (1985), and McDermott (1991) emphasized that physics instruction cannot help students understand the scientific conceptions without taking misconceptions into account because misconceptions mostly can prevent students from accepting the scientific conceptions. In other words, misconceptions are very resistive to conventional instruction; therefore, careful research on assessing misconceptions is necessary for overcoming them throughout the instruction.

Researchers have managed hard to develop diagnostic tools for measuring students' understanding of conceptions for a long time. The most common used diagnostic tools can be listed as interviews and multiple choice tests. Each tool is selected for some advantages. Interviews have the advantage over multiple choice tests in terms of flexibility and depth of the investigation (Beichner, 1994; Osborne & Gilbert, 1980). However, interviews can be conducted with a limited number of students

for generalization and they consume plenty of time. On the other hand, multiple-choice tests can be administered to a large number of students for generalization and easily be analyzed although they cannot investigate the student responses deeply. So, Beichner (1994) reported that the ideal course of action is to use both of these diagnostic tools in the multiple choice test development process for minimizing the disadvantages of each tool. In fact, before Beichner (1994) emphasized, interviews had already been conducted in the process of developing a multiple choice test. For example, in the design of Mechanics Diagnostic Test, which was reported by Halloun and Hestenes (1985), interviews had been conducted for the validity and reliability concerns. Another type of diagnostic tool is the two-tier test which was first developed by Treagust (1988, cited in Tan, Goh, Chia, & Treagust, 2002). In a two-tier test, the first tier presents a multiple choice content question and the second tier presents a set of reasons for the given answer in the first tier. Also in the design of this type of diagnostic tool, interviews are conducted to form a list of misconceptions, which are used as distracters in the second tier. On account of the fact that very special attention was paid to find any study reporting a two-tier test about physics topics in the related literature, it is needed to emphasize that there are few two-tier tests concerning physics topics.

Nonetheless, Griffard and Wandersee (2001) claimed some negative aspects of two-tier tests. They used a two-tier test that had been developed by Haslam and Treagust (1987, cited in Griffard & Wandersee, 2001) in their study and criticized it. They claimed that the instrument items actually diagnose isolated errors in a conceptual framework rather than robust naïve theories because the test items were based on scientifically correct propositions from the concept map which had been used in the design of the test, that is, the participants were not allowed to give their reasons in the test. The researchers also emphasized that the test results

overestimate the percentage of misconceptions because gap in knowledge (lack of knowledge) cannot be discriminated from misconceptions.

Because of the some mentioned concerns, Eryılmaz and Sürmeli (2002) developed a three-tier test to assess students' misconceptions concerning heat and temperature. As a result of the study, it can be absolutely said that three-tier tests have the advantage over the two-tier tests in term of discriminating students' lack of knowledge from their misconceptions by means of the third tier items which assess how confident the students are about their responses for the first and second tiers.

Consequently, the main purpose of this study was to develop a three-tier test for assessing ninth grade students' misconceptions about simple electric circuits. The second purpose was to assess ninth grade students' misconceptions about simple electric circuits. The third purpose was to explore which dimensions of simple electric circuits were assessed. The fourth purpose was to compare the proportions of misconceptions according to only the first tiers, the first two tiers, and all three tiers, respectively. The last purpose of the study was to compare the proportions of correct answers for each item (difficulty levels) according to only the first tiers, first two tiers, and all three tiers, respectively.

1.1 Research Questions

There are several research questions which were investigated in the purposes of this study. They can be classified as the main problem and sub-problems.

1.1.1 The Main problem of the study

The main problem investigated in this study was if the simple electric circuit diagnostic test (SECDT) is a valid and reliable test for assessing ninth grade students' misconceptions about simple electric circuits.

1.1.2 The sub-problems of the study

The other research questions investigated in the study can be listed as below:

1. What are the misconceptions which ninth grade students hold about simple electric circuits?
2. Are there any unknown misconceptions in the student population?
3. What are the proportions of lack of knowledge for each item and in average?
4. What are the proportions of false positives and false negatives?
5. How does the proportion of the students having a misconception change when only the first tiers, the first two tiers, and all three tiers are respectively taken into account?
6. How does the proportion of students giving correct answers change when only the first tiers, the first two tiers, and all three tiers are respectively taken into account?
7. Will related items on the SECDT yield any acceptable factors as a result of factor analysis?
8. Will related misconceptions students hold yield any acceptable factors as a result of factor analysis?

1.2 Definition of Important Terms

Some of the important definitions of the terms in this study can be presented as below:

Concept: “an abstract or general idea inferred or derived from specific instances” (Online Dictionary [OD], 2005).

Conception: Several definitions are presented by the OD (2005), and the following definitions are the most appropriate ones.

1. the creation of something in the mind, and
2. the power or faculty of apprehending or forming an idea in the mind; the power of recalling a past sensation or perception

Misconception: It is defined as an incorrect conception or a wrong understanding by the OD (2005). Besides, Hammer (1996) listed some characteristics of misconceptions as follow:

1. Misconceptions are strongly held,
2. They differ from expert conceptions,
3. They affect in a fundamental sense how students understand natural phenomena and scientific explanations, and
4. They must be overcome for students to achieve expert understanding.

Diagnostic tests: Diagnostic tests are used for assessing persistent or recurring learning difficulties, such as misconceptions (Gronlund & Linn, 1990).

False negatives: False negatives can be defined as the incorrect answers that are given by students who have the correct, scientific conception for answering the question (Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992).

False positives: False positives can be defined as the correct answers that are given by students who do not have the correct, scientific conception (Hestenes et al., 1992).

1.3 Significance of the Study

There are several reasons for explaining the significance of the study. First of all, it is very important to assess student conceptions of electric circuits so that an instructor can help his/her students grasp the scientific conceptions properly. It is not difficult to encounter some suggestions for an effective instruction to overcome the student misconceptions. However, assessing student conceptions by means of a diagnostic tool is inevitable to succeed in overcoming the misconceptions. That is, valid and reliable diagnostic tools are necessary to assess student misconceptions properly.

Moreover, using a three-tier test is more convenient than other types of diagnostic tools based on the great amount of discussion in the literature about use of each diagnostic tool. In other words, interviews are good at probing student answers to a given question; however, it is very difficult and time consuming to conduct interviews with a large number of students. In order to eliminate this disadvantage, multiple choice tests have been used for diagnostic purposes. However, multiple choice tests cannot assess student answers deeply in spite of much superiority (Beichner, 1994). Two-tier tests have been assumed to be a great improvement in diagnostic assessment because they have the ability not only to administer to a large number of students but also to probe the student answers. However, there is some important criticism about this type of diagnostic tools, too. Eryılmaz and Sürmeli (2002), and Griffard and Wandersee (2001) criticized two-tier tests with overestimating the fraction of misconceptions students hold. That is, an incorrect answer for both tiers may be due to either a misconception or a lack of knowledge. However, three-tier tests have the ability to distinguish misconceptions from lack of knowledge by means of third tiers which asking students if they are confident about their answers for the first two tiers.

This study also will contribute to filling a gap in the literature. On account of the fact that very special attention was paid to find any study reporting a three-tier test on physics topics in the related literature, there were very limited number of three-tier tests. In other words, deficiency of three-tier tests on physics topics makes this type of studies necessary due to the superiorities of three-tier tests.

CHAPTER 2

REVIEW OF THE LITERATURE

In this chapter, findings from the related literature review are presented in four sections, respectively including methods for diagnostic evaluation, misconceptions about simple electric circuits, the force concept inventory, and the summary of the literature review.

2.1 Methods for Diagnostic Evaluation

In this part of the study, some diagnostic evaluation methods such as interviews, multiple choice tests, two-tier tests and three-tier tests are presented in four sub-sections.

2.1.1 Interviews

Osborne and Gilbert (1980) reported a technique to explore students' views of the world. The technique is a kind of interview; the interview-about-instances. In this kind of interview, the investigator presents some cards on which familiar situations are depicted for the interviewee. The cards may or may not include instances of a concept, and the students are asked to think about if there is an instance of concept on the card, thereby eliciting the student conceptions. The researchers also presented scope and

limitations of the interview-about-instances. Advantages can be listed as:

1. It is applicable over a wide range of age
2. It is enjoyable for interviewer and interviewee
3. It has advantages over written answers in terms of flexibility and depth of the investigation
4. Classifying instances is more pertinent and penetrating than asking for a definition
5. It is concerned with the student's view rather than merely examining if the students has the correct scientific view.

And some limitations can be listed as:

1. There is the problem of choosing a limited but adequate set of instances.
2. The order of instances may influence student responses
3. Interviews, and the transcribing and analysis of transcripts, are time consuming
4. There are the difficulties associated with interviews and the analysis of the interview data, e.g. difficult to report succinctly.

Fredette and Lochhead (1980) conducted clinical interviews with 24 engineering students enrolled in introductory physics courses to understand their conceptual difficulties on electric circuits. They interviewed with each student individually and recorded all the responses on a video tape. In the interviews, they gave three wires, an unmounted 2-V bulb and a standard flashlight battery to the interviewee, and then asked for lighting up the bulb. After completing the interviews, they noticed two common incorrect wiring plans. Next, the researchers used these two mistakes as a basis for a written short quiz, which they administered to 57 freshman level engineering students. In the analysis of the results from the questionnaire, the researchers focused on a prevalent misconception, electric sink.

Fredette and Clement (1981) started their work concentrating on three clinical interviews they had conducted before. All the students they had interviewed were experienced in the topic of electricity. The researchers noticed the short circuit misconception in the interviews. Afterwards, they followed three steps to probe their investigation. First, they administered a written questionnaire to 57 freshman engineering students who were in the first semester and haven't yet studied electricity course. 14 of 57 students were holding the misconception. Second, the researchers conducted 12 additional interviews to raise the number of interviews to 15 and obtain more insight into the dept of the conceptual difficulty. 5 of the 15 interviewees were holding the misconception. Third, the researchers administered another but similar written test to 10 engineering students who had completed a course in electricity and magnetism to observe if the misconception had been overcome after the course. 4 students were holding the misconception and the researchers concluded that it is difficult to overcome the misconception for some students even after a course.

2.1.2 Multiple choice tests

Tamir (1990) suggested that when multiple choice tests are used wisely, they are excellent to identify student conceptions, including misconceptions despite of great amount of criticism. Some characteristics of multiple choice tests were presented as follow:

1. Multiple choice tests permit coverage of a wide range of topics in a relatively short time.
2. They can be used to measure different levels of learning.
3. They are objective in terms of scoring and therefore more reliable.
4. They are easily and quickly scored and lend themselves to machine scoring.

5. They avoid unjustified penalties to students who know their subject matter but are poor writers.
6. They are suitable for item analysis by which various attributes can be determined such as which items on a test are too easy, which were too hard, which are ambiguous, etc. (Hedges, 1966; Wesman, 1971, as cited in Tamir, 1990).

Cohen, Eylon and Ganiel (1983) conducted numerous interviews with students at various levels and they found several misconceptions to be very frequent. Because of the nature of interviews, the scope and the number of the students who can be investigated are restricted. So, the researchers decided to design and administer a written questionnaire to be able to collect more information about the misconceptions from a large number of students. The questions were qualitative rather than quantitative, because the researchers declared that students have difficulties in qualitative questions in spite of their mostly correct responses to quantitative questions. They administered the questionnaire to 145 students and 21 teachers. The students were from 6 twelfth grade classes (96 students) and they had learned electricity and magnetism. There were also two additional classes (49 students), one of which was eleventh grade and the other was gifted ninth graders. These two classes were experienced in DC circuits, but not in electrostatics. Ten multiple choice questions and four open ended questions were included in the questionnaire. The distracters were designed to present students correct or incorrect conceptions and a conception was presented with more than one question. The open-ended questions were mostly quantitative (numerical) to observe the solution ways the students use. Also, follow-up interviews were conducted with 14 students who had taken the questionnaire to be able to understand what the reason of their answers on the questionnaire was.

Dupin and Johsua (1987) identified French pupils' conceptions about direct-current electricity using a group of 920 students. To be able to assess the effect of teaching they followed the evolution of the conceptions from the beginning of secondary school up to the fourth year of university. The researchers used a pencil-and-paper questionnaire including 44 items. Of course, not all of the items are used for a level of students, but they paid attention to use at least all of the items, which had been used at a level, at a higher level. In all items, the internal resistances of batteries were ignored to regard as constant voltage generators. The researchers used two kinds of questions in the questionnaires, exercises of declarative or operational nature. Exercises of declarative nature asked students to give their opinion about electrical events. Exercises of operational nature needed the students to analyze the behavior of physical magnitudes in electrical circuits in diagram forms. They formed graphics figuring out the relationship between the percentages of correct answers and different school levels, thus the researchers could observe the effect of teaching on the conceptions of students. As a result the researchers confirmed the misconceptions identified by other authors and concluded that some of the misconceptions can be overcome by teaching, however, some are resistant to change.

Shipstone et al. (1988) carried out a research study to investigate the conceptual understandings of students from England, France, the Netherlands, Sweden and West Germany. They assumed to find out some significant differences in students' understandings, because of different teaching approaches in those countries. If it was the case, obviously the most advantageous approach could also be identified. Ages of the students from all five countries were in the range of 15-17. Attention was paid to the selection of each sample to represent each country by each author. They used a test including 13 multiple choice and true false questions. These questions were selected from the questions used by the authors in the

previous studies. Each item in the test was assessing only one or at most two aspects of electricity. After analyzing the results of the test, they concluded that differences among countries were rather small in spite of different teaching approaches.

McDermott and Shaffer (1992) examined student difficulties in diverse topics of physics, one of which simple electric circuits. They started their investigation by conducting individual demonstration interviews, which serve a simple demonstration as a basis for a dialog between an investigator and a student. Real equipments are usually used in these interviews but sometimes computer simulations can also be used. The researchers recorded the interviews on an audiotape. Analyzing the records they characterized students' conceptual understandings. As a result of the findings from the interviews, they formulated written questions and they administered to large numbers of students before, during and after instruction. By the help of the descriptive analysis, they deepened their understandings of students' difficulties and also extended the scope of the investigation. As a brief summary, they shifted their questioning mode from interviews toward written tests as their understanding of student difficulties grew.

Beichner (1994) suggested a model for developing and analyzing a diagnostic test in uncovering student difficulties. He initially mentions about interviews and multiple choice tests. Interviews are very useful in probing the answers of students to the researcher's questions. However, they need too much time for conducting to large numbers of students and analyzing. At that point, multiple choice tests are very useful, because they can be easily administered to large numbers of students and analyzed, thus we can generalize our results. Beichner (1994) suggested the combination of interviews and multiple choice tests.

It is beneficial to focus on the process of test development suggested by Beichner (1994) as briefly as possible.

1. Formulate a list of specific objectives after recognizing the need for the test.
2. Carry out a pilot study for the last version of the list of specific objectives. (Objectives which nearly all students succeed in must be removed, because the aim of the test is to uncover students' difficulties, not their achievement.)
3. Ask open-ended questions of a group of students to determine the most frequently appearing mistakes.
4. Write three items for each objective to produce the test by using the mistakes found in the open-ended questions as distracters. (Items may be selected from some outside sources, such as textbooks, question banks, etc.)
5. To modify several of the questions, administer the test to 100-150 students.
6. To establish the content validity, distribute the revised test to some educators and professors. Then, ask them to complete the tests, comment on the appropriateness of the objectives, criticize the items, and match items to objectives.
7. Administer the test to a sample whose size is enough.
8. Conduct an instructional activity to the sample of students.
9. Again administer the test to the sample after a little modification.
10. Calculate the Pearson product-moment correlation to examine if the two test versions are similar (parallel forms). Steps 7, 8, 9, 10 indicate equivalent-forms method.
11. Calculate a paired sample t-test to look for if the difference between mean scores of pre- and post-test is significant. A significantly increase in the mean scores is the evidence of validity.

Beichner (1994) administered the test to 524 students after constructing his valid and reliable test to uncover student difficulties. Analysis from this data revealed that the test is certainly useful for diagnostic purposes and should be helpful as a research tool.

Engelhardt and Beichner (2004) developed the Determining and Interpreting Resistive Electric Circuit Concepts Test (DIRECT) to assess students' understandings of a variety of direct current (DC). Their process of test development started with constructing a set of instructional objectives by a deep examination of the high school and university textbooks and laboratory manuals plus informative discussions with instructors using these sources. They presented the objectives to a panel of independent experts to ensure that no significant objectives had been ignored. In order to be able to detect the distracters for the multiple choice format of the test, they first developed an open ended format. The researchers tried to construct several items for an objective using different modes of representation. Then, they developed DIRECT 1.0 and administered to 1135 students from high schools and universities. They used a very large sample to reduce the sampling errors. They presented a table showing the descriptive statistics and a figure showing the distribution of the scores. The distribution of the scores was positively skewed indicating a difficult test. Next, they conducted follow-up interviews to improve their first version of the test and to increase the reliability. Afterwards, they developed DIRECT 1.1. The final version was administered to 692 from high schools and universities in Canada, Germany, and the United States. The final version contained 29 items with five choices. They again presented the descriptive statistics and the distribution of the scores. The distribution of scores was again positively skewed. In the descriptive analysis they estimated the overall mean, university mean, high school mean, overall range, university range, high

school range, Kuder Richardson 20 (KR-20), average point-biserial correlation (reliability of a single item, and the average is desired to be equal or more than 0.20), average discrimination index and average difficulty index. The KR-20 values (0.71 and 0.70) for both versions were little above 0.70, which is the acceptable value. To cause this low reliability value, they claim the low discrimination index (0.26 and 0.23) and high difficulty level (0.49 and 0.41). They also claimed that the low discrimination index may be an indication of that the test indeed uncovers students' misconception. They had established the content validity of the test in the early versions of the test. They established the construct validity by using factor analysis and follow up interviews. However, they only inform us with the number of factors for two versions. For version 1.0 they found 9 factors and for version 1.1 they found 11 factors. But, no information is given about the interpretation of the factor analysis results. They used the interviews to eliminate the question ambiguities and to understand if students understand what had been intended in the questions. A series of t-tests and ANOVA were used to determine if there were significance differences between various groups of students who had taken DIRECT 1.0 and 1.1. They found a significant difference between high school and university students for both versions, that is, university students outperformed high school students. They also found a significant difference between males and females. Males outperformed females and more misconceptions were held by females.

2.1.3 Two tier tests

Chung, Lin and Lin (2002) developed a two-tier diagnostic test to elicit high school students' misconceptions about the formation of images by plane mirrors as a part of large scale survey study in all subject content

areas of science in Taiwan. The researchers followed a methodology described by Treagust (1988, as cited in Chung, Lin, & Lin, 2002). First, they constructed a concept map by means of analysis of the physics curriculum to prepare a list of propositional knowledge statements, which are the statements used for linking the key words in a concept map. The propositional knowledge statements are needed for conceptual understanding of the mechanism of formation of images by plane mirrors. The propositional statements were examined by physics professors to establish the content validity. When the validation was established, some of the propositional statements were eliminated or changed. Based on the propositional statements the researchers developed an open ended questionnaire to be able to identify misconceptions which would be used as distracters in the intended multiple choice instrument. After administering the questionnaire, they also conducted follow-up interviews whose results would be used as reference for the findings of the questionnaire. Afterwards, they developed the two tier test. The first tier is a multiple choice question related to the propositional statements and the concept map. The second tier presents a scientific reason and some misconceptions derived from the open ended questionnaire and the interviews. The researchers estimated discrimination index, difficulty level and the Cronbach's alpha (for reliability). Estimated values were in the acceptable ranges. Finally, they presented a table showing percentages of student responses for only first tier and for the combination of first and second tiers. They regarded responses whose percentage was more than 10% as possible misconceptions.

Other studies about two-tier diagnostic assessments use the same procedure suggested by Treagust (1988) to develop the test (Odom & Barrow, 1995; Tan, Goh, Chia & Treagust, 2002; Tsai & Chou, 2002). In addition, it is reported that the first content tier has two or three choices

and the second reason tier has four or five choices. Odom and Barrow (1995) presented a table showing scoring on a two-tier test they developed for measuring college biology students' understanding of diffusion and osmosis (Table 2.1). The researchers administered the test to 123 students enrolled in a non-major freshman biology course and 117 students enrolled in a major freshman biology course. In the table, 61.8% of the non-majors chose the correct content (first tier), but only 21.1% chose the combination of the correct content and reason. In other words, 61.8% of the non-majors seem to understand the content according to only the first tier, whereas both the first and second tiers do not indicate the same proportion. Only 21.1% of the students seem to understand the topic according to the first two tiers.

Table 2.1 Percentage of Biology Non-majors and Majors Selecting Each Response Combination for Item 3 on Diffusion and Osmosis Diagnostic Test

	Choice on the first tier	Reason				Total
		a	b	c	d	
Non-majors	A	8.9	18.7	4.9	5.7	38.2
	B	8.9	4.1	27.6	21.1*	61.8
Majors	A	5.1	12.8	5.1	2.6	25.6
	B	1.7	3.4	29.1	40.2*	74.4

* The correct answer according to answers for the first and second tiers

Sencar and Eryılmaz (2004) used the literature findings to form some questions of the diagnostic test and some questions were directly translated into Turkish. The questions were two-tiered questions. The first tier was a classic multiple choice question with a correct answer and some distracters.

The second tier provides some reasons for the given answer for the first tier. The reasons were consisted of a correct reason and some misconceptions formed by the help of the literature review. In addition, the questions were two kinds within the test, theoretical and empirical questions. The theoretical questions were those which had been introduced during the course, and the empirical questions were based on the experience with the electrical devices. The sample was consisted of 1678 ninth grade students (914 females, 764 males) from 13 high schools in Ankara, Turkey. When evaluating a student, one point was assigned to each misconception held by the student. That is, a student with a high score had more misconceptions than a student with a low score. After analyzing the results, they found that most of the students had many misconceptions. In addition, it was observed that females had more misconceptions than males. However, it was also observed that theoretical questions were answered more correctly than the empirical questions. There was no difference between females and males for the theoretical questions, whereas females had more difficulty in answering the empirical questions than males.

2.1.4 Three tier tests

Eryılmaz and Sürmeli (2002) developed a three-tier test to assess students' misconceptions on heat and temperature. They started their study by probing the definition of misconception. In the study, it was emphasized that misconceptions are conceptions that are acquired from the experiences and conflict with the scientific facts. Also, misconceptions have a connotation of error, but not all errors are misconceptions. Some errors may be due to lack of knowledge, and it is a fact from the definition of misconception that misconceptions are due to some conceptions from

experiences, not due to some lack of knowledge. However, in the objective tests all wrong answers are treated as misconceptions. This situation questions the validity of objective tests. In the three tier tests, the first tier is a classic multiple choice question. The second tier presents some reasons for the first tier. And, the last tier asks the student whether he/she is sure or not for the given answers. If the student answers the first tier incorrectly, next gives the related reason for the answer, and finally the student is sure about the answers for the first two tiers, then we can expect the student to have a misconception. Eryılmaz and Sürmeli (2002) determined a 19-item test on heat and temperature, and then they form the three-tier test. They administered the test to 77 ninth grade students from local and private high schools in Balgat, Ankara, Turkey. At the end, they compared the percentages of students having a misconception, respectively according to only the first tiers of items on the test, the first two tiers of items on the test and all three tiers of items on the test. They found that 46% of the students had in average at least one misconception according to the first tiers, 27% of students had at least one misconception according to the first two tiers, and 18% of the students had at least one misconception according to all three tiers. From these results, the researchers concluded that assessing misconceptions with a one-tier test overestimates the percentages of students having a misconception, and treats all wrong answers as a misconception. In fact, although some of those incorrect answers may be due to a misconception, some of them may not be due to a misconception. In other words, as previously mentioned, some of incorrect answers may be false negatives which are incorrect answers in spite of correct reasons, and some may be due to randomly given answers. Additionally, some other may be due to lack of knowledge. In the light of this explanation, 19% of the students, which is found by subtracting 27% from 46%, gave incorrect answers by mistake or chance because related reasons of the incorrect

answers were not chosen on the second tiers of the test. In the same manner, 9% of the students were not confident about the answers for the first two tiers on the test although their answers for the first tiers were consistent. Those students gave incorrect answers due to some lack of knowledge rather than some misconceptions. Thus, the researchers concluded that three-tier tests assess misconceptions more validly than one-tier or two-tier tests.

2.2 Misconceptions about Simple Electric Circuits

Lots of research studies have been conducted so far in order to investigate the student understanding of electric circuits. These studies have revealed that students mostly cannot distinguish among related concepts such as current, energy, voltage, etc. Assuming battery as a constant current source is an example of confusion between electrical current and voltage. Another example is the consumption of current by electrical devices within a circuit because of the confusion between electrical current and energy (Bauman, & Adams, 1990; McDermott, & Shaffer, 1992; Shipstone, 1988). These two misconceptions are the most common and resistant misconceptions among students according to the related literature. Of course, there are other misconceptions in the literature, and therefore, all the misconceptions are presented separately so that they can be easily understood.

Sink model: Only a single wire connection between the power supply and the electrical device is assumed to let the electric current flow from the power supply to the electrical device, thus running it. Students who have this misconception may confuse the electric flow with the other flow models such as heat flow, water flow or grounded electric flow. (Fredette & Loachhead, 1980). Figure 2.1 demonstrates two of various electric circuits

which are assumed by students holding this misconception so that the bulb lights up.

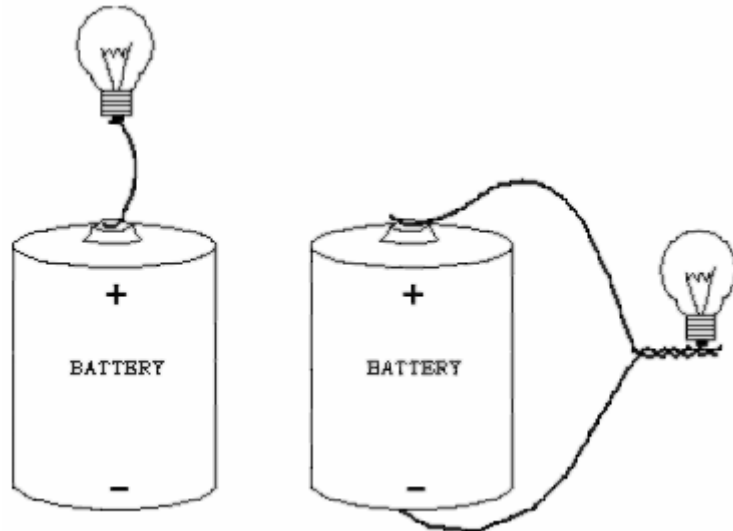


Figure 2.1 Examples of Electric Circuits by Students Holding Electric Sinks.

Attenuation model: In this model, the electric current, which travels round an electrical circuit in one direction, is assumed to decrease gradually because of the consumption of it by the resistors within the circuit. When students are asked to rank two identical bulbs, which are in series as in Figure 2.2, with respect to their brightness, they regard bulb A as brighter because they think that bulb A which encounters the electric current first uses up some of the current and less current passes through bulb B (McDermott & Shaffer, 1992; Shipstone, 1988).

Shared current model: This model is very similar to the attenuation model in that the leaving current is more than the returning current. But, the difference is that in this model the electrical current is assumed to be shared equally by electrical devices; therefore bulbs A and B in Figure 2.2 are assumed to be equal in brightness (Shipstone, 1988).

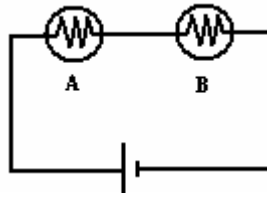


Figure 2.2 Two Identical Bulbs which are in Series

Sequential model: When pupils are asked to predict what happens to the brightness of the bulb in Figure 2.3 if either R_1 or R_2 is changed, many anticipate that change in R_1 affects the brightness and change in R_2 does not affect the brightness of the bulb. That is, students assume a change at a point in the circuit to affect forward in the direction of the electric current, not backward (Dupin & Johsua, 1987; McDermott & Shaffer, 1992; Shipstone 1988; Shipstone et al., 1988).

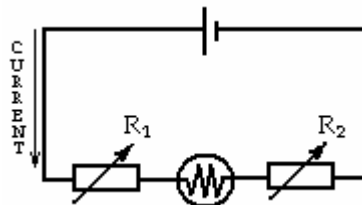


Figure 2.3 Electrical Circuit Used for Assessment of the Sequence Model

Clashing current model: Students who have this model assumes that positive electricity and negative electricity from the power supply meet at an electrical device and clash there, thus running the electrical device. (Chambers & Andre, 1997)

Empirical rule model: Students who have this conception believe that the further away the bulb is from the battery, the dimmer the bulb (Heller & Finley, 1992).

Short circuit misconception: Wires without any electrical devices are ignored by the students who have this misconception as they analyze the circuit. (Chambers, & Andre, 1997; Fredette, & Clement, 1981). Figure 2.4 is obtained from the study of Fredette and Clement (1981) in the purpose of exemplifying short circuit misconception. Students who have this misconception ignore the wire path causing a short circuit and try to analyze the electrical events through the battery, the resistor and the capacitor as in the figure.

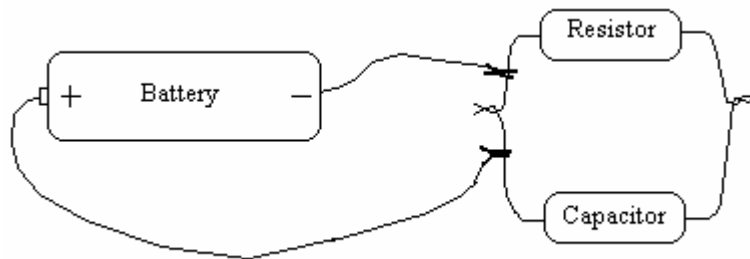


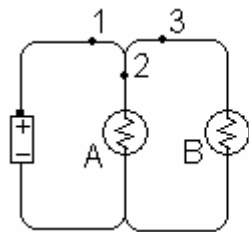
Figure 2.4 Circuit Used for Eliciting the Short Circuit Misconception

Power supply as a constant current source model: This misconception belongs to the students regarding a battery as a constant electrical current source rather than electrical energy source, whatever the circuit it is flowed in (Cohen et al., 1983; Dupin & Johsua, 1987; McDermott & Shaffer, 1992; Shipstone, 1988; Shipstone et al., 1988).

Parallel circuit misconception model: Students regard a resistor as an obstacle to current flow and they claim that the total resistance of a circuit increases as the number of resistors which are in parallel increases (Chambers, & Andre, 1997; Cohen et al., 1983; McDermott, & Shaffer, 1992).

Local reasoning: If a modification is done in a part of an electrical circuit, students who have this misconception try to analyze this local part and they ignore global changes. However, it is required to analyze both the local and the global changes. For example, a resistor is connected in parallel to a given resistor, then the current is divided between the resistors, but the sum of these currents is not equal to the previous magnitude of the current at the original circuit before the modification (Cohen et al., 1983; Shipstone et al., 1988).

Models of junctions in parallel circuits: Heller and Finley (1992) reported 8 different responses for the question shown in Figure 2.5.



5c. Compare the amount of current in the wires at points 1, 2 and 3. Explain your reasoning.

Figure 2.5 Question used by Heller and Finley (1992)

The following list shows different types of the given answers. The given answers were categorized according to if the junction was recognized or not. The first four answers are the answers in which the junction divide was not recognized and the rest of the answers are the answers in which the junction divide was recognized.

1. The current is the same at all points ($I_1 = I_2 = I_3$) because the current has not yet reached the bulbs.
2. The current is the largest at point 2 because of being the closest to the negative pole. The current at point 3 is greater than at point 1 due to the distance to the negative pole ($I_2 > I_3 > I_1$).
3. The currents at points 1 and 2 are equal because they have not yet reached any bulb. The current at point 3 is the least because the current has been used in passing through the bulbs A and B ($I_1 = I_2 > I_3$).
4. The currents at points 1 and 2 are equal because they have not yet reached the bulb A. The current at point 3 is least because the current flows around the circuit with the bulb A before it flows through the circuit with the bulb B ($I_1 = I_2 > I_3$).
5. The currents at points 1 and 3 are about equal. Slightly less current flows down the path to point 2 ($I_1 = I_3 > I_2$).
6. The current at point 1 is the largest because it has not yet split. The current at point 2 is larger than the current at point 3 because more current flows through the closer path ($I_1 = I_2 + I_3$; $I_2 > I_3$).
7. The currents at points 2 and 3 are half of the current at point 1 because it divides evenly when the split occurs ($I_1 = I_2 + I_3$; $I_2 = I_3$).
8. The current at point 1 is the sum of the currents at points 2 and 3. The current at points at points 2 and 3 are the same because more current flows through the path with less resistance. Since the paths have the same resistance, the currents through each path are the same ($I_1 = I_2 + I_3$; $I_2 = I_3$).

2.3 Force Concept Inventory

During the literature review, two findings attract attention. First, there are few two-tier or three-tier tests on physics. Second, there are so many

research studies focusing on the FCI. Both make inevitable to review the research studies on the FCI. The FCI is presented by two sections. The first section is about its development and popularity. The following section presents some serious concerns about the FCI.

2.3.1 Development of the Force Concept Inventory

Because the FCI is an improved version of the Mechanics Diagnostic Test (Halloun & Hestenes, 1985), it is first needed to study the MDT. Halloun and Hestenes developed the MDT to ascertain students' qualitative conceptions of mechanics. The researchers articulated the design, validity and reliability of the test clearly. They started developing the test by selecting questions in order to be able to assess students' qualitative conceptions and identify common misconceptions obtained from the literature. Afterwards, various open ended versions, which request written answers, were administered to more than 1000 college students enrolling in introductory physics courses for more than three years. As a consequence, the most common misconceptions were identified and used as distracters in the final multiple choice version of the test. Halloun and Hestenes established the face and content validity of the test in four different ways. First, the researchers had a number of physics professors and graduate students examine the early versions of the test and they incorporated the suggestions into the final version. Second, 11 graduate students took the test and a complete agreement was reached on the correct answers to each question in the test. Third, the researchers conducted interviews with 22 introductory physics students who had taken the test before and they observed that all the questions and alternative answers were understood clearly by the students. Forth, the answers of 31 students who received A grade in University Physics were carefully

examined in order to detect any probable common misunderstanding due to the formulation of the questions in the test and they found no one. For establishing the reliability of the test, Halloun and Hestenes (1985) not only used quantitative data from the test results but also they used qualitative data based on the interviews with a sample of students who had taken the test. In the end of the interviews, they observed that the answers of the students were identical with the answers the students had given in the test. Furthermore, the researchers used the data from two comparable groups tested at different times to estimate the Kuder-Richardson reliability coefficients for pretest and posttest uses. The coefficients were 0.86 for pretest use and 0.89 for posttest use. Accordingly, these unusual and high values mean that the MDT is highly reliable.

In 1992, Hestenes, Wells, and Swachhamer designed the FCI which is an improved version of the MDT and claimed that the inventory supplies a more systematic and complete profile of the misconceptions. The researchers divided the Newtonian force concept into six conceptual dimensions and grouped the misconceptions in six major categories. Each question in the inventory presents a Newtonian concept and the misconceptions as distracters. Hestenes et al. (1992) administered the FCI to 1500 high school students and more than 500 university students with an accompanying test, the Mechanics Baseline Test based on problem solving skills and analyzed the test results. They also conducted some interviews for establishing the validity and reliability. Nevertheless, Hestenes et al. (1992) articulated that they did not expend as much effort as on the MDT for establishing validity and reliability because half of the questions in the FCI are the same questions in the MDT whose results replicated many times by other researchers. Thus, they alleged that it was unnecessary to do the same formal analysis again.

The results of the Mechanics Baseline Test used with the FCI were reported by Hestenes and Wells (1992). The FCI was designed to be used as pretest and posttest for assessing students' qualitative understanding of Newtonian concepts before and after the instruction. The Baseline test was also designed in order to assess students' qualitative understanding of mechanics, but it requires problem solving acquired in instruction, that is, it can be used after the instruction as a posttest. The researchers claimed that the use of both tests can yield a complete assessment of students' understanding of mechanics. However, the most important inference was that the researchers indicated two thresholds for the FCI using an Inventory posttest vs. Baseline posttest scattergram. Hestenes and Wells indicated 60 % in the FCI for conceptual threshold because students below this score are most likely to get below 60 % in the Baseline test. 80 % in the FCI was indicated as threshold for mastery of basic Newtonian concepts, because only the students above 80 % in the FCI can score above 80 % in the Baseline test.

2.3.2 Some concerns about the Force Concept Inventory

Huffman and Heller (1995) reported some concerns about the FCI. The researchers conducted a factor analysis using the FCI data, they obtained by administering the test to 145 high school and 750 university students, in order to answer what the FCI actually measures. Huffman and Heller (1995) reminded that the force concept was divided into six conceptual dimensions. For this reason, a factor analyzed FCI data would yield either only one central factor or six different factors including all the items in the FCI. Nevertheless, they found a wide variety of ambiguous factors and only few acceptable factors. Therefore, Huffman and Heller claimed that the items in the FCI are loosely related to each other and they do not

measure either a single force concept or six dimensions of the force concept. This report was followed by some other papers on the concerns.

Hestenes and Halloun (1995) said that what the FCI measures is a question about content validity. In other words, the probability of false positives and false negatives must be estimated. A false negative is defined as the incorrect answer of a Newtonian thinker and a false positive is defined as the correct answer of a non-Newtonian thinker. Hestenes and Halloun (1995) stated that the probability of false negatives was less than ten percent according to the interviews they had conducted. However, they pointed that the minimization of false positives is more difficult. Because, the students have a chance of guessing the correct answer in a multiple choice test, and elimination of this threat is obviously impossible. In spite of the existence of such a difficulty, the researchers claimed that the probability of false positives had been minimized because of the use of more than one question assessing each dimension of the force concept and the use of powerful distracters culled from student interviews. The researchers showed the false positives to be the reason for the results of the factor analysis. They suggested that if Huffman and Heller (1995) had used the students' data between 60 and 80 % scores and separately the data of students above 80 %, they would have reached more acceptable results. Heller and Huffman (1995) repeated their claim about the validity of the FCI by giving an example of hypothetical statistical analysis.

Hestenes and Halloun (1995) also emphasized that students' conceptions are not coherent, that is, it is not a suitable way to use factor analysis for the FCI data. They also said that Huffman and Heller had ignored that non-Newtonian answers (wrong answers) must be studied to reach some results about students' conceptions, not the Newtonian answers (correct answers), that is, Huffman and Heller had factor analyzed the correlations between the Newtonian answers. In their response, Huffman

and Heller (1995) stated that there are two possible explanations for such a loosely related test items. First, students do not have coherent conceptions. Second, students have coherent conceptions, but the test can not measure them.

Another focus on the discussions is the use of the FCI. Hestenes, et al. (1992) suggested that the FCI can be used for three different purposes.

1. As a diagnostic tool (It can be used for identifying and classifying the misconceptions)
2. For evaluating instruction
3. As a placement exam (it can not be used to place beginning students, but it can be used in colleges and universities for determining if a student can be placed in a more advanced course after taking the introductory physics course.)

However, Huffman and Heller (1995) claimed that it may be unfair to use the FCI as a placement test, because it is not obvious what the FCI actually measures. They also advised considerable caution when the FCI is used as a diagnostic tool or for evaluating instruction.

2.4 Summary

The literature review can be summarized in three categories such as diagnostic tools, misconceptions about electric circuits and the force concept inventory.

In the literature, one of the first diagnostic tools is interviews. Interviews can be used to investigate student conceptions deeply. However, they cannot be administered to large number of students for generalization, cannot be analyzed easily, and are too much time consuming. So, multiple choice items have been most commonly used so far. Because, multiple choice tests can be easily administered to large

number of students, are objective due to the scoring, and can be easily analyzed. But, they cannot investigate the student answers deeply. Therefore, two tier tests have been used for diagnostic assessment in the literature for a long time. Two-tier test items include a first tier which is an ordinary multiple choice item, and a second tier which presents reasons (a set of misconceptions and the correct reason) for the answers on the first tier. That is, it can be said that two-tier tests are superior to multiple choice tests in probing the student answers. Nevertheless, two-tier tests have been criticized due to inability to discriminate lack of knowledge from possible misconceptions. And consequently, three-tier tests were introduced for diagnostic purposes. Three-tier tests are superior to the two-tier tests in that they have a third tier which is especially used for discriminating lack of knowledge from misconceptions. Because, on the third tier, students are asked if they are sure about the answers they give for the first two tiers. If a student is sure for a wrong answer and the related reason he/she gives for the first two tiers, then the student can be said to have a misconception. Otherwise, the wrong answer, which is due to a lack of knowledge, cannot be named a misconception.

Another topic which was reviewed in the literature is misconceptions about simple electric circuits. The misconceptions can be listed as:

1. Sink Model: Students think that only one connection between the electrical device and the power supply is enough for running the device.
2. Attenuation Model: Students think that the current leaving one terminal of the power supply is more than the current returning to the other terminal, and the lamp receiving the current last is least in brightness in a circuit with a series combination of identical lamps.
3. Shared Current Model: This model is identical with attenuation model except that all the lamps in a circuit with a series combination use the

same amount of current, that is, they have the same brightness.

4. Sequential Reasoning: Messages about changes taking place in a circuit are carried forward in the direction of the current but not backwards.
5. Clashing Current Model: Students holding this misconception believe that charges from + and – terminals meet within the electrical device and clash, thus the device runs.
6. Empirical Rule Model: The further away the bulb from the battery, the dimmer the bulb.
7. Short Circuit Preconception: Students holding this model ignore the wires without electrical devices and think that the wires have no effect on the circuit.
8. Power Supply as Constant Current Source Model: Power supply is assumed to supply the same amount of electrical current whatever the type of circuit is.
9. Parallel Circuit Misconception Model: Adding a new resistor in a new parallel path is believed to increase the amount of total resistance.
10. Local Reasoning: Students holding this model focus their attention entirely upon what is happening at one point in a circuit ignoring whatever may be happening elsewhere.

Also, Heller and Finley (1992) reported 8 different answers for comparing electrical currents at a junction divide of a parallel circuit.

Finally, the FCI was reviewed in the literature. It was designed to assess introductory physics students' force conceptions by Hestenes et al. (1992.). It is the most popular diagnostic tool on physics, was claimed to be highly valid and reliable, and have been used many times by different researchers. However, Huffman and Heller (1995) reported some concerns as a result of factor analysis they conducted. They claimed that the factor analysis must have formed one or six factors because the writers of the FCI had claimed that the test assesses six different conceptual dimensions of the force

concept. Nevertheless, the factor analysis results presented a wide variety of ambiguous factors and only few acceptable factors. That is to say, Huffman and Heller (1995) claimed that the FCI does not measure the force conceptions properly. Hestenes and Halloun (1995) reported their responses to the claims. They interpreted the results in terms of the false negatives and positives (see Section 1.2). Because, the researchers claimed that the probabilities of false positives and false negatives are the reason for such a result of factor analysis. They also claimed that such a result of factor analysis is because of student conceptions which are not coherent. They suggested the factor analysis to repeat using separately the scores of the students whose scores are between 60 and 80%, and the scores of the students whose scores are above 80%, thereby, getting more acceptable results.

CHAPTER 3

METHOD

In this chapter, sampling, variables, instruments, procedures and analyses of data are presented in a logical sequence.

3.1 Population and Sample

All ninth grade students in Turkey were the target population in this study. However, it is a fact that data collection from that population is extremely difficult. In that case, all ninth grade students in Polatlı, the biggest outlying district of capital Ankara, were identified as accessible population for generalization.

In this study, three sample groups were drawn from the accessible population for conducting interviews, administering the open ended questionnaire, and the Simple Electric Circuit Diagnostic Test (SECDT).

3.1.1 Sample Group for the Interviews

A purposive sample was drawn from general high school, foreign language based high school and Anatolian high school because they include most of the students at secondary school level in Turkey. Interviewees were extracted from each school by means of administering

the Interest and Experience Questionnaire about Electricity (IEQ) to some intact classes at each school with a total number of 184 students. Analyzing the results from the questionnaire, the interviewees were selected according to the school type, gender, knowledge level and IEQ scores.

Table 3.1 shows the list of the interviewees from each school type. Each student at each category was interviewed at suitable locations (lit, silent, heated, etc.). Interviewees were between 14 and 16 years old. Before the interviewees in the table were interviewed, two students from Atatürk Foreign Language Based High School were interviewed for practicing.

Table 3.1 List of the Interviewees

Atatürk High School				
Gender	Knowledge Level	Experience	Grade	Name of the Interviewee
Male	High	Yes	10 th	Ferhat
		No	9 th	Fırat
	Low	Yes	10 th	Soner
		No	9 th	Okan
Female	High	Yes	10 th	Seher
		No	9 th	Yasemin
	Low	Yes	-	-
		No	10 th	Mehtap

Table 3.1 (continued)

Atatürk and Polatlı Foreign Language Based High Schools				
Gender	Knowledge Level	Experience	Grade	Name of the Interviewee
Male	High	Yes	Preparatory	Fikri
		No	Preparatory	Meriç
	Low	Yes	10 th	Kemal
		No	Preparatory	Özdemir
Female	High	Yes	10 th	İrem
		No	10 th	Serap
	Low	Yes	-	-
		No	10 th	Tuğba
Polatlı Anatolian High School				
Gender	Knowledge Level	Experience	Grade	Name of the Interviewee
Male	High	Yes	10 th	Mehmet
		No	10 th	Sefa
	Low	Yes	9 th	Efe Can
		No	10 th	İsmet Çağrı
Female	High	Yes	9 th	Merve
		No	9 th	Gökçe
	Low	Yes	9 th	Cangül Kübra
		No	10 th	Merve

3.1.2 Sample Group for the Open Ended Questionnaire

The open ended questionnaire was administered to a convenience sample including ninth grade classes from each school type. The students were 14 or 15 years old. Table 3.2 shows genders and numbers of the students included in the sample according to each school type.

Table 3.2 Students Having Taken the Open Ended Questionnaire

	Male	Female	Total
Atatürk High School	24	30	64
Polatlı Foreign Language Based High School	10	17	27
Anatolian High School	7	11	18
Total	41	58	99

3.1.3 Sample Group for the SECDT

Again a convenience sample including ninth grade students from each school type was drawn for the SECDT. Table 3.3 shows the details.

Table 3.3 Students Having Taken the SECDT

	Male	Female	Total
Atatürk High School	21	39	60
Polatlı Foreign Language Based High School	2	10	12
Anatolian Teacher Training High School	23	27	50
Total	46	76	122

In fact, the SECDT was administered to 124 students, however, 2 students had not signed gender section on the cover page of the test; therefore, there were two missing data associated with student genders.

3.2 Variables

In the study, nine variables were produced for each student using the raw data, answer key of the SECDT, and the choice selections indicating a misconception (see Appendices H, I and J). Logical functions (IF, AND, OR functions) of Microsoft Excel were used for recoding the student answers on the raw data as 0 (incorrect answer / non-existing misconception) or 1 (correct answer / existing misconception). The details are as follow:

Scores-1: They were produced by using each student's correct answers for only the first tiers of items on the SECDT. Students' answers for each item were coded as 0 (incorrect answer) or 1 (correct answers) according to the first tiers. In other words, each student's correct answers for the first tiers were coded as 1, and wrong ones were coded as 0. For example, the first student in Figure 3.1 gave correct answers for items 1, 3, 6, 9, and 11 according to only the first tiers, and the student's total score was 5.

Every student answers were coded with the same manner. This coding also enabled the researcher to estimate the proportion of correct answers for each item.

Scores-2: They were produced by using every student's correct answers for both of the first two tiers on the SECDT. That is, when a student's answer and reason were correct, it was coded as 1; otherwise, it was coded as 0. Total scores for each student and proportion of correct answers for each item were estimated, too.

Students	CORRECT ANSWERS (ONLY FIRST TIERS)												Scores-1
	ITEM 1	ITEM 2	ITEM 3	ITEM 4	ITEM 5	ITEM 6	ITEM 7	ITEM 8	ITEM 9	ITEM 10	ITEM 11	ITEM 12	
1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	5
2	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	6
3	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	4
4	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	5
5	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	6
.....													
.....													
.....													
121	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	4
122	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	5
123	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	5
124	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	5
TOTAL	95	57	63	51	28	85	85	47	44	35	74	50	
PERCENT (%)	77	46	51	41	23	69	69	38	35	28	60	40	

Figure 3.1 Scores-1 according to only the first tiers on the SECDT

Scores-3: They were produced by using every student's correct answers for all three tiers on the SECDT. That is, answer of a student, who chose "Yes, I am sure" as well as the correct answer and reason, was coded as 1; otherwise it was coded as 0. At the end, student scores and proportion of each correct answer according to all three tiers were estimated.

Confidence levels: They were produced by using student answers to only the third tiers which ask if a student is confident about the answers for the first two tiers. That is, "Yes, I am sure" selections of students were coded as 1, and the rest were coded as 0. Finally, sum of 1 points, each student had, yielded confidence level of each student.

Misconceptions-1: They were produced by using choice selections indicating a misconception in Appendix I and student answers for only the first tiers. For each item on the SECDT, choice selections indicating a misconception were coded as 1, and the rest were coded as 0. This enabled

the researcher to estimate the percentages of misconceptions assessed by each item. Then, the average of percentages of the same misconceptions assessed by different items was estimated, thus the percentages of each misconception were found according to only the first tiers on the SECDT.

Misconceptions-2: They were produced according to the first two tiers. When a student chose both the choice indicating a misconception and the related reason, student was expected to have a misconception and it was coded as 1. Thus, percentages of misconceptions, assessed by each item, were estimated separately, and then the average percentages of the same misconceptions, assessed by different items, were estimated.

Misconceptions-3: They were estimated by using choice selections indicating a misconception and evaluating all three tiers on the test. That is, when a student selected the choices indicating a misconception in the first two tiers and chose "Yes, I am sure" in the third tier, it was coded as 1 for the item. Using these data, percentages of misconceptions assessed by each item were estimated. Some misconceptions are assessed by more than one item on the test. So, the average of percentages of the same misconceptions assessed by different items was estimated and therefore the correct percentages of misconceptions were estimated for all three tiers on the SECDT.

Misconceptions-4: This variable is similar misconceptions-3 in that both are based on choice selections indicating a misconception. But, misconception-3 presents misconceptions (0 or 1) according to each choice selection whereas misconceptions-4 presents misconceptions by combining these choice selections. For example, Clashing current model (M4) is assessed by two choice selections (see Appendix I). Misconceptions-3 variable presents 0's or 1's for each choice selection separately, whereas misconceptions-4 presents a combination of these two choice selections. That is, if both choice selections are coded as 0, then it is again coded as 0, otherwise, as 1.

Scores-based on only second tiers: They were obtained by using student correct answers for only the second tiers. In detail, student correct answers to only second tiers were coded as 1 and the wrong answers were coded as 0. Sum of them for each student gave the total student scores.

3.3 Instruments

In this study, four different instruments were used for different purposes. It is more suitable to present the instruments separately.

3.3.1 Interest and Experience Questionnaire about Electricity

The IEQ was used to select suitable interviewees in the purpose of including all types of students in terms of gender, knowledge level, type of school they go, and experience with electricity. The IEQ had been developed by Sencar and Eryılmaz (2004) apart from four additional questions requesting information about students' names, their fathers' and mothers' occupations, and their physics grade on the last academic record sheet (see Appendix A). Students' physics grades on their last academic record sheet were used for discriminating them on the grounds of their knowledge level. Five items which rated on a 4 point Likert scale on the questionnaire exhibited information about student interest in electricity. Ten items which was rated on a 3 point Likert scale exhibited information about the students' experiences with electricity.

Sencar and Eryılmaz (2004) established the face and content validity of the questionnaire asking some experts for comprehensiveness of items, representativeness of content by the selected items, appropriateness of the format. The researchers administered the questionnaire to 166 ninth grade students from three different high schools for pilot study and the Cronbach alpha reliability coefficient was estimated to be 0.89.

3.3.2 Interviews

The clinical interview technique (Piaget, 1929, as cited in Fredette & Lochhead, 1980) and the interview-about-instances technique, explained by Osborne and Gilbert (1980), were used in this study. In the clinical interview, students were wanted to light up a bulb giving several pieces of conducting wires, a battery and a light bulb as done by Fredette and Lochhead (1980) so that different connections by the students for lighting up the bulb were observed. And in the interviews-about-instances, a card on which some diagrams are depicted was shown to the interviewees, and then the related questions on the interview guide were put (see Appendices B and C). All of the diagrams on the card were selected or adapted from the literature about student difficulties in electricity. Table 3.4 demonstrates the details about the interview card. Furthermore, the interview guide was semi-structured, that is, only main questions used in the interviews were included in the interview guide because also some other probing questions were yielded during the interviews.

Table 3.4 Diagrams on the Interview Card from the Related Literature

Diagrams on the Card	Source
Diagram in Figure A	Heller & Finley (1980)
Diagram in Figure B	Shipstone (1988)
Diagram in Figure C	Heller & Finley (1980)
Diagram in Figure D	Cohen et al. (1983)
Diagram in Figure E	Shipstone et al. (1988)

3.3.3 Open Ended Questionnaire

The open-ended questionnaire was developed according to observed student misconceptions during the interviews and the related literature (see Appendix D). Most of the questions were adapted from the items on the interview guide. Moreover, some textbooks and test banks were reviewed in addition to the related literature with the object of finding some more qualitative questions assessing students' conceptual understanding and assessing each misconception with more than one item. Unfortunately, almost all of the questions in the textbooks and test banks were quantitative, that is, mostly based on numerical calculations. As a result, the items in Table 3.5 were added in the questionnaire after highly careful considerations. Besides, items 13 and 14 were written by the researcher.

Table 3.5 Additional Items on the Open Ended Questionnaire

Items on the Open Ended Questionnaire	Source
Item 1	Fredette & Lochhead (1980)
Item 2	Börklü (n.d., p. 242)
Item 11	Engelhardt & Beichner (2004)
Item 12	Fredette & Lochhead (1980)

3.3.4 Simple Electric Circuit Diagnostic Test

The SECDT was developed as a three-tier test (see Appendix G). First tiers of the test items are ordinary multiple-choice questions. Second tiers include a set of reasons for the answers on the first tiers. Third tiers questions if examinees are confident about their answers for the first two tiers. The SECDT was developed for assessing ninth grade students' misconceptions about simple electric circuits as well as students' qualitative understanding. The test was designed using findings of the open-ended questionnaire. All item stems were the same stems on the open-ended questionnaire. However, item 2 on the open-ended questionnaire was not used on the SECDT because item 2 had not yielded any considerable answers. Also, both items 9 and 12 on the open-ended questionnaire were used for designing item 10 on the SECDT. In addition, choices of both the first and second tiers were designed using the categories, which include similar student answers for each item on the open-ended questionnaire, and findings of the literature review. Furthermore, answer key of the SECDT and choice selections indicating a misconception are presented in Appendices H and I, respectively.

3.4 Procedure

In this study, the SECDT was designed for the purpose of assessing ninth grade students' misconceptions about simple electric circuits. Therefore, this study is a cross-sectional survey study.

First of all, keywords were identified for the aim of literature review. And then, international and national primary and secondary sources were searched. In detail, Educational Resources Information Center (ERIC), International Dissertation Abstracts, Social Science Citation Index, Science

Direct, Kluwer Online Gateway, Ebscohost were investigated, and the search engine Google was generally used so as to look into Internet. It must be emphasized that METU Library and Turkish Academic Network and Information Center (ULAKBIM) online services helped so much with searching those sources. Also, photocopies of the findings from the search could be easily obtained by means of information and document delivery service of ULAKBIM. Furthermore, Turkish research studies were searched by means of METU Library, online service of the Council of Higher Education (YÖK) for thesis search and Internet in general. Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, Eğitim ve Bilim, Çağdaş Eğitim Dergisi, Milli Eğitim Dergisi, and Boğaziçi Üniversitesi Dergisi at METU Library were also reviewed.

After reviewing the literature, the steps in developing the SECDT were identified. Conducting interviews was decided to begin with, and the interview guide was designed to assess some common misconceptions in the light of related literature. The interviews revealed what and how widespread the misconceptions were, and if there were any unknown misconceptions among students. Afterwards, the open ended questionnaire was developed with a view of the findings from the interviews and the literature. As it was being developed, special attention was paid for each distracter to assess only one misconception and each misconception to be assessed by more than one distracter. And then, the questionnaire was given to two physics teachers from Atatürk High school and an instructor from the department of Secondary School Science and Mathematics Education at METU with the aim of establishing the content validity. The experts investigated the questionnaire in terms of whether the items were appropriate for the grade level and misconceptions intended to assess, whether the items covered all the misconceptions, and whether the items were easily understood. Also, attention was paid for assessing each

misconception with more than one item and for minimizing the number of misconceptions each item assess. Needed improvements were done according to the feedback from the experts and the specifications were achieved as in Appendix F. However, the content, simple electric circuits, was waited for a while to be completed at the high schools mentioned in Section 3.1.2 in spite of making the open ended questionnaire ready for administration. At last, the questionnaire was administered to 99 ninth grade students from three different types of high schools, that is, it was time to analyze the results from the open ended questionnaire. The results of the open ended questionnaire were going to be used for writing the distracters of the intended three-tier test. Therefore, student answers to each item on the questionnaire were needed to be categorized. On the other hand, similar student responses to each item formed a category, and so, an item on the questionnaire had several categories. Each category for an item included either the correct conceptions or misconceptions. However, there were also some categories including deficient or meaningless responses. One of the difficulties in the study was to write a suitable title for each category so that those titles were going to be the distracters and the distracters can be chosen by all the students in the category with zero or minimum exception. Finally, the most prevalent categories were selected to design the SECDT after careful considerations. For establishing the content validity, the SECDT was again given to the instructor at METU. In the light of the feedback from the instructor, some improvements were done. Although there was no much time for pilot study in the last week of the term, fortunately, the SECDT was able to be administered to 124 ninth grade students.

3.5 Analysis of Data

After a successful pilot study of the SECDT, the results were analyzed. First of all, the raw data were produced by means of Microsoft Excel (MS Excel). Variables were coded in the columns and participants were coded in the rows of the spreadsheet. Apart from the correct answer and the distracters, blank choices were also presented in the second tiers of the SECDT so that students would use them if they had not found their reasoning among the given choices. However, only several answers were given using the blank choices and most of them could be categorized into the choices with the same meaning. In other words, most of such answers were coded the same as the choices with the same meaning. On the other hand, few of them (6 or 7) were coded as blank answers because they were different from the presented choices in meaning.

MS Excel, Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) and Item and Test Analysis Program (ITEMAN) were used for the statistical analyses. Statistical analyses were first conducted for establishing the content and construct validity of the SECDT. If there was a positive correlation between the student scores from both the first two tiers and student confidence levels from the third tiers was investigated to begin with, and this was hoped to be evidence for construct validity (Çataloğlu, 2002). Then, factor analyses of student scores and student misconceptions were respectively conducted. The number of subjects was 124 and the number of test items was 12, that is, the subject to item ratio was more than 10. SPSS settings used for factor analysis in this study are given in Table 3.6. After conducting the factor analysis first time, several factor analyses followed the first one according to the results of each factor analysis. That is to say, some instructions were followed as factor analyses were being conducted. First, every correlation between each pair of variables was examined if they

were over 0.30 by means of the correlation matrix. Second, Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), which is a measure of sampling adequacy, was examined to be more than 0.50. Also, Bartlett's test of sphericity, which tests the hypothesis that correlation matrix is an identity matrix (diagonals are one and off-diagonals are zeros), was investigated. The analysis requires that the probability (p-value) associated with Bartlett's test of sphericity to be less than the level of significance (0.001) so as to be able to reject the null hypothesis which assumes the correlation matrix to be an identity matrix.

Table 3.6 SPSS Settings for Factor Analysis

Descriptives	Statistics	Univariate descriptives
		Initial solution
	Correlation Matrix	Coefficients
		KMO and Bartlett's test of sphericity
		Anti-image
Extraction	Method	Principal components
	Analyze	Correlation matrix
	Display	Unrotated factor solution
		Scree plot
	Extract	Eigenvalues over 1
Rotation	Method	Varimax
	Display	Rotated solution
Options	Exclude cases listwise	
	Coefficient display format	Sorted by size
		Suppress absolute values less than 0.10

Third, KMO was investigated to be more than 0.50 for each individual variable and any variable whose KMO is less than 0.50 was removed from the analysis. Forth, every communality value which is the sum of squared loadings for each variable and the proportion of the variance explained by the other variables was investigated to be more than 0.50. Any variable whose communality does not satisfy this rule was eliminated from the analysis. Fifth, for retention of factors, either scree test was conducted, or percent of variance explained by each variable and cumulative percent of variance was examined to be at least 5% and 70%, respectively. At last, rotated component matrix was examined so as to interpret the extracted factors. Also, it was not ignored to estimate the Cronbach alpha for each factor with the aim of understanding how reliable the factors are (Field, 2004; Costello & Osborne, 2005; Schwab, 2005).

Furthermore, probabilities of false positives and false negatives were estimated because they were expressed by Hestenes and Halloun (1995) to be evidence for the content validity. Also, item analysis of the SECDT was carried out and its reliability was estimated by means of Cronbach's alpha test. Finally, how widespread the misconceptions were in terms of type of the test and how widespread the correct responses were in terms of type of the test were investigated assuming that the first tiers form an ordinary multiple choice test, and both the first and second tiers form a two tier test.

3.6 Assumptions

There are several assumptions in this study. They can be listed as:

1. Drawing a sample size 10 times larger than the test items is enough for item analysis (Schwab, 2005).
2. Subjects, took the open ended questionnaire and the SECDT, were completely sincere in answering the questions.

CHAPTER 4

RESULTS

In this chapter, the results of the interviews, the open-ended exam and the SECDT are given by means of three different sections.

4.1 Analysis of the Interviews

Interview results revealed what are the common misconceptions students hold, and if there are any different misconceptions from the literature. In this section, it is managed to present the results in a logical order.

In general, inability to use some important terms properly was widespread among the interviewees. When the students were asked with what a battery does in an electrical circuit, a wide range of responses were obtained such as it provides a circuit with current, electricity, power, energy, etc. This situation indicates that students cannot use the physical terminology properly, that is, electricity, current, energy and power are interchangeable terms for them.

The students had also some other difficulties such as in determining the direction of current, identifying the resistance or equivalent resistance, discriminating serial, or parallel combination, etc. Even, when the question was how a bulb lights up, most of the students could not give any answers.

In the following sections, the misconceptions detected during the interviews are presented in consequence of some significant episodes from the interviews.

4.1.1 Sink model

One of the time consuming questions in the interviews was the first question which requests to light a bulb providing the interviewees with a battery and one or several pieces of wires. Because, most of the students were not able to light up the bulb at once and tried several connections until succeeding in lighting. Most of the students managed to remember how their science teacher had lit up the light bulb in the elementary school, and they tried to imitate what their science teacher had done. Some students first tried only one connection between the battery and the light bulb as suggested in the sink model, and then they tried some other connections. The most common connections are shown in Figure 4.1. The correct connection D used to be formed mostly after trying other types of connections shown in the figure.

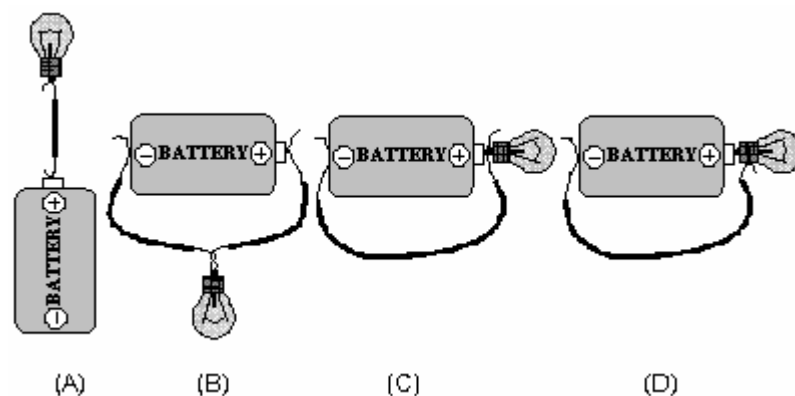


Figure 4.1 Drawings Representing the Students' Connections

4.1.2 Attenuation model

The rest of the questions were about some electrical circuit drawings on a paper shown to the interviewees. It is suitable to present some important episodes from the interviews in order to avoid frustrating the reader with excessive details and making the deductions about the misconceptions culled from the interviews concrete.

An episode from the interview with Çağrı, a tenth grade student at Polatlı Anatolian High School, is a sufficient example of attenuation model. It is about the diagram shown in Figure 4.2.

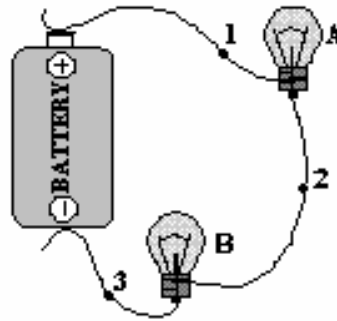


Figure 4.2 Diagram in the Episode from the Interview with Çağrı

Researcher I: Can you compare the brightness of bulb A and B?

Interviewee (I): Bulb A lights more [brightly].

R: Why do you think so?

I: Because, it [bulb A] first takes the electricity, then the rest of the electricity goes through bulb B.

R: Ok! Can you compare the magnitude of the currents at points 1, 2 and 3?

I: Current! [The current at point] 1 is bigger [than the current at 2], [the current at] 2 is bigger [than the current at] 3.

R: Why do you think so?

I: Again in the same way [The bulbs consume the current].

Briefly, Çağrı had the idea that bulb A takes the current first, consumes some of it, then the current reaches bulb B, it consumes some current too, and finally the rest of the current returns to the battery with a less magnitude; that is, the attenuation model.

4.1.3 Shared current model

The following episode is extracted from the interview with Ferhat, a ninth grade student at Polatlı Atarürk High School. It is again about the question in Figure 4.2 and Ferhat assumes the direction of current from the negative terminal to the positive one.

R: Can you compare the brightness of bulb A and B?

I: Both [of bulb A and B] light equally [in brightness].

R: What is the reason?

I: The circuit [current] goes in the same direction.

R: That is!

I: Their [the bulbs'] connections, sir.

R: Their connections [paths on which the bulbs are] are the same [, aren't they]? That is, they are on the same paths [, aren't they]?

I: Yes.

R: Ok! How does being on the same path affect [the brightness]?

I: The same [amount of] energy is given to both [of the bulbs] by the wires.

R: Ok! What about the amount of current at points 1, 2 and 3?

I: [The current at] 3 is big, this [current at 2] is the medium, [the current at] 1 is the smallest.

R: That is, the current at 3 is bigger than [the current at] 2 and [the current] at 2 is bigger than [the current at] 1 as going from the negative [terminal] to the positive [terminal].

I: Yes.

R: Ok! What is the reason?

I: This [bulb B] is in contact with the wire [from the negative terminal] directly, and this [the current at point 1] decreases as [the bulbs] take electricity from these [wires on which points 3 and 2 are].

It is obviously that Ferhat held the shared current model. That is, in brief, the bulbs are equally bright and the current lessens as traveling from one terminal to the other.

4.1.4 Clashing current model

Another common misconception was clashing current model in which the electricity from the positive terminal and the electricity from the negative terminal meet in the bulb, thus lighting up it by clashing. The episode from the interview with Gökçe, a ninth grade student at Anatolian High School, indicates directly this misconception.

R: ...Do you have an idea about how a bulb lights up? It radiates, does not it? Can you give information about it?

I: Are you asking how a bulb works?

R: Yes, I am asking how a bulb works.

I: Because here [part of the bulb wires touch] is made of metal, it conducts electric current. There are wires, conducting wires inside [the bulb]. Here [inside the bulb], there is blue something. I think, there, when coming two currents meet, [they] clash, electricity radiates at last.

As it can be apparently understood from the episode, Gökçe thought that a light bulb lights since electricity from positive and negative terminals meet and clash. This is exactly the clashing current model.

4.1.5 Empirical rule model

Empirical rule model was observed among several students too. An episode, is exactly a sign of empirical rule model, is from the interview with Tarık, a preparatory student at Atatürk Foreign Language Based School. The diagram which the question is about is shown in Figure 4.3.

R: ... Can you compare the brightness of bulbs A and B?

I: We can compare the brightness of bulbs A and B as that, because coming electric current first passes through bulb A, the brightness of bulb A will be greater than the brightness of bulb B. So, [bulb] A lights more brightly.

R: Ok! Why does the current first pass through bulb A?

I: Because, bulb A can more easily take the electricity due to being closer to the battery.

As it can be seen in the episode, being closer to the battery is assumed to make a bulb brighter. Therefore, this indicates an empirical rule model.

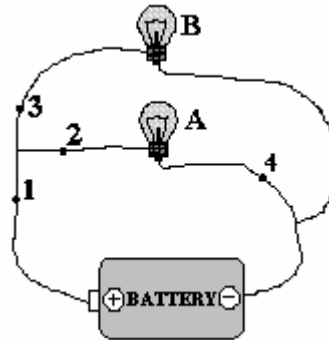


Figure 4.3 Diagram in the Episode from the Interview with Tarık.

4.1.6 Short circuit misconception

The most common misconception observed during the interviews was short circuit misconception in which a single wire without any electrical devices such as bulb, resistance, etc. is ignored within a circuit. For example, almost none of the students could answer the question requesting to rank the brightness of bulb A in the first diagram and bulb A in the second diagram in Figure 4.4. Most of the students assumed bulb A in the second diagram to be brighter and ignored the empty wire in the circuit. Only a few students realized that bulb A in the second diagram does not light as bulb A in the first diagram lights.

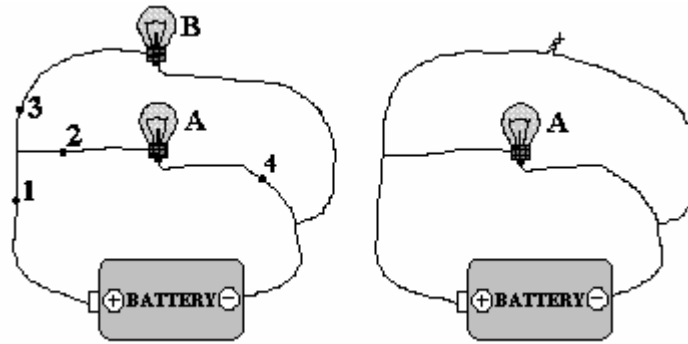


Figure 4.4 Diagrams Used for Assessing Short Circuit Misconception

4.1.7 Power supply as a constant current source

In the interviews, students were wanted to compare the amount of the currents at point 1 in first diagram and the point 1 in the second diagram in Figure 4.5. Most of the students said they were the same assuming that identical batteries provide an electrical circuit with the same amount of electric current. As an example, an episode from the interview with Serap, a tenth grade student at Polatlı Foreign Language Teaching High School, can be presented.

R: ... Can you compare the amount of current at point 1 in the first diagram and point 1 in the second diagram?

I: [They are] the same.

R: Why do you think so?

I: Both of the currents leave the battery from the positive terminal and in here [at the junction division in the second diagram], there will be a change due to the junction division.

R: You say that it [the current at point 1 in the second diagram] changes after passing through the junction! Ok! Are the currents leaving identical batteries the same?

I: [They are] the same.

As most of the students in the interviews, Serap assumed that the batteries in both of the diagrams supply the same amount of current.

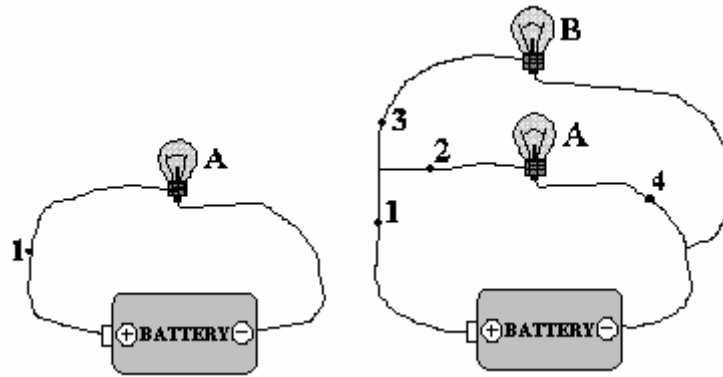


Figure 4.5 Diagrams Used for Assessing Power Supply as a Constant Current Source

4.1.8 Parallel circuit misconception model

The question in Figure 4.6 was asked during the interviews. When the change in the brightness of the bulb was asked in case of closing the switch, most students were not able to give any answers. And then, what they knew about the equivalent resistance of the circuit was asked. In that case, most students said they did not know anything about it. Consequently, it means that the question assesses a lack of knowledge rather than a misconception.

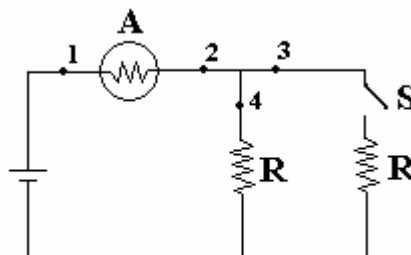


Figure 4.6 Drawing Used for Assessing Parallel Circuit Misconception

As it has been said at the first section of this chapter, students mostly had difficulties in identifying resistance or equivalent resistance during the interviews. In fact, this misconception was extracted from the literature review as most of the other misconceptions. However, inability to use the knowledge that adding a resistance in parallel into a circuit decreases the amount of equivalent resistance seems to be due to a lack of knowledge rather than a misconception. Since equivalent resistance is a kind of knowledge that is taught in the instruction using formulas. So, students utilize the formulas in case of a problem asking for equivalent resistance and they mostly do not know the knowledge that adding a resistance in parallel into a circuit decreases the amount of equivalent resistance. That is to say, in the literature, all incorrect answers to the questions designed for assessing this misconception were accepted as misconception, even as a very common misconception. However, most of the incorrect answers seem to be because of a lack of knowledge rather than a misconception.

Briefly, this misconception was not observed during the interviews properly. Students gave incorrect answers. However, they were due to lack of knowledge rather a misconception. Even so, two items (2 and 11) were designed for assessing this misconception because of the literature review findings, not because of the interview findings.

4.1.9 Sequential reasoning

The diagram in Figure 4.7 was used during the interviews so as to assess the sequential reasoning. First, the change in brightness of bulb A was asked in case of a decrease in only the magnitude of resistance R_1 . Then, the change in brightness of bulb A was asked in case of a decrease in only the magnitude of resistance R_2 .

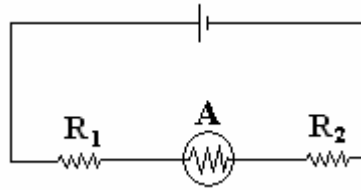


Figure 4.7 Drawing Used for Assessing Sequential Reasoning

Most of the students having the idea that the direction of current is from the positive terminal to the negative one thought that a decrease in the magnitude of resistance R_2 does not affect the brightness of bulb A as a decrease in the magnitude of resistance R_1 affects. Besides, most of the students having the idea that the direction of current is from the negative terminal to the positive one thought that a decrease in the magnitude of resistance R_1 does not affect the brightness of bulb A as a decrease in the magnitude of resistance R_2 affects. Briefly, a sequential reasoning model was commonly observed during the interviews.

4.1.10 Local reasoning

The diagram in Figure 4.8 was used during the interviews to assess the local reasoning. Amounts of the currents I_1 , I_2 and I_3 were asked (all the bulbs are identical). Incredibly, most of the students stated that they were 0.3, 0.3, and 0.6. The reason for such an answer was that the current on the main path was assumed to divide into two equal amount of current at the first junction and the rest was also assumed to divide equally at the second junction. Such an approach to this question indicates that students concentrate on a point within a circuit rather than a global interpretation of the circuit.

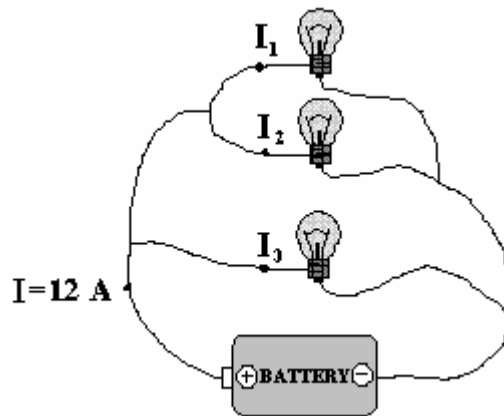


Figure 4.8 Diagram Used for Assessing Local Reasoning

4.1.11 Confusion between current flow and water flow

While interviewing about the diagram in Figure 4.9, an interesting thinking was exhibited by several interviewees.

The question was to rank the currents at points 1, 2 and 3 in amount. Several students told that the current at 1 is the biggest, the current at 3 is slightly smaller than the current at 1, and the current at 2 is the smallest ($I_1 > I_3 > I_2$). Their reasoning was that most of the current at 1 goes straight into the path at which point 3 is.

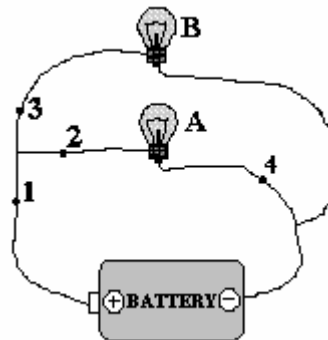


Figure 4.9 Diagram Used for Assessing Current at Junction Divide

That is, some students assume a relationship between the current flow in conducting wires and water flow in water pipes. Indeed, it is very reasonable for students to think in such a way because it is very common using analogies based on water flow during physics instruction or in text books with the aim of making current flow more concrete for students.

4.1.12 Vibrating tungsten filament

One of the questions in the interviews was how a light bulb lights up. Most of the interviewees were seen to have difficulty towards this question because they had never learned or thought it before. Some students tried to explain how a bulb lights up saying that current passes through the bulb and it lights. However, they also could not explain it in detail.

Two of the interviewees, Firat and Merve, gave an interesting answer. They thought that the tungsten filament in the light bulb vibrates, thus lighting up. This reasoning may be because of a misinterpretation of clashing electrons in tungsten filament.

4.2 Analysis of the Open Ended Questionnaire

The analysis of the open ended questionnaire is exhibited by means of two subsections; categorization, and analysis of categories.

4.2.1 Categorization of responses given to the Open Ended Questionnaire

After administering the open ended questionnaire to 99 students and collecting the results, each student response was assigned to an appropriate category according to similarities in meaning. That is, meaningfully similar responses to an item formed a category; thus resulting in several categories

for each item in the questionnaire (see Appendix E). Table 4.1, summarizing the categories for each item, was designed in the purpose of avoiding the reader boring with the details in Appendix E.

Table 4.1 Summary of Categories for Each Item on the Open-Ended Questionnaire

ITEM	Category Number	Category Titles	Frequency
1	1	A piece of wire must be connected from the negative terminal of the battery to the upper metallic side of the bulb so that current passes through the bulb	78
	2	The battery and the bulb are in contact	11
	3	The positive terminal of a battery can light up a bulb, but not the negative terminal	2
	4	The negative terminal of a battery produces electricity	4
	5	A wire must be connected from the negative terminal of the battery to the upper metallic side of the bulb so that “+” and “-” charges meet in the bulb	2
	6	Deficient or not meaningful	2
2	-	None of categories was revealed	-
3	1	The current in the branch leaving the battery divides into other branches in such a way that the same amount of current passes through each bulb because three identical bulbs are in parallel combination	6
	2	After the current divides equally into two branches at the first junction, the current again divides equally into two branches at the second junction	24
	3	The further away the branch is from the battery, the smaller the amount of the current	3
	4	Deficient or not meaningful	40

Table 4.1 (continued)

4	1	The currents with the same amount from the batteries has not been consumed yet in both of the figures	14
	2	In both of the figures, potential differences supplied by the batteries are the same, but the equivalent resistance in the second figure is bigger	3
	3	Current in the first figure is smaller because there is one bulb in the first figure, whereas there are two bulbs in the second figure	4
	4	Current in the first figure is bigger because two bulbs in the second figure share the current	16
	5	Currents in both figures are the same because current is constant at any point in circuits with serial combination	5
	6	Deficient or not meaningful	28
5	1	Currents at all points are the same and bulbs A and B are the same in brightness	30
	2	The further away from the battery, the less the amount of current and the brightness of a bulb	9
	3	$I_1 > I_2 > I_3$ and Bulb A is brighter	11
	4	$I_1 = I_2 = I_3$ and Bulb B is brighter due to being closer to the battery	2
	5	$I_1 > I_2 > I_3$ and Bulb B is brighter due to being closer to the battery	1
	6	$I_1 > I_2 > I_3$ and Bulbs A and B are the same in brightness	1
	7	Deficient or not meaningful	15
6	1	It is bigger in Figure 6 because there are more bulbs in Figure 7	28
	2	It is bigger in Figure 7 because the equivalent resistance in Figure 7 is smaller	7
	3	Both currents are the same in both figures because currents leaving the batteries with the same amount have not been divided into branches yet	39
	4	Deficient or not meaningful	6

Table 4.1 (continued)

7.a	1	$I_1 > I_2 = I_3$	44
	2	$I_1 > I_2 > I_3$	11
	3	Deficient or not meaningful	11
7.b	1	Bulbs A and B are the same in brightness because the same amount of current passes through bulbs A and B	47
	2	Bulb A is brighter because bulb A is closer to the battery	14
	3	Bulb B is brighter because current first passes through bulb B	6
	4	Deficient or not meaningful	1
8	1	Bulb A in Figure 8 is brighter because all of the current is consumed by only bulb A in Figure 8	37
	2	They are the same in brightness because current is divided into two branches in both figures	7
	3	Bulb A in Figure 7 is brighter because current does not pass through bulb A in Figure 8	28
	4	Deficient or not meaningful	4
9	1	Two terminals of the battery are connected to the bulb	41
	2	The bulb takes electricity from both of the positive and negative terminals	18
	3	A connection between a bulb and the negative terminal of a battery is enough to light up a bulb	1
	4	A connection between a bulb and the positive terminal of a battery is enough to light up a bulb	1
	5	Deficient or not meaningful	1
10	1	It changes in the first case, but not in the second case because only R_1 affects the bulb	17
	2	It changes in the second case, but not in the first case because only R_2 affects the bulb	1
	3	It does not change in both cases	8
	4	Deficient or not meaningful	10
11	1	$R_{KL} > R_{MN}$	33
	2	$R_{KL} = R_{MN}$	4
	3	$R_{KL} < R_{MN}$	1

Table 4.1 (continued)

12	1	Yes, it lights up	51
	2	No, it does not light	28
13	1	$I_1 > I_3 > I_2$ because most of the current passes straight the branch at which point 3 is on	10
	2	$I_1 > I_2 = I_3$ because current divides equally at the junction	36
	3	Deficient or not meaningful	2
14	1	Bulbs A and B are the same in brightness	16
	2	Bulb B is brighter	22
	3	Both bulbs do not light due to short circuit	4
	4	Bulb B lights, bulb A does not light due to short circuit	25
	5	Deficient or not meaningful	5

4.2.2 Analysis of the categories

There are 6 categories for the first item on the open ended questionnaire. The third and fourth categories are related with the second category and their frequencies are very small. Therefore, the first, second and fifth categories were used in design of the first item in the three-tier test. The frequency of the fifth category was very small too; nevertheless it was used because of the extensive literature and results of the interviews.

The second item on the open ended version could not have been answered by most of the examinees. Some had tried to answer by means of formulas; however they could not have succeeded because the solution of the question requires a conceptual understanding rather than a quantitative solution. Inability to solve the question may be because of having been motivated to always solve such questions related to equivalent resistance by means of the formulas during physics instruction. Therefore, they could not use the knowledge that adding a resistance within a circuit in parallel

decreases the equivalent resistance in order to solve the question. As a result, the item did not reveal any categories because there were no any properly given responses, and so, this item was not included in the three-tier test.

There are four categories for the third item on the questionnaire. The second category is far common than the first category which is the correct response. The third category has a very low frequency. However, the frequency of the fourth category including deficient or meaningless responses attracts attention. When investigating the responses in the category in Appendix E, it seems to be because of a common cheating due to perhaps being very difficult.

For the fourth item, there are three categories with a high frequency. However, one of them is again the category including deficient or meaningless responses. After a profound investigation by means of Appendix E, it seems to be on account of lack of knowledge. Also, very low frequency of category 2 attracts attention.

The highest frequency for the fifth item belongs to category 1 which includes correct responses. Also in this question, the category including deficient or meaningless responses has a high frequency, and it seems to be due to inconsistent conceptions or lack of knowledge.

In the analysis of the categories for item 9, only two main categories are observed. One may be assumed to include correct explanations, and the other includes responses indicating clashing current model. This item was excluded from the three-tier test seeing that there were not enough categories and the latter category was also observed in item 12.

In item 10, there is no any category of correct responses and other categories indicate sequential reasoning. Also, there are lots of blank responses as well as a high frequency of the category of deficient or meaningless responses.

Item 11 revealed an interesting result. Almost all of the given responses were correct. However, more than half of the students had not given any responses. That is, students who know the required formula of equivalent resistance, could solve the problem properly, nevertheless, the others could not. Therefore, this item was also excluded from the three-tier test because it seems to assess factual knowledge rather than a conceptual understanding.

4.3 Analysis of the SECDT

A test has two important characteristics as validity and reliability. Validity of a test is usually established by qualitative techniques, although there are a few quantitative techniques for establishing validity. In this study, some quantitative techniques were used to establish the validity of the SECDT in addition to some qualitative techniques.

4.3.1 Validity and Reliability of the SECDT

In the purpose of statistically establishing the validity of the SECDT, mainly three quantitative techniques were used.

First of all, the correlations between student scores on the first two tiers (scores-2) and confidence levels on the third tiers were investigated, because it is expected on a properly working test that students with higher scores are more confident about the correctness of their answers if they properly understand what they read on a test (Çataloğlu, 2002).

Table 4.2 shows the correlation between scores-2 and confidence levels. There is a significant correlation (0.508) between student scores and confidence levels. It means that students with high scores generally have higher confidence levels than students with low scores.

Table 4.2 Correlation between Scores-2 and Confidence Levels

		Confidence Levels
Scores-2	Pearson Correlation	.508**
	Sig. (2-tailed)	.000
	N	124

** . Correlation is significant at the 0.01 level

However, the correlation coefficient is not so high although it is significant. This reason can be investigated using the scattergram of scores-2 vs. confidence levels in Figure 4.10. In the figure, number of students at each pedal can be observed. Each single pedal represents one student. Nevertheless, there are also some sunflowers (a pedal and two or more lines around the pedal) apart from the pedals. At the sunflowers, each line represents one student. For example, a sunflower with three lines around it indicates three students. At the right-bottom side of the graph, there are some students with high confidence levels in spite of their low scores. Those students are mainly the reason of medium correlation coefficient. Those students are confident about their wrong answers, some of which are misconceptions. Indeed, it is a sign of that some students hold resistive misconceptions as well as some students who answered the questions by chance. Another reason for the medium correlation coefficient is related to the students at the right-upper side of the graph. Those students who have quite high scores (above 8) are not expectable for the SECDT because they are quite above the mean score (2.93). Additionally, the low slope of the line in the figure indicates that students' confidence levels are generally more than their scores.

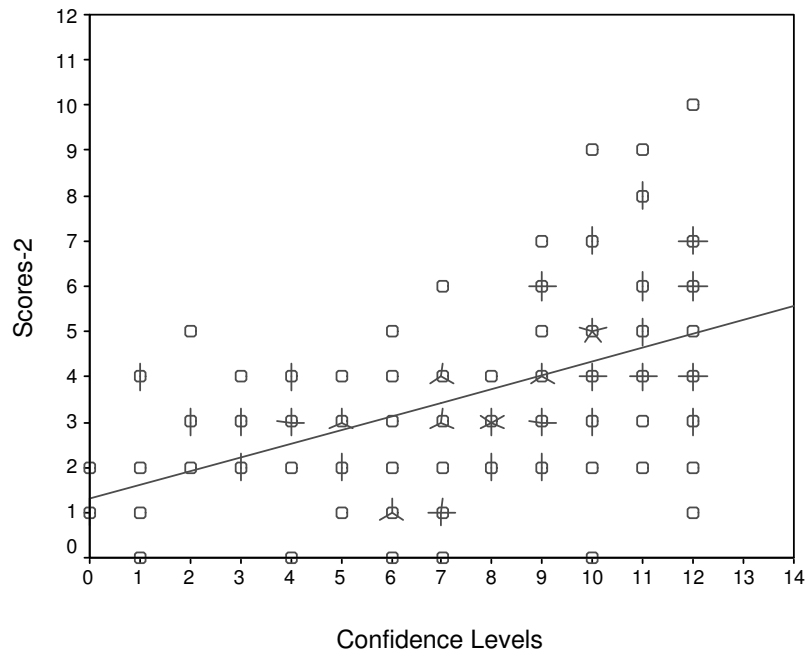


Figure 4.10 Scattergram of Scores-2 vs. Confidence Levels

The second quantitative technique for establishing the validity of the SECDT includes two factor analyses. The first factor analysis was conducted because of that related questions would result in some acceptable factors by means of the correct responses to all three tiers (scores-3). The second factor analysis was conducted to make possible related misconceptions result in acceptable factors by means of the misconceptions according to all three tiers (misconceptions-3).

When the correlation matrix of the factor analysis, which was conducted using scores-3, was examined, 15 of 28 correlation coefficients were observed to be over 0.30 in one side of the diagonal in the matrix.

Table 4.3 shows KMO measure of sampling and Bartlett's test of sphericity. The KMO indicates a meritorious value, 0.818. And, the probability associated with the Bartlett's test of sphericity (p-value) is less

than the significance level. Hence, it is rejected that the correlation matrix is an identity matrix. This result means that test items are generally not independent from each other.

Table 4.3 SPSS Output Showing KMO and Bartlett's Test

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.818
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	221.565
	df	28
	Sig.	.000

Also, anti-image correlations were investigated so that all the KMO measures of sampling adequacy for each variable were greater than 0.50, which is the least acceptable value. Variables with KMO values less than 0.50 were removed from the analysis. Thus, items 9 and 10 were removed from the analysis.

Next, each item's communality value was investigated to be more than 0.50, and Item 1 whose communality was 0.44 was removed from the analysis. Also, cumulative percent of variance accounted for was arranged as 70% by changing the eigenvalue from 1 to 0.9. Afterwards, item 2 was removed because it remained alone in one of 4 yielded factors. At the end of the analysis, the cumulative percent of variance was 65% and communalities of the completed factor analysis were as shown in Table 4.4.

As a result, three factors were obtained according to Table 4.5. In the table, values less than 0.10 are not shown. Items in each factor (component) can be said to be related according to the factor analysis. For example, items 8, 4 and 12 are related according to the analysis.

Table 4.4 SPSS Output Showing Communalities

Communalities		
	Initial	Extraction
Item 3	1.000	.649
Item 4	1.000	.664
Item 5	1.000	.698
Item 6	1.000	.669
Item 7	1.000	.578
Item 8	1.000	.719
Item 11	1.000	.670
Item 12	1.000	.564

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Table 4.5 SPSS Output Showing the Rotated Component Matrix

	Component		
	1	2	3
Item 8	.822	.197	
Item 4	.791	.191	
Item 12	.691	.276	.101
Item 6	.215	.787	
Item 11	.238	.779	
Item 7	.460	.599	
Item 5	.186	-.196	.791
Item 3		.332	.731

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

a. Rotation converged in 6 iterations.

Before mentioning about the details in interpretations of the factors, it is beneficial to review the physics textbook, ninth grade students read, for detecting the qualitative dimensions of simple electric circuits. From the review of the textbook by Kalyoncu and Çakmak (2000, p. 97) and in the light of the literature review, following five qualitative dimensions (QD) were determined. They are as follow:

1. Identifying complete circuit (Items 1 and 10)
2. Identifying short circuit (Items 8 and 12)
3. Understanding the factors affecting the resistance of a conductor
4. Understanding Ohm's Law (Items 3 and 5)
5. Understanding current in electrical circuits
 - a. Current in series circuits (Items 4, 9)
 - b. Current in parallel circuits (Item 7)
 - c. Current in main branch and parallel branches (Items 2, 6 and 11)

These qualitative dimensions of simple electric circuits permitted the researcher to interpret the yielded factors. Consequently, Table 4.6 was prepared so as to present the interpretations of each factor.

As a result, 4 of 5 qualitative dimensions are assessed by the SECDT. In general, it can be said that most of students' qualitative understanding of simple electric circuits is assessed by the SECDT. But, is this assessment reliable enough? In order to answer this question, the Cronbach alpha, which is an internal reliability coefficient, was estimated using student correct answers according to all three tiers (scores-3) and it was found to be 0.69. So, it can be said that at least 69% of variance of total scores-3 is owing to the true score variance (Marx, 1998). That is, the SECDT scores are reliable measure of students' qualitative understanding of simple electric circuits. In other words, high scores on the test mean high qualitative understanding of simple electric circuits, and low scores mean low qualitative understanding.

Table 4.6 Interpretations of the Factors Extracted from Table 4.5

		Item(s)	Factor Name (Interpretation)
Factors	1	8, 4, 12	Items 8 and 12 require students to identify the short circuit for giving correct answers (QD2). Item 4 requires understanding current in a series circuit (QD5a). That is, it is reasonable that items 8 and 12 enter the same factor. But, it is not reasonable that item 4 enters this factor. The Cronbach alpha reliability for items 8 and 12 is 0.69.
	2	6, 11, 7	Items 6 and 11 assess students' understanding of current in main and parallel branches (QD5c). Item 7 assesses students' understanding of current in parallel circuits (QD5b). Even so, this factor is very reasonable because QD5b and QD5c are much related.
	3	3, 5	Items 3 and 5 require understanding Ohm's Law properly for giving the correct answers (QD4). Circuit connections are series and parallel, respectively; however, they both require ranking currents at two different circuits. That is, this factor is also a reasonable factor.

As a result, 4 of 5 qualitative dimensions are assessed by the SECDT. In general, it can be said that most of students' qualitative understanding of simple electric circuits is assessed by the SECDT. But, is this assessment reliable enough? In order to answer this question, the Cronbach alpha, which is an internal reliability coefficient, was estimated using student correct answers according to all three tiers (scores-3) and it was found to be

0.69. So, it can be said that at least 69% of variance of total scores-3 is owing to the true score variance (Marx, 1998). That is, the SECDT scores are reliable measure of students' qualitative understanding of simple electric circuits. In other words, high scores on the test mean high qualitative understanding of simple electric circuits, and low scores mean low qualitative understanding.

Moreover, it is beneficial to estimate the reliability of each factor by means of Cronbach alpha. The reliability coefficients were estimated to be 0.75, 0.73, and 0.24, respectively for the first, second and third factors. Because item 4 is thought to be irrelevant from the first factor, the reliability coefficient of the first factor was estimated again by not including item 4 in this factor and it was found to be 0.69. The coefficients indicate that the use of the first factor (items 8 and 12) for assessing if students can identify short circuit yields reliable results. Also, the use of the second factor (items 6, 7 and 11) for assessing students' understanding of current in parallel circuits yields reliable results. On the other hand, the use of the last factor (items 3 and 5) for assessing students' understanding of Ohm's Law does not yield as reliable as results. However, in this instance, it should not be forgotten that the number of test items can affect the reliability estimates. That is, first two factors yielded quite good reliability coefficients although there are 2 or 3 items in these factors. However, the reason of low reliability coefficient may be the small number of items in the last factor. Aubrecht and Aubrecht (1983) reported the following Spearman-Brown formula for estimating a new reliability coefficient in case of a hypothetical increase in the number of test items.

$$r' = \frac{fr}{1 + (f - 1)r}$$

In this formula, r is the reliability of the original test, r' is the reliability of the test lengthened by a factor f . For example, if a forty-item test is added 10 items, then f becomes 5/4. Using this formula, a new reliability coefficient can be estimated in case of a hypothetical increase in the number of items in the third factor whose r is 0.24. When 10 items are added in the factor hypothetically, f becomes 6. And, r' is calculated as 0.66. That is, the small number of the test items in the third factor may be the reason for such a low reliability coefficient.

Moreover, a factor analysis was conducted using the most successful 50 students' scores because Hestenes and Halloun (1995) suggested that factor analysis to yield better results using successful students' scores. However, the Bartlett's test of sphericity failed to reject the null hypothesis that the correlation matrix is an identity matrix ($p > 0.001$). So, factor analysis could not be conducted.

As was previously mentioned, a factor analysis was also conducted for the students' misconceptions on the SECDT (misconceptions-4). However, p -value of the Bartlett's test of sphericity was estimated as 0.003 (more than 0.001); therefore, the null hypothesis that the correlation matrix is an identity matrix cannot be rejected. That is, all misconceptions found to be independent from each other, and any factors were not obtained as a result of the factor analysis whereas some misconceptions may be thought to be related according to the literature. For example, Shipstone et al. (1988) reported the power supply as a constant current source model to be an example of the local reasoning because of focusing on a point in a circuit and ignoring whatever happens elsewhere. Also, the Cronbach reliability was estimated for misconceptions-4; however, it was found as 0.33. That is, only 33% of variance of total misconceptions is owing to variance of true misconceptions.

In the light of the suggestions of Hestenes and Halloun (1995), a factor analysis conducted using the most successful students' misconceptions to get better results. It yielded the results in Table 4.7. Cumulative percent of explained variance was 73.56%.

However, these factors are not as expected. Although misconceptions 8 and 5 are statistically quite related, any qualitative relationship between them is not expected. And, misconceptions 11 and 10 seem to be inversely related statistically. Nevertheless, a positive relationship is expected qualitatively because students holding one or both of these misconceptions focus on a point in the circuit and ignore whatever happens elsewhere.

Table 4.7 Result of Factor Analysis with Successful Students' Misconceptions-4

Rotated Component Matrix^a

	Component		
	1	2	3
M8	.914	.083	-.006
M5	.825	-.290	.058
M11	-.054	-.861	.145
M10	-.287	.729	.225
M3	-.117	.256	-.791
M2	-.078	.339	.739

Extraction Method: Principal Component Analysis.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

a. Rotation converged in 4 iterations.

Note:

- M2 : Attenuation Model
- M3 : Shared Current Model
- M5 : Empirical Rule Model
- M8 : Parallel Circuit Misconception
- M10 : Local Reasoning
- M11 : Confusion between Current Flow and Water Flow

Also, misconceptions 3 and 2 are related statistically. But, this factor is not sensible, either. As Shipstone (1988) reported, these misconceptions are almost the same except for the different student thoughts about the brightness of identical bulbs in series. As previously mentioned, the reliability of misconceptions-4 is very low. That is, indeed, misconception scores used for the factor analysis do not soundly represent true student misconceptions. These unexpected factors may be yielded due to deficient sample size in the analysis (only 50 students) and unreliable misconception scores.

Third, the proportions of false positives and false negatives were exactly estimated using the result of the SECDT. Because, Hestenes and Halloun (1995) reported that factor analyzing test results is related to content validity of a test, and another way for establishing the content validity is to minimize the probabilities of false positives and negatives. They used follow-up interview results for observing the probabilities of false positives and negatives. However, it is a fact that not only interviewing all the students who have taken the test but also interviewing an enough number of students for generalization are very difficult and time consuming. Therefore, the three-tier tests have a big advantage for estimating proportions of false positives and negatives because not only student responses to the first tier but also their reasoning are available from the test results. Thus, the proportions of false positives and negatives were estimated using scores-1 (answers) and scores based on only second tiers (reasons). That is, if a student's answer for a first tier is 0 (incorrect) on scores-1, and his / her reason is 1 (correct) on scores based on only second tier, then it was coded as 1 for indicating false negatives. In the same manner, 1-0 pairs were coded as 1 for indicating false positives. All of these processes were done by using Excel. The rest was to estimate each student's false negatives and positives, respectively by summing each student's 1-

values. Thus, sum of all students' false negatives gave the total number of false negatives, and sum of all students' false positives gave the total number of false positives. Finally, the proportions of false positives and negatives to the total number of answers were estimated. The proportion of false negatives was estimated as 10.82%. This is an acceptable value for content validity because Hestenes and Halloun (1995) suggested the false negatives and positives to be less than 10%. The reason for false negatives can be only due to student inattention on the test because of powerful distracters culled from the interviews and the open ended questionnaire. However, the proportion of false positives was estimated as 17.47%. Of course, it was inevitable to find such a result because students have a chance to give responses randomly in all multiple choice tests.

Table 4.8 presents the overall descriptive statistics based on scores-3 and misconception scores-4, respectively. The mean of the scores is 2.93 and standard deviation (SD), which is a measure of the spread of scores, was found to be 2.35. Besides, standard error of the mean for the scores is 0.21, that is, it can be 95% confident that true mean of the scores is between 2.51 and 3.34. And, standard error of the measurement (SEM) is 1.31, that is, it can be 95% confident that true score of a subject whose score was 7 on the test is between 4.38 and 9.62. The mean of the misconception scores was 2.83, the SD was 1.60, the standard error of the mean was 0.14, and the SEM was 1.31; but, the small reliability coefficient of misconceptions-4 attracts the most attention at first glance as previously mentioned. What are the reasons for such a small coefficient for misconceptions-4 as scores-3 yielded a moderate value? There are several factors affecting the reliability coefficient such as test length, homogeneity, spread of scores, difficulty of test, objectivity (Gronlund & Linn, 1990). In the purpose of explaining this question, first, comparing standard deviations was thought. However, maximum scores must be the same so as to do it. Therefore, scores-3 and

misconceptions-4 were transformed into their percentages, respectively, so that maximum values of both were made 100. Then, standard deviations were estimated as 18.8 and 13.7, respectively. That is, the spread of scores is larger than the spread of misconceptions. This may be an explanation for the misconceptions' small reliability coefficient.

Table 4.8 Overall Descriptive Statistics

	Scores-3	Misconception-4
No of Students	124	124
No of Items / Misconceptions	12	11
Mean	2.93	2.83
Standard Deviation	2.35	1.60
Standard Error of the Mean	0,21	0.14
95 % Confidence Interval for Mean	Lowe	2.51
	Uppe	3.34
Variance	5.50	2.55
Skewness	0.72	0.14
Kurtosis	- 0.07	- 0.65
Minimum	0.00	0.00
Maximum	10.00	7.00
Median	3.00	3.00
Reliability (Coefficient Alpha)	0.69	0.33
Standard Error of the Measurement (SEM)	1.31	1.31

Second, all students were ordered in a way that students with high scores were at the top and students with low scores were at the bottom. Next, each misconception proportion of 27% of the students at the top and each misconception proportion of 27% of the students at the bottom were estimated. Then, the differences were estimated and they were as in Table 4.9. Briefly, the technique for estimating the discrimination index was used.

Table 4.9 Discriminations Indexes of each Misconception Based on All Three Tiers

	Indexes
M1 : Sink Model	- 0.09
M2 : Attenuation Model	- 0.03
M3 : Sharing Current Model	- 0.06
M4 : Clashing Current Model	0.17
M5 : Empirical Rule Model	- 0.09
M6 : Short Circuit Misconception	0.06
M7 : Power Supply as a Constant Current Source Model	0.54
M8 : Parallel Circuit Misconception	0.00
M9 : Sequential Reasoning	0.11
M10 : Local Reasoning	0.40
M11 : Confusion between Current Flow and Water Flow	-0.14

As a result, all misconceptions except seventh and tenth misconceptions are common among all students. However, the seventh and tenth misconceptions are surprisingly more common among successful students. In other words, the sample seems to be homogeneous with respect to the misconceptions. This may be the reason for small reliability coefficient.

Figure 4.11 shows the histograms of scores-3 and misconceptions-4. Right-skewness of the first histogram means the difficulty of the SECDT because most of the students got low scores on the test. The second histogram is closer to the normal distribution because most of the students' misconceptions are about the mean.

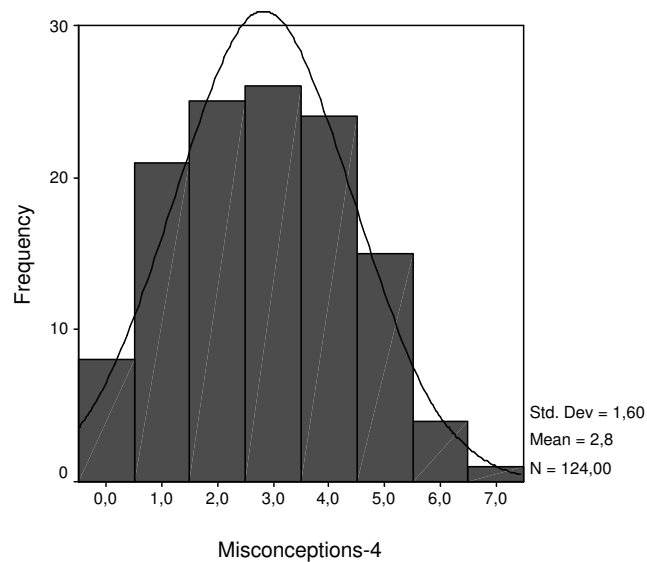
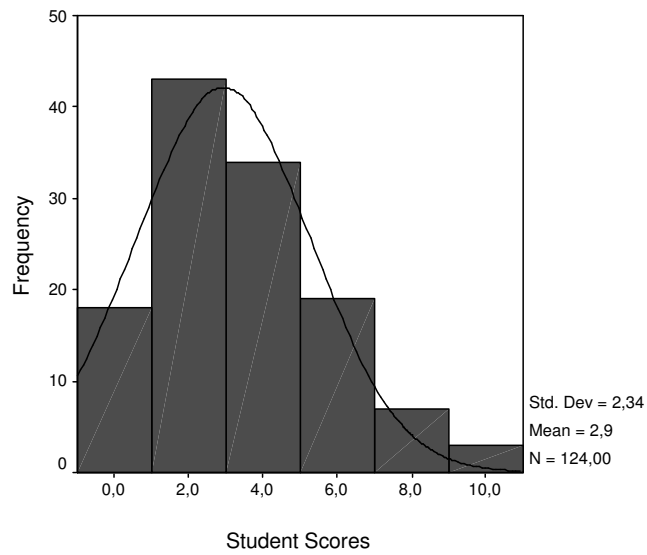


Figure 4.11 Histograms of Scores-3 and Misconception-4

Moreover, Table 4.10 gives the results of the item analysis based on scores-3. In the table, Prop. Correct is the difficulty level which is the proportion of correct responses. And, Point-biserial (item-total) is the correlation between the dichotomous test items (correct or incorrect responses to each item) and the total student scores (Beichner, 1994). It

gives all the information that discrimination index does. Discrimination index is the difference between the difficulty levels of upper level students and lower level students. In addition, upper level students are usually determined by 27 % of the students at the top, and lower level students are usually determined by 27 % of the students at the bottom of an ordered student scores (Aubrecht & Aubrecht, 1983). Difficulty levels are between 0.016 and 0.492 with an average of 0.244. It means that items are very difficult in general. And, the point-biserials are quite over 0.20 except from item 2 with an average of 0.458. That is, item 2 can be removed from the SECDT. When item 2 is removed, the reliability of the SECDT increases to 0.75 and mean point-biserial increases to 0.508 although the difficulty level does not change.

Table 4.10 Output of the ITEMAN

Seq. No.	Scale -Item	Item Statistics			Alternative Statistics				
		Prop. Correct	Biser.	Point Biser.	Alt.	Prop. Endorsing	Biser.	Point Biser.	Key
1	0-1	0.371	0.588	0.460	1	0.371	0.588	0.460	*
					2	0.629	-0.588	-0.460	
					Other	0.000	-9.000	-9.000	
2	0-2	0.258	-0.007	-0.005	1	0.258	-0.007	-0.005	*
					2	0.742	0.007	0.005	?
					Other	0.000	-9.000	-9.000	
1 was specified, 2 works better									
3	0-3	0.089	0.619	0.350	1	0.089	0.619	0.350	*
					2	0.911	-0.619	-0.350	
					Other	0.000	-9.000	-9.000	
4	0-4	0.282	0.874	0.656	1	0.282	0.874	0.656	*
					2	0.718	-0.874	-0.656	
					Other	0.000	-9.000	-9.000	
5	0-5	0.016	0.612	0.196	1	0.016	0.612	0.196	*
					2	0.984	-0.612	-0.196	
					Other	0.000	-9.000	-9.000	
6	0-6	0.387	0.789	0.620	1	0.387	0.789	0.620	*
					2	0.613	-0.789	-0.620	
					Other	0.000	-9.000	-9.000	

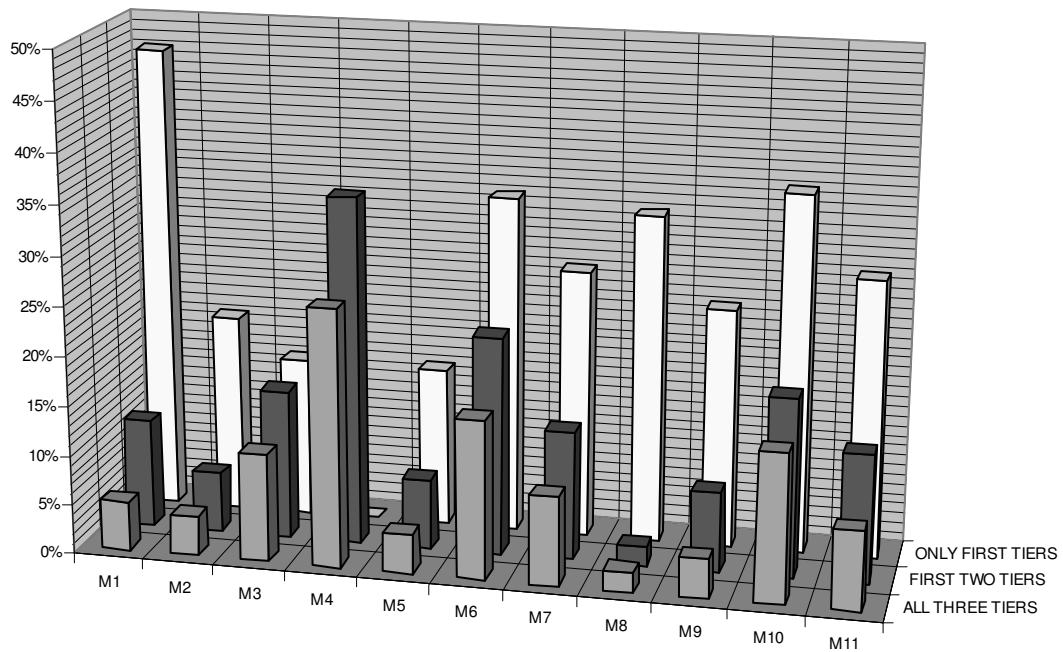
Table 4.10 (continued)

Seq. No.	Scale -Item	Item Statistics			Alternative Statistics				
		Prop. Correct	Biser.	Point Biser.	Alt.	Prop. Endorsing	Biser.	Point Biser.	Key
7	0-7	0.492	0.913	0.728	1	0.492	0.913	0.728	*
					2	0.508	-0.913	-0.728	
					Other	0.000	-9.000	-9.000	
8	0-8	0.210	0.934	0.661	1	0.210	0.934	0.661	*
					2	0.790	-0.934	-0.661	
					Other	0.000	-9.000	-9.000	
9	0-9	0.169	0.582	0.392	1	0.169	0.582	0.392	*
					2	0.831	-0.582	-0.392	
					Other	0.000	-9.000	-9.000	
10	0-10	0.097	0.340	0.197	1	0.097	0.340	0.197	*
					2	0.903	-0.340	-0.197	
					Other	0.000	-9.000	-9.000	
11	0-11	0.306	0.814	0.620	1	0.306	0.814	0.620	*
					2	0.694	-0.814	-0.620	
					Other	0.000	-9.000	-9.000	
12	0-12	0.250	0.850	0.624	1	0.250	0.850	0.624	*
					2	0.750	-0.850	-0.624	
					Other	0.000	-9.000	-9.000	
Mean P					0.244				
Mean Item-Tot.					0.458				

4.3.2 Results of the SECDT

Figure 4.12 was depicted using misconceptions-1, misconceptions-2 and misconceptions-3. Proportion of each misconception was estimated separately using only first tiers (misconception-1), the first two tiers (misconception-2), and all three tiers (misconception-3).

When the figure examined, it is apparently observed that proportion of each misconception is overestimated by only the first tiers with respect to the first two tiers except for the fourth misconception. Furthermore, each proportion of misconception is also overestimated by the first two tiers with respect to all three tiers apart from the eighth misconception.



	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	Mean
ALL THREE TIERS	5%	4%	11%	26%	4%	16%	9%	2%	4%	15%	8%	9%
FIRST TWO TIERS	11%	6%	15%	35%	7%	22%	13%	2%	8%	18%	13%	14%
ONLY FIRST TIERS	47%	20%	24%	0%	16%	34%	27%	33%	24%	36%	28%	26%

NOTE

- M1 : Sink Model
- M2 : Attenuation Model
- M3 : Shared Current Model
- M4 : Clashing Current Model
- M5 : Empirical Rule Model
- M6 : Short Circuit Misconception
- M7 : Power Supply as a Constant Current Source Model
- M8 : Parallel Circuit Misconception
- M9 : Sequential Reasoning
- M10 : Local Reasoning
- M11 : Confusion between Current Flow and Water Flow

Figure 4.12 Misconceptions in terms of Type of the Test

Some correct answers may be due to some misconceptions. This is not an issue for a two-tier or three-tier test because the reasoning can be obtained and if a correct answer on the first tier is due to the correct reason can be understood. However, it is not the case when only the first tiers were evaluated. The proportion of it according to only the first tiers is zero because the first tiers assessing it are correct answers and it cannot be

known how much percent of correct answers is due to that misconception. And, some incorrect answers may be due to correct reasons. Whereas one-tier tests have not the ability to overcome these issues, two-tier or three-tier tests do. That is, they can assess if correct answers are really due to correct reasons, or if wrong answers are really incorrect reasons. Consequently, two-tier tests and three-tests are more valid than one-tier tests.

Misconceptions 3, 4, 6, 7, 10, and 11 seem to be prevalent among the students because their proportions are around 10% (Chen et al, 2002). Clashing current model (M4) is the most prevalent misconception. On the other hand, parallel circuit misconception (M8) is the least.

Another result is that about 12% of the mean proportion of the misconceptions disappears as the type of the test changes from the one-tier test to the two-tier test. Most of it is the proportion of false negatives. Besides, 5% of proportion disappears as the type of the test changes from the two-tier test to the three-tier test. It is the proportion of lack of knowledge.

Figure 4.13 presents the proportion of correct answers for each item in terms of type of the test. Indeed, these proportions are the difficulty levels. Examining the figure, mean proportions are 48% and 31% separately for the one-tier test and the two-tier test; that is, there is a 17% disappearing value, which does not represent any misconceptions. It is the proportion of false positives which was estimated to be about 17.47%. The difference 0.47% is due to the rounding error. Additionally, 6% is the proportion of lack of knowledge, revealed from the third tiers. It can be concluded from these results that multiple choice tests and even two-tier tests overestimate the proportion of students who have the correct qualitative understanding.

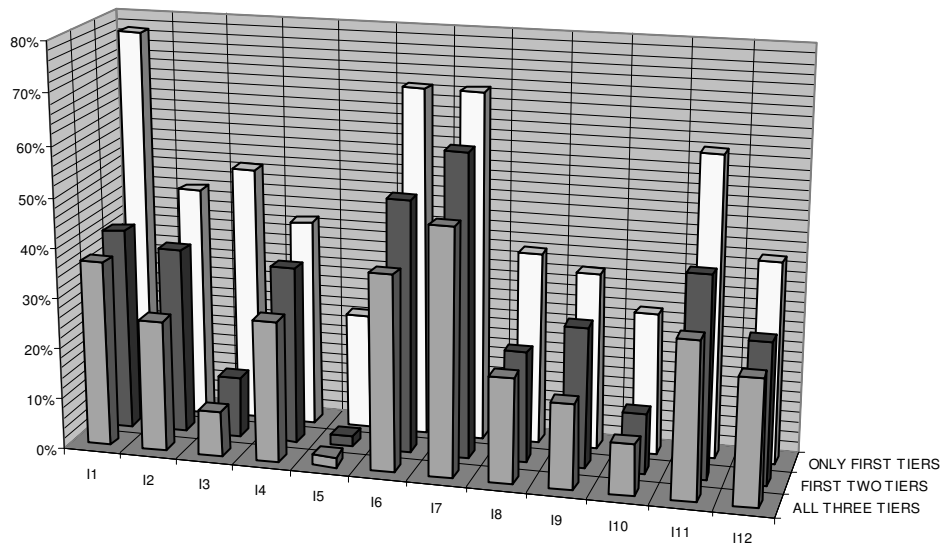


Figure 4.13 Correct Responses in terms of Type of Test

The difference between the proportions based on the first two tiers and all three tiers gives lack of knowledge proportions for each item on the test. For example, subtraction of 37% from 40% yields 3%, which is the proportion of lack of knowledge for item 1. As a result, proportions of lack of knowledge for items 2, 4, 6, 7, 9 and 11 attract attention. Items 2, 6, 7 and 11 assess students' qualitative understanding of current in parallel circuits. And, items 4 and 9 assess students' qualitative understanding of current in series circuits.

5.1 Summary of the Results

The results of this study can be listed as follow:

1. There was a significant correlation between scores-2 and confidence levels. In other words, students with high scores on the SECDT were more confident than the students with lower scores.
2. Factor analysis with scores-3 yielded 3 factors, and the internal reliabilities (Cronbach alpha) of them were 0.75, 0.73 and 0.24, respectively. Moreover, all test items on the SECDT assess 4 of 5 qualitative dimensions of simple electric circuits, and the Cronbach alpha reliability of the SECDT was estimated as 0.69. That is, at least 69% of variance in the total scores is owing to the variance in true scores.
3. The reliability of misconceptions-4 was estimated as 0.33. That is, only 33% of the variance in total misconceptions-4 scores is due to the variance of true student misconceptions.
4. Factor analysis with misconceptions-4 yielded no factors. That is, all misconceptions seem to be independent statistically.
5. Proportion of false negatives was estimated as 10.82%, and the proportion of false positives was estimated as 17.47%.
6. Difference between the mean misconception proportion of the one-tier test and the proportion of the two-tier test was 12%. And, difference between the mean misconception proportion of the two-tier test and the proportion of the three-tier test was 5%. 11% of 12% was false positives. Also, 5% was the mean proportion of lack of knowledge.
7. Difference between the mean proportions of correct answers to the first tiers and to the first two tiers was 17%. And, difference between the mean proportions of correct answers to the first two tiers and to all the

three tiers was 6%. That is, 17% was the proportion of false positives and 6% was the proportion of lack of knowledge.

8. The SECDT yielded 6 of 11 misconceptions whose proportions were about or over 10%.
9. Proportions of lack of knowledge for items 2, 4, 6, 7, 9 and 11 attract attention. Items 2, 6, 7 and 11 assess students' qualitative understanding of current in parallel circuits. And, items 4 and 9 assess students' qualitative understanding of current in series circuits.
10. The most common misconception was clashing current model (M4). Respectively, other common misconceptions were short circuit misconception, local reasoning, shared current model, power supply as a constant current source model, and confusion of current flow with water flow.

CHAPTER 5

CONCLUSIONS, DISCUSSION, AND IMPLICATIONS

This chapter of the study is presented by means of seven sections. The first section is about the overview of the study. In the second section, conclusions from the study are presented. Discussion of the results is exhibited in the third section. Internal and external validity is accounted for in the fourth and fifth sections, respectively. The sixth section presents the implications of the study as the recommendations for further research are included in the last section.

5.1 Overview of the Study

In the purpose of assessing ninth grade students' misconceptions about simple electric circuits, a three-tier test was developed and administered to 124 ninth grade students in Polatlı, the biggest outlying district of capital Ankara. So, this study is a cross-sectional survey study.

Assessing student misconceptions is very important for effective physics instruction. However, importance of the study is not determined only with it because one of the main characteristics of this study is the design and use of a three-tier test. Moreover, very limited number of three-tier tests on physics contents emphasizes the importance of the study.

Completely special attention was paid for developing the SECDT. First, interviews were conducted in the light of the literature review to probe and grasp student conceptions. Second, results from the literature and the interviews helped the researcher develop the open-ended questionnaire. The questionnaire was given to experts for content validation. Afterwards, it was administered to 99 students for determining the distracters on the desired three-tier test. Third, the SECDT was developed by means of the item stems on the open-ended questionnaire and revealed distracters from the open-ended questionnaire. Again, content validity was established and the SECDT was administered to 124 subjects. And, the rest includes statistical analyses presented in Chapter 4.

5.2 Conclusions

During the interviews, students were observed to use concepts interchangeably such as electricity, energy, current, voltage, potential difference, etc. It means that students have difficulty in using physics terminology.

Also, students gave lots of wrong answers during the interviews. They were because of lack of knowledge but mostly misconceptions. Commonness of some misconceptions attracted attention such as power supply as a constant current source model, short circuit misconception, attenuation model, empirical rule model, and local reasoning. Other misconceptions were common, too, but parallel circuit misconception. Most of the students gave wrong answers for the question designed for assessing that misconception. However, the reason for those incorrect answers was not a misconception because they did not know resistance or equivalent resistance. Some knew the concepts; but they could not answer the questions because they were qualitative questions and students were not

used to giving qualitative answers. That is, this misconception was not common, and this was supported by the results of the SECDT. Chen et al. (2002) gave attention to answers that more than 10% of students gave. The same evaluation was done, and 10 of 11 misconceptions were observed to be common. Also, the most common misconceptions were power supply as a constant current source model and short circuit misconception.

There was a significant correlation between scores-2 and confidence levels. In other words, students with high scores on the SECDT were more confident than the students with lower scores. This is a construct-related evidence for validity of the SECDT. The proportions of false negatives and positives (10.82% and 17.47%) are content-related evidence for validity. Moreover, the test had been examined by an expert for establishing the content validity.

Factor analysis with scores-3 yielded 3 factors, and the internal reliabilities (Cronbach alpha) of them were 0.75, 0.73 and 0.24, respectively. That is, the first and second factors assess reliably what they assess. But, the same cannot be said for the third factor, which includes items 3 and 5. The small number of the test items in the third factor may be a reason for such a low reliability coefficient. That is, 1 or 2 items assessing the same qualitative dimension, items 3 and 5 assess, can be added in the SECDT to increase the reliability of the third factor. Moreover, all test items on the SECDT assess 4 of 5 qualitative dimensions of simple electric circuits. Although most qualitative dimensions of simple electric circuits are assessed by the SECDT, 2 or 3 items can be added for assessing the qualitative dimension (factors affecting the resistance) which is not assessed by the test. In addition, the Cronbach alpha reliability of the SECDT was estimated as 0.69. In other words, at least 69% of variance in the total scores is owing to the variance in true scores. In spite of some

mentioned deficiencies, the SECDT scores are valid and reliable measure of students' qualitative understanding of simple electric circuits.

The Cronbach alpha reliability was estimated for misconceptions-4, too. However, it was found as 0.33. That is, only 33% of the variance in total misconception scores is due to the variance of true misconception scores. Standard deviations of total scores-3 and total misconceptions-4 were compared as in Section 4.3.1, and standard deviation of scores-3 was bigger than the standard deviation of misconceptions-4. In other words, spread of scores for total scores is larger than the spread of total misconception scores. Also, discrimination indexes for each misconception were estimated, and 9 of 11 misconceptions found to be around 0. That is, there were no differences between students with high scores and students with low scores with respect to the misconceptions they hold. In other words, the sample was probably homogeneous with respect to misconceptions. This may be the reason of such a low reliability.

Whereas the histogram of scores-3 was right-skewed, the histogram of misconceptions-4 was similar to the normal distribution. That is, the SECDT was difficult and most of the students had the mean misconception scores. Item analysis using scores-3 also indicates the difficulty of the SECDT because difficulty levels were between 0.016 and 0.492 with a mean of 0.244. In addition, all the item-total correlations were quite over 0.20 except from item 2. It can be concluded from this result that item 2 can be removed from the test because the misconception and the qualitative conception which item 2 assess are assessed by other items on the SECDT. Also, the discrimination index of misconception 10, which is also assessed by item 2, was 0.40. That is, successful students seem to have this misconception more than students with low scores. By removing item 2, this problem may be overcome.

Difference between the mean misconception proportion of the one-tier test and the proportion of the two-tier test was 12%. And, difference between the mean misconception proportion of the two-tier test and the proportion of the three-tier test was 5%. 11% of 12% was false positives and remaining 1% was inconsistent student answers. Also, 5% was the mean proportion of lack of knowledge. Although the misconception scores are not reliable enough, these results indicate that three tier tests are more valid than one-tier and two-tier tests for assessing student misconceptions.

Difference between the mean proportions of correct answers to the first tiers and to the first two tiers was 17%. And, difference between the mean proportions of correct answers to the first two tiers and to all the three tiers was 6%. That is, 17% was the proportion of false positives and 6% was the proportion of lack of knowledge. These results indicate that three-tier tests are more valid than one-tier and two-tier tests for assessing students' qualitative understanding.

Finally, 4 of 11 proportions of lack of knowledge about misconceptions are over 5%, the proportion of M4 (Clashing Current Model) is the biggest. These students selected the choices indicating a misconception on the first two tiers; however, they were not confident about the correctness of them. As a result, these incorrect answers were due to lack of knowledge rather than misconceptions. As well as, proportions of lack of knowledge for items 2, 4, 6, 7, 9 and 11 also attract attention. Items 2, 6, 7 and 11 assess students' qualitative understanding of current in parallel circuits. And, items 4 and 9 assess students' qualitative understanding of current in series circuits. That is, students confess that they did not understand current in series and parallel circuits although they gave correct answers for the first two tiers.

5.3 Discussion of the Results

One important discussion is about the use of the factor analysis for establishing content validity (Heller & Huffman, 1995; Hestenes & Halloun, 1995; Huffman & Heller, 1995). Hestenes and Halloun (1995) suggested using successful students' scores for factor analysis because their conceptions are more coherent. Thus, they claimed to find better results. In this study, misconceptions-4 was factor analyzed. Any factors were not yielded, whereas some misconceptions were reported to be related in the literature. For example, Shipstone et al. (1988) reported power supply as a constant current source to be an example of local reasoning. Therefore, 50 successful students' misconceptions were factor analyzed. At the end, 3 factors were yielded, but they could not be interpreted. Also, successful students' scores were factor analyzed, but Bartlett's test of sphericity failed to reject the null hypothesis that the correlation matrix is an identity matrix. That is, factor analysis could not be conducted. Consequently, it can be said that using successful students' scores for factor analysis did not yield better results in this study.

Hestenes and Halloun (1995) said that the concerns about the factor analysis of the FCI are related to the content validity of the FCI. Instead of having conducted a factor analysis, they had investigated the probabilities of false positives and false negatives for establishing the content validity. So, in this study, the proportions of false positives and false negatives were estimated to be 17.47% and 10.82%, respectively, and these values are evident enough for the validity of the SECDT according to the explanations of Hestenes and Halloun (1995). In their explanations, they reported that the probabilities of false negatives and false positives should be less than 10%. It can be fulfilled to minimize the probability of false negative by producing powerful distracters. However, minimizing the probability of

false positives is not as easy as minimizing the probability of false negatives because of some students who answer the questions on the test by chance.

Çataloğlu (2002) requested a positive correlation between students' scores and students' confidence levels to be evidence for validity. Therefore, the correlation was investigated and found to be 0.508, a significant value.

Linn (1986, as cited in Heller and Finley, 1992) suggested that students' prior knowledge includes intuitive ideas, which are resistive to change, and peripheral ideas, which are protective belt of intuitive ideas. That is, students have some central ideas and some peripheral ideas to defend the central intuitive ideas. Students readily change their peripheral ideas to defend intuitive ideas. Briefly, student intuitive ideas are inconsistent. Also, if student conceptions are consistent was discussed by Hestenes and Halloun (1995), and Heller and Huffman (1995). Heller and Huffman (1995) stated that there are two possibilities about the FCI. Student conceptions are consistent, but the FCI does not measure; or, student conceptions are inconsistent. In the same manner, inconsistency of student misconceptions causes low reliability of misconceptions; or, the SEC DT does not assess misconceptions reliably. Additionally, it is known from extensive literature that the reliability coefficient, 0.69, which was estimated by using sscores-3, is an acceptable value for indicating a valid and reliable test to assess students' qualitative understanding; however, there is no any information in the literature about what a reliability coefficient, which is estimated by using misconception scores, must be at least to assess students' misconceptions validly and reliably. Consequently, the reliability coefficient, based on misconception scores, was 0.33, but if it validly and reliably assesses student misconceptions is not known.

In addition, narrow spread of scores and homogeneity of the sample may be the reason for low reliability coefficients (Marx, 1998). In this study,

spread of scores was larger than the spread of misconceptions. And, students with high scores had as many misconceptions as students with low scores had. That is, the sample was homogeneous with respect to the misconceptions. These findings may be the reason of low reliability coefficient.

Eryılmaz and Sürmeli (2002) estimated proportions of misconceptions about heat and temperature in terms of the first tiers, first two tiers and all three tiers. In average, they found 46% with the first tiers, 27% with the first two tiers and 18% with all the tiers. Subtraction of 27% from 46% yields 19%, which is the proportion of inconsistent student answers. And, subtraction of 18% from 27% gives 9%. In this study, the proportion of inconsistent student answers is 1%, and the proportion of lack of knowledge is 5% as in the study of Eryılmaz and Sürmeli (2002). Eryılmaz and Sürmeli (2002), and Griffard and Wandersee (2001) one-tier tests and two-tier tests overestimate the proportions of misconceptions and correct answers. Eryılmaz and Sürmeli (2002) also reported that three-tier tests assess misconceptions more validly than one-tier or two-tier tests. Findings of this study also support these conclusions.

5.4 Internal Validity of the Study

Internal validity is related to if an outcome observed in a study is actually due to the independent variable of the study, or due to an unexpected independent variable. Fraenkel and Wallen (1996, p. 383) indicated four main threats to internal validity of survey research; (1) mortality, (2) location, (3) instrumentation, and (4) instrument decay. And, mortality was said to be a threat to internal validity of longitudinal survey studies.

Location in which interviews were conducted and written questionnaires were administered may affect the student responses, thus threatening the internal validity. To control this threat during the interviews, the same room at each school was used by paying special attention to provide the interviewees with comfortable conditions. For instance, all interviewees were supported with a comfortable seat, a desk, and a silent and lightened room. For the administration of the open ended questionnaire and the SECDT, students' classrooms were used and the conditions at each school were similar, that is, the classrooms had a blackboard, seats and desks for students, a chair and a table for the teacher, about the same wideness, the same heating conditions, etc.

Instrument decay was a threat while evaluating the open ended questionnaire because it was long and there were 99 papers to evaluate, that is, fatigue of the scorer was possible. In the purpose of controlling the threat, evaluation of the papers was carried out by the same scorer and student responses were categorized systematically.

Data collector characteristic was another threat during the interviews in case of utilization of different interviewers. However, it was not the case because the researcher conducted all the interviews on his own.

Another threat for the interviews was data collector bias because the interviewer could lead student responses in the purpose of desired outcomes from the interviews. For controlling it, a complete attention was paid to avoid the use of leading questions. Also, student names were questioned during the interviews and on the open-ended questionnaire but the SECDT. However, it is believed that confidentiality was not a threat because all the students and interviewees were informed about that findings obtained from their answers would be used for only the purposes of this study, and that anyone else apart from the researcher would not know anything about their answers.

5.5 External Validity of the Study

The external validity of a study is determined by the extent to which the results of the study can be generalized. There are two types of external validity, population validity and ecological validity. Population validity is related to the degree to which a sample represents the population of interest. And, ecological validity is the degree to which results of a study can be extended to other settings or conditions (Fraenkel & Wallen, 1996, p. 106).

Number of ninth grade students in Polathl is below 1000 and the SECDT was administered to 124 ninth grade students, that is, more than 10% of the accessible population was included in the sample of the SECDT from three different types of schools. Consequently, the outcomes of this study can be undoubtedly generalized to the accessible population, which covers all ninth grade students in Polathl.

The SECDT was administered at each school in conventional classrooms among which there were no many differences. However, it is obvious that there are lots of variables determining subject characteristics within a settlement such as region, ethnicity, educational facilities, socioeconomic status, father's occupation, mother occupation etc. And, those variables are beyond the scope of this study. Therefore, the need for considerable caution must be emphasized in case someone wants to generalize the findings of this study to another population.

5.6 Implications of the Study

Several important implications have arisen from the findings of this study and the related studies in the literature.

During the interviews, when interviewees were requested to light up a bulb using several pieces of wire and a battery, they commonly said that they had done it in laboratory at elementary school. However, they mostly could not succeed in lighting up the bulb, and they explained why they could not by saying that their teacher had demonstrated the required connection but they could not remember how it had been. That is to say, students had not been involved actively in the laboratory activity, and so they could not remember what they had seen. Hence, teachers should supply their students with the involvement of them in laboratory activities rather than demonstrating the experiments.

Moreover, during the interviews, students complained about that their teachers had not solved such qualitative questions in their classes. Also, on the papers of open ended questionnaire, it was observed that students tried to solve the questions by means of some computations. In addition to these, low achievement on the SECDT indicates students' inability to reason qualitatively. Therefore, physics teachers should also pay attention on qualitative reasoning rather than only quantitative reasoning.

It was also observed that students could not distinguish between some concepts such as voltage, current, power, energy, etc. because they were using these concepts interchangeably. Certainly, power supply as a constant current source is a result of this issue. Consequently, teachers should place more importance on teaching effectively such concepts so that students are able to grasp and overcome their inability to distinguish between them.

Results show that the SECDT can be validly and reliably used for assessing ninth grade students' qualitative understanding of simple electric circuits. Therefore, teachers can use the SECDT for formative evaluation. This will give teachers feedback about if instruction needs modification, or if any individual or group remedial works are needed.

Reliability of the SECDT's misconception scores was low. Even so, the SECDT can be used for observing how widespread misconceptions about simple electric circuits are because the SECDT was developed in the light of the literature review and the findings of the interviews and the open-ended questionnaire.

It was shown that three-tier tests assess student conceptions and misconceptions more validly than one-tier or two-tier tests. Therefore, researchers should prefer three-tier tests in their studies.

As well as, proportions of lack of knowledge showed that students did not understand current in series and parallel circuits. So, students must be provided with some more attempts for making them understand it.

Finally, quite commonness of clashing current model, short circuit misconception, and local reasoning attract attention. So, teachers should attempt more to overcome these misconceptions.

5.7 Recommendations for Further Research

There are several recommendations offered by this study. They are listed below.

1. The validity of the SECDT can be extended by drawing a quite larger sample. Because, there were some issues about the ecological validity of the study although there was no any issue about the population validity. Also, a larger sample will indeed increase the accuracy of the statistical analysis.
2. Consistency of student conceptions and misconceptions can be investigated. The reliability coefficient of the scores was high enough, whereas the reliability of misconception scores was low. This reveals the question; What if student conceptions are more consistent than student misconceptions conceptions?

3. The SECDT can be used as an instrument in the purposes of various research studies such as for measuring the effectiveness of an instructional method. If an instructional method provides students with qualitative understanding of simple electric circuits can be investigated because the SECDT is a valid and reliable three-tier test for assessing students' qualitative understanding of simple electric circuits.
4. What a reliability coefficient based on misconception scores must be at least so as to indicate a valid and reliable misconception test is not known. Hence, a research study can be done for finding answer for this question.

REFERENCES

- Aubrecht, G. J., & Aubrecht, J. D. (1983). Constructing objective tests. *American Journal of Physics* 51(7), 613-620.
- Bauman, R. P., & Adams, S. (1990). Misunderstanding of electric current. *The Physics Teacher*, 28(5), 334.
- Beichner, R. J. (1994). Testing student interpretation of kinematics graphs. *American Journal of Physics*, 62(8), 750-762.
- Börklü, A. (n.d.). *ÖSS-ÖYS fizik*. Ankara: Final Yayınları.
- Çataloğlu, E. (2002) *Development and validation of an achievement test in introductory quantum mechanics: The quantum mechanics visualization instrument (QMVI)* ,
<http://etda.libraries.psu.edu/theses/approved/WorldWideIndex/ETD-145/>, Last accessed date July 30, 2005
- 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.
- Chen, C. C., Lin, H. S., & Lin, M. L. (2002). Developing a two-tier diagnostic instrument to assess high school students' understanding-the formation of images by a plane mirror. *Proceedings of National Science*

Council, 12(3),106-121.

Cohen, R., Eylon, B., & Ganiel, U. (1983). Potential difference and current in simple electric circuits: A study of student's concepts. *American Journal of Physics*, 51(5), 407-412.

Costello, A. B., & Osborne, J. W. (2005). Best practices in exploratory factor analysis: Four recommendations for getting the most from your analysis. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 10(7).

Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education*, 11, 481-490.

Dupin, J. -J., & Johsua, S. (1987). Conceptions of French pupils concerning electric circuits: Structure and evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(9), 791-806.

Engelhardt, P. V., & Beichner, R. J. (2004). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, 72(1), 98-115.

Eryılmaz, A., & Sürmeli, E. (2002). Üç-aşamalı sorularla öğrencilerin ısı ve sıcaklık konularındaki kavram yanlışlarının ölçülmesi,
<http://www.fedu.metu.edu.tr/ufbmek-5/>, Last accessed date May 29, 2004

Field, A. (2004). *Factor analysis using SPSS*,
<http://www.sussex.ac.uk/Users/andyf/teaching/rm2/factor.pdf>, Last accessed date July 26, 2005

- Fraenkel, J. R., & Wallen, N. E. (1996). *How to design and evaluate research in education*. McGraw-Hill, Inc.
- Fredette, N., & Lochhead, J. (1980). Student conceptions of simple circuits. *The Physics Teacher*, 18, 194-198.
- Fredette, N. H., & Clement, J. J. (1981). Student misconceptions of an electric circuit: what do they mean? *Journal of College Science Teaching*, 10, 280-285.
- Griffard, P. B., & Wandersee, J. H. (2001). The two-tier instrument on photosynthesis: what does it diagnose? *International Journal of Science Education*, 23(10), 1039-1052.
- Gronlund, N. E., & Linn, R. L. (1990). *Measurement and evaluation in teaching*. New York: Mac Millian Publishing.
- Halloun, I. A., & Hestenes, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53(11), 1043-1048.
- Hammer, D. (1996). More than misconceptions: Multiple perspectives on student knowledge and reasoning, and an appropriate role for education research. *American Journal of Physics*, 64(10), 1316-1325.
- Heller, P. M., & Finley, F. N. (1992). Variable uses of alternative conceptions: A case study in current electricity. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(3), 259-275.
- Heller, P. & Huffman, D. (1995). Interpreting the force concept inventory.

- The Physics Teacher*, 33, 503-511.
- Hestenes, D., & Halloun, I. (1995). Interpreting the Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 33, 502-506.
- Hestenes, D., & Wells, M. (1992). A mechanics baseline test. *The Physics Teacher*, 30, 159-166.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141-158.
- Hinkle, D. E., Wiersma, W., & Jurs, S. G. (1988). *Applied statistics for the behavioral sciences*. Boston: Houghton Mifflin Company
- Huffman, D., & Heller, P. (1995). What does the Force Concept Inventory actually measure? *The Physics Teacher*, 33, 138-143.
- Kalyoncu, C., & Çakmak, Y. (2000). *Fizik lise 1*. Istanbul: Milli Eğitim Basımevi.
- Marx, J. D. (1998). Creation of diagnostic exam for introductory, undergraduate electricity and magnetism. *Dissertation Abstracts International* (UMI No. 9908686)
- McDermott, L. C. (1991). Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned-Closing the gap. *American Journal of Physics*, 59(4), 301-315.
- McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. *American Journal of Physics*, 60(11), 994-1003.

- Odom, A. L., & Barrow, L. H. (1995). Development and application of a two-tier diagnostic test measuring college biology students' understanding of diffusion and osmosis after a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(1), 45-61.
- Online Dictionary, <http://dict.die.net>, Last accessed date September 23, 2005.
- Osborne, R. J., & Gilbert, J. K. (1980). A technique for exploring students' views of the world. *Physics Education*, 15, 376-379.
- Schwab, A. J. (2005). *Solving problems in SPSS*, <http://www.utexas.edu/courses/schwab/>, Last accessed date July 31, 2005.
- Sencar, S., & Eryilmaz, A. (2004). Factors mediating the effect of gender on ninth-grade Turkish students' misconceptions concerning electric circuits. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(6), 603-616.
- Shipstone, D. (1988). Pupils' understanding of simple electrical circuits. *Physics Education*, 23, 92-96.
- Shipstone, D. M., Rhöneck, C.v., Jung, W., Kärrqvist, C., Dupin, J. -J., Johsua, S., & Licht, P. (1988). A study of students' understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education*, 10(3), 303-316.
- Tamir, P. (1990). Justifying the selection of answers in multiple choice items. *International Journal of Science Education*, 12(5), 563-573.

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.

Tsai, C.-C. & Chou, C. (2002). Diagnosing students' alternative conceptions in science. *Journal of Computer Assisted Learning*, 18, 157-165.

Tytler, R. (2002). Teaching for understandings insights: student conception research, and changing views of learning. *Australian Science Teachers Journal*, 48(3), 14-21.

APPENDIX A

INTEREST AND EXPERIENCE QUESTIONNAIRE ABOUT ELECTRICITY

ELEKTRİK KONUSUNA KARŞI İLGİ VE TECRÜBE ANKETİ

Bu anket elektrik konusuna karşı ilginizi ve alandaki tecrübenizi ortaya çıkarmak üzere hazırlanmıştır. Lütfen her soruyu dikkatle okuyup size en uygun seçeneği çarpı (X) işareti ile belirtiniz.

- 1) Ad ve Soyadınız:
- 2) Cinsiyetiniz:
 Kız
 Erkek
- 3) Doğum tarihiniz: ___ / _____ (ay / yıl)
- 4) Babanızın mesleği:
- 5) Annenizin mesleği:
- 6) En son dönem aldığınız karnenizdeki fizik notunuz:
 0 ya da 1
 2 ya da 3
 4 ya da 5
- 7) En fazla ilgi duyduğunuz ders:
a) Fizik b) Kimya c) Biyoloji d) Matematik e) Diğer

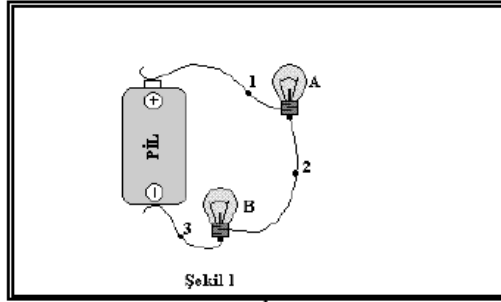
	Çok İlgiliyim	İlgiliyim	İlgisizim	Çok İlgisizim
8) Fizik dersine ne kadar ilgilisiniz?.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) Fizik dersindeki elektrik konusuna ne kadar ilgilisiniz?.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) Çocukken elektrikli oyuncak ve aletlerle ne kadar ilgilidiniz?.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11) Şu anda elektrikli oyuncak ve aletlerle ne kadar ilgilisiniz?.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12) Çocukken elektrikli oyuncak tamiri ve alet tamiri işleri ile ne kadar ilgilidiniz?.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	Hiç	Nadiren	Sık Sık
13) Ne kadar sıklıkla bilgisayar kullanırsınız?.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14) Daha önce ilköğretim okulu ya da lisede elektrik ile ilgili deney yaptınız mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15) Daha önce hiç pil ve tel kullanarak lamba yakmayı denediniz mi?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16) Daha önce hiç elektrikli oyuncak ve aletleri açıp incelemeyi denediniz mi?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17) Daha önce hiç elektrikli alet tamir etmeyi denediniz mi?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18) Daha önce hiç oyuncaklarınızı tamir etmeyi denediniz mi?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19) Daha önce hiç pil şarj ettiniz mi?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20) Daha önce hiç sigorta değiştirdiniz mi?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21) Elektrikle ilgili deney setlerini kullanarak birşeyler üretme şansınız oldu mu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22) Eve yeni alınan elektrikli ev aletlerini kullanmayı öğrenmek için çaba gösterir misiniz?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

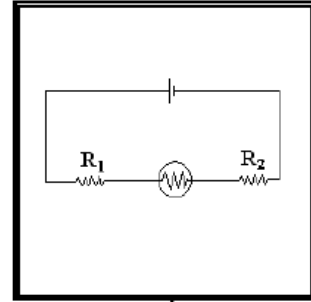
APPENDIX B

INTERVIEW CARD

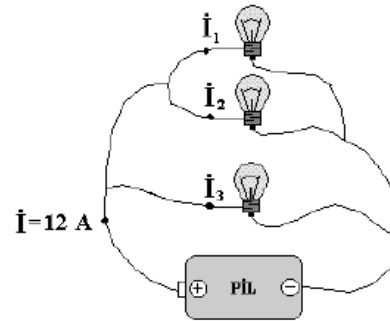
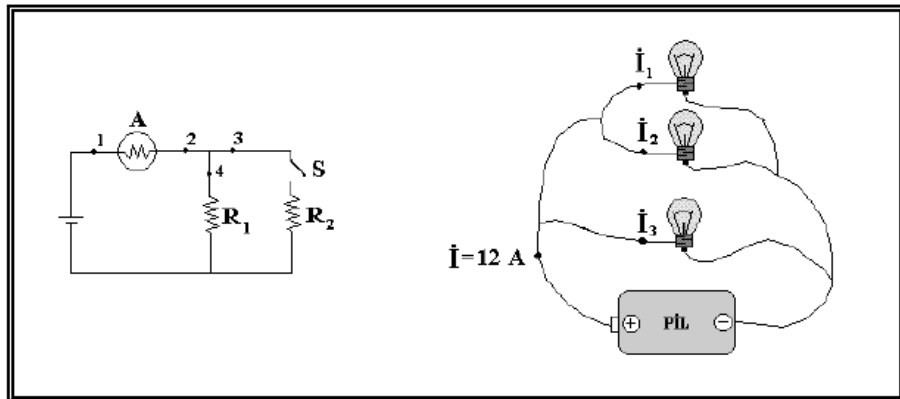
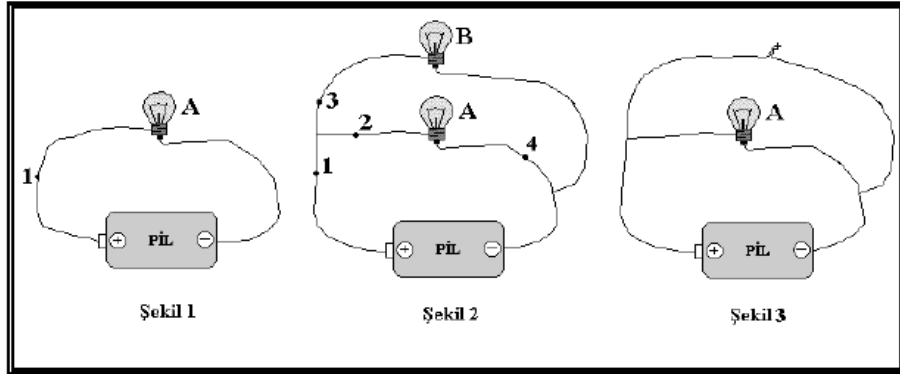
MÜLAKATDA KULLANILAN ELEKTRİK DEVRELERİ



ŞEKİL A



ŞEKİL B



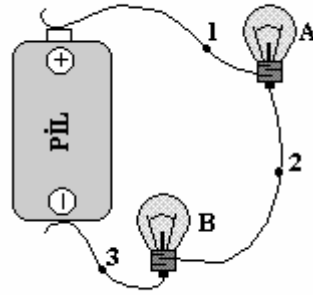
APPENDIX C

INTERVIEW GUIDE

1. Güç Çeken Akım Modeli (Sink Model).

1. Pil ve telleri kullanarak ampulü yakabilir misin?
2. Pil ne amaçla kullanılır?
3. Elektrik akımı nedir?
4. Elektrik akımı devreden ayrıldıktan sonra ne olur?
5. Elektrik akımı bir ampulle karşılaştığında ne olur?
6. Pil veya ampulde potansiyel fark var mıdır?

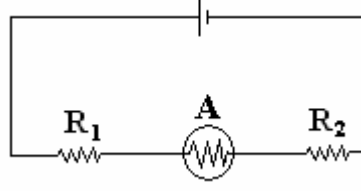
1. Çarpışan Akımlar Modeli (Clashing Current Model).
2. Zayıflayan Akım Modeli (Attenuation Model).
3. Paylaşılan Akım Modeli (Shared Current Model).
4. Empirical Rule



Şekil 1

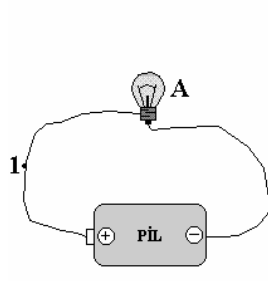
7. Elektrik akımının yönünü söyleyebilir misin?
8. Şekil 1'deki özdeş A ve B ampullerinin parlaklıklarını karşılaştırabilir misin?
9. Elektrik akımı pilden ayrıldıktan sonra ne olur?
10. 1, 2 ve 3 noktalarındaki elektrik akımlarının büyüklüklerini karşılaştırabilir misin?
11. Özdeş A ve B ampullerinin üzerlerindeki potansiyel farkları karşılaştırabilir misin?

1. Sırasal Düşünce (Sequential Reasoning).

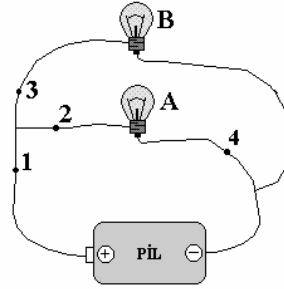


12. Elektrik akımının yönünü söyleyebilir misin?
13. R_1 direncinin yerine daha küçük bir direnç bağlarsak, A ampulünün parlaklığında değişiklik olur mu?
14. R_2 direncinin yerine daha küçük bir direnç bağlarsak, A ampulünün parlaklığında değişiklik olur mu?

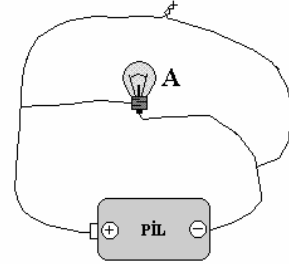
1. Güç Kaynağının Sabit Akım Kaynağı Olarak Algılanması (Battery as a Constant Current Source)
2. Kısa Devre Önyargısı Modeli (Short Circuit Preconception Model).
3. Bölgesel Düşünce (Local Reasoning).
4. Çarpışan Akımlar Modeli (Clashing Current Model).
5. Zayıflayan Akım Modeli (Attenuation Model).
6. Paylaşılan Akım Modeli (Shared Current Model).



Şekil 1



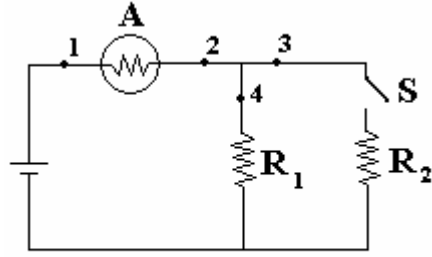
Şekil 2



Şekil 3

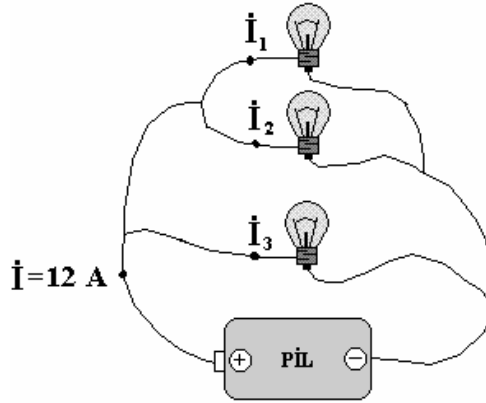
15. Şekil 1 ve Şekil 2'deki 1 noktalarındaki elektrik akımlarının büyüklüklerini karşılaştırabilir misin?
16. A ampulünün Şekil 1 ve Şekil 2'deki parlaklıklarını karşılaştırabilir misin?
17. Şekil 2'de A ve B ampullerinin parlaklıklarını karşılaştırabilir misin?
18. Şekil 2'de 1, 2, 3 ve 4 noktalarındaki elektrik akımlarını karşılaştırabilir misin?
19. A ve B lambalarının üzerlerindeki potansiyel farkları karşılaştırabilir misin?
20. A lambasının Şekil 2 ve 3'deki parlaklıklarını karşılaştırabilir misin?

1. Bölgesel Düşünce
2. Paralel Devrelerde Eşdeğer Direnç Önyargısı
3. Güç Kaynağının Sabit Akım Kaynağı Olarak Algılanması
4. Zayıflayan Akım Modeli



21. Elektrik akımının yönünü söyleyebilir misin?
22. 1, 2, 3 ve 4 noktalarındaki elektrik akımlarını karşılaştırabilir misin?
23. S anahtarı kapatılırsa, A ampulünün parlaklığında değişiklik olur mu?
24. Anahtar kapatıldıktan sonra, 1,2,3 ve 4 noktalarındaki akımları karşılaştırabilir misin?
25. Anahtar kapatıldığında toplam direnç değişir mi?

5. Bölgesel Düşünce



26. Şekilde i_1 , i_2 ve i_3 akımları kaç amperdir?

APPENDIX D

OPEN-ENDED QUESTIONNAIRE

BASİT ELEKTRİK DEVRELERİ





Açık Uçlu Sınav

➔	ADI SOYADI: _____ OKULU : _____ SINIFI : _____ CİNSİYETİ : <input type="checkbox"/> Erkek <input type="checkbox"/> Kız	➔
---	---	---

Yönergeler

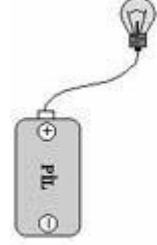
1. Sınava başlamadan önce yukarıda verilen kısma **adınızı, soyadınızı, okulunuzun adını, sınıfınızı** yazarak, **cinsiyetinizi** işaretleyiniz.
2. Bütün sorulara cevap vermek için gayret gösteriniz. Cevaplarınızı soruların hemen altında verilen boşluklara kurşunkalem kullanarak yazınız. Cevaplarınızın sebeplerini yazmayı unutmayınız.
3. Devrelerde kullanılan pil ve ampuller özdeşdir.
4. Devrelerde kullanılan piller ideal pillerdir. Yani, pillerin iç dirençleri önemsizdir.

Sınavda Kullanılan Semboller

 Pil	 Lambalar	 Direnç
		 Ampul takılı duyu

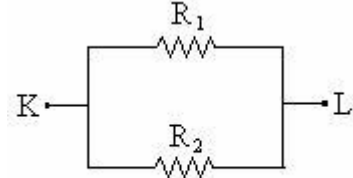
SORULAR

- 1) Şekil 1’de gösterilen devredeki ampul ışık verir mi? Cevabınızın sebebini açıklayınız.



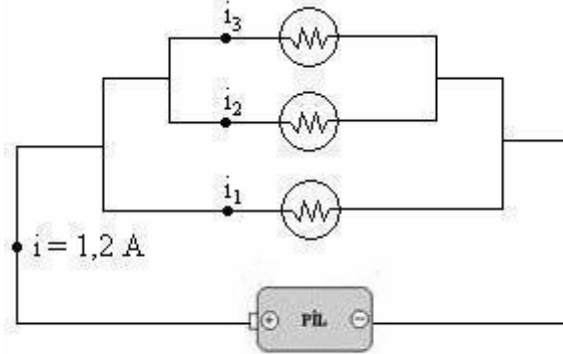
Şekil 1

- 2) Şekil 2’de verilen devre parçasında, K-L uçları arasındaki eşdeğer direnç 10 ohm’dur. R_1 ve R_2 dirençlerinin büyüklüklerini eşdeğer direncin büyüklüğü ile karşılaştırınız? Cevabınızın sebebini açıklayınız.



Şekil 2

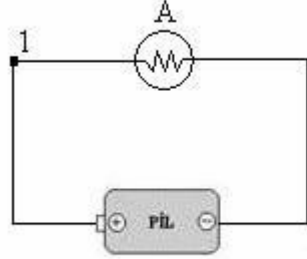
- 3) Şekil 3’deki elektrik devresinde ana koldaki akım 1,2 A olarak verilmiştir. Buna göre, i_1 , i_2 ve i_3 akımlarının büyüklüklerini yazınız. Cevabınızın sebebini açıklayınız.



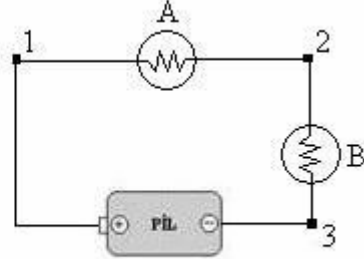
Şekil 3

$$i_1 = \dots\dots\dots A \quad i_2 = \dots\dots\dots A \quad i_3 = \dots\dots\dots A.$$

Şekil 4’de verilen bir elektrik devresine, Şekil 5’de gösterildiği gibi bir B ampulü ekleniyor. 4 ve 5. soruları bu bilgiye göre cevaplandırınız.



Şekil 4



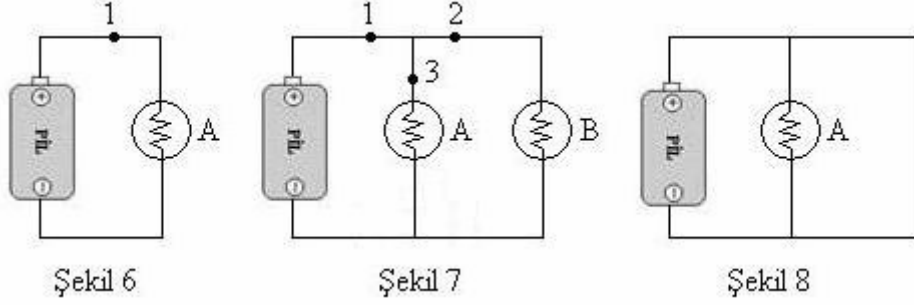
Şekil 5

- 4) Şekil 4 ve Şekil 5’deki 1 noktalarından geçen elektrik akımlarının büyüklüklerini karşılaştırınız? Cevabınızın sebebini açıklayınız.

5)

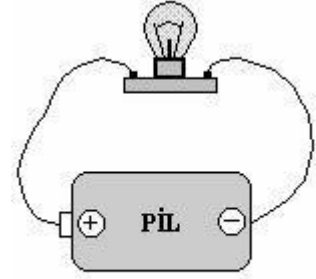
- a. Şekil 5’de 1, 2 ve 3 noktalarındaki akımların büyüklüklerini karşılaştırınız? Cevabınızın sebebini açıklayınız.
- b. Şekil 5’de A ve B ampullerinin parlaklıklarını karşılaştırınız. Cevabınızın sebebini açıklayınız.

Şekil 6’da bir elektrik devresi verilmiştir. İlk önce bir B ampülü Şekil 7’de görüldüğü gibi devreye ekleniyor. Daha sonra B ampülü devreden çıkarılarak ve onun yerine bir tel kullanılarak Şekil 8’deki devre oluşturuluyor. 6, 7 ve 8. soruları bu bilgilere dayanarak cevaplayınız.



- 6) Şekil 6 ve Şekil 7’deki 1 noktalarındaki elektrik akımlarının büyüklüklerini karşılaştırınız. Cevabınızın sebebini açıklayınız.
- 7)
- Şekil 7’de 1, 2 ve 3 noktalarındaki akımların büyüklüklerini karşılaştırınız. Cevabınızın sebebini açıklayınız.
 - Şekil 7’de A ve B ampullerinin parlaklıklarını karşılaştırınız. Cevabınızın sebebini açıklayınız.
- 8) Şekil 7 ve Şekil 8’deki A lambalarının parlaklıklarını karşılaştırınız. Cevabınızın sebebini açıklayınız.

- 9) Şekil 9’da verilen elektrik devresinde ampul ışık vermektedir. Ampulün ışık vermesini sağlayan nedenleri açıklayınız?

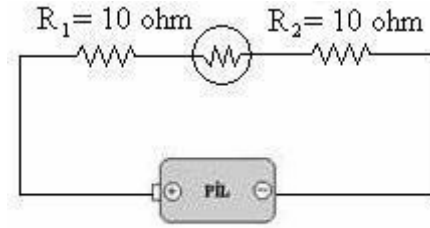


Şekil 9

- 10) Şekil 10’deki devrede birbirinden bağımsız iki durum varsayınız. İlk durumda sadece 10 ohm’luk R_1 direncinin yerine 20 ohm’luk bir direnç bağlanıyor. İkinci durumda sadece 10 ohm’luk R_2 direncinin yerine 20 ohm’luk bir direnç bağlanıyor. İlk ve ikinci durumlarda ampulün parlaklığında değişiklik olur mu? Cevabınızın sebebini açıklayınız.

İlk Durum:

İkinci Durum:

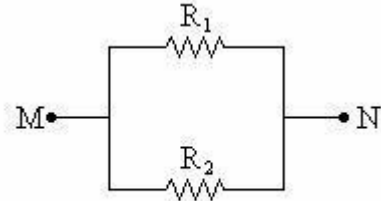


Şekil 10

- 11) R_1 ve R_2 dirençleri Şekil 11 ve Şekil 12’de gösterildiği gibi bağlanmıştır. Buna göre K-L uçları arasındaki R_{KL} eşdeğer direnci ile M-N uçları arasındaki R_{MN} eşdeğer direncini karşılaştırınız. Cevabınızın sebebini açıklayınız.

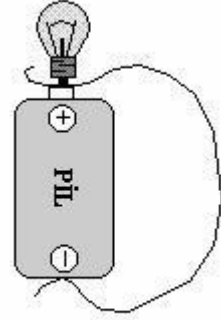


Şekil 11



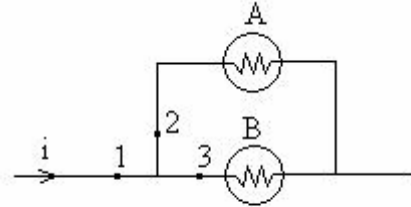
Şekil 12

12) Şekil 13'deki ampul ışık verir mi? Cevabınızın sebebini açıklayınız.



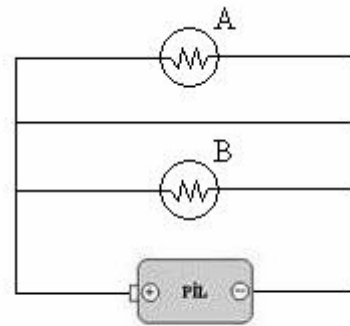
Şekil 13

13. Şekil 14'de verilen devre parçasında elektrik akımının yönü ok ile gösteriliyor. Buna göre, 1, 2 ve 3 noktalarındaki akımların büyüklüklerini karşılaştırınız. Cevabınızın sebebini açıklayınız.



Şekil 14

14. Şekil 15'de gösterilen devrede A ve B ampullerinin parlaklıklarını karşılaştırınız. Cevabınızın sebebini açıklayınız.



Şekil 15

APPENDIX E

CATEGORIES BASED ON THE OPEN-ENDED QUESTIONNAIRE

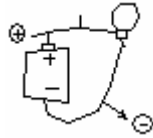
Question 1

Category 1 (A piece of wire must be connected from the negative terminal of the battery to the upper metallic side of the bulb so that current passes through the bulb)

1. Işık vermez. Çünkü ampul pilin – kutbuna bağlı değil.
2. Çalışmaz. Çünkü sadece 1 ucuna bağlıdır.
3. Ampul ışık vermez. Çünkü pilin iki ucunun da ampule bağlanması gerekir.
4. Devredeki ampul ışık vermez. Çünkü ampul sadece pozitif tarafa bağlanmış. Ampulün ışık vermesi için negatif tarafa da bağlanması gerekir.
5. Vermez, çünkü bağlantı yanlıştır.
6. Işık vermez. Çünkü bağlantı yanlış yapılmış.
7. Işık vermez. Çünkü tek bir uçtan bağlantı yapılmış.
8. Şekildeki ampul vermez. Çünkü – kutbundan ampule enerji gelmediği için
9. Işık vermez Çünkü iki kutba da bağlı değil.
10. Vermez. Çünkü ampule bağlı olan telin – tarafına bağlı olmadığı için.
11. Işık vermez. Çünkü + ve – yükler birbirini çektiği için vermez.
12. Vermez çünkü katot (-) yükü ucuna bağlı yapmamışlar. Çünkü ışığın yanması için (+) ve (-) yüklerin bağlı olması gerekir.
13. Vermez, çünkü devredeki pilin sadece (+) kutbuna tel bağlandığı ve (-) kutbu boş olduğu için devreden akım geçmez. Bunun için pil ışık vermez.
14. Pilin altından elektrik yükü üst tarafa verilseydi, ampul ışık verirdi. Pilin sadece üzerinden akım verildiği için ampul ışık vermez.
15. Hayır vermez. Çünkü tel sadece pilin + ucuna bağlıdır. Ampulün yanması için pilin ampulün + ve – ucuna bağlı olması gerekir.
16. Vermez. Elektrik devresi sadece + yüke bağlandığı için ışık vermez.
17. Işık vermez .Çünkü sadece (+) kutba bağlı olduğu için. Eğer 2 kutba da bağlı olsaydı o zaman ışık verirdi.
18. Işık vermez çünkü sadece kablo + ucuna deymiş. Oysa + ucunu da deymesi gerekmektedir. Diye düşünüyorum
19. Devrede bulunan ampul ışık vermez. Nedeni ise sadece + kutbu lambaya bağlı.
20. Vermez Çünkü pilin diğer bir kablosu yok

21. Işık vermez çünkü – yüklü tarafına değmemiştir. + yüklü tarafıyla da yanmaz. Yanması için her iki uca da iletken telin değmesi lazımdır.
22. Vermez: Çünkü lambanın diğer kablosu olmadığı için ışık vermez. Eğer ki diğer kablo da olsaydı ışık verirdi.
23. Işık vermez. Çünkü + yüklü kola dokundurulurken – yüklü kola dokundurulmamıştır. – yüklü kola dokundurulsaydı ampul yanar.
24. Aydınlatmaz. Çünkü + yüklü kola dokundurulurken – yüklü kola dokundurulmamış. Ondan ampul ışık vermez.
25. Vermez. Çünkü, fakat, lakin, ama sebebi ampul + ya bağlı olduğu için ışık vermez.
26. Hayır. Çünkü pilin + tarafıyla bağlanmaktadır. Eksi tarafın da bağlı olması gerekir.
27. Işık vermez. Çünkü – kutbunda iletken tel yoktur.
28. Işık vermez. Çünkü – kutbunda iletken tel yoktur. Ve oradan akım çıkmaz.
29. Vermez Çünkü lambanın diğer kablosu – değmemiş. Tek uçla ampul yanmaz
30. Üretcin – kutbuna da bağlanmadığı için akım geçmez
31. Üretcin – kutbuna da bağlanmadığı için akım geçmez
32. Üretcin – kutbuna da bağlanmadığı için akım geçmez
33. Üretcin – kutbuna da bağlanmadığı için akım geçmez
34. Üretcin – kutbuna da bağlı olmadığı için ampul ışık vermez
35. Üretcin – kutbuna da bağlanmadığı için akım geçmez
36. Üretcin – kutbuna da bağlanmadığı için akım geçmez
37. Ampulün yanması için elektronların hareket ederek akım oluşturması gerekir. Normalde elektronların hareket edebilmesi için lambalar pilin + ve – uçlarının arasına bağlanır. Ancak böyle bir şekilde yanar. Verilen şekildeki lamba yanmaz
38. Ampulün yanması için elektronların hareket ederek akım oluşturması gerekir. Normalde elektronların hareket edebilmesi için lambalar pilin + ve – uçlarının arasına bağlanır. Ancak böyle bir şekilde yanar. Verilen şekildeki lamba yanmaz
39. Üretcin – kutbuna da bağlanmadığı için akım geçmez
40. Üretcin – kutbuna da bağlanmadığı için akım geçmez. Lamba yanmaz
41. Üretcin – kutbuna da bağlanmadığı için akım geçmez
42. Ampul ışık vermez. Çünkü ampulün ışık vermesi için ampulün hem (-) eksi hem de (+) artı kutuplara bağlanması gerekir. Böylelikle hem ampul yanar fakat pil de yavaş yavaş nötrleşir ve enerji veremez.
43. Yanmaz. Çünkü ampulün üretcin hem + hem de- kutbuna bağlanması gerekir
44. Ampul ışık vermez. Devrenin tamamlanması gerekir. Ampulün birde – yöne tel uzanmak
45. Üretcin – kutbuna da bağlanmadığı için akım geçmez
46. Vermez Çünkü sadece + ya bağlanmış
47. Işık vermez. Çünkü – ucuna bağlanması gerekir
48. Işık vermez. Çünkü ampul pilin sadece + ucuna bağlanmış
49. Işık vermez. Pilin – ucuna bağlı değil (telin teki)
50. Işık vermez Çünkü ampul pilin bir kutbuna değişiyor

51. Işık vermez Çünkü ampul direkt pile ve + ucuna bağlanmıştır
52. Işık vermez ampul – uca bağlanmamış
53. Vermez nedeni: ampul – uca bağlanmamıştır
54. Vermez. Çünkü ampul – uca bağlanmamış
55. Vermez. Çünkü – uca bağlanmamış
56. Vermez Çünkü – yüklü devre bağlanmamış
57. Işık vermez. Çünkü – uca bağlı kablo olmadığı için devre tamamlanmamıştır
58. Vermez. Çünkü ampul sadece + uca iletken telle bağlanmış. Ampulün yanması için – ve + uçlara tel bağlanıp, ampule bağlanmalı
59. Işık vermez. Çünkü – yüklü olmadığı için
60. Vermez. Çünkü akım – kutuptan geçmiyor
61. Işık vermez. Çünkü sadece + uca bağlıdır
62. Işık vermez. Çünkü ampulün yanması için bir + kutba bir de – kutba bağlı olması gerekir. Burada sadece + gruba bağlı olduğundan ışık vermez
63. Işık vermez. Çünkü hem + hem – bağlanmalı. Ampule bağlı bir tel de –' ye bağlanmalı
64. Vermez. Çünkü akım +' dan –' ye doğrudur. Ama ampule + uç bağlandığından ışık vermez. Ayrıca telin bir ucunun – olması gerekirdi.
65. Işık vermez. Çünkü telin diğer ucu pilin – ucuna bağlı değildir
66. Vermez: Çünkü – uca da bağlanmalı
67. Işık vermez. Çünkü – yüke de bağlanmamış
68. Işık vermez. Çünkü hem + hem de – nin bağlanması gerekir.
69. Ampul ışık vermez. Çünkü – yükle bağlanmamıştır.
70. Hayır ışık vermez. Lamba sadece + uca bağlı. Dolayısıyla elektrik akımı yoktur. Akım olması için her iki uca bağlanması gerekir.
71. Vermez. Çünkü ampulün kablosu pilin hem başına hem de altına takılması gerekir.
72. Vermez çünkü akım yok
73. Vermez. Çünkü – uçtan tel çıkmamış. Devreden akım kesilmiş. Akım tamamlanmamış. Tek uç kullanılmış.
74. Yanmaz Çünkü ampule bağlanan + olduğu için yanmaz yanması için + ve - bağlanmalı Şu şekilde olmalı



75. Işık vermez çünkü doğru bağlanmamıştır.
76. Işık vermez. Çünkü bağlantı yanlıştır. Ayrıca ampulü açacak bir anahtar yoktur.

77. Işık vermez tek olarak + kutuptan ışık vermez (-) kutbunun da kabloyla ampulü sarmak gerek ancak (+) ve (-) kutupta kablo olması gerek
78. Işık vermez. Ampulün ucu sadece + kısmına değdiriliyor. Ampulün + kısmının üzerine kablosu – kısmına değdirilmelidir.

Category 2 (The battery and the bulb are in contact)

1. Işık verir. Çünkü pozitif ucuna takılıdır.
2. Şekilde ampul ışık verir. Çünkü; artı ve eksi işaretleriyle bunları anlaya biriz. Artı olan yeri ışığa iletir. Eksi olan yeri iletmez yani yakmaz. Çünkü eksile artı birbirini çeker. Bu sayede ampul yanar.
3. Ampul ışık verir. Çünkü elektrik bağlanmıştır.
4. Verir. Sebebi çünkü pilin + yerine ampul bağlanmıştır bu yüzden devredeki ampul ışık verir.
5. Işık verir, çünkü pil takılı olduğu için ışık verir.
6. Evet ışık verir. Çünkü pile bağlıdır. Pilden “+” yük alarak ampulün ışık vermesini sağlar.
7. Verir. Çünkü ampul + yüklü pile bağlı olduğu için pil ışık verir
8. Pil zayıfsa yanmaz. Değilse yanar.
9. Evet. Artı yükten çıkan akım lambayı yakabilir
10. Evet. Artı yükten çıkan akım lambayı yakabilir
11. Ampul ışık verir. Çünkü – yükler +’yı çeker. Bu devrede de – ve + yükler olduğu için birbirlerine bağlı yani pilin uçları birbirlerine değdiği zaman ışık yanar

Category 3 (The positive terminal of a battery can light up a bulb, but not the negative terminal)

1. Işık verir. Işık vermesinin sebebi de lamba + yüke bağlıdır. – yüke bağlı olsaydı ışık vermezdi.
2. Işık verir. Çünkü lambayı artıya bağladığı için lambada ışık verir. Lambayı – ye bağlarsak lamba ışık vermez.

Category 4 (The negative terminal of a battery produces electricity)

1. Hayır vermez. Çünkü – kutbundaki elektronlar hareket etmez.
2. Üretici – dir. Akım geçmez. Bu yüzden ışık vermez
3. Üretici – dir. Akım geçmez. Bu yüzden ışık vermez
4. Üretici – dir. Akım geçmez. Bu yüzden ışık vermez

Category 5 (A wire must be connected from the negative terminal of the battery to the upper metallic side of the bulb so that “+” and “-” charges meet in the bulb)

1. Işık vermez. Çünkü lambanın yanması için hem + hem de – yükler gerekir. Şekildeki ampule sadece + yük bağlı.
2. Hayır ışık vermez. Çünkü +, - uçlarından ampule elektrik verilmesi lazım. Sadece + yük ışık vermez. + uçtaki akımın – uçtan akması gerekir

Category 6 (Deficient or not meaningful)

1. Lamba ışık verir. Sebebi de +, - durumundaysa ışık verir.
2. Ampul ışık vermez. Çünkü devreden biri negatif olduğu için.

Question 2

None of categories was revealed.

Question 3

Category 1 (The current in the branch leaving the battery divides into other branches in such a way that the same amount of current passes through each bulb because three identical bulbs are in parallel combination)

1. 0.4, 0.4, 0.4. Çünkü $3i = 1.2$ ise $i = 0.4$
2. 0.4, 0.4, 0.4. Çünkü $3i = 1.2$ ise $i = 0.4$
3. 0.4, 0.4, 0.4. Paralel kollardaki akımın toplamı seri kollardaki akıma eşittir. Onun için $1.2 \text{ A} : 3$
4. 0.4, 0.4, 0.4
5. 0.4, 0.4, 0.4
6. 0.4, 0.4, 0.4. Paralel devrelerde ana koldan geçen akım tüm dirençlerden geçen akımların toplamıyla bulunur. $0.4 \times 3 = 1.2 \text{ A}$

Category2 (After the current divides equally into two branches at the first junction, the current again divides equally into two branches at the second junction)

1. 0.6, 0.3, 0.3
2. 0.6, 0.3, 0.3
3. 0.6, 0.3, 0.3 i_3 ve i_2 toplamı i_1 i verir.
4. 0.6, 0.3, 0.3
5. 0.6, 0.3, 0.3
6. 0.6, 0.3, 0.3
7. 0.6, 0.3, 0.3 Devre paralel olduğundan dolayı ana koldan geçen akım paralel kollara gelince kaç tane kablo varsa ona göre eşit bir şekilde ayrılacak. Yukarıdaki şekilde göstermiş olduğum gibi her paralel kablodaki akım bölünmüştür
8. 0.6, 0.3, 0.3
9. 0.6, 0.3, 0.3 . $i_1, i_2=i_3$ i'ye paralel olarak bağlıdır
10. 0.6, 0.3, 0.3. $i_1 = 0.6$ olur. Çünkü 1.2 iki kola ayrılmış. i_2 ve i_3 0.3 olur. Çünkü 0.6'da iki kola ayrılır.
11. 0.6, 0.3, 0.3
12. 0.6, 0.3, 0.3. Akım paralel olarak dağılmış ikiye ayrılan akımda $i_1 =$ akımın yarısını (0.6) A almış, diğer yarı da kendi aralarında ikiye ayrılmış ve $0.6 / 2 = i_3, i_2 = 0.3 \text{ A}$ almıştır.
13. 0.6, 0.3, 0.3. i akımı 1.2 A şiddetiyle geçerken iki kola ayrılır. Bu nedenle $i_1 = 1.2 / 2 = 0.6$ olur. Diğer kolda iki kola ayrıldığından yine ikiye böleriz. $i_3=i_2=0.6/2=0.3$ olur.
14. 0.6, 0.3, 0.3

15. 0.6, 0.3, 0.3
16. 0.6, 0.3, 0.3 Ana kol akımı ilk önce ikiye ayrılır. Daha sonra üstteki telden 2'ye ayrılır.
17. 0.6, 0.3, 0.3
18. 0.6, 0.3, 0.3 Akım yarı yarıya paylaşılır paralel devrelerde
19. 0.6, 0.3, 0.3. Çünkü akım ikiye ayrılır. İ₁ akımın yarısını alır. Kalan akımı ise i₂, i₃ paralel olduğu için paylaşırlar.
20. 0.6, 0.3, 0.3
21. 0.6, 0.3, 0.3. i₂ ve i₃ paralel bağlıdır. İ₁'de hepsine paralel bağlıdır.
22. 0.6, 0.3, 0.3.
23. 0.6, 0.3, 0.3
24. 0.6, 0.3, 0.3

Category 3 (The further away the branch is from the battery, the smaller the amount of the current)

1. $i_1 > i_2 > i_3$
2. $i_1 > i_2 > i_3$
3. $i_1 > i_2 > i_3$ ve 0.9, 0.6, 0.3. Çünkü yukarıya çıktıkça akım gücü azalır. Yoğunluk ana koldadır

Category 4 (Deficient or not meaningful)

1. 0.5, 0.4, 9.3
2. 0.5, 0.4, 9.3
3. 4.2, 4.2, 4.2. Çünkü $3+1.2=4.2$ (3 ayrı kol olduğu için)
4. 1.2, 2.6, 3.6. Çünkü hepsinin çarpımı
5. 0.6, 0.4, 0.2.
6. 3.2, 2.1, 2.1
7. 5.6, 2.8, 2.8
8. 11, 48, 96
9. 2.4, 2.4, 2.4
10. 0.4, 0.2, 0
11. 1.2, 1.1, 1
12. 4.2, 6.4, 8.4
13. $i_2=i_3<i_1$, $i_2+i_3=i_1$, $3i=1.2$, $i=0.4$ A. Bundan dolayı 0.8,.0.4, 0.4
14. $i_2=i_3<i_1$, $i_2+i_3=i_1$, $3i=1.2$, $i=0.4$ A. Bundan dolayı 0.8,.0.4, 0.4
15. $i_2=i_3<i_1$, $i_2+i_3=i_1$, $3i=1.2$, $i=0.4$ A. Bundan dolayı 0.8,.0.4, 0.4
16. 0.8,.0.4, 0.4
17. 0.8,.0.4, 0.4
18. 0.8,.0.4, 0.4
19. $i_2=i_3<i_1$, $i_2+i_3=i_1$, $3i=1.2$, $i=0.4$ A. Bundan dolayı 0.8,.0.4, 0.4
20. $i_2=i_3<i_1$, $i_2+i_3=i_1$, $3i=1.2$, $i=0.4$ A. Bundan dolayı 0.8,.0.4, 0.4
21. $i_2=i_3<i_1$, $i_2+i_3=i_1$, $3i=1.2$, $i=0.4$ A. Bundan dolayı 0.8,.0.4, 0.4
22. $i_2=i_3<i_1$, $i_2+i_3=i_1$, $3i=1.2$, $i=0.4$ A. Bundan dolayı 0.8,.0.4, 0.4

23. $i_2=i_3<i_1$, $i_2+i_3=i_1$, $3i=1.2$, $i=0.4$ A. Bundan dolayı 0.8,0.4, 0.4
24. $i_2=i_3<i_1$, $i_2+i_3=i_1$, $3i=1.2$, $i=0.4$ A. Bundan dolayı 0.8,0.4, 0.4
25. $i_2=i_3<i_1$, $i_2+i_3=i_1$, $3i=1.2$, $i=0.4$ A. Bundan dolayı 0.8,0.4, 0.4
26. $i_2=i_3<i_1$, $i_2+i_3=i_1$, $3i=1.2$, $i=0.4$ A. Bundan dolayı 0.8,0.4, 0.4
27. $i_2=i_3<i_1$, $i_2+i_3=i_1$, $3i=1.2$, $i=0.4$ A. Bundan dolayı 0.8,0.4, 0.4
28. 60, 30, 30 Çünkü her akım ikiye ayrılıyor
29. 0.3, 0.3, 0.6.
30. 0.3, 0.3, 0.6.
31. 1.2, 0.6, 0.6. "i" den geçen akım iki kola ayrılarak i_1 gider daha sonra i_2 ve i_3 gitmektedir
32. 1.2, 1.2, 1.2. Akımları bulmak için hepsinin de 1.2 olması gerekir
33. 1.2, 1.2, 1.2. Şekildeki devrede pil olduğu için, anahtar kapalı olduğu için akım büyüklükleri aynıdır. Çünkü; akım aynı doğrultuda hepsine birden yüklenir.
34. 2.4, 4.8, 9.6
35. 2.4, 4.8, 9.6 Çünkü bunlar birbirine paralel olarak bağlanmıştır
36. 2.4, 4.8, 9.6
37. 2.4, 4.8, 9.6 Çünkü devre sürekli paralel olarak bölünmüş
38. 2.4, 4.8, 9.6
39. 2.4, 3.6, 4.8
40. 2.4, 3.6, 4.8

Question 4

Category 1 (The currents with the same amount from the batteries has not been consumed yet in both of the figures)

1. Şekil 4'den geçen akım şekil 5'deki akıma eşittir. Çünkü pilden çıkan akımı i dersek 1'de de i olarak kalıyor. Aynen şekil 5'de de i olarak kalıyor.
2. Elektrik akımları eşittir. Çünkü akım aynı yönden aynı şekilde geçer.
3. Elektrik akımları aynıdır. Şekilde görüldüğüne göre bir değişiklik yapılmamıştır.
4. Elektrik akımlarının büyüklükleri aynıdır.
5. Aynı şiddetle akım geçer. Çünkü ana koldan gider. Etkilenmez.
6. 2 devrede de yüklerin akım şiddetleri aynıdır.
7. Şekil 5'deki akım azdır. Çünkü orda 2 tane akım var pilden gelen akım 2'ye ayrılıyor. Şekil 4'dekişâ akım Şekil 5'dekinden fazla çünkü orda 1 akım var. Pilden gelen akım hepsi Şekil 4'e geliyor.
8. Şekil 4'ün ve Şekil 5'in akımı bence eşittir. Çünkü pilin enerjisi ilk 1 noktasından geçmektedir.
9. Büyüklük aynıdır. Çünkü 1 noktasında akım her iki şekilde de dirençle karşılaşmaz.
10. Akım her zaman +'dan -'ye doğrudur. 1. noktadaki akımlar birbirine eşittir. Çünkü iki şekilde de direnç 1. noktaya kadar yoktur.
11. Şekil 4'deki akım, Şekil 5'deki akım aynıdır. Ama şekil 5'de 2 ampul olduğundan akım ikiye bölünür. Parlaklık şekil 5'de daha azdır.

12. 1 noktalarından geçen akım +’dan -’ye doğru gidiyor. Şekil 4=şekil5. Çünkü akım 1 noktalarından sonra dağılıyor.
13. Şekil 4=şekil5. Çünkü + kutuptan çıkan akım boş telden 1’e girer.
14. Şekil 4 ve şekil 5’deki 1 noktalarından geçen elektrik akımları eşittir. Çünkü akım henüz ana koldan gelmekte ve hiçbir engelle yani dirençle karşılaşmadığı için henüz 1 noktalarından geçen akım birbirlerine eşittir.

Category 2 (In both of the figures, potential differences supplied by the batteries are the same, but the equivalent resistance in the second figure is bigger)

1. Üreteçlerin gerilimleri V ise şekil 4 için $V = i_1 \cdot R$ (her lambanın direnci R kabul ediliyor). $i_1 = V/R$ ise şekil 5 için $V = i_2 \cdot 2R$ yani $i_2 = V/2R = i_1/2$ olur.
2. Üreteçlerin gerilimleri V ise şekil 4 için $V = i_1 \cdot R$ (her lambanın direnci R kabul ediliyor). $i_1 = V/R$ ise şekil 5 için $V = i_2 \cdot 2R$ yani $i_2 = V/2R = i_1/2$ olur.
3. Üreteçlerin gerilimleri V ise şekil 4 için $V = i_1 \cdot R$ (her lambanın direnci R kabul ediliyor). $i_1 = V/R$ ise şekil 5 için $V = i_2 \cdot 2R$ yani $i_2 = V/2R = i_1/2$ olur

Category 3 (Current in the first figure is smaller because there is one bulb in the first figure, whereas there are two bulbs in the second figure)

1. Şekil 4’deki akım daha küçüktür. Çünkü bir devre bağlanmıştır.
2. 1. akım tek ampul olduğu için daha az gelir. Ama 2. şekilde iki ampul olduğu için 2. şekildeki akım 1. şekildeki akımın 2 katı olmalıdır
3. Şekil 4’de elektrik akımı daha azdır. Şekil 5’de elektrik akımı daha fazladır. Çünkü fazla olarak B ampulü ekleniyor bu yüzden...
4. Şekil 4’de 1 noktasından geçen elektrik akımı Şekil 5’dekinden daha azdır. Çünkü Şekil 4’de 1 tane ampul olduğundan ve Şekil 5’de 2 tane ampul olduğu için Şekil 4’e göre daha fazla enerji gerekir. Şekil 4’de akım az, Şekil 5’de daha çok.

Category 4 (Current in the first figure is bigger because two bulbs in the second figure share the current)

1. 1’deki daha yüksektir. Çünkü akım bölünmüş
2. Şekil 4’de 1 noktasından geçen akım, şekil 5’dekinden daha büyüktür. Çünkü şekil 5’de akımı ikisi paylaşıyor.
3. Şekil 4’de 1 noktasından geçen akım, şekil 5’dekinden daha büyüktür. Çünkü şekil 5’de akımı ikisi paylaşıyor.
1. Akımın büyüklükleri eşit değildir. Çünkü şekil 5’de A ve B ampulleri yanmaktadır. Yani şekil 4’deki akım daha büyüktür.
2. 1 noktasından geçen akım daha büyüktür. Çünkü ampul bir tanedir.
3. Şekil 4’deki daha büyüktür. Çünkü elektrik sadece bir yerde ortaya çıktığı için daha az elektrik kaybeder. Onun için şekil 4 daha büyüktür.

4. Şekil 4'de daha çok elektrik vardır. Çünkü 1 ampul vardır. Şekil5'de 2 ampul olduğu için elektrik akımı daha küçüktür.
5. Şekil 4'de daha büyüktür. Çünkü tek ampul vardır.
6. Şekil 4'de daha çok elektrik vardır. Çünkü 1 ampul vardır. Şekil5'de 2 ampul olduğu için elektrik akımı daha küçüktür.
7. Şekil 4'de elektrik akımı daha büyüktür. Çünkü şekil 4'de 1W varken 5'de 2W vardır.
8. Şekil 4'deki 1 noktasından geçen elektrik akımı şekil 5'deki 1 noktasından daha çok elektrik akımı geçer. Çünkü, Şekil 4 başka bir noktadan geçmediği için. Şekil 5'de başka noktalar ve 2 ampul var. Elektrik çok harcar. 1 noktasından az elektrik akımı geçer.
9. Şekil 5'deki noktalardan daha çok akım geçiyor, Şekil 4'de ise 1 tane akım geçiyor.
10. Şekil 5'in elektrik devresi daha büyüktür. Çünkü Şekil 4'de 1 tane ampul var. Şekil 5'de 2 tane bu da Şekil 5'in elektrik devresi daha büyüktür.
11. Şekil 4 akımı büyüktür. Çünkü ikisinin pillerinin büyüklüğü aynı ama 4. şekilde 1 lamba 5. şekilde 2 tane lamba vardır. O yüzden 4'de akım büyüktür.
12. Sadece A olduğu zaman pil'den gelen kuvveti sadece "a" ampülü kullanıyordu. Şekil 5'de ise ampuller iki tane olduğu için ve pil sayısı artmadığı için pilden gelen akım A ve B ampulleri arasında paylaşılmaktadır.
13. Şekil 4'de daha büyük. Çünkü Şekil5'de 2 ve 3 akımları da vardır.
14. Her iki devrede de lambanın 1 noktası + kutbundan çıkmıştır. Ama $I_4 > I_5$. Çünkü Şekil 5'de ampul sayısı çoktur.
15. Şekil 4'de daha çoktur. Çünkü akım giden yer daha azdır.
16. Şekil 4'de elektrik akımı daha fazladır. Çünkü diğerine göre daha az ampul olduğuna göre daha fazladır.

Category 5 (Currents in both figures are the same because current is constant at any point in circuits with serial combination)

1. Şekil 4 ve 5'den aynı büyüklükte akım geçer. Çünkü seri bağlı devrelerde akım sabittir.
2. İkisinde de eşittir. Seri bağlamada akım her noktada aynı şiddetle geçer.
3. Aynıdır. Çünkü 2'side seri bağlıdır.
4. Hepsi aynıdır. Çünkü seri bağlıdır.
5. İki şekilde de 1 noktalarındaki akımlar aynıdır. Çünkü seri bağlı devrelerde eşit miktarda akım geçer.

Category 6 (Deficient or not meaningful)

1. Şekil 4'deki akım A'da aynı büyüklüktedir. Şekil 5'deki ile de aynıdır. Ancak şekil 5 A ve B olarak ikiye bölünür. Ancak seri bağlandığı için akım aynı geçer.
2. Eşittir. Çünkü 2. noktada 1. akım sona erer.
3. Eşittir. Çünkü 2. noktada 1. akım sona erer
4. 1 noktalarından geçen akım eşittir. Çünkü A lambaları aynı dirençtedir.
5. 1 noktalarından geçen akım eşittir. Çünkü A lambaları aynı dirençtedir

6. Hepsi aynı ışık verir. Şekil + ve 5'de A'da aynı
7. Hepsi aynı ışık verir. Şekil + ve 5'de A'da aynı
8. şekil 4 > şekil 5. Çünkü Şekil 4 için $R_{eş} = R$ ve şekil 5 için $R_{eş} = R/2$
9. şekil 4 > şekil 5. Çünkü Şekil 4 için $R_{eş} = R$ ve şekil 5 için $R_{eş} = R/2$
10. şekil 4 > şekil 5. Çünkü Şekil 4 için $R_{eş} = R$ ve şekil 5 için $R_{eş} = R/2$
11. şekil 4 > şekil 5. Çünkü Şekil 4 için $R_{eş} = R$ ve şekil 5 için $R_{eş} = R/2$
12. şekil 4 > şekil 5. Çünkü Şekil 4 için $R_{eş} = R$ ve şekil 5 için $R_{eş} = R/2$
13. şekil 4 > şekil 5. Çünkü Şekil 4 için $R_{eş} = R$ ve şekil 5 için $R_{eş} = R/2$
14. şekil 4 > şekil 5. Çünkü Şekil 4 için $R_{eş} = R$ ve şekil 5 için $R_{eş} = R/2$
15. şekil 4 > şekil 5. Çünkü Şekil 4 için $R_{eş} = R$ ve şekil 5 için $R_{eş} = R/2$
16. şekil 4 > şekil 5. Çünkü Şekil 4 için $R_{eş} = R$ ve şekil 5 için $R_{eş} = R/2$
17. şekil 4 > şekil 5. Çünkü Şekil 4 için $R_{eş} = R$ ve şekil 5 için $R_{eş} = R/2$
18. şekil 4 > şekil 5. Çünkü Şekil 4 için $R_{eş} = R$ ve şekil 5 için $R_{eş} = R/2$
19. şekil 4 > şekil 5. Çünkü Şekil 4 için $R_{eş} = R$ ve şekil 5 için $R_{eş} = R/2$
20. şekil 4 > şekil 5. Çünkü Şekil 4 için $R_{eş} = R$ ve şekil 5 için $R_{eş} = R/2$
21. şekil 4 > şekil 5. Çünkü Şekil 4 için $R_{eş} = R$ ve şekil 5 için $R_{eş} = R/2$
22. Geçen akımlar eşittir. Devreler paralel bağlanmıştır.
23. Gerilim daha fazla olduğu için ikisinin de büyüklükleri aynıdır.
24. Şekil 4'de daha çok elektrik vardır. Çünkü 1 ampul vardır. Şekil 5'de 2 ampul olduğundan akım daha çoktur.
25. Şekil 4'deki akım lambayı daha çok yakar. Çünkü orada 1 akım geçiyor. Şekil 5'de elektrik lambayı daha az yakar. Çünkü orada 2 akım geçiyor.
26. Her iki şekilde de elektrik akımlarının büyüklükleri aynı değildir. Çünkü ampul sayıları farklıdır.
27. Şekil 4'deki 1 ampul olduğu için daha az aydınlatır. Şekil 5'deki ise 2 ampul olduğu için daha çok aydınlatır.
28. Şekil 4'de elektrik akımı daha hızlı akım geçer. Şekil 5'de ise daha yavaş akım geçer.

Question 5

Category 1 (Currents at all points are the same and bulbs A and B are the same in brightness)

1. Seri bağlı oldukları için hepsi eşit. A ve B parlaklıkları birbirine eşit.
2. Birbirlerine eşittir. Aynı parlaklıktadır.
3. Elektrik akımının büyüklükleri aynıdır. Çünkü akım kablolardan aynı anda tüm ampullere gider.
4. $I_1 = I_2 = I_3$. Devredeki akımlar eşittir. $A = B$. Aynı yanar.
5. Akım büyüklüğü aynıdır. Seri bağlı olduğu için. Ampullerin parlaklıkları aynıdır. Seri bağlamalarda aynı miktarda akım geçer. Bu yüzden parlaklıkları aynıdır.
6. Hepsi aynıdır. Çünkü seri bağlanmıştır. Hepsi aynı parlaklıktadır.
7. Her 3'de aynıdır. Çünkü seri bağlıdır. Akım her yerden eşit geçer. Parlaklıklar da aynıdır.
8. Hepsi aynıdır. Aynı parlaklıktadır. Çünkü seridir.

9. Geçen akımlar aynıdır. Çünkü akım aynı düzlükte yol izler. Geçen akımlar aynı olduğuna göre ampuller de aynı ışığı verir. Yani parlaklıklarında bir fark yoktur.
10. $1=2=3$. Çünkü seri bağlı olduğu için hepsinden geçen akım eşittir. Parlaklıklar aynıdır.
11. Seri bağlıda akım şiddeti eşittir. A ve B ampullerine etki eden akım eşit olduğu için parlaklıklar eşittir.
12. $1=2=3$ 'dür. Çünkü devre seridir. $A=B$ 'dir. Devreden geçen akım eşittir. Devre seridir.
13. 1, 2, 3 noktalarındaki akımların büyüklükleri aynıdır. Çünkü seri bağlamada akım her yerde aynıdır. Ana koldan geçen akım her iki ampulde de aynı olduğundan parlaklıkları aynıdır.
14. 1, 2, 3 eşittir. + kutbundan çıkan akım -'ye aynı şekilde gider. $A=B$.
15. 1, 2, 3 eşittir. + kutbundan çıkan akım -'ye aynı şekilde gider. $A=B$.
16. 1, 2, 3 eşittir. + kutbundan çıkan akım -'ye aynı şekilde gider. $A=B$.
17. 1, 2, 3 eşittir. + kutbundan çıkan akım -'ye aynı şekilde gider. $A=B$.
18. 1, 2, 3 eşittir. + kutbundan çıkan akım -'ye aynı şekilde gider. $A=B$.
19. 1, 2, 3 eşittir. + kutbundan çıkan akım -'ye aynı şekilde gider. $A=B$.
20. 1, 2, 3 eşittir. + kutbundan çıkan akım -'ye aynı şekilde gider. $A=B$.
21. 1, 2, 3 eşittir. + kutbundan çıkan akım -'ye aynı şekilde gider. $A=B$.
22. 1, 2, 3 eşittir. + kutbundan çıkan akım -'ye aynı şekilde gider. $A=B$.
23. 1, 2, 3 eşittir. + kutbundan çıkan akım -'ye aynı şekilde gider. $A=B$.
24. 1, 2, 3 eşittir. + kutbundan çıkan akım -'ye aynı şekilde gider. $A=B$.
25. 1, 2, 3 eşittir. + kutbundan çıkan akım -'ye aynı şekilde gider. $A=B$.
26. 1, 2, 3 eşittir. + kutbundan çıkan akım -'ye aynı şekilde gider. $A=B$.
27. 1, 2, 3 eşittir. + kutbundan çıkan akım -'ye aynı şekilde gider. $A=B$.
28. Seri bağlı devrede sadece bir akım vardır. Ve her noktada aynı olup değeri $\frac{1}{2}$ 'dir. Ampullerin parlaklığı ise üzerlerindeki gerilime bağlıdır. Ampullerden aynı akım geçer, dirençlerde aynı olduğu için: $V_A=IR$, $V_B=IR$ olur. Gerilim eşit olduğunda parlaklıklarda aynı olur.
29. Seri bağlı devrede sadece bir akım vardır. Ve her noktada aynı olup değeri $\frac{1}{2}$ 'dir. Ampullerin parlaklığı ise üzerlerindeki gerilime bağlıdır. Ampullerden aynı akım geçer, dirençlerde aynı olduğu için: $V_A=IR$, $V_B=IR$ olur. Gerilim eşit olduğunda parlaklıklarda aynı olur.
30. $1=2=3$. Seri bağlanmıştır. Aynı parlaklıktadır.

Category 2 (The further away from the battery, the less the amount of current and the brightness of a bulb)

1. Şekil 5'de 3'ün akımı daha büyüktür. 2'de ise 3'den biraz azalır. 1'de ise biraz daha azalır. Çünkü 3 pile daha yakındır. Diğerleri gittikçe azalır. B ampülü daha parlaktır. Çünkü enerji direkt gelir.
2. $3>2>1$ A B'de daha parlak. Akım A'dan direkt geçtiği için.
3. En fazla akım 3'den geçmektedir. En az akım 1'den geçmektedir. En parlak B ampulüdür.
4. 3 pile yakın olduğu için akım daha fazla geçer ve en büyüktür. 2, 1 akım daha az geçer. Pil daha uzak olduğu içindir. B pile yakın ve akım daha çok olduğu için B daha parlak yanar. A daha uzak ve akımın daha yavaş geçeceği için parlak yanmaz.
5. $3>2>1$

6. $I_3 > I_2 > I_1$. Çünkü elektrik akımının yükü – olduğu için 3’de büyük, 2’de ise önce ampul bulunduğu için sonra 2 ve 1’in önünde de iki tane ampul bulunduğu için.
7. $I_3 > I_2 > I_1$. Çünkü 3 pile daha yakındır. B daha parlaktır. Çünkü pile daha yakındır.
8. $I_3 > I_2 > I_1$. A parlak yanar.
9. $I_3 > I_2 > I_1$

Category 3 ($I_1 > I_2 > I_3$ and Bulb A is brighter)

1. Bu akımda diyelim 1 noktası 15 akım alıyorsa 2 noktası 10, 3 noktası 5 akım alır. Dolayısıyla 1 akımı her zaman akım daha fazla alır. Pilin akımı ilk önce A’dan geçtiği için A daha parlak yanar.
2. 1 en büyük, 2 1’den küçük, 3 en küçük. Anottan gelen enerji 1 akımından geçerek 2 ve 3’e geçiyor. A kısmına + gelen yük A’yı daha çok parlatıp B’ye geçer. A B’den daha çok parlıyor.
3. 1. noktada akım fazla, 2. noktada 1’e göre daha az, 3’de ise akım daha az. Çünkü 1. noktada A’ya geldiğinde bir miktar akım burada kalır. 3. noktada B’ye geldiğinde bir miktar akımda burada kalır. A daha parlaktır. Çünkü gelen ilk akım buraya uğradığı için.
4. $I_1 > I_2 > I_3$. A B’den daha parlaktır.
5. $I_1 > I_2 > I_3$. Çünkü 1 noktasında henüz enerji verilmemiş. 2 noktasında enerjisi 1 lambaya verilmiş. 3 noktasında enerji düşürülmüştür. A ampülü daha parlaktır. Çünkü enerjisi en yüksek olan 1 noktasıdır. B ampulünün parlaklığı daha azdır. Çünkü enerji azalmıştır.
6. $I_1 > I_2 > I_3$. Çünkü 1’de akım hiç dirençle karşılaşmamış. 2’de akım dirençle karşılaşmış. 3’de akım 2 dirençle karşılaşmış.
7. 1’deki akım daha büyüktür. Çünkü akım ilk olarak oradan geçiyor. A daha parlaktır. Çünkü ilk başta parlaklık oradan geçiyor.
8. 1’deki akım daha büyüktür. A B’den daha parlaktır.
9. 1 akım daha yüksektir. A daha parlak. Çünkü kolda tek başına olduğu için.
10. En büyük akım 1’dedir. Çünkü hiçbir dirençle karşılaşmaz. 2 noktasında A direncinden geçeceği için akım azalır. 3 noktasında A ve B dirençlerinden geçeceği için akım daha da azalır. Yani: $I_1 > I_2 > I_3$. A B’den daha parlak yanar. Çünkü A’dan geçen akım B’den geçen akım şiddetinden daha fazladır.
11. En büyük akım 1’dedir. Çünkü henüz hiçbir dirençle karşılaşmamıştır. 2. akım 1. akımdan biraz daha küçüktür. Çünkü A direnciyle karşılaşmıştır ve A direncini geçebilmek için enerji harcamıştır. 3. akım ise 2’den de küçüktür. Çünkü buraya hem A hem de B direncini geçerek gelmiştir. Bu yüzden diğerlerine göre daha çok enerji harcanmıştır. A ampülü B ampulüne göre daha parlak yanar. Çünkü A ampülü daha fazla gelen akımı kullanarak ışık vermektedir. Ama B ampülü kullanılmış olan akımı ve bu yüzden azalmış olan akımı kullanarak daha az ışık verebilir. Ama B ampülü ile A ampülü yer değiştirilirse A’dan daha parlak yanar. Bunun sebebi de az önce belirtmiş olduğum sebeple aynıdır.

Category 4 ($I_1 = I_2 = I_3$ and Bulb B is brighter due to being closer to the battery)

1. Akımların büyüklüğü aynıdır. B’nin parlaklığı daha fazladır.
2. Akımlar aynıdır. B daha parlaktır. Çünkü ampul ile üreteç arasındaki mesafe daha azdır.

Category 5 ($I_1 > I_2 > I_3$ and Bulb B is brighter due to being closer to the battery)

1. Pilin akımı önce A'dan geçtiği için $I_1 > I_2 > I_3$. B ampulü daha parlaklık gösterir. Pile daha yakındır.

Category 6 ($I_1 > I_2 > I_3$ and Bulbs A and B are the same in brightness)

1. 1. nokta daha çok, sonra 2. nokta daha sonra 3. nokta. Çünkü; pilden çıkan akım önce 1. noktaya uğrar, sonra A ampulüne ve akım biraz azalır, sonra 2. noktadan geçer B ampulüne gelir, akım biraz daha azalır ve 3. noktaya geldiğinde hiç kalmayacak kadar azalır. A ve B ampulleri aynı parlaklıktadır.

Category 7 (Deficient or not meaningful)

1. 1, 2, 3 noktalarının akımları büyük değil. Çünkü noktalar uzak. A ve B ampulü yanmamaktadır. Çünkü pilin her iki ampulü birden yakması zor bu yüzden daha çok volt gerekir.

2. Şekil 5'de elektrik akımı hepsini eşit miktarda yakar.

3. $2=3 > 1=2$. Çünkü $2=3$ 'ün arasındaki mesafe $1=2$ 'nin arasındaki mesafeye göre daha azdır. A'nın parlaklığı daha çoktur. Çünkü B'nin verdiği ışık A'ya sağdan yansır.

4. 1 akım en büyüktür. $2=3$ 'dür. Çünkü ikisinde de arada 1 ampul vardır. A ampulü daha parlaktır.

5. 1'de daha az. 2'de daha büyüktür. Çünkü 2 lamba arasında kalır. 3'de yine daha azdır. İkinin de parlaklıkları aynı diye düşünüyorum. Çünkü pildeki akımı ikisi de paylaşıyorlar.

6. $1=2 > 3$ A=B olarak akım doğru olarak geçer. A'nın ve B'nin parlaklıkları eşit olur.

7. Aynıdır. A daha parlaktır.

8. Hepsi eşittir. Akım kollara ayrılmıyor. A ampulü daha parlaktır. Çünkü...

9. $1=2=3$ 'dür. Hepsi paralel bağlanmıştır. Parlaklıklar da eşit. Devre paralel.

10. 1, 2 ve 3 noktadaki akımlar aynıdır. Çünkü hepsinden de aynı direnç geçiyor.

11. 3 bir ve 2'den azdır. En yakın olduğu için. 2 birden azdır. 1 hepsinden çoktur. En uzak olduğu için

12. 1. akım çoktur. Daha sonra ampule geçer ve 2. noktaya ulaşır. 2. noktada B ampulüne geçer ve 3. noktaya kadar gelir. Bu arada da ampuller yanar. A B'ye göre daha az parlaktır. Çünkü A ampulü yandıktan sonra akım B ampulüne kadar gelir ve A ampulündeki parlaklık azalır.

13. Hepsi eşittir. Akım kollara ayrılmıyor. A daha parlaktır.

14. 1 NOKTASINDA AKIM AZDIR. Sebebi akım oradan geçmeye başlar. 2. 1.ye oranla biraz fazladır. 3'de en fazladır. Akımlar 3'de toplanır.

15. Akım 1'den 2'ye kadar daha fazla, 2'den 3'ede daha fazladır.

Question 6

Category 1 (It is bigger in Figure 6 because there are more bulbs in Figure 7)

1. Şekil 6'daki 1 noktasının akımı daha fazladır. Çünkü enerji fazla bölünmeden gelir.

2. Şekil 6'daki seri olduğu için akım daha büyüktür. Şekil 7'deki ise paralel olduğu için akım azdır, daha küçüktür.

3. Şekil 7 daha küçüktür Şekil 6'dan. Çünkü Şekil 7'de akım iki kola ayrıldığı için.

4. Şekil 7 daha küçüktür Şekil 6'dan. Çünkü Şekil 7'de akım iki kola ayrıldığı için

5. Şekil 6 > Şekil 7

6. Şekil 6'daki daha büyüktür. Çünkü Şekil 7'deki elektrik akım 3'e bölünüyor.
7. $6 > 7$. Çünkü Şekil 7'de daha fazla ampul vardır.
8. $6 > 7$. Çünkü Şekil 7'de lamba sayısı çok olduğu için voltaj düşebilir.
9. Şekil 6'da akım daha fazladır. Çünkü direnci azdır. Şekil 7'de akım daha azdır. Direnç fazladır.
10. Şekil 6'daki akım Şekil 7'den daha büyüktür. Çünkü oradaki lamba daha fazladır.
11. Şekil 6'daki daha büyüktür. Çünkü şekil 7'deki akım 3 akımdan geçiyor.
12. Şekil 6'da 1 tane akım olduğu için Şekil 7'den akım büyüklüğü büyüktür.
13. Şekil 6'daki daha büyüktür.
14. Şekil 6'da daha büyüktür. Çünkü Şekil 6'da doğrudan, Şekil 7'de dolaylı akım vardır.
15. Şekil 6'daki elektrik akımı Şekil 7'den büyüktür. Çünkü Şekil 7'de gelen elektrik akımı çeşitli kollara ayrılır.
16. Şekil 6'da pil 1 ampule akım verdiği için daha çoktur.
17. Şekil 6'da daha büyüktür. Çünkü Şekil 6'da bir, 7'de iki lamba vardır.
18. Şekil 6'daki 1 noktasında akım daha büyüktür. Çünkü 1 lambaya bağlanmıştır.
19. Şekil 6 > Şekil 7
20. Şekil 6 > Şekil 7
21. Şekil 6 > Şekil 7. Çünkü Şekil 6 tek ampule akım veriyor. Şekil 7 iki ampule akım veriyor.
22. $6 > 7$. Çünkü altıncı şekilde akım ayrıdır. 7. şekilde akım ikiye ayrılır.
23. $6 > 7$. Çünkü altıncı şekilde akım ayrıdır. 7. şekilde akım ikiye ayrılır
24. Şekil 6'daki akım daha büyüktür. Çünkü bütün akım sadece bir ampulden geçiyor. Şekil 7'deki akım 1'den sonra 2'ye bölünecek. Bundan dolayı akım yarıya iner.
25. Pilden geçen akım Şekil 6'da A'ya gider. Şekil 7'de A ve B daha küçüktür. Çünkü akım ikiye bölünür.
26. Pilden geçen akım Şekil 6'da A'ya gider. Şekil 7'de A ve B daha küçüktür. Çünkü akım ikiye bölünür
27. Pilden geçen akım Şekil 6'da A'ya gider. Şekil 7'de A ve B daha küçüktür. Çünkü akım ikiye bölünür
28. Şekil 6'da daha büyüktür. Çünkü Şekil 6'da 1 ampule bağlıdır.

Category 2 (It is bigger in Figure 7 because the equivalent resistance in Figure 7 is smaller)

1. Karşılaştığımızda Şekil 7'nin akımı daha fazladır.
2. Şekil 6'daki elektrik akımının büyüklüğü azdır.
3. Şekil 7'de daha büyüktür. Çünkü hem 2 hem de 3'e akım verebiliyor.
4. Şekil 7'deki 1 noktasında akım daha büyüktür.
5. Her üreticinin gerilimleri V ve lamba dirençleri R ise: Şekil 6'da $V = I_1 R$, $I_1 = V/R = i$ olsun. Şekil 7'de $V = I_2 R_{eş}$ ve $R_{eş} = R/2$ 'dir. Yani, $I_1 = 2V/R = 2i$ olur.
6. Her üreticinin gerilimleri V ve lamba dirençleri R ise: Şekil 6'da $V = I_1 R$, $I_1 = V/R = i$ olsun. Şekil 7'de $V = I_2 R_{eş}$ ve $R_{eş} = R/2$ 'dir. Yani, $I_1 = 2V/R = 2i$ olur.

7. Her üreticinin gerilimleri V ve lamba dirençleri R ise: Şekil 6'da $V = I_1 R$, $I_1 = V/R = i$ olsun. Şekil 7'de $V = I_2 R_{eş}$ ve $R_{eş} = R/2$ 'dir. Yani, $I_1 = 2V/R = 2i$ olur.

Category 3 (Both currents are the same in both figures because currents leaving the batteries with the same amount have not been divided into branches yet)

1. Büyüklükleri aynıdır. Akım ilk 1 noktasından geçmektedir. Bu nedenle elektrik akımlarının büyüklükleri eşittir.
2. İkisi de aynıdır. Çünkü aynı oranda aynı 1 noktasında kesişmiş ve 1'er nokta konulmuştur. Buda arasında bir büyüklük yoktur. Yani aynıdır.
3. Aynı olur. Akım ikiye ayrılıp sonra birleşir. İkisi de birbirine eşittir.
4. Akımlar aynı olur.
5. Büyüklükleri aynıdır.
6. Şekil 6 ve 7'deki 1 noktadaki elektrik akımı eşittir. Çünkü iki şekilde de 1 noktası ana kolda bulunuyor.
7. Bence 2 devrede de yükleri eşittir. Çünkü 2 devrede de ilk başta geçmiş.
8. Şekil 6 ve 7'de aynı büyüklükte dirler.
9. Elektrik akımının büyüklükleri aynıdır. Çünkü Şekil 7'de akım A ve B'den geçip tekrar ana kolda birleşiyor.
10. Ana koldan geçen akım aynıdır. Çünkü ikisi de akımın geçtiği ilk koldur.
11. Akımlar eşittir. Çünkü pilden çıkan akım ikisinde de aynı yerdedir.
12. Eşittir. Çünkü akımla karşılaşmamıştır.
13. Aynıdır. Çünkü ikiye bölünmeden gidiyor.
14. 1 noktalarının akımları aynıdır. Çünkü pilden çıkan akım eşittir.
15. Aynıdır. Çünkü akımın ayrılacağı hiçbir kol yoktur.
16. Aynıdır. Çünkü Şekil 7'de akım daha kollara ayrılmamıştır.
17. İki şekilde de akım 1 noktalarına direkt gittiği için büyüklükleri aynıdır.
18. 1 noktalarında akım eşit. Çünkü 1 noktalarından sonra dirençlere ulaşıyor.
19. Elektrik akımları aynıdır. Çünkü akım daha ayrılmamıştır ve aynı düzlük akım ilerler. Akımlarda fark yoktur.
20. Şekil 6=Şekil 7. Çünkü akım pilden çıkar çıkmaz 1 noktalarına ulaşmıştır. Bu yüzden 1 noktalarında akımların büyüklükleri eşittir.
21. Eşittir. Çünkü akımla karşılaşmamıştır.
22. Eşittir. Çünkü Şekil 7'de akım 1 noktasından geçer, sonra 2 ve 3 noktalarına dağılır. Şekil 6'da ilk önce 1 noktasından geçer. İki şekilde de geçen elektrik akımları aynı büyüklükte dir.
23. $i_1 = i_2$. + kutbundan boş tülle 1 noktasına gidiyor.
24. $i_1 = i_2$. + kutbundan boş tülle 1 noktasına gidiyor
25. $i_1 = i_2$. + kutbundan boş tülle 1 noktasına gidiyor
26. $i_1 = i_2$. + kutbundan boş tülle 1 noktasına gidiyor
27. $i_1 = i_2$. + kutbundan boş tülle 1 noktasına gidiyor
28. $i_1 = i_2$. + kutbundan boş tülle 1 noktasına gidiyor

29. $i_1 = i_2$. + kutbundan boş telle 1 noktasına gidiyor
30. $i_1 = i_2$. + kutbundan boş telle 1 noktasına gidiyor
31. $i_1 = i_2$. + kutbundan boş telle 1 noktasına gidiyor
32. $i_1 = i_2$. + kutbundan boş telle 1 noktasına gidiyor
33. $i_1 = i_2$. + kutbundan boş telle 1 noktasına gidiyor
34. $i_1 = i_2$. + kutbundan boş telle 1 noktasına gidiyor
35. $i_1 = i_2$. + kutbundan boş telle 1 noktasına gidiyor
36. $i_1 = i_2$. + kutbundan çıkan akım direkt 1 noktasından geçiyor.
37. $i_1 = i_2$. + kutbundan boş telle 1 noktasına gidiyor
38. $i_1 = i_2$. + kutbundan boş telle 1 noktasına gidiyor
39. Şekil 6 ve 7'de elektrik akımları aynıdır. Çünkü hiçbir dirençle karşılaşmamışlardır.

Category 4 (Deficient or not meaningful)

1. Şekil 7'de daha fazla olabilir. Sebebi de seri bağlı oldukları için olabilir.
2. İkisi de eşittir. Çünkü ampul tarafından kullanılmış
3. 1 lamba yandığı için A'daki daha parlaktır.
4. 1 noktasından geçen akımlar birbirine eşittir.
5. 1 noktasından geçen akımlar birbirine eşittir. Çünkü akımlar 1 noktasına kadar akımla karşılaşmıştır.
6. Şekil 6 > Şekil 7. Çünkü ilk devre seri, diğeri paralel.

Question 7.a

Category 1 ($i_1 > i_2 = i_3$)

1. 2 ve 3 birbirine eşittir. 1'de 2 ve 3'ün toplamına eşittir.
2. $i_1 > i_2 = i_3$
3. $i_1 > i_2 = i_3$
4. 1'de en büyük daha sonra 2 daha sonra da 3'tür. Nedeni devreye sonradan B ampülü eklenmiş.
5. 1 noktasında akım şiddeti büyüktür. Çünkü ana koldadır. 2 ile 3'de birbirine eşittir. Çünkü iki kola ayrılıyor. Burada eşit bir şekilde ayrılır.
6. $i_1 > i_2$ ve 3 eşit
7. $i_1 > i_2 = i_3$
8. Pilin enerjisi önce 1'den geçtiği için 1 en büyüktür. 2 ve 3 eşit olabilir.
9. $i_1 > i_2 = i_3$. Akımlar 1 noktasından geçer ve 2 ile 3'e dağılır.
10. $i_1 > i_2 = i_3$. Akım hiçbir yere uğramadan 1'den geçtiği için en büyük akım geçer. 2 ve 3'de 1'deki akım ikiye ayrılır.
11. $i_1 > i_2 = i_3$. Akım hiçbir yere uğramadan 1'den geçtiği için en büyük akım geçer. 2 ve 3'de 1'deki akım ikiye ayrılır.

12. $1>2=3$. Akım hiçbir yere uğramadan 1'den geçtiği için en büyük akım geçer. 2 ve 3'de 1'deki akım ikiye ayrılır
13. $1>2=3$ 'dür. Çünkü 1 noktasında enerjinin tamamı yer almaktadır. 2 ve 3 noktalarında ayrılarak ikiye ayrılmış, 1 noktasından akım 2 ve 3'e yarı yarıya dağılmıştır.
14. $1>2=3$.
15. $1>2=3$ olur. Akım 1'den geçtikten sonra ikiye ayrılır. Yani akım iki kola bölünür ve iki koldan da aynı şiddetle geçer.
16. $1>2=3$. 1'deki akım büyüktür, çünkü tam olarak geçer. 2 ve 3'de akım yarıya iner. Çünkü iki telden geçer.
17. $1>2=3$. Akım 1 noktasından sonra ikiye ayrılıyor.
18. $1>2=3$. Akım 1 noktasından sonra iki kola ayrılıyor.
19. $1>2=3$. 2 ve 3 noktalarında iki tane ampul var. 1 direkt akım olarak dağılıyor.
20. $1>2=3$. Çünkü 2 ve 3. noktalara gelirken akım ikiye ayrılıyor.
21. $I_1>I_2>I_3$ 1. noktada akım bölünmemiş. 1. noktadan sonra 2. ve 3. noktalara eşit paylaşılmıştır.
22. $1>2=3$.
23. $1>2=3$.
24. $1>2=3$. 1'deki akım büyüktür, çünkü tam olarak geçer. 2 ve 3'de akım yarıya iner. Çünkü iki telden geçer.
25. $1>2=3$. Çünkü 2 ve 3. noktalara gelirken akım ikiye ayrılıyor
26. $1>2=3$. Akım hiçbir yere uğramadan 1'den geçtiği için en büyük akım geçer. 2 ve 3'de 1'deki akım ikiye ayrılır.
27. $1>2=3$. Akım hiçbir yere uğramadan 1'den geçer ve 2 ve 3'de $i/2$ olacak şekilde paylaşılır. 1.si ise i 'dir.
28. $I_1=I_2+I_3$ ise $I_1>I_2=I_3$. Çünkü akım iki kola ayrılır.
29. $1>2=3$.
30. $i_1>i_2=i_3$ Paralel kollarda dirençler özdeş, akımlar eşit olarak paylaşılır.
31. $i_1>i_2=i_3$ Paralel kollarda dirençler özdeş, akımlar eşit olarak paylaşılır.
32. $i_1>i_2=i_3$ Paralel kollarda dirençler özdeş, akımlar eşit olarak paylaşılır.
33. $i_1>i_2=i_3$ Paralel kollarda dirençler özdeşse, akımlar eşit olarak paylaşılır.
34. $i_1>i_2=i_3$ Paralel kollarda dirençler özdeşse, akımlar eşit olarak paylaşılır.
35. $i_1>i_2=i_3$ Paralel kollarda dirençler özdeşse, akımlar eşit olarak paylaşılır.
36. $i_1>i_2=i_3$ Paralel kollarda dirençler özdeşse, akımlar eşit olarak paylaşılır.
37. $i_1>i_2=i_3$ Paralel kollarda dirençler özdeşse, akımlar eşit olarak paylaşılır.
38. $i_1>i_2=i_3$ Paralel kollarda dirençler özdeşse, akımlar eşit olarak paylaşılır.
39. $i_1>i_2=i_3$ Paralel kollarda dirençler özdeşse, akımlar eşit olarak paylaşılır.
40. $i_1>i_2=i_3$ Paralel kollarda dirençler özdeşse, akımlar eşit olarak paylaşılır.
41. $i_1>i_2=i_3$ Paralel kollarda dirençler özdeşse, akımlar eşit olarak paylaşılır.
42. $i_1>i_2=i_3$ Paralel kollarda dirençler özdeşse, akımlar eşit olarak paylaşılır.
43. $i_1>i_2=i_3$ Paralel kollarda dirençler özdeşse, akımlar eşit olarak paylaşılır.
44. $i_1>i_2=i_3$ Paralel kollarda dirençler özdeşse, akımlar eşit olarak paylaşılır.

Category 2 ($i_1 > i_2 > i_3$)

1. 1. devrede daha çok, 2. devrede normal, 3. devrede ise yok denecek kadar azdır. Çünkü akım kollara ayrılmıştır.
2. 1 ve 2 daha büyüktür. Çünkü ilk akımı onlar yapıyor.
3. 1 ve 2 daha büyüktür. Çünkü akımlar ilk önce ona gelir.
4. $1 > 2 > 3$. Önce akım 1'den, daha sonra 2 ve daha sonra 3'den geçer.
5. 1 akım daha fazladır. 2 akım normaldir. 3 daha az. Çünkü dirençleri az.
6. 1'in akımı daha fazla çünkü enerji direkt 2'de biraz daha azalır. Enerji 1'den sonra gelir. 3'de ise daha azalır. Çünkü enerji 1 ve 2'ye uğramıştır.
7. $1 > 2 > 3$. Pile daha yakın daha sonra 2, sonra da 3'dür.
8. 1 ve 2 noktalarında akım daha büyüktür. Çünkü akım ilk onlara geliyor.
9. $1 > 2 > 3$ 'dür.
10. $1 > 2 > 3$. nokta
11. $1 > 2 > 3$. nokta

Category 3 (Deficient or not meaningful)

1. $1=2=3$. Çünkü devredeki akımlar A ve B ampullerine eşit miktarda veriliyor.
2. Akımların büyüklükleri aynı, hepsi aynı boydadır, hepsi aynı büyüklüktedir.
3. Şekil 7'de akımların hepsi eşittir.
4. $1=2=3$ Çünkü devreden geçen akım birbirine eşit. Pilin voltajından dolayı devreden akım miktarı aynı geçer.
5. 1, 2, 3 akımlarının büyüklükleri aynıdır.
6. $1=2=3$. Akımlar eşit ayrıldığı için.
7. 1 ve 2'deki akım eşit. Çünkü seri bağlıdır. 3'de ise daha azdır.
8. 1 ve 2'de akımlar daha fazladır. 3'de ise daha azdır
9. Ana kollarda daima akım fazladır. 1 ve 2 fazla 3 ise azdır.
10. 1. nokta > 3 . nokta > 2 . nokta
11. $1 > 3 > 2$. Çünkü akım önce 1 sonra 3 daha sonra 2 gider.

Question 7.b

Category 1 (Bulbs A and B are the same in brightness because the same amount of current passes through bulbs A and B)

1. Eşittir. Çünkü A ve B birbirine paraleldir.
2. İkisi de aynı yanar. Çünkü ikisi de aynı elektrikli.
3. Eşittir. Çünkü burada A ve B ampulleri birbirine paralel olduğu için.
4. İkisinin de parlaklığı aynıdır.
5. Eşit parlaklıkta yanar. Paralel bağlamadır.
6. Eşittir. Çünkü A ve B ampulleri birbirine paraleldir.
7. A ve B'nin parlaklıkları aynı. Çünkü aynı boyda, aynı büyüklükte oldukları için.

8. Aynı parlaklıktadırlar. Akım tam ikiye bölünür.
9. A ve B ampullerinin parlaklıkları aynı diye düşünüyorum Çünkü paralel bağlılar.
10. Her ikisi de aynı yanar. Çünkü elektrik akımı hepsini aynı yakar.
11. A ve B eşittir. Çünkü A ve B'ye aynı akımlar gider.
12. İkisinin de parlaklığı eşittir. Birbirine karşılıklı ışık verirler.
13. Parlaklıkları aynı. Aynı akım gelir.
14. Eşit akım geçtiği için eşit parlaklıktadırlar.
15. Dirençleri verilmediği için tam bir sayı verilmemiştir ama A ve B ampullerinin parlaklıkları aynıdır. Çünkü paralel devreye bağlıdırlar.
16. Dirençleri verilmediği için tam bir sayı verilmemiştir ama A ve B ampullerinin parlaklıkları aynıdır. Çünkü paralel devreye bağlıdırlar.
17. Dirençleri verilmediği için tam bir sayı verilmemiştir ama A ve B ampullerinin parlaklıkları aynıdır. Çünkü paralel devreye bağlıdırlar.
18. $A=B'$ dir. Çünkü 2 ve 3 akımlarında enerjiler eşittir.
19. İkisi de aynı parlaklıktadır. Çünkü akım ikisine de aynı anda gelir.
20. $A=B'$ dir. Paralel bağlı ampuller akımlar eş olduğundan aynı şiddetle yanar. (özdeş ise)
21. A ve B' de akım yarıya düştüğü için ikisi de eşittir. Aynı parlaklıkta olurlar.
22. A ve B ampullerinin parlaklıkları aynıdır. Devreden geçen akımdan dolayı
23. A ve B ampullerinden aynı akım geçtiği için parlaklıkları aynıdır.
24. Eşittir. Aynı akım geçiyor.
25. Parlaklıklar aynıdır. Çünkü her ikisine de aynı akım gelir.
26. A ve B ampulleri aynı parlaklıkta yanmıştır. 1. noktadan sonra akım eşit olarak paylaşılmıştır.
27. Eşittir. Aynı akım geçiyor.
28. $A=B'$ dir. Çünkü ikisinden de geçen akımlar eşittir
29. Ampullerin parlaklıkları aynıdır. Üzerlerinden geçen akımlar eşittir.
30. Eşittir. Aynı akım geçiyor.
31. $A=B'$ dir. Çünkü ikisinden de geçen akımlar eşittir
32. $A=B'$ dir. Çünkü ikisinden de $i/2$ ' lik akım geçer.
33. Eşit parlaklıkta yanar. Çünkü üzerinden geçen akım eşittir.
34. A ve B lambalarının parlaklıkları aynıdır. Çünkü devre paraleldir.
35. $A=B$
36. $A=B$
37. $A=B$
38. $A=B$ akım eşit
39. $A=B$ akım eşit
40. $A=B$
41. $A=B$
42. $A=B$
43. $A=B$
44. $A=B$

45. A ve B paralel oldukları için gerilimleri eşittir. Bundan dolayı parlaklıkları eşittir.
46. A ve B paralel oldukları için gerilimleri eşittir. Bundan dolayı parlaklıkları eşittir
47. A ve B paralel oldukları için gerilimleri eşittir. Bundan dolayı parlaklıkları eşittir

Category 2 (Bulb A is brighter because bulb A is closer to the battery)

1. A ampulü daha parlak yanar B ampulüne göre
2. A B'ye göre parlaktır.
3. A ampulü daha parlak. 1 ve 3. akımlar buraya uğradığı için.
4. A lambası daha çok parlaklık gösterir. Çünkü pile daha çok yakındır.
5. A B'den parlaktır. Çünkü pilden çıkan akım önce A alır daha sonra ise B alır.
6. A daha parlaktır. B'ye göre akım fazladır.
7. A daha parlaktır. Çünkü devrede en çok akım ondan geçer
8. A ampulü daha parlaktır.
9. A'daki ışık parlaktır. B'deki ışık ise daha azdır. Sebebi A'daki akım daha fazladır. Daha fazla parlaklık gösterir.
10. A B'den daha parlak yanar
11. A ampulü B ampulünden parlaktır.
12. A daha parlaktır. Pile daha yakındır.
13. A B'den daha parlaktır. Çünkü akım ilk önce A'ya sonra B'ye gelir.
14. A B'den daha parlaktır. Çünkü akım ilk önce A'ya sonra B'ye gelir

Category 3 (Bulb B is brighter because current first passes through bulb B)

1. B ampulü daha parlaktır. Çünkü akım ilk başta ondan geçiyor.
2. B'de parlaklık daha fazladır.
3. B daha parlaktır. Çünkü akım ilk ona geliyor.
4. B lambası A lambasından daha parlaktır. Devreden gelen akım ilk olarak B noktasından geçer.
5. B ampulü daha parlaktır. Çünkü en başta akım ondan geçiyor.
6. B akımı daha parlak. Çünkü ilk başta akım ona gelir.

Category 4 (Deficient or not meaningful)

1. A az parlaktır. Yakındır. B daha parlaktır. Uzaktır.

Question 8

Category 1 (Bulb A in Figure 8 is brighter because all of the current is consumed by only bulb A in Figure 8)

1. Parlaklıkları eşit değildir. Çünkü Şekil 7'de iki ampul vardır. Paralel bağlıdır. Şekil 8'de ise sadece bir ampul vardır.
2. Şekil 8'deki lamba daha parlaktır. Çünkü tek lamba var.

3. Şekil 7'deki lamba az yanar. Çünkü iki devre olduğu için A lambası fazla yanmaz.
4. Şekil 7'de daha az, çünkü; iki tane lamba olduğu için.
5. Şekil 8'de daha çok parlaklık verir. Çünkü 1, 3 gibi noktalardan geçmediği için çok parlaklık verir.
6. 7. şekildeki lambanın parlaklığı daha azdır. Çünkü, şekil 8'deki akım sadece A lambasından geçiyor.
7. $7 < 8$
8. Şekil 8'de lamba daha parlaktır. Çünkü onda tek bir lamba var.
9. Şekil 8'deki A lambası daha parlaktır. Çünkü başka ampul olmadığı için daha parlaktır.
10. Şekil 8'deki büyüktür. Çünkü şekil 7'deki akımı B lambası da kullanıyor. Şekil 8'de akım direkt A lambasına veriliyor.
11. 7. şekilde daha az yanar. Çünkü; akım 2'ye ayrılır. 8'de ise sadece doğru gelir ve gider.
12. Şekil 7'deki daha az yanar. Şekil 8 iyi yanar. Sebebi Şekil 7 2W elektrik olması şekil 8'de 1 W elektrik akımı vardır.
13. Şekil 8'de büyük, şekil 7'de küçüktür. Çünkü şekil 7'de 2 tane ampul kullanılmış.
14. Şekil 7'de akım iki lambayı yaktığı için parlaklığı azdır. Fakat şekil 8'de akım sadece bir ampulü yaktığı için şekil 7'den parlaktır.
15. Şekil 8'de daha parlaktır. Çünkü şekil 8'de B ampulü kalkmış.
16. 8 daha parlaktır. Çünkü elektrik yükü daha fazladır.
17. Parlaklıkları eşit değildir. Çünkü şekil 7'de 2 ampul vardır. Paralel bağlıdır. Şekil 8'de ise sadece 1 ampul var.
18. Şekil 7'deki ampul daha sönük yanar.
19. 7'deki lamba 8'deki lambadan daha park değildir.
20. Şekil 8'de tek ampul olduğu için daha parlak yanabilir.
21. $8 < 7$. Çünkü 7'de akım B lambasına da gidiyor. Ancak 8'de sadece A lambasına gidiyor.
22. Şekil 8'deki A lambası daha parlaktır. Çünkü akım yüksektir.
23. 7'deki akım az parlar.
24. 7'deki akım azdır. Çünkü şekil 8'de A lambasına etki eden akım daha çoktur.
25. Şekil 8'de daha parlak. Çünkü şekil 7'de 2 ampul bağlanmıştır. Bu yüzden akım ikisine de gelecektir.
26. Şekil 8'deki A daha parlaktır. Çünkü o daha çok ışık alır. Ama diğerinde B ampulüde olduğu için B'ye de ışık gider ve ışığı yarıya paylaşırlar.
27. Şekil 8'deki şekil 7'den daha parlaktır.
28. Şekil 7'de akım direkt A lambasına gelmez. Bu yüzden 8 daha parlaktır.
29. Şekil 8'deki B lambası daha parlaktır. Şekil 7'deki A lambasına gelen akım daha az olduğu için parlak değildir.
30. Şekil 7'de akım ikiye bölünüyor. Bunun için daha az parlak.
31. Şekil 8'deki A lambasına direkt olarak akım gider. Diğer kolda ise kısa devre olur.
32. Şekil 8'de A lambası daha parlaktır.

33. Şekil 8'de daha parlak, çünkü; seri bağlı devrelerde lambalar paralel bağlı olanlardan daha parlaktır.
34. Şekil 7'de daha az parlaktır. Çünkü 7'de A'da parlaklık normalin yarısıdır.
35. 8'deki A lambası daha parlaktır. Çünkü akım direkt gelir. 7'deki A lambasına akım direkt gelmez.
36. Şekil 8'deki daha parlaktır. Çünkü 7. şekilde iki ampul vardır.
37. 8'de daha parlaktır.

Category 2 (They are the same in brightness because current is divided into two branches in both figures)

1. Aynı parlaklıkta olur.
2. Parlaklıkları aynıdır.
3. Aynıdır çünkü akım gücü aynı
4. Paralel oldukları için parlaklıkları aynıdır.
5. İkisi de aynı. B ampülü alınmasına rağmen orada tel akımın ikiye bölünmesine neden olur. Ampul olmasa da oradan akım geçer.
6. A lambalarının parlaklıkları her iki devrede de eşittir. Çünkü akım her iki devrede de ikiye ayrılmıştır.
7. İkisi de aynı parlaklığı gösterir.

Category 3 (Bulb A in Figure 7 is brighter because current does not pass through bulb A in Figure 8)

1. 8 yanmaz, 7 yanar. Çünkü şekil 8'de kısa devre olur. Şekil 7'de lambalar yanar.
2. 8'de kısa devre olur ve A yanmaz.
3. Şekil 8'deki A lambası yanmaz. Çünkü akım direnci sevmez. Direnç olmayan yolu seçer. Şekil 7'deki A lambası yanar, çünkü, üzerinden bir akım geçer.
4. Şekil 7'de akım 3 noktasından geçerek A lambasından geçer. Ancak şekil 8'de akımı dirençle karşılaşmak istemeyeceğinden A'ya uğramaz. Direkt telden geçer.
5. Şekil 7'deki daha parlaktır. Şekil 8'deki yanmaz. Çünkü kısa devre yapar.
6. Şekil 7'de A daha parlaktır. Şekil 8'de ampul yanmaz. Çünkü kısa devre yapar.
7. Şekil 7'de A daha parlaktır. Şekil 8'de ampul yanmaz. Çünkü kısa devre yapar.
8. Şekil 7'deki ampul yanar, ama şekil 8'de akım ampulden geçmez, düz telden geçer. Bu yüzden şekil 8'deki yanmaz.
9. Şekil 8'deki lambaya akım gitmez ve devre kısa devre olur. Akım her zaman boş teli seçer. Dirençli tele geçmez.
10. Şekil 7'deki lambanın parlaklığı daha büyüktür. Çünkü akım gitmez, ve kısa devre olur. Akım daima boş teli seçer.
11. Şekil 7'deki lambanın parlaklığı daha büyüktür. Çünkü akım gitmez, ve kısa devre olur. Akım daima boş teli seçer.
12. $r_A > r_B$ 8'de ampul yanmaz. Akım boş telden geçer.
13. $r_A > r_B$ 8'de ampul yanmaz. Akım boş telden geçer.

14. $7_A > 8_A$ 8'de ampul yanmaz. Akım boş telden geçer.
15. $7_A > 8_A$ 8'de ampul yanmaz. Akım boş telden geçer.
16. $7_A > 8_A$ 8'de ampul yanmaz. Akım boş telden geçer.
17. $7_A > 8_A$ 8'de ampul yanmaz. Akım boş telden geçer.
18. Şekil 8'de A ampulü yanmaz. Boş telden geçip gider.
19. Şekil 8'de A ampulü yanmaz. Boş telden geçip gider.
20. Şekil 8'de A ampulü yanmaz. Boş telden geçip gider.
21. $7_A > 8_A$ 8'de ampul yanmaz. Akım boş telden geçer.
22. $7_A > 8_A$ 8'de ampul yanmaz. Akım boş telden geçer.
23. $7_A > 8_A$ 8'de ampul yanmaz. Akım boş telden geçer.
24. $7_A > 8_A$ 8'de ampul yanmaz. Akım boş telden geçer.
25. $7_A > 8_A$ 8'de ampul yanmaz. Akım boş telden geçer.
26. $7_A > 8_A$ 8'de ampul yanmaz. Akım boş telden geçer.
27. $7_A > 8_A$ 8'de ampul yanmaz. Akım boş telden geçer.
28. Şekil 7'deki lamba daha parlak yanar, çünkü; akım boş direnci seçerek oradan gitmek ister.

Category 4 (Deficient or not meaningful)

1. Şekil 7'deki A daha parlaktır. Direnç az, akım fazla.
2. En parlak 7 sonra 8'dir. Sebebi 7'nin devresi daha büyük olduğu için en büyük 7'dir.
3. Şekil 7'de A lambası daha parlaktır.
4. Şekil 7'deki ampul şekil 8'deki ampulden daha parlaktır.

Question 9

Category 1(Two terminals of the battery are connected to the bulb)

1. + ve - uçlardan ampulü tel çekimi ve bu tellerden akım gitmesi
2. Pilin iki tarafından da ampule bağlı tel vardır. Ampule ışık verir. Bir de pilin bitmemiş olmasıdır.
3. Çünkü pilin 2 tarafından da bağlantı kurmuştur.
4. İletken telin hem + hem de - ucuna bağlanmak
5. Pilin + ve - durumunda olması
6. Ampule bağlı teller pilin hem + hem de - ucuna değdiği için ışık verir.
7. Çünkü ampul pilin + ve - kutuplarına bağlıdır.
8. Pilin + ve - kutbunda iletken tel ampul takılı duya bağlıdır.
9. Çünkü +, - uçlara değişiyor, haliyle yanar.
10. Ampule bağlı bulunan kablolar pilin + ve - yönlerine bağlanmış ve akım sağlanmış
11. Ampulün ışık vermesinin sebebi pildir. Pil olmasaydı ampul yanmazdı.
12. Pilde + uçtan çıkan telin bir ucu duyun sol tarafına, - uçtan çıkan tel duyun sağ tarafına takıldığı için lamba yanar.
13. Ampul pilin her iki ucuna bağlı olduğu için

14. Duya bağı olan piller hem + ucuna hem de – ucuna bağıdır. Üzerinden bir akım geçer. Pile bağı olduğu için gerilim vardır.
15. Pil + ve – kutuplardan bağılanıyor ve pilden geçen akım ampulü ulaşıyor.
16. Telerin + ve – uçlara bağılanıp, pilden güç alınmasıdır.
17. Enerji veren bir pilin olması ve devre elemanlarının tam olmasıdır.
18. Hem + hem de – devrelerine bağılanmıştır.
19. Ampulün iki ucunun da pile bağı olmasıdır.
20. Pil ve ampul birbirlerine doğıru kutuplardan bağılanmış
21. Ampulün iki ucunun da pile bağı olmasıdır.
22. Akım +’dan –’ye doğırudur. Buda ampulün ışık vermesine etkindir. Çünkü buradaki pilden geçen akım pozitiften negatife doğırudur.
23. Akım +’dan –’ye doğırudur. Buda ampulün ışık vermesine etkindir. Çünkü buradaki pilden geçen akım pozitiften negatife doğırudur
24. Bir üreteç var ve ampul bu üretece + ve – kutuplardan bağılı. Buda ampulün yanması için yeterli.
25. Akım + kutuptan çıkıp – kutba gider
26. Akım + kutuptan çıkıp – kutba gider
27. Akım + kutuptan çıkıp – kutba gider
28. Teller pilin her iki tarafına bağılanarak döngü sağılanmıştır. Ampulün belirli bir dirence sahip olması
29. Ampulün + ve –uca bağılanması, devrenin tamamlanması
30. Akım + kutuptan çıkıp – kutba gider
31. Akım + kutuptan çıkıp – kutba gider
32. Akım + kutuptan çıkıp – kutba gider
33. Akım + kutuptan çıkıp – kutba gider
34. Akım + kutuptan çıkıp – kutba gider. Bu yüzden ışık saçar.
35. Ampul üretecin iki cunu da bağılıdır.
36. Akım + kutuptan çıkıp – kutba gider
37. Akım + kutuptan çıkıp – kutba gider.
38. Akım + kutuptan çıkıp – kutba gider
39. Akım + kutuptan çıkıp – kutba gider
40. Yanması için elektronların hareket etmesi ve akım oluşması gerekir. Bunun içinde lambalar pilin + ve – ucuna bağılanır. Bu yüzden ışık verir.
41. Pil vardır. İletken tel vardır. Pilin + ve – uçlarına bağılı ampulün içinde de filaman vardır.

Category 2 (The bulb takes electricity from both of the positive and negative terminals)

1. Her iki kutuptan da enerji alıyor. Yalıtkan tellerle bağılanmış
2. Ampul pilden hem + hem de – yük aldığı için
3. Çünkü ampule hem + hem de – taraftan güç gelmektedir.
4. Çünkü ampul hem + hem de – yüklü uçtan elektrik aldığı için
5. İki ucunda elektrik vermesi

6. + ve – yükle bağlanmıştır.
7. İki kutuptan da akım gelmesi ve pildir.
8. Her iki kutuptan da enerji alması
9. Pil, + ve – yükler
10. + ve – birbirini çektiği için ampul daha iyi ışık verir.
11. + ve – yükler birleşerek bir enerji ortaya çıkar, buda ampulün içinde çıkardığı enerji ışık enerjisine döner, bu yüzden yanar.
12. Pillerin uçlarındaki yükler
13. Nedeni pilden + ve – yük alarak ampulün ışık vermesinin sağlanmasıdır.
14. Pildeki enerji akım kuvveti yanmasını sağlar. Yükler pile geçer.
15. Elektrik akımı hem + hem de- olduğu için yanar.
16. Ampul hem + hem de -'ye bağlandığından, iki devreden de ampule akım gelir.
17. + ve – yüke bağlanmış olması
18. Hem + hem de – yüklere bağlı

Category 3 (A connection between a bulb and the negative terminal of a battery is enough to light up a bulb)

1. Ampul ışık verir, çünkü bir pile bağlı pilin – ucundan gelen akım ampulün yanmasını sağlar.

Category 4 (A connection between a bulb and the positive terminal of a battery is enough to light up a bulb)

1. + uca bağlı olduğu için yanar.

Category 5 (Deficient or not meaningful)

1. Çünkü + ve – birbirini sevmediği için elektronu dışarıya verir ve ampulün parlamasına sebep olur.

Question 10

Category 1 (It changes in the first case, but not in the second case because only R_1 affects the bulb)

1. $V=IR$. Akım her yerden aynı geçer. Yalnız R 'ler etkiler. R_1 etkiler lambayı çünkü, ilk akım oradan geçer.
2. $V=IR$. Akım her yerden aynı geçer. Yalnız R 'ler etkiler. R_1 etkiler lambayı çünkü, ilk akım oradan geçer.
3. $V=IR$. Akım her yerden aynı geçer. Yalnız R 'ler etkiler. R_1 etkiler lambayı çünkü, ilk akım oradan geçer.
4. İlk durum: Azalır. Akım daha büyük bir dirençten etkileniyor. İkinci durum: Değişmez. Ampulün etkilendiği direnç R_1 .

5. İlk durum: Azalır. Akım daha büyük bir dirençten etkileniyor. İkinci durum: Değişmez. Ampulün etkilendiği direnç R_1 .
6. İlk durum: Azalır. Akım daha büyük bir dirençten etkileniyor. İkinci durum: Değişmez. Ampulün etkilendiği direnç R_1 .
7. İlk durum: Azalır. Akım daha büyük bir dirençten etkileniyor. İkinci durum: Değişmez. Ampulün etkilendiği direnç R_1 .
8. İlk durum: Azalır. Akım daha büyük bir dirençten etkileniyor. İkinci durum: Değişmez. Ampulün etkilendiği direnç R_1 .
9. İlk durum: Azalır. Akım daha büyük bir dirençten etkileniyor. İkinci durum: Değişmez. Ampulün etkilendiği direnç R_1 .
10. İlk durum: Azalır. Akım daha büyük bir dirençten etkileniyor. İkinci durum: Değişmez. Ampulün etkilendiği direnç R_1 .
11. İlk durum: Azalır. Akım daha büyük bir dirençten etkileniyor. İkinci durum: Değişmez. Ampulün etkilendiği direnç R_1 .
12. İlk durum: Azalır. Akım daha büyük bir dirençten etkileniyor. İkinci durum: Değişmez. Ampulün etkilendiği direnç R_1 .
13. İlk durum: Azalır. Akım daha büyük bir dirençten etkileniyor. İkinci durum: Değişmez. Ampulün etkilendiği direnç R_1 .
14. İlk durum: Azalır. Akım daha büyük bir dirençten etkileniyor. İkinci durum: Değişmez. Ampulün etkilendiği direnç R_1 .
15. İlk durum: Azalır. Akım daha büyük bir dirençten etkileniyor. İkinci durum: Değişmez. Ampulün etkilendiği direnç R_1 .
16. İlk durum: Azalır. Akım daha büyük bir dirençten etkileniyor. İkinci durum: Değişmez. Ampulün etkilendiği direnç R_1 .
17. İlk durum: Azalır. Akım daha büyük bir dirençten etkileniyor. İkinci durum: Değişmez. Ampulün etkilendiği direnç R_1 .

Category 2 (It changes in the second case, but not in the first case because only R_2 affects the bulb)

1. İlk durum: R_1 direncinin 20 ohm olması bir şeyi değiştirmez. Çünkü; akımın geldiği son noktadır. İkinci durum: R_2 direncinin 20 ohm olması ile ampulün parlaklığı azalma gösterebilir.

Category 3 (It does not change in both cases)

1. Her iki durumda da değişiklik olmaz. Çünkü seri bağlıdır.
2. Değişiklik olmaz. Her durumda da 20 ohm'luk direnç var.
3. Değişiklik olmaz. Aynı akımı iletmediği için.
4. Her iki durumda da değişiklik olmaz.
5. Aynı dirençler bağlıdır. Değişiklik olmaz.
6. Aynı dirençler bağlıdır. Değişiklik olmaz.

7. Aynı dirençler bağlıdır. Değişiklik olmaz.
8. Aynı dirençler bağlıdır. Değişiklik olmaz.

Category 4 (Deficient or not meaningful)

1. İlk durum: $10+10=20$ ohm. Sonra $10+20=30$ ohm. İkinci durum: $10+10=20$ ohm. Sonra $10+20=30$ ohm. Evet olur. Devreden geçen akım şiddeti değişir.
2. Her iki durumda da değişiklik olur. Çünkü, üretcin akımı öbür dirence de gideceği için dirençlerin ohm'u düşer.
3. İlk durum: Mesela devrenin gerilimi 40 V ve lambanın direnci de 10 ohm ise bu durumda devreden bir akım geçer ve ampulün gerilimi 10 V'dur. İkinci durum: $40 = IR_{es}$, $40 = I.40$, $I=1$ ve $V_{lamba}=1.10=10V$ olur. Yani parlaklıkta bir değişiklik olmaz.
4. İlk durum: Mesela devrenin gerilimi 40 V ve lambanın direnci de 10 ohm ise bu durumda devreden bir akım geçer ve ampulün gerilimi 10 V'dur. İkinci durum: $40 = IR_{es}$, $40 = I.40$, $I=1$ ve $V_{lamba}=1.10=10V$ olur. Yani parlaklıkta bir değişiklik olmaz.
5. İlk durum: Mesela devrenin gerilimi 40 V ve lambanın direnci de 10 ohm ise bu durumda devreden bir akım geçer ve ampulün gerilimi 10 V'dur. İkinci durum: $40 = IR_{es}$, $40 = I.40$, $I=1$ ve $V_{lamba}=1.10=10V$ olur. Yani parlaklıkta bir değişiklik olmaz.
6. İkinci durumda ampul daha parlak. Çünkü direnç arttıkça parlaklık artar.
7. İlk durum: Daha parlak yanar. Çünkü direnç daha fazladır. Ampulden direnç geçmektedir. İkinci durum: Daha sönük yanar. Direnç ampule uğramamıştır.
8. İlk durum: Daha parlak yanar. Çünkü direnç daha fazladır. Ampulden direnç geçmektedir. İkinci durum: Daha sönük yanar. Direnç ampule uğramamıştır.
9. İlk durum: Daha parlak yanar. Çünkü direnç daha fazladır. Ampulden direnç geçmektedir. İkinci durum: Daha sönük yanar. Direnç ampule uğramamıştır.
10. İlk durumda normal bir parlaklıkla yanar. İkinci durumda daha parlak yanar. Direnç arttıkça parlaklık artar.

Question 11

Category 1 ($R_{KL}>R_{MN}$)

1. İlk durumda bağlantı düz olduğu için direnç daha fazladır. İkincisinde paralel olduğu için direnç daha azdır.
2. İlk durumda bağlantı seri olduğu için direnç daha fazladır. İkincisinde paralel olduğu için direnç daha azdır.
3. $R_{kl}>R_{mn}$
4. İlk durumda bağlantı düz olduğu için direnç daha fazladır. İkincisinde paralel olduğu için direnç daha azdır.
5. İlk durumda bağlantı seri olduğu için direnç daha fazladır. İkincisinde paralel olduğu için direnç daha azdır.

6. İlk durumda bağlantı seri olduğu için direnç daha fazladır. İkincisinde paralel olduğu için direnç daha azdır.
7. R_{KL} seri bağlı olduğu için eşdeğer direnci daha fazladır.
8. $R_{KM} > R_{MN}$
9. $KL > MN$. K-L seri bağlıdır. M-N ise paralel bağlıdır.
10. $R_{KL} = R_1 + R_2$ ve $R_{MN} = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2)$ 'dir. Bundan dolayı $R_{KL} > R_{MN}$
11. $R_{KL} = R_1 + R_2$ ve $R_{MN} = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2)$ 'dir. Bundan dolayı $R_{KL} > R_{MN}$
12. Şekil 11 seri bağlıdır. Eşdeğer direnç dirençlerin toplamıdır. Diğer şekil ise paraleldir. Eşdeğer direnç azalır. Bundan dolayı ilk eşdeğer direnç daha büyüktür.
13. Şekil 11 > Şekil 12. Çünkü güç yarıma düşer. Şekil 11'de ise düz bağlıdır.
14. $R_{KL} = R_1 + R_2$ ve $R_{MN} = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2)$ 'dir. Bu durumda aynı olamaz.
15. Birincisi seri bağlıdır. İkincisi paralel.
16. Birincisi $2R_1$. İkincisi ise $R_1/2$ 'dir. $R_{esKL} > R_{esMN}$
17. İlki seri bağlı olduğu için daha büyüktür.
18. Birincisi $2R_1$. İkincisi ise $R_1/2$ 'dir. $R_{esKL} > R_{esMN}$
19. $(R_1 + R_2) > (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2)$ 'dir. Bundan dolayı $R_{KL} > R_{MN}$
20. $R_{KL} = R_1 + R_2$ ve $R_{MN} = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2)$ 'dir. Bundan dolayı $R_{KL} > R_{MN}$
21. $R_{KL} = R_1 + R_2$ ve $R_{MN} = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2)$ 'dir. Bundan dolayı $R_{KL} > R_{MN}$
22. $R_{KL} = R_1 + R_2$ ve $R_{MN} = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2)$ 'dir. Bundan dolayı $R_{KL} > R_{MN}$
23. $R_{KL} = R_1 + R_2$ ve $R_{MN} = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2)$ 'dir. Bundan dolayı $R_{KL} > R_{MN}$
24. $R_{KL} = R_1 + R_2$ ve $R_{MN} = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2)$ 'dir. Bundan dolayı $R_{KL} > R_{MN}$
25. $R_{KL} = R_1 + R_2$ ve $R_{MN} = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2)$ 'dir. Bundan dolayı $R_{KL} > R_{MN}$
26. $R_{KL} = R_1 + R_2$ ve $R_{MN} = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2)$ 'dir. Bundan dolayı $R_{KL} > R_{MN}$
27. $R_{KL} = R_1 + R_2$ ve $R_{MN} = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2)$ 'dir. Bundan dolayı $R_{KL} > R_{MN}$
28. $R_{KL} = R_1 + R_2$ ve $R_{MN} = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2)$ 'dir. Bundan dolayı $R_{KL} > R_{MN}$
29. $R_{KL} = R_1 + R_2$ ve $R_{MN} = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2)$ 'dir. Bundan dolayı $R_{KL} > R_{MN}$
30. Birincisi $2R_1$. İkincisi ise $R_1/2$ 'dir. $R_{esKL} > R_{esMN}$
31. Birincisi $2R_1$. İkincisi ise $R_1/2$ 'dir. $R_{esKL} > R_{esMN}$
32. Birincisi $2R_1$. İkincisi ise $R_1/2$ 'dir. $R_{esKL} > R_{esMN}$
33. Birincisi $2R_1$. İkincisi ise $R_1/2$ 'dir. $R_{esKL} > R_{esMN}$

Category 2 ($R_{KL} = R_{MN}$)

1. İkisi de eşittir. İlkinde seri, ikincinin de paraleldir.
2. İkisi de eşittir
3. Eşittir. Çünkü, ikisi de aynı şekilde akım iletir ve ulaşır.
4. $R_{KL} = R_{MN}$

Category 3 ($R_{KL} < R_{MN}$)

1. Seri ve paralel bağlı oldukları için eşdeğer paralelde daha çoktur.

Question 12

Category 1(Yes, it lights up)

1. Verir, çünkü iki tarafla da bağlantı kurulmuştur.
2. Işık verir. Her iki uca da iletken tel değiyor. Ve ampule iletken tel değiyor.
3. Işık verir. Çünkü düz bağlanmıştır.
4. Işık verir. Ampul telle bağlandığı için + ve – yüklerle dokundurulduğu için yanar.
5. Işık verir. Ampul telle bağlandığı için + ve – yüklerle dokundurulduğu için yanar.
6. Verir, çünkü ampul iki kutba da bağlıdır.
7. Verir, çünkü elektrik teli bağlanmıştır.
8. Verir. Çünkü kablo hem – hem de+ değiyor. Değince de yanar.
9. Verir. Elektrik devresi hem – yüke hem de + yüke bağlandığı için ışık verir.
10. Verir. Elektrik devresi hem – yüke hem de + yüke bağlandığı için ışık verir.
11. Verir. Çünkü pilin iki ucu da bağlı.
12. Işık verir. Çünkü -, + kutupları ampulü yakar.
13. Işık verir. Hem alt tarafından elektrik yükü verilmiş hem de üst tarafından – ve + elektrik yükünün birleşmesiyle ampul ışık verir.
14. Evet verir, çünkü pilden + ve – yük aldığı için ışık verir.
15. Verir. Çünkü teller + ve – uçlarına ve ampule bağlanmıştır.
16. Ampul ışık verir. Çünkü kablonun ucu + ve – kutba da değiyor.
17. Işık verir. Çünkü kablonun + kısmının ucu – kısmına değdiriliyor.
18. Tabi ki ışık verir. Çünkü her iki kutba da bağlı.
19. Işık verir. Çünkü lambaya temas halinde. Bağlı olduğu için.
20. Yanar. Çünkü ampul üretece bağlı.
21. Ampul ışık verir. Çünkü – uca bağlanmıştır.
22. Verir. Çünkü teller + ve – uçlarına ve ampule bağlanmıştır.
23. Verir. Teller hem + hem de – geçer.
24. Verir. Çünkü teller + ve – uçlarına ve ampule bağlanmıştır.
25. Verir. Eğer telin ucu sadece +'ya olsaydı ışık vermezdi ama telin bir ucu da –'de. Buda telin ışık vermesine sebep olur.
26. Işık verir. Çünkü ampul pilin hem + hem de- ucuna bağlı.
27. Ampul yanar. Akım + ve – yüklerle bağlanıp ampule gitmiştir.
28. Işık verir. Çünkü ampul pilin – ucuna ve + ucuna bağlanmıştır.
29. Verir. Çünkü – uca bağlanmıştır.
30. Verir. Çünkü – uca bağlanmıştır.
31. Verir. İletken tel yardımıyla.
32. ışık verir. Çünkü lambaya ister +'dan ister –'den akım gelebilir.
33. Verir. Çünkü her iki kutuptan da akım alıyor.

34. Işık verir. Tel sayesinde elektron geçişi sağlanır.
35. Evet ışık verir. Çünkü tel sayesinde elektron geçişi olur.
36. Evet ışık verir. Çünkü tel sayesinde elektron geçişi olur. Telin bir ucu + bir ucu – uca bağlanmıştır.
37. Yanar. + ve –'ye değer.
38. Yanar. + ve –'ye değer.
39. Yanar. + ve –'ye değer.
40. Yanar. + ve –'ye değer.
41. Yanar. + ve –'ye değer.
42. Ampul – ve +'ya bağlı olduğu için yanar.
43. Ampul ışık verir. Çünkü akım +'dan –'ye gitmektedir.
44. Ampul ışık verir. Çünkü akım +'dan –'ye gitmektedir.
45. Yanar. + ve –'ye değer.
46. Ampul ışık verir.
47. Yanar. + ve –'ye değer.
48. Işık verir. Çünkü ampul pilin hem + hem de- ucuna bağlı.
49. Yanar. + ve –'ye değer.
50. Yanar. + ve –'ye değer.
51. Yanar. + ve –'ye değer.

Category 2 (No, it does not light)

1. Vermez. Kısa devre yapar.
2. Işık yanmaz. Çünkü ampule değmez. Kısa devre yapar, ışık vermez.
3. Vermez, çünkü; tek kablo ile hem + hem de – kutuptan enerji alınmaz. Kabloda + ve – enerjiler birbirine karışır.
4. Vermez, sebebi de tel pillerin ortasından değil, ucuna takılması gerekir. Bu yüzden ışık vermez.
5. Vermez.
6. Vermez, çünkü...
7. Yanmaz, çünkü iletken tel ampule değmiyor.
8. Vermez. Çünkü kısa devre yapar.
9. Işık vermez. Çünkü tel ampule değmemiş.
10. Vermez. Ampul direkt bağlanmış
11. Vermez, çünkü kısa devre yapar.
12. Işık vermez. Çünkü ampul bağlama şekli doğru değildir. Kısa devre yapar, yanmaz. Ampul duya bağlanmamıştır.
13. Işık vermez. Çünkü kısa devre yapar.
14. Ampul ışığı vermez. Çünkü kısa devre yapar. Vermez, çünkü kısa devre yapar.
15. Kısa devre yapar vermez.
16. Kısa devre yapar. Çünkü – yükü yine + uca geri verir. Ampule etki etmez.
17. Vermez, çünkü ampule doğru olarak bağlanmamış.

18. Vermez. Çünkü devrede kısa devre var. Lambanın yan tarafına değiştirilmelidir.
19. Vermez. Çünkü devrede kısa devre var. Lambanın yan tarafına değiştirilmelidir.
20. Hayır vermez. Çünkü + uca temas yoktur.
21. Vermez, Çünkü iletken tel pilin + ve – ucuna bağlı değil.
22. Işık vermez. Ampul – uca bağlı değil.
23. Vermez. Çünkü ampule bağlı uç ampulün uç kısmına bağlanması lazım.
24. Vermez.
25. Vermez.
26. Vermez. Çünkü – uç duya bağlanmamış.
27. Vermez. Bir telin iki kutba değmesi yüzünden yanmaz.
28. Işık vermez. Nedeni tellerin uçlarının tam olarak değmesi gerekir. + ve – uçlarına tel dokundurulursa ampul yanar.

Question 13

Category 1 ($i_1 > i_2 > i_3$ because most of the current passes straight the branch at which point 3 is on)

1. $i_1 > i_2 > i_3$
1. Devre 1’de akım büyüktür. Sonra 3’de, sonra da 2’de.
2. Önce 1, sonra 3, sonra da 2’ye gider. Çünkü elektrik akımı hep düz gider.
3. $i_1 > i_2 > i_3$
4. 1’in akım şiddeti büyüktür. Çünkü ok işareti 1’den geçerek diğer sayılara geçer. 3’ün akımı 2’den fazladır. Çünkü elektrik akımı hiç kıvrılmadan düz giderse daha çabuk ulaşır. 2 akım şiddeti en azdır.
5. $i_1 > i_2 > i_3$. 1 noda akım daha önce olduğu için büyüktür. 3 numarada akım birden direkt geldiği için fazladır. 2’de daha azdır.
6. $i_1 > i_2 > i_3$
7. 1. akım > 3. akım > 2. akımdır.
8. $i_1 > i_2 > i_3$. Çünkü ilk olarak 1’e, ikinci 3’e, 3. de 2’ye akım gider.
9. $i_1 > i_2 > i_3$. Akımın yönü 1 yönünde, ondan 1 büyüktür.
10. $i_1 > i_2 > i_3$. Akım ilk 1’e, oradan 3’e, sonra 2’ye gittiği için.

Category 2 ($i_1 > i_2 = i_3$ because current divides equally at the junction)

1. Direncin fazla olduğu yerde akım az, direncin az olduğu yerde akım fazladır.
2. $i_1 > i_2 = i_3$
3. $i_1 > i_2 = i_3$.
4. $i_1 > i_2 = i_3$ ’dür. Çünkü 1 i aynı şekilde geçer. Sonra ise 2 kola ayrılır. Bu yüzden de eşit olur.
5. 1 büyüktür. 2 ve 3 ise eşittir.
6. 1 büyüktür. 2 ve 3 ise eşittir. Çünkü akım orada 2’ye ayrılır.

7. 1'de akım ana kolda olduğu için fazladır. 2 ve 3 noktalarında akım eşittir. Çünkü ana koldan ikiye ayrılıyor.
8. 1'in akım şiddeti en büyüktür. 2 ve 3 birbirine eşittir ve toplamları 1'in akım şiddetini verir.
9. Şekil I'de daha fazla, Şekil II ve III'de eşittir.
10. $I_1 > I_2 = I_3$. Çünkü örnek veriyorum. Elektrik akımı 1'e i diye gelir. Daha sonra 2'ye ve 3'e $i/2$ diye ayrılır.
11. 1'de fazladır. 2 ve 3'de eşittir.
12. $I_1 > I_2 = I_3$. Çünkü 1'de akım i'dir, seridir. 2 ve 3'de ise akım $i/2$ 'dir. Çünkü akım ikiye ayrılır.
13. En büyük 1'dir. Daha sonra akım 2 kola ayrılır. 2 ve 3'ün akım şiddeti 1'den küçük ve birbirine eşittir.
14. $I_1 > I_2 = I_3$
15. $I_1 > I_2 = I_3$. Çünkü 1'de akımın hepsi geçer. 2 ve 3'de ise akım ikiye bölündüğü için akımın yarısı geçer.
16. $I_1 > I_2 = I_3$. Akım kollara ayrılmadan geldiği için büyüktür. 2 ve 3'e gelmeden önce akım iki kola ayrılır.
17. $I_1 > I_2 = I_3$.
18. $I_1 > I_2 = I_3$. Paralel devrede akım eşit oluşur.
19. $I_1 > I_2 = I_3$.
20. $i_1 > i_2 = i_3, i_1 > i_2 + i_3$
21. $i_1 > i_2 = i_3, i_1 > i_2 + i_3$
22. $i_1 > i_2 = i_3, i_1 > i_2 + i_3$
23. $i_1 > i_2 = i_3, i_1 > i_2 + i_3$
24. $I_1 > I_2 = I_3$. Ana koldan gelen akımın 1 olduğu için 1 daha büyüktür. 2 ve 3'de akımlar 1'den ayrılır.
25. $I_1 > I_2 = I_3$
26. $i_1 > i_2 = i_3, i_1 > i_2 + i_3$
27. $i_1 > i_2 = i_3, i_1 > i_2 + i_3$
28. $i_1 > i_2 = i_3, i_1 > i_2 + i_3$
29. $i_1 > i_2 = i_3, i_1 > i_2 + i_3$
30. $i_1 > i_2 = i_3, i_1 > i_2 + i_3$
31. $i_1 > i_2 = i_3, i_1 > i_2 + i_3$
32. $i_1 > i_2 = i_3, i_1 > i_2 + i_3$
33. $i_1 > i_2 = i_3, i_1 > i_2 + i_3$
34. $i_1 > i_2 = i_3, i_1 > i_2 + i_3$
35. $i_1 > i_2 = i_3, i_1 > i_2 + i_3$
36. $i_1 > i_2 = i_3, i_1 > i_2 + i_3$

Category 3 (Deficient or not meaningful)

1. 1 ve 3 noktalarının büyüklüğü eşittir. 2'nin ise daha fazladır.
2. Akımların büyüklükleri aynı.

Question 14

Category 1 (Bulbs A and B are the same in brightness)

1. Eşit gider. İkisi de aynı anda yanar.
2. Parlaklıkları aynıdır. Birbirlerine paralel oldukları için.
3. Karşılaştığımızda A ve B'nin parlaklıkları aynıdır.
4. A ve B aynı parlaklıkta yanarlar.
5. Parlaklıkları aynıdır. Ama ilk önce B sonra A yanar.
6. Parlaklıkları aynı. Aynı boyda ve büyüklüktedirler.
7. Parlaklıkları eşittir. Çünkü paralel bağlanmışlardır. Akım 3 eşit parçaya ayrılır.
8. Parlaklıkları aynıdır. Birbirlerine paralel oldukları için.
9. Eşit olur. Çünkü paralel akım kollara eşit şekilde ayrılır.
10. Parlaklıkları eşittir. Ama B daha parlaktır gibi görünüyor.
11. Parlaklıklar eşittir.
12. $A=B$. Çünkü devre paraleldir.
13. İkisi de aynı yanar. Çünkü aynı direnç geçer.
14. Parlaklıkları eşittir. Çünkü paralel oldukları için geçen akımlar eşittir.
15. Eşittir. Parlaklıkları eşit olur.
16. $A=B$. Akımlar 3'e bölünür ve A ile B'nin aynı şekilde ışık vermesini sağlar.

Category 2 (Bulb B is brighter)

1. B ampülü A ampulünden daha parlaktır. Çünkü B akımı daha önce alır.
2. B ampülü daha parlaktır. Enerji daha önce gelir.
3. B'de daha fazla
4. B pile daha yakın olduğundan daha parlaktır.
5. B A'ya göre daha parlaktır. Çünkü pilden gelen ilk enerji ilk önce ondan geçer.
6. B daha parlaktır. Çünkü akımı önce B alır.
7. B daha parlaktır. Çünkü pilin enerjisi A'dan daha çabuk B'ye gelir.
8. B ampülü daha parlaktır. Çünkü B ampülü pile daha yakındır.
9. B pile daha yakın olduğu için daha bir parlak yanar.
10. B daha parlaktır. Çünkü elektrik B'ye daha yakındır.
11. B daha parlak. Akım önce B'ye gelir.
12. B A'dan parlaktır. Pile daha uzak olduğu için.
13. B'de A'ya göre daha parlaktır.
14. $B>A$. Çünkü enerji ilk başta o lambaya gittiği için
15. B ampülü daha parlaktır. Çünkü önce B'ye geçer.
16. B ampülü daha parlaktır. Çünkü akım en başta B'de geçmektedir.
17. B, A'ya göre daha parlak yanar. İlk akım B'den geçer.
18. B, A'ya göre daha parlak yanar.
19. $B>A$. Çünkü B'de sadece iki kola ayrılıyor. Ama A'ya gelinceye kadar daha fazla kola ayrılıyor.
20. B daha parlak yanar. A'nın parlaklığı daha azdır.

21. $B > A'$ dir. B'ye akımın yarısı gitmiştir. A'ya yarsının yarısı gitmiştir. Bu yüzden B A'dan daha parlaktır.
22. B daha parlaktır. Pile daha yakın olduğu için.

Category 3 (Both bulbs do not light due to short circuit)

1. A ve B ışık vermez. Yeterli akım olmadığı için.
2. A ve B ampulleri yanmaz. Çünkü devrede bulunan A ve B ampulleri arasındaki iletken tel kısa devre yaptırmıştır devreye.
3. Şekilde kısa devre olur. A ve B lambaları yanmaz.
4. Devre yanmaz. Akım boş telden geçer gider.

Category 4 (Bulb B lights, bulb A does not light due to short circuit)

1. B ampülü biraz yanmaktadır. A ampülü yanmamaktadır. Çünkü a ve b arasında başka bir elektrik akımı olduğu için ona fazla gitmez. Bu yüzden A ampülü yanmaz.
2. Akım ilk önce 2'ye ayrılır ve B'yi yakar. Daha sonra üstteki telden geçerek pile ulaşır. Yani B yanar, A yanmaz.
3. B ampülü A'dan parlaktır. B'den 5A, A'dan 2.5A akım geçer. Yalnız kısa devre var. Akım boş telden geçer.
4. B, A'dan büyüktür. Çünkü A kısa devreden dolayı yanmaz.
5. $B > A$. Paralel devreler. Yalnız A ve B lambaları arsından bir tel geçmiştir. Akım A'ya uğramadan geçerek kısa devre yapar.
6. $B > A$. Paralel devreler. Yalnız A ve B lambaları arsından bir tel geçmiştir. Akım A'ya uğramadan geçerek kısa devre yapar.
7. $B > A$. Paralel devreler. Yalnız A ve B lambaları arsından bir tel geçmiştir. Akım A'ya uğramadan geçerek kısa devre yapar.
8. $B > A$. A'dan akım geçmez, ampul yanmaz.
9. $B > A$ olur. Üreteç V potansiyeline sahipse B'de V potansiyeline sahiptir. Boş telden dolayı A kısa devre olur ve yanmaz.
10. $B > A$ olur. Üreteç V potansiyeline sahipse B'de V potansiyeline sahiptir. Boş telden dolayı A kısa devre olur ve yanmaz.
11. $B > A$ olur. Üreteç V potansiyeline sahipse B'de V potansiyeline sahiptir. Boş telden dolayı A kısa devre olur ve yanmaz.
12. $B > A$. B yanar, A yanmaz. Akım boş telden geçer.
13. $B > A$. B yanar, A yanmaz. Akım boş telden geçer.
14. $B > A$. B yanar, A yanmaz. Akım boş telden geçer.
15. $B > A$. B yanar, A yanmaz. Akım boş telden geçer.
16. $B > A$. B yanar, A yanmaz. Akım boş telden geçer.
17. $B > A$. Çünkü B yanar, A kısa devre olup yanmaz. Akım boş telden geçip gider.
18. $B > A$. B yanar, A yanmaz. Akım boş telden geçer.
19. $B > A$. B yanar, A yanmaz. Akım boş telden geçer.

20. $B > A$. B yanar, A yanmaz. Akım boş telden geçer.
21. $B > A$. B yanar, A yanmaz. Akım boş telden geçer.
22. $B > A$. Çünkü B yanar, A kısa devre olup yanmaz. Akım boş telden geçip gider.
23. $B > A$. Çünkü B yanar, A kısa devre olup yanmaz. Akım boş telden geçip gider.
24. $B > A$. B yanar, A yanmaz. Akım boş telden geçer.
25. A yanmaz. Kısa devre olur. Çünkü akım her zaman kolay kolu seçer.

Category 5 (Deficient or not meaningful)

1. A ampülü daha parlaktır. Çünkü akım ilk A'dan geçer.
2. Sonuçta ikisinin de akımları aynı ve aynı dirençler. Ama paralel olduğu için akım da A'dan daha çok geçer. A'daki akım B'deki akımdan daha fazladır.
3. A'da daha fazladır. B'de ise daha azdır.
4. A uzak olduğu için daha parlaktır.
5. A daha parlaktır. Çünkü akım önce A'ya sonra B'ye gelir.

APPENDIX F

SPECIFICATIONS FOR THE OPEN-ENDED QUESTIONNAIRE

Misconceptions	Items														Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
M1	*											*			2
M2					*										1
M3				*	*	*									3
M4	*								*						2
M5					*		*								2
M6								*				*		*	3
M7				*		*									2
M8		*									*				2
M9										*					1
M10			*											*	2
M11							*						*		2
M12									*						1
Total	2	1	1	2	3	2	2	1	2	1	1	2	1	2	23

EXPLANATIONS

- M1 : Sink Model
- M2 : Attenuation Model
- M3 : Sharing Current Model
- M4 : Clashing Current Model
- M5 : Empirical Rule Model
- M6 : Short Circuit Misconception
- M7 : Power Supply as a Constant Current Source Model
- M8 : Parallel Circuit Misconception
- M9 : Sequential Reasoning
- M10 : Local Reasoning
- M11 : Confusion between Current Flow and Water Flow
- M12 : Vibrating Tungsten Filament

APPENDIX G

SIMPLE ELECTRIC CIRCUIT DIAGNOSTIC TEST

BASİT ELEKTRİK DEVRELERİ





Üç Basamaklı Test

OKULU	:	_____
SINIFI	:	_____
CİNSİYETİ	:	<input type="checkbox"/> Erkek <input type="checkbox"/> Kız

Yönergeler

1. Sınava başlamadan önce yukarıda verilen kısma **okulunuzun adını, sınıfınızı** yazarak, **cinsiyetinizi** işaretleyiniz.
2. Bütün sorulara cevap vermek için gayret gösteriniz.
3. Devrelerde kullanılan pil ve ampuller özdeştir.
4. Devrelerde kullanılan piller ideal pillerdir. Yani, pillerin iç dirençleri önemsizdir.
5. İkinci basamak sorularda verilen sebeplerden birini tercih etmezseniz boş bırakılan şıkka kendi sebebinizi yazmalısınız.

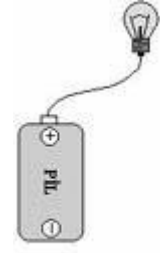
Sınavda Kullanılan Semboller

 Pil	 Lambalar	 Direnç
		 Ampul takılı duyu

SORULAR

1.1. Şekil 1’de gösterilen devredeki ampul ışık verir mi?

- (a) Evet, ışık verir.
- (b) Hayır, ışık vermez.



Şekil 1

1.2. Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

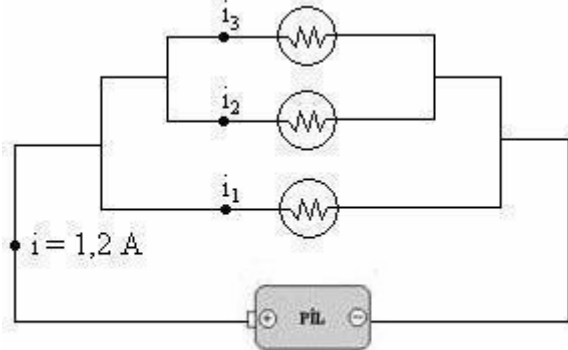
- (a) Pil ve ampul temas halindedir.
- (b) “+” ve “-” yüklerin ampulde birleşmesi için pilin “-” ucundan ampulün yan metal kısmına bir tel bağlanmalıdır.
- (c) Ampulden akım geçmesi için pilin “-” ucundan ampulün yan metal kısmına bir tel bağlanmalıdır.
- (d)

1.3. Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- (a) Eminim.
- (b) Emin değilim.

2.1. Şekil 2’deki elektrik devresinde ana koldaki akım 1,2 A olarak verilmiştir. Buna göre i_1 , i_2 ve i_3 akımlarının büyüklüklerinin değerleri kaçtır?

- (a) 0,6 / 0,3 / 0,3
- (b) 0,4 / 0,4 / 0,4



Şekil 2

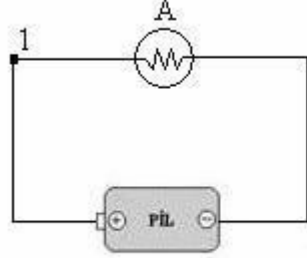
2.2. Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- (a) Elektrik akımı ilk kol ayrımında eşit olarak ikiye ayrıldıktan sonra ikinci kol ayrımında tekrar eşit olarak ikiye ayrılır.
- (b) Üç özdeş ampul birbirine paralel bağlı olduğundan ana koldaki elektrik akımı üç ampul üzerinden de aynı büyüklükte geçecek şekilde kollara ayrılır.
- (c)

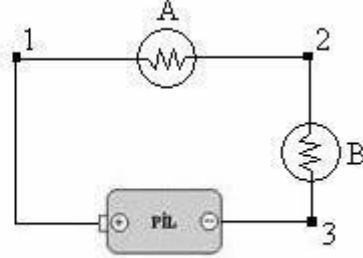
2.3. Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- (a) Eminim.
- (b) Emin değilim.

Şekil 3’de gösterilen bir elektrik devresine, Şekil 4’de gösterildiği gibi bir B ampülü ekleniyor. 3. ve 4. soruları bu bilgiye göre cevaplandırınız.



Şekil 3



Şekil 4

3.1. Şekil 3 ve Şekil 4’deki 1 noktalarından geçen elektrik akımlarının büyüklüklerini karşılaştırınız?

- (a) Şekil 3’de daha fazladır.
- (b) Şekil 4’de daha fazladır.
- (c) Her iki şekilde de eşittir.

3.2. Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- (a) Pilden gelen aynı büyüklükteki elektrik akımları her iki şekilde de 1 noktalarında henüz kullanılmamıştır.
- (b) Her iki şekilde de pillerin sağladığı potansiyel farklar aynı ama Şekil 4’deki eşdeğer direnç daha büyüktür.
- (c) Şekil 3’de bir ampulün kullandığı elektrik akımı, Şekil 4’de ise iki ampulün kullandığı elektrik akımı vardır.
- (d)

3.3. Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- (a) Eminim.
- (b) Emin değilim.

4.1. Şekil 4’de 1, 2 ve 3 noktalarındaki akımların büyüklükleri ile A ve B ampullerinin parlaklıklarını karşılaştırınız?

- | <u>Akım</u> | <u>Parlaklık</u> |
|-----------------------|---------------------------------------|
| (a) $i_1 = i_2 = i_3$ | A ve B ampulleri aynı parlaklıktadır. |
| (b) $i_3 > i_2 > i_1$ | B ampülü daha parlaktır. |
| (c) $i_1 > i_2 > i_3$ | A ampülü daha parlaktır. |
| (d) $i_1 > i_2 > i_3$ | A ve B ampulleri aynı parlaklıktadır. |

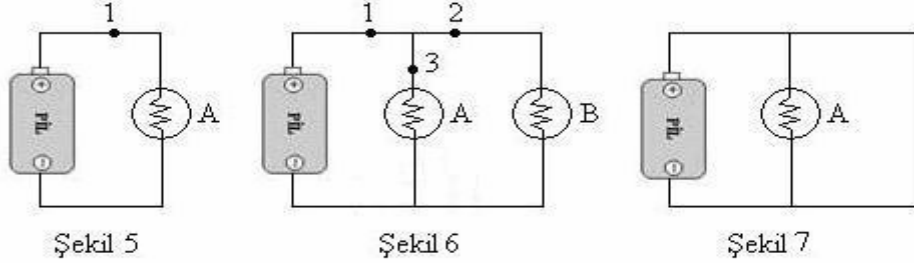
4.2. Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- (a) Pile ne kadar çok yakın olunursa, elektrik akımı da o kadar çok olur.
- (b) Seri bağlı devrelerde akım şiddeti her yerde aynıdır.
- (c) Elektrik akımı ampuller tarafından kullanıldığı için azalır.
- (d)

4.3. Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- (a) Eminim.
- (b) Emin değilim.

Şekil 5’de bir elektrik devresi verilmiştir. İlk önce bir B ampulü Şekil 6’da görüldüğü gibi devreye ekleniyor. Daha sonra B ampulü devreden çıkarılarak ve onun yerine bir tel kullanılarak Şekil 7’deki devre oluşturuluyor. 5., 6., 7. ve 8. soruları bu bilgilere dayanarak cevaplayınız.



5.1. Şekil 5 ve Şekil 6’deki 1 noktalarındaki elektrik akımlarının büyüklüklerini karşılaştırınız.

- (a) Şekil 5’de daha büyüktür.
- (b) Şekil 6’da daha büyüktür.
- (c) Şekil 5’de ve Şekil 6’da eşittir.

5.2. Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- (a) Şekil 6’da iki ampul olduğundan eşdeğer direnç daha fazladır.
- (b) Şekil 6’da pilden gelen akım iki kola ayrılır.
- (c) Şekil 5’de pil tek ampule, Şekil 6’da ise iki ampule akım verir.
- (d) Şekil 6’daki paralel devrede eşdeğer direnç daha küçüktür.
- (e) Her iki şekilde de 1 noktalarında pilden gelen aynı büyüklükteki elektrik akımı henüz kollara ayrılmamıştır.
- (f)

5.3. Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- (a) Eminim.
- (b) Emin değilim.

6.1. Şekil 6’da 1, 2 ve 3 noktalarındaki akımların büyüklüklerini karşılaştırınız.

- (a) $i_1 > i_2 > i_3$
- (b) $i_1 > i_2 = i_3$

6.2. Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- (a) Akım kollara ayrılırken gidiş yönüne düz kola daha çok, kıvrılan kola daha az akım geçer.
- (b) Akım kol ayrımına geldiğinde ampuller özdeş olduğundan eşit bir şekilde iki kola ayrılır.
- (c)

6.3. Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- (a) Eminim.
- (b) Emin değilim.

- 7.1. Şekil 6'da A ve B ampullerinin parlaklıklarını karşılaştırınız.
- A ve B ampullerinin parlaklıkları eşittir.
 - A ampülü daha parlaktır.
 - B ampülü daha parlaktır.

- 7.2. Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;
- Kollara ayrılan akımın çoğu B ampulünden geçer.
 - A ampülü pile daha yakındır.
 - A ve B ampullerinden aynı büyüklükte akım geçer.
 -

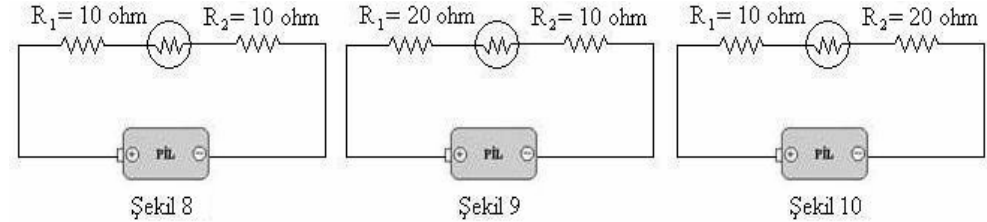
- 7.3. Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;
- Eminim.
 - Emin değilim.

- 8.1. Şekil 6 ve Şekil 7'deki A lambalarının parlaklıklarını karşılaştırınız.
- Şekil 6'daki daha parlaktır.
 - Şekil 7'deki daha parlaktır.
 - İki şekildeki de eşit parlaklıktadır.

- 8.2. Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;
- Şekil 7'deki A ampulünün üzerinden akım geçmez.
 - Şekil 6'da akım iki ampul, Şekil 7'de ise tek ampul tarafından kullanılır.
 - Her iki şekilde de akım iki kola ayrılır.
 -

- 8.3. Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;
- Eminim.
 - Emin değilim.

- 9.1. Şekil 8'deki devrede bir pil, ampul ve iki dirençten oluşan bir düzenek gösterilmektedir. İlk önce sadece 10 ohm'luk R_1 direncinin yerine 20 ohm'luk bir direnç bağlanıyor ve Şekil 9 elde ediliyor. Daha sonra Şekil 8'deki 10 ohm'luk R_2 direncinin yerine 20 ohm'luk bir direnç bağlanıyor ve Şekil 10 elde ediliyor. Şekil 9 ve Şekil 10'daki ampullerin parlaklıklarında Şekil 8'deki ampule göre değişiklik olur mu?



- | | |
|-------------------|--------------------|
| <u>Şekil 9'da</u> | <u>Şekil 10'da</u> |
| (a) Değişir | Değişmez |
| (b) Değişir | Değişir |
| (c) Değişmez | Değişir |
| (d) Değişmez | Değişmez |

9.2. Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

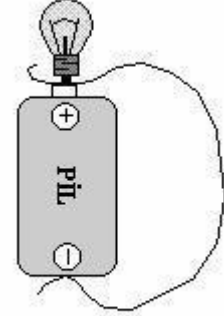
- (a) Akım ampule ulaşmadan önce R_1 direnci tarafından etkilenir.
- (b) Akım ampule ulaşmadan önce R_2 direnci tarafından etkilenir.
- (c) Her iki şekilde de eşdeğer direnç Şekil 8'e göre değiştiğinden ana koldaki akım da değişir.
- (d) Piller aynı olduğundan ana kollarındaki akımlar aynıdır.
- (e)

9.3. Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- (a) Eminim.
- (b) Emin değilim.

10.1. Şekil 11'deki ampul ışık verir mi?

- (a) Evet, ışık verir.
- (b) Hayır, ışık vermez.



Şekil 11

10.2. Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

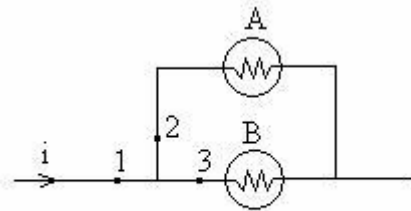
- (a) Ampul "+" ve "-" yüklere dokundurulduğu için "+" ve "-" yükler ampulde birleşebilirler.
- (b) Ampul üreticinin "+" kutbuna geliyor.
- (c) Ampulden elektrik akımı geçer.
- (d) Ampulden elektrik akımı geçmez.
- (e)

10.3. Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- (a) Eminim.
- (b) Emin değilim.

11.1. Şekil 12'de verilen devre parçasında elektrik akımının yönü ok ile gösteriliyor. Buna göre, 1, 2 ve 3 noktalarındaki akımların büyüklüklerini karşılaştırınız.

- (a) $i_1 > i_3 > i_2$
- (b) $i_1 > i_2 = i_3$



Şekil 12

11.2. Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

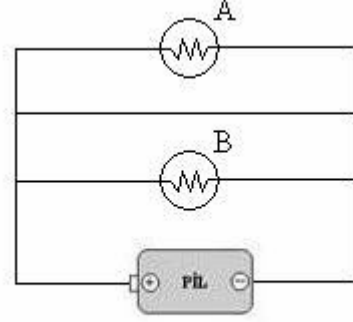
- (a) Akım kol ayrımına geldiğinde ampullerin dirençleri eşit olduğu için eşit bir şekilde kollara ayrılır.
- (b) Akım kol ayrımına geldiğinde gidiş yönündeki düz kola daha çok akım, kıvrılan kola ise daha az akım geçer.
- (c)

11.3. Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- (a) Eminim.
- (b) Emin değilim.

12.1.Şekil 13'te gösterilen devrede A ve B ampullerinin parlaklıklarını karşılaştırınız.

- (a) B ampülü daha parlaktır.
- (b) İki ampülün de parlaklıkları eşittir.
- (c) İki ampulde yanmaz.



Şekil 13

12.2.Yukarıda verdiğim cevabın sebebi;

- (a) Akım A ve B ampullerinin arasındaki boş telden geçer.
- (b) B ampülü pile daha yakındır.
- (c) Akım ilk iki kola ayrıldığında, akımın yarısı B ampülüne geçer. Daha sonra tekrar kol ayrımına geldiğinde akımın hepsi boş telden geçer ve pile döner.
- (d) İki ampul birbirine paralel olduğundan üzerlerinden eşit büyüklükte akım geçer.
- (e)

12.3.Yukarıdaki iki soruya verdiğim cevaptan;

- (a) Eminim.
- (b) Emin değilim.

APPENDIX H

ANSWER KEY OF THE SECDT

1.1)	B	3.1)	A	5.1)	B	7.1)	A	9.1)	B	11.1)	B
1.2)	C	3.2)	B	5.2)	D	7.2)	C	9.2)	C	11.2)	A
1.3)	A	3.3)	A	5.3)	A	7.3)	A	9.3)	A	11.3)	A
2.1)	B	4.1)	A	6.1)	B	8.1)	A	10.1)	B	12.1)	C
2.2)	B	4.2)	B	6.2)	B	8.2)	A	10.2)	D	12.2)	A
2.3)	A	4.3)	A	6.3)	A	8.3)	A	10.3)	A	12.3)	A

APPENDIX I

CHOICE SELECTIONS INDICATING A MISCONCEPTION ACCORDING
TO ONLY FIRST TIERS AND ALL THREE TIERS

		Item Choices (Only First Tiers)	Total
Misconceptions	M1	1.1 a, 10.1 a	2
	M2	4.1 b, 4.1 c	2
	M3	3.1 b, 4.1 d	3
	M4	-	0
	M5	7.1 b	1
	M6	8.1 b, 8.1 c, 12.1 b	3
	M7	3.1 c, 5.1 c, 9.1 d	3
	M8	5.1 a	1
	M9	9.1 a, 9.1 c,	2
	M10	2.1 a, 12.1 a	2
	M11	6.1 a, 7.1 c, 11.1 a	3
			Total
		Item Choices (All Three Tiers)	Total
Misconceptions	M1	(1.1 a, 1.2 a, 1.3 a), (10.1 a, 10.2 b, 10.3 a), (10.1 b, 10.2 b, 10.3 a)	3
	M2	(4.1 c, 4.2 c, 4.3 a), (4.1 b, 4.2 c, 4.3 a)	2
	M3	(3.1 b, 3.2 c, 3.3.a), (3.1 a, 3.2 c, 3.3.a), (4.1 d, 4.2 c, 4.3 a), (5.1 b, 5.2 c, 5.3 a), (5.1 a, 5.2 c, 5.3 a)	5
	M4	(1.1 b, 1.2 b, 1.3 a), (10.1 a, 10.2 a, 10.3 a)	2
	M5	(4.1 b, 4.2 a, 4.3 a), (7.1 b, 7.2 b, 7.3 a), (12.1.a, 12.2.b, 12.3 a)	3
	M6	(8.1 b, 8.2 b, 8.3 a), (8.1 c, 8.2 c, 8.3 a), (10.1 a, 10.2 c, 10.3 a), (12.1 b, 12.2 d, 12.3 a)	4
	M7	(3.1 c, 3.2 a, 3.3 a), (3.1a, 3.2.a, 3.3 a), (5.1 c, 5.2 e, 5.3 a), (9.1 d, 9.1 d, 9.3 a)	4
	M8	(5.1 a, 5.2 a, 5.3 a)	1
	M9	(9.1 a, 9.2 a, 9.3 a), (9.1 c, 9.2 b, 9.3 a)	2
	M10	(2.1 a, 2.2 a, 2.3 a), (5.1 a, 5.2 b, 5.3 a), (12.1 a, 12.2 c, 12.3 a)	3
	M11	(6.1 a, 6.2 a, 6.3 a), (7.1 c, 7.2 a, 7.3 a), (11.1 a, 11.2 b, 11.3 a)	3
			Total

APPENDIX J

RAW DATA OBTAINED FROM THE SECDT

Students	ITEMS																	
	1.1.	1.2.	1.3.	2.1.	2.2.	2.3.	3.1.	3.2.	3.3.	4.1.	4.2.	4.3.	5.1.	5.2.	5.3.	6.1.	6.2.	6.3.
1	B	B	A	A	A	A	A	C	A	D	B	B	A	C	A	B	A	A
2	B		A	B	A	A	C	A	B	D	B	A	A	C	A	B	A	B
3	B	C	A	B	B	B	C	A	A				B	A	A			
4	B	B	A	B	B	A	C	A	B	D	B	B	C	E	A	B	B	B
5	A	A	A	B	B	A	A	A	A	D	B	A	B	A	A	A	B	A
6	B	B	A	A	A	A	B	B	A	A	C	A	B	A	B	B	B	B
7	B	B	A	A	A	A	A	C	A	D	B	A	C	E	A	B	B	A
8	B	B	A	B	A	A	C	A	B	A	B	A	A	C	A	A	A	A
9	B	C	A	B	B	A	A	C	B	C	B	A	A	C	A	A	B	B
10	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	B	A
11	B	C	A	A	B	B	B	C	A	D	B	B	B	A	A	B	B	A
12	B	B	A	A	A	A	A	C	A	C	A	A	A	C	A	A	A	A
13	B	B	A	A	B	A	A	B	A	B	A	A	A	A	A	B	B	A
14	B	B	B	B	B	A	A	C	A	C	B	A	A	D	A	B	A	B
15	B	B	A	B	A	B	C	A	A	C	B	B	C	A	A	B	A	A
16	A	A	B	B	B	B	A	B	B	B	C	A	C	B	B	A	B	A
17	B	C	A	B	B	B	A	C	B	C	B	B	B	A	B	A	B	B
18	B	C	A	B	A	B	A	B	B	C	C	A	C	B	A	A	B	B
19	B	C	A	B	B	A	A	C	A	A	C	B	A	C	A	B	B	A
20	B	C	A	B	B	A	A	C	A	B	A	B	A	B	B	B	B	B
21	A	A	B	B	B	B	A	C	A	B	A	B	B	C	A	A	B	B
22	B	C	A	B	A	B	A	C	A	D	B	B	B	A	A	A	B	B
23	B	B	B	B	B	A	A	C	B	A	B	A	A	B	A	A	B	B
24	A	A	A	B	B	A	A	B	A	B	A	B	B	A	A	A	B	B
25	B	C	A	B	A	A	A	C	A	B	C	B	B	A	A	A	B	B
26	A	A	A	B	B	A	A	B	A	B	B	A	C	C	A	A	B	A
27	A	A	A	B	B	A	A	B	A	B	B	A		C	A	B	A	B
28	B	A	B	B	B	B	A	C	A	B	C	B	A	C	A	A	B	A
29	B	B	A	B	B	A	A	C	A	C	A	A	A	C	A	B	B	B
30	A	A	B	A	A	A	A	C	A	C		B				B	B	A
31	B	B	A	B	B	A	A	C	A	A	B	A	A	C	B	B	B	A
32	A	A	B	B	B	A	A	C	A	D	B	B	A	C	A	A	B	B
33	B	C	A	A	B	A	C	A	B	C	B	B	A	C	A	B	B	A
34	B	C	B	A	B	A	B	B	A	D	B	B	B	A	B	A	B	A
35	B	C	A	B	B	A	A	C	A	A	B	A	A	C	A	B	B	A
36	B	C	A	A	B	B	A	A	A	C	B	A	C	E	A		B	A
37	A		A				A	C	A	A		A	C		B			
38	B	B	A	B	B	B	C	B	B	B	B	B	A	C	B	A	B	B
39	B	B	A	B	B	A	B	C	A	C	C	A	B	A	A	A	B	A
40	B	C	A	B	B	A	A	C	A	B	A	A	A	C	A	B	A	A

Students	ITEMS																	
	1.1.	1.2.	1.3.	2.1.	2.2.	2.3.	3.1.	3.2.	3.3.	4.1.	4.2.	4.3.	5.1.	5.2.	5.3.	6.1.	6.2.	6.3.
41	B	C	A	B	B	B	B	B	A	D	C	A	A	C	A	B	A	A
42	A	C	B	B	B	A	A	C	A	A	B	B	A	C	A	B	B	B
43	A	A	A	B	B	B	A	C	A	C	A	B	A	D	B	B	B	A
44	A	A	A	B	B	B	A	C	A	A	A	B	A	D	A	B	B	B
45	B	C	A	B	B	A	A	C	A	C	A	A	B	A	A	A	A	A
46	B	C	A	B	B	A	A	C	A	C	A	A	B	A	B	A	A	A
47	A	C	B	B	B	B	B	C	A	D	B	B	C	C	B	B	B	A
48	A	A	B	B	B	A	A	C	A	D	B	A	A	C	A	A	B	B
49	A	A	B	B	B	B	B	C	B	C	B	B	B	A	B	A	B	B
50	B	C	A	B	B	A	A	C	A	C	A	A	B	A	B	A	A	A
51	B	C	A	B	B	A	B	B	A	D	A	B	A	D	A	B	A	A
52	A	A	B	B		B	C		B	C		A	B		A	B		A
53	A	A	B	B	B	B	B	B	B	A	B	B	A	C	B	B	B	B
54	A	A	B	B	A	B	B	C	B	B	C	B	C	A	B	B	B	B
55	A	A	A	B	B	B	B	B	A	C	B	B	B	A	A	B	B	B
56	A	A	B	A	B	B	B	B	B	D	C	B	C	A	B	A	B	B
57	B	B	A	A	B	B	B	C	B	A	B	A	B	C	A	A	B	A
58	B		B	A	B	B	A	C	A	D	B	A	A	C	B	B	B	A
59	B	B	B	A	B	B	B	B	A	C	A	B	A	D	B	A	B	B
60	B		A	A	A	A	A	C	B	C	A	B	B	A	A	A	B	B
61	B	C	A	A	B	A	C	C	A	A	B	A	C	E	A	B	B	A
62	B	B	A	A	A	A	A	C	A	A	C	A	C	E	A	B	B	A
63	B	B	A	A	A	A	A	C	A	D	C	A	C	E	A	B	B	A
64	B	B	A	A	A	A	C	C	A	A	B	A	C	E	A	B	B	A
65	B	C	A	A	A	A	C	B	B	A	B	A	A	C	A	A	A	B
66	B	C	A	A	A	A	A	C	A	A	B	A	C	E	A	B	B	A
67	B	C	A	A	A	A	C	A	B	B	B	B	A	C	A	B	B	A
68	B	B	A	A	A	A	C	A	A	A	B	A	A	B	A	B	A	A
69	A	A	B	B	A	A	A	C	B	A	B	B	B	C	B	A	A	B
70	B	C	A	A	A	A	C	A	A	D	C	B	B	A	C	A	B	A
71	B	B	A	B	B	A	A	C	A	C	B	B	A	C	A	B	B	A
72	B	C	A	A	A	A	C	C	B	A	B	B	C	E	A	B	B	A
73	B	C	A	A	A	A	C	C	A	A	B	A	C	D	A	B	A	A
74	B	C	B	B	A	B	B	B	B	A	B	B	A	A	A	A	A	A
75	B	B	A	A	A	A	A	B	A	C	C	A	A	B	A	B	B	A
76	B	B	A	A	A	A	A	B	A	A	B	A	B	D	A	B	B	A
77	B	C	B	A	A	A	C	B	B	A	B	B	A	C	B	B	A	B
78	B	C	A	B	B	A	A	B	A	A	B	A	C	E	A	B	B	A
79	B	C	A	A	A	A	C	A	A	A	B	A	C	E	A	B	B	A
80	B	C	A	A		A	C	A	A	A	B	A	C	E	B	B	B	A
81	B	C	A	A		A	C	A	A	A	B	A	C	E	B	B	B	A
82	B	B	A	A	A	A	C	A	A	A	B	A	C	E	A	B	B	A
83	B	C	A	A	A	A	C	A	A	D	C	A	C	E	A	B	B	A
84	B	C	A	A	A	A	C	A	A	A	B	A	C		B	A	B	B
85	B	B	A	A	A	A	A	C	A	B	B	A	C	C	A	B	B	A
86	A	A	A	A	A	A	A	C	A	A	B	A	A	C	A	B	B	A
87	B	C	A	A	B	B	C	B	A	C	B	B	B	D	A	B	A	A
88	B	C	A	A	B	A	B	C	A	C	B	A	A	D	A	B	B	A
89	B	B	A	A	A	A	C	B	B	A	B	A	A	C	A	B	B	A
90	B	C	A	A	A	B	A	C	B	D	A	B	A	C	B	B	B	A

Students	ITEMS																	
	1.1.	1.2.	1.3.	2.1.	2.2.	2.3.	3.1.	3.2.	3.3.	4.1.	4.2.	4.3.	5.1.	5.2.	5.3.	6.1.	6.2.	6.3.
91	B	C	A	A	A	A	C	B	B	A	B	A	C	B	B	B	A	A
92	B	B	A	A	A	A	C	C	B	A	B	A				B	A	A
93	B	B	A	A	A	A	C	B	B	A	B	A	A	C	A	B	B	A
94	B	C	A	A	A	A	C		A	C	C	A	C	D	A	B	B	A
95	B	C	A	A	A	A	A	C	A	A	B	A	A	C	A	A	A	B
96	B	B	A	B	B	A	A	C	A	A	B	A	C	E	A	B	B	A
97	B	C	A	A	A	B	C	B	A	A	B	A	C	E	A	B	B	A
98	B	C	A	A	A	B	A	B	A	A	B	A	C	E	A	B	B	A
99	B	C	A	A	A	A	C	A	A	A	B	A	C	E	A	B	B	A
100	B	B	A	A	A	A	A	C	A	A	C	A	A	C	E	A	B	A
101	B	C	A	A	A	A	C	A	A	C	C	A	C	E	B	B	B	A
102	B	C	A	A		A	C	A	A	A	B	A	C	E	A	B	B	A
103	B	B	A	A	A	A	C	A	A	A	B	A	C	E	A	B	B	A
104	B	B	A	A	A	A	A	C	A	C	C	A	A	B	B	B	B	A
105	B	B	B	A	A	B	C		B	C	C	B	C	D	B	B	A	B
106	B	B	A	A	A	B	C	A	B	A	B	B	B	A	B	B	B	B
107	B	B	A	A	A	A	C	A	A	C	C	A	C		A	B		A
108	B	B	A	B	B	A	A	C	A	C	C	A	C	E	B	A	B	B
109	B	C	A	A	A	A	C		A	C	C	A	C	E	A	B	B	A
110	B	C	A	A	A	A	C	A	B	C	A	B	A	C	B	B	B	B
111	B	C	A	A	A	A	A	B	A	A	B	A	C	E	A	B	B	A
112	B	C	A	A	A	A	A	B	A	A	B	A	C	E	A	B	B	A
113	B	B	A	A	A	B	C	A	A	A	B	A	C	E	A	B	B	B
114	B		A	B	B	A	A	C	B	A	B	B	B	A	B	B	A	B
115	B		A	B	B	A	A	C	B	A	B	A	B	A	B	B	A	B
116	B		A	B	B	A	A	C	B	A	B	B	B	A	B	B	A	B
117	B		A	B	B	A	B	B	B		B	B	A	C	A	B	C	B
118	A	A	B	A	A	A	A	B	B	C	B	B	A	B	B	B	B	B
119	A		B	B	B	B	B	C	B	C		B	A		B	B	A	B
120	B	C	B	A	A	A	A	B	A	D	A	A	A	C	A	A	B	A
121	A	A	B	A	B	B	B	A	A	C	A	A	A	D	B	B	B	A
122	A	A	A	B	A	B	C		A	A	B	A	A	E	B	B	B	B
123	A	A	B	B	B	A	A	B	B	D	B	A	B	E	B	A	B	A
124	A	C	B	A		B	C	B	B	B		B	A	D	B	B	A	B

ITEMS

Student	7.1.	7.2.	7.3.	8.1.	8.2.	8.3.	9.1.	9.2.	9.3.	10.1.	10.2.	10.3.	11.1.	11.2.	11.3.	12.1.	12.2.	12.3.
1	B	B	A	B	B	A	B	C	B	A	A	B	B	A	A	A	B	A
2	A	C	A	B	B	B	C	D	B	B	C	A	B	A	A	B	D	A
3	C	A	A	C	C	A				A	A	A				C	A	A
4	B		B	C	C	B	B		B	B		A	A	B	A	B	D	A
5	A	C	B	A	B	A	D	C	B	B	D	A	A	A	B	B	D	A
6	C	A	A	A	B	A	C	B	B	B	D	A	A	B	A	A	C	A
7	A	C	A	C	B	A	B	C	A	A	B	A	B	A	A	B	D	A
8	A	C	A	C	C	A	D	D	B	B	D	B	A	B	A	B	D	B
9	B	B	A	B	B	A	A	C	B	B	D	B	A	B	B	C	C	A
10	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A	B	A	A
11	A	C	A	B	B	A	D	C	A	A	A	B	B	A	A	B	D	A
12	B	B	A	B	A	A	A	A	B	A	A	A	B	B	B	A	C	A
13	C	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	A	A	B	B	A
14	C	B	A	B	A	B	D	A	B	A	D	B	A	B	A	B	C	A
15	A	C	B	A	B	A	C	D	A	B	C	B	A	B	A	B	A	B
16	C	A	B	B	B	B	A	A	B	A	C	A	A	A	A	B	C	A
17	A	B	A	B	A	B	C	C	B	A	C	A	B	B	B	B	D	B
18	A	B	B	C	A	B	B	C	B	A	B		A	A	B	B	D	B
19	A	C	A	B	B	A	C	C	B	A	A	A	B	B	B	B	C	A
20	B	C	A	A	C	B	A	C	B	A	A	A	B	B	B	A	B	B
21	C	C	B	B	C	B	C	C	B	A	B	B	B	A	B	C	D	B
22	A	B	A	A	B	A	D	D	B	A	C	A	A	A	B	B	C	A
23	A	C	A	C	C	A	D	D		A	A		B	A	B	B	D	B
24	A	C	A	B	A	B	C	D	B	B	A	B	A	B	B	B	C	A
25	B	A	A	C	B	B	A	D	A	A	C	A	B	A	B	B	B	A
26	B	B	A	B	B	A	B	C	A	A	A	A	A	B	A	B	D	A
27	B	B	A	A	B	A	B	C	B	B	D	A	B	B	A	C	A	A
28	A	B	B			B	C	C	A	A	A	A	A	B	B	A	B	B
29	A	C	A	B	B	A	A	A	A	B	D	A	B	A	A	C	A	A
30	C	A	A	B	B	B				A	B	A	A	B	A			
31				A	A	A	B	C	B	A	A	A	A	B	A	C	A	A
32	A	C	A	A	B	A	B	C	A	A	C	B	B	B	A	C		A
33	C	A	A	B	B	A	B	C	B	A	A	A	A	B	A	A	B	A
34	A	C	A	A	B	B	A	B	B	B	D	A	B	A	B	B	D	A
35	A	C	A	C	C	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	C	A	A
36	A	C	A	B	B	A	D	D	B	B	D	A	B	A	A	B	D	A
37	C	A	A	B	B	A				A		A				B	D	A
38	B	C	A	B	C	A	B	C	B	B	C	B	A	B	A	B	C	A
39	A	C	A	B	B	A	C	B	A	B	B	B	A	A	A	A	B	A
40	B	B	A	B	C	A	D	D	A	B	D	A	A	A	A	B	C	A
41	A	C	A	A	B	B	C	D	B	B	A	A	A	B	B	A	C	A
42	B	B	B	B	A	B	B	B	B	A	A	A	A	A	B	B	C	B
43	A	C	B	C	C	B	C	C	B	A	C	A	B	A	B	A	B	B
44	B	A	A	B	B	A	B	C	A	B	A	A	B	B	B	A	C	B
45	A	C	A	B	B	A	B	C	A	A	C	A	A	B	A	B	D	A
46	A	C	B	B	B	A	B	C	A	A	C	A	A	B	A	B	D	A
47	A	C	A	B	A	B	A	B	B	A		A	B	B	A	C	D	B
48	B	B	B	A	C	B	C	C	B	A	C	A	A	A	B	A	B	A

ITEMS

Student	7.1.	7.2.	7.3.	8.1.	8.2.	8.3.	9.1.	9.2.	9.3.	10.1.	10.2.	10.3.	11.1.	11.2.	11.3.	12.1.	12.2.	12.3.
49	A	B	B		A	B	A	A	B	A	C	A	A	B	B	C	C	B
50	A	C	A	B	B	A	B	C	A		C	A	A	B	A	B	D	A
51	B		A	B	B	A	B	C	A	A	C	A	A	B	A	A	C	A
52	B		A	C		A	C	C	B	A		A	B	B	B	C	B	B
53	A	C	B	A	C	B	B	D	B	A	B	A	B	B	B	B	D	B
54	C	B	B	A	B	B	A	D	B	A	B	B	A	A	B	C	B	B
55	B	B	A	B	B	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	B	B	B
56	A	B	B	A	B	A	C	B	B	A	C	A	A	A	B	B	D	B
57	B	B	A	A	B	B	B	A	B	B	B	A	A	B	B	B	D	A
58	A	C	A	B	B	B	C	B	B	B	D	A	B	A	A	A	C	A
59	A	A	B	C	B	B	A	C	A	B	B	A	A	B	A	B	C	A
60	A	C	B	B	B	A	B	C	B	A	A	B	A	B	B	B	C	B
61	A	C	A	A	A	A	B	C	B	A	C	B	B	A	A	B	D	A
62	A	C	A	B	B	A	C	C	B	A	A	B	B	A	A	B	D	A
63	A	E	A	B	B	A	B	C	B	B	A	B	B	A	A	C	A	A
64	A	C	A	A	A	A	A	A	A	B	B	A	B	A	A	C	A	A
65	A	C	A	A	A	A	B	C	A	A	A	A	B	B	A	A	C	A
66	A	C	A	A	A	A	A	A	B	B	D	A	B	A	A	C	A	A
67	A	C	A	B	B	A	D	C	A	A	A	A	B	A	A	C	A	A
68	A	C	A	A	A	A	B	C	A	A	A	A	B	A	A	C	A	A
69	A	C	A	B	B	A	B	C	B	A	C	A	A	B	B	B	D	B
70	A	C	A	B	B	A	A	A	B	A	C	A	B	A	A	C	A	A
71	A	C	A	B	B	A	C	B	B	A	A	A	B	A	A	A		B
72	A	C	A	A	A	A	A	A	B	A	C	A	B	A	A	C	A	A
73	A	C	A	C	C	A	B	C	A	A	C	A	B	A	B	A	C	A
74	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	A	A	B	B	B	B	C	B
75	A	C	A	B	B	A	C	C	B	A	C	A	B	A	A	B	D	A
76	A	C	A	A	A	A	B	C	A	B	D	A	B	A	A	C	A	A
77	A	C	B	C	C	B	B	C	B	A	A	B	B	B	B	C	A	A
78	A	C	A	A	A	A	B	C	A	A	A	B	B	A	A	A	C	A
79	A	C	A	A	A	A	D	D	B	A	A	B	B	A	A	C	A	A
80	A	C	A	A	A	A	C		B	A	A	B	B		A	C	A	A
81	A	C	A	A	A	A	C		B	A	A	B	B		A	C	A	A
82	A	C	A	A	A	A	A		A	A	A	A	B	A	A	C	A	A
83	A	C	A	B	B	A	A	C	B	B	A	B	B	B	B	C	D	B
84	A	C	A	A	A	A	D	D	B	A	A	B	B	A	B	C	A	A
85	C	C	A	B	A	A	A	B	A	A	A	A	B	B	A	C	A	B
86	A	C	A	B	A	B	A	B	B	A	B	A	A	B	A	B	A	B
87	C	B	A	B	C	A	B	C	A	A	C	B	A	B	A	C	C	B
88	B	C	A	B	C		C	A	B	B	A	A	A	B	A	B	C	A
89	A	C	A	A		A	A	B	A	A	A	A	B	A	A	C	A	A
90	A	C	B	A	A	B	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	C	A
91	A	C	A	C	C	B	D	D	B	A	A	B	B	A	A	B	D	A
92	A	C	A	A	A	A	B	C	A	A	A	A	A		A	C	C	A
93	A	C	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	B	A	A	A	C	A
94	A	C	A	A	B	B	C	C	A	B	D	A	A	B	B	A	B	B
95	A	C	A	B	B	A	D	D	A	B	D	A	B	B	B	C	A	A
96	A	C	A	B	B	A	B	C	A	A	A	A	B	A	A	B	D	A
97	A	C	A	A	A	A	B	C	A	A	A	A	B	A	A	C	A	A
98	A	C	A	A	A	A	B	C	A	B	A	B	B	A	A	C	A	A

ITEMS

Student	7.1.	7.2.	7.3.	8.1.	8.2.	8.3.	9.1.	9.2.	9.3.	10.1.	10.2.	10.3.	11.1.	11.2.	11.3.	12.1.	12.2.	12.3.
99	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	C	A	B	A	A	C	A	A
100	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	C	A	A
101	A	C	A	B	B	A	B	C	B	B	B	A	A	B	B	C	A	A
102	A	C	A	A	A	A	B	C	A	A	C	A	B	A	A	A	C	A
103	A	A	A	C	C	A	A	D	B	A	A	A	B	A	A	A	C	B
104	A	C	A	B	B	A	B	C	A	A	A	A	B	A	A	B	D	A
105	C	A	B	A	B	B	A	B	B	A	A	B	B	A	B	C	A	B
106	A	C	B	B	B	B	B	A	B	A	A	B	B	A	B	A	B	B
107	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	C	A	A
108	A	C	A	B	B	A	C	C	B	A	A	B	B	B	B	B	D	A
109	A	C	A	A	A	A	C	C	B	A	B	B	B	B	B	B	D	A
110	A	C	A	B	B	B				B	B	B	B	B	B	C	A	B
111	A	C	A	A	A	A	B	A	A	A	C	A	B	B	A	C	A	A
112	A	C	A	A		A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	C	A	A
113	A	C	A	A	A	A				B	B	A	B	A	A	C	A	A
114	A	C	B	C	C	B	D	D	B	A	C	B	A	A	B	B	D	B
115	A	C	B	C	C	B	D	D	B	A	C	B	A	A	B	B	D	B
116	A	C	B	C	C	B	D	D	B	A	C	B	A	A	B	B	D	B
117	C	C	A	C	C	B	B	D	B	A	A	B	B	B	A	A	A	A
118	B	B	A	A	C	B	C	A	B	A	A	A	A		B	C	A	A
119	C		B	A		B	A		B	A		B	A		B	C		B
120	B	C	B	C	C	A	B	C	B	A	A	A	A	B	A	C	C	A
121	C	A	B	A	A	A	B	C	B	A	A	B	A	B	A	C	D	B
122	C	A	B	B	B	B	A	D	B	A	B	B	B	B	B	C	C	B
123	A	C	B	C	B	B	A	B	B	A	A	A	B	A	B	B	B	B
124	C	A	B	B	C	B	B	D	A	B	D	B	B		B	C	A	B