

אוניברסיטת בר-אילן

**הוראה מבוססת תמיכה מטה-קוגניטיבית
בנושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה –
השפעתה על היבטים קוגניטיביים ותפיסות אצל תלמידים**

חני סולימנפור

עבודה זו מוגשת כחלק מהדרישות לשם קבלת תואר מוסמך

בבית הספר לחינוך של אוניברסיטת בר אילן

תשפ"א

רמת גן

עבודה זו נעשתה בהדרכתה של ד"ר שירלי אברג'יל,

הוראת הכימיה, הטכניון, חיפה.

עבודה זו מוקדשת לזכר הוריי

אילנה (הלן) ויעקב לניאדו

מסירותכם למען המשפחה, האהבה שהענקתם וצניעותכם חקוקים בליבי לעד





לד"ר שירלי אברג'ל על ההכוונה המקצועית, הפגנת ידע מעמיק בתחום המטה-קוגניציה, ראייה לטווח רחוק ויצירת קשרים מתוחכמים בין עולם הפיזיקה לעולם הכימיה.

לגב' תמי שטרנטל על הסיוע המדוקדק בתחום הסטטיסטיקה, העידוד והסבלנות הרבה – הכול נעשה בשיא המקצועיות, במאור פנים, בהבנה ובחוש הומור.

לקבוצת המחקר של סטודנטים מהוראת המדעים, בית ספר לחינוך באוניברסיטת בר אילן, וסטודנטים מהוראת הכימיה, בפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון על שיתוף הפעולה.

לבעלי ולבנותיי על התמיכה הרגשית, ההערכה והפגנת גמישות לאורך כל הדרך.

Energy is the essence of life. Every day you decide how you're going to use it by knowing what you want and what it takes to reach that goal, and my maintaining focus.

Oprah Winfrey

תוכן עניינים

א	תקציר	א
1	מבוא	1
2	1. סקירה ספרותית	2
2	1.1 חשיבות המדע(ים) ברמה ארצית	2
2	1.2 עמדות תלמידים כלפי מקצועות מדעיים	2
3	1.3 עמדות תלמידים כלפי לימודי הפיזיקה	3
5	1.4 פיזיקה – היבט מדעי והיבט אישי	5
6	1.5 פיזיקה בתוכנית הלימודים בישראל	6
7	1.6 אנרגיה – רעיון גרעיני בתוכנית הלימודי (בתחום הפיזיקה)	7
8	1.7 אנרגיה – בתוכנית הלימודים בישראל	8
9	1.8 אנרגיה – מושג מפתח באוריינות מדעית	9
10	1.9 מחלוקת בהגדרת המושג אנרגיה בשלב טרום תיכון	10
11	1.10 אפיון הקשיים בהוראת המושג אנרגיה	11
14	1.11 פיתוח תוכניות לשיפור אוריינות בנושא האנרגיה (אוריינות-אנרגיה)	14
15	1.12 ייצוגי-מידע בלימוד נושא המרות אנרגיה	15
15	1.13 מיומנויות חשיבה, קוגניציה ומטה-קוגניציה	15
19	1.14 מיומנויות חשיבה ומטה-קוגניציה ככלי תמיכה בהעברת ידע ומידול	19
21	2. מטרות המחקר	21
21	2.1 שאלות המחקר	21
21	2.2 השערות המחקר	21
24	3. מתודולוגיה	24
24	3.1 משתתפים	24
24	3.2 מודל פירמידת ארבעת-הקודקודים	24
28	3.3 כלי המחקר	28
28	3.3.1 שאלון לבדיקת תפיסות התלמידים כלפי לימודי הפיזיקה	28
31	3.3.2 שאלון ידע ומיומנויות חשיבה בנושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה	31
37	3.3.3 עבודת סיכום	37
39	3.3.4 ראיונות חצי מובנים	39
41	3.4 הליך	41
42	3.4.1 שאלון תפיסת הפיזיקה	42

42	3.4.2 שאלון הידע
42	3.4.3 עבודת סיכום
42	3.4.4 ראיונות
43	3.5 ניתוח הנתונים
43	3.5.1 שאלת מחקר ראשונה : תפיסת הפיזיקה
43	3.5.2 שאלת מחקר שנייה : הבנת הנושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה
43	3.5.3 שאלת מחקר שלישית : מיומנויות מידול ויכולת העברה
44	3.5.4 ריאיון
45	4. ממצאים
45	4.1 בדיקת האפקטיביות של הכוונה מטה-קוגניטיבית בקידום תפיסת הפיזיקה של התלמידים
	4.2 בדיקת האפקטיביות של הכוונה מטה-קוגניטיבית בקידום הבנת הנושא המרות אנרגיה
50	וחוק שימור האנרגיה בקרב התלמידים
51	4.2.1 השוואת הממד הכללי של הידע (בשאלון הידע) לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר
	4.2.2 השוואת מדדי מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה בשאלון הידע לפי זמן
53	המדידה ולפי קבוצת המחקר
	4.2.3 השוואת מדד זיהוי הגופים והפעולות בתופעה הפיזיקלי בשאלון הידע לפי זמן
57	המדידה ולפי קבוצת המחקר
	4.2.4 השוואת מדד הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקלית בשפת האנרגיה בשאלון הידע לפי
60	זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר
	4.2.5 השוואת התפלגות הישגי התלמידים בשאלון הידע לפי זמן המדידה ולפי קבוצת
62	המחקר – לפי רמת ההישגים בשאלון הידע
65	4.2.6 השוואת מדד ידע כללי של עבודת הסיכום לפי קבוצת המחקר
	4.2.7 השוואת מדד מיומנויות חשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה בעבודת הסיכום לפי קבוצת
66	המחקר
	4.2.8 השוואת מדד זיהוי גופים ופעולות בתופעה שנחקרה בעבודת הסיכום לפי קבוצת
67	המחקר
	4.2.9 השוואת מדד הסבר נרטיבי של התופעה שנחקרה בעבודת הסיכום לפי קבוצת
68	המחקר
69	4.2.10 דוגמאות למדדי הידע מתוך שאלון הידע, עבודת הסיכום והראיונות
	4.3 בדיקת האפקטיביות של הכוונה מטה-קוגניטיבית בקידום מיומנויות מידול ויכול העברה
70	בקרב התלמידים
71	4.3.1 השוואת מדד מיומנויות מידול בשאלון הידע
73	4.3.2 השוואת מדד מיומנויות מידול בעבודת הסיכום

74	4.3.3 השוואת מדד מיומנויות ההעברה בעבודת הסיכום
75	4.3.4 דוגמאות למדדי מיומנות מידול ומיומנות ההעברה מתוך שאלון הידע ועבודת הסיכום
78	5. דיון ומסקנות
78	5.1 שאלת מחקר ראשונה – תפיסת הפיזיקה
81	5.2 שאלת מחקר שנייה – ההבנה הקונספטואלית והמיומנויות הקוגניטיביות
84	5.3 שאלת מחקר שלישית – מיומנויות מידול והעברה
89	5.4 סיכום
89	5.5 מגבלות המחקר
90	5.6 המלצות תיאורטיות
91	5.7 המלצות והשלכות יישומיות
93	5.8 הצעות למחקר עתידי
94	רשימה ביבליוגרפית
105	נספחים
105	נספח א: תכנית הלימודים בפיזיקה כיתה ט
106	נספח ב: שאלון תפיסות תלמידים בנוגע ללימודי הפיזיקה
	נספח ג: שאלון מקדים / מסכם לבדיקת ידע ומיומנויות בנושא המרות אנרגיה וחוק שימור
107	האנרגיה לכיתה ט
111	נספח ד: מחוון מחקרי לשאלות 9, 8, 5, 3 מתוך שאלון הידע
116	נספח ה: הנחיות לעבודת הסיכום לבדיקת מיומנויות ידע, חשיבה, מידול והעברה
118	נספח ו: מחוון מחקרי לעבודת הסיכום למתקף
121	נספח ז: ניתוח עבודות סיכום לפי מחוון מחקרי
124	נספח ח: שאלות לריאיון תלמידים
125	נספח ט: כתב הסכמה של ההורה
126	נספח י: ממצאים שהתקבלו מניתוח הראיונות
136	נספח יא: סיכום מערך המחקר
I	Abstract

רשימת לוחות

- לוח 1 : התפלגות המשתתפים לפי מגדר ולפי קבוצות מחקר 24
- לוח 2 : דוגמה לניתוח תופעה פיזיקלית עם תמיכה מטה-קוגניטיבית על פי מודל פירמידת
ארבעת הקודקודים..... 26
- לוח 3 : ניתוח גורמים של שאלון תפיסת הפיזיקה 30
- לוח 4 : מקדמי המהימנות של עקיבות פנימית לסולמות בשאלון תפיסת הפיזיקה 31
- לוח 5 : חלוקת פריטי השאלות בשאלון הידע על פי מקורן 32
- לוח 6 : ארבע השאלות הנבחרות מתוך שאלון הידע 33
- לוח 7 : מיון שאלות המדגם לפי הקריטריונים של מודל ארבעת הקודקודים ולפי מיומנויות
החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה 34
- לוח 8 : אפיון סעיפי שאלה לפי הקריטריונים של מודל ארבעת הקודקודים ולפי מיומנויות
החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה 35
- לוח 9 : מחוון מחקרי לשאלה 9 מתוך שאלון הידע עם דוגמאות לתשובות תלמידים 36
- לוח 10 : חלוקת סעיפי עבודת הסיכום על פי הקריטריונים של המודל, ההבנה ומיומנויות
החשיבה, בכפוף לשאלות המחקר 37
- לוח 11 : דוגמה חלקית לניתוח עבודת סיכום לפי המחוון המחקרי 38
- לוח 12 : חלוקת שאלות הריאיון לפי היבט אישי, היבט מדעי, קשיים בנושא המרות אנרגיה 39
- לוח 13 : מפתח תמות וקטגוריות בשיטת הקידוד 40
- לוח 14 : ממוצעים, סטיות תקן, ערכי F וערכי η_p^2 של מדדי תפיסת הפיזיקה לפי זמן המדידה
ולפי קבוצת המחקר 46
- לוח 15 : דוגמאות לדברי המרואיינים לקטגוריות התוכן של תפיסת הפיזיקה 48
- לוח 16 : ממוצעים, סטיות תקן וערכי מבחן t של מדד כללי של הידע בטרום ההתערבות לפי
קבוצת מחקר (N=123) 51
- לוח 17 : ממוצעים, סטיות תקן, ערכי F וערכי η_p^2 של המדד הכללי של הידע לפי זמן המדידה
ולפי קבוצת המחקר 52
- לוח 18 : ממוצעים, סטיות תקן, ערכי F וערכי η_p^2 של מדדי מיומנויות החשיבה מסדר נמוך
ומסדר גבוה לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר 54

- לוח 19 : ממוצעים, סטיות תקן וערכי מבחן t של מדד זיהוי גופים ופעולות בתופעה בטרם
ההתערבות לפי קבוצת מחקר (N=123) 57
- לוח 20 : ממוצעים, סטיות תקן, ערכי F וערכי η_p^2 של מדד מיומנויות זיהוי גופים ופעולות
בתופעה הפיזיקלית לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר 59
- לוח 21 : ממוצעים, סטיות תקן וערכי מבחן t של מדד הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקלית
בשפת האנרגיה בטרם ההתערבות לפי קבוצת מחקר (N=123) 60
- לוח 22 : ממוצעים, סטיות תקן, ערכי F וערכי η_p^2 של מדד הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקלית
בשפת האנרגיה לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר 61
- לוח 23 : התפלגות התלמידים לפי ערך החציון ולפי קבוצת המחקר 63
- לוח 24 : ממוצעים, סטיות תקן, ערכי F וערכי η_p^2 של מדד ההישגים במבחן הידע, לפי זמן
המדידה, לפי רמת ההישגים ולפי קבוצת המחקר 64
- לוח 25 : ממוצעים, סטיות תקן וערכי מבחן t של מדד הציון הכללי של עבודת הסיכום לפי קבוצת
מחקר (N=37) 66
- לוח 26 : ממוצעים, סטיות תקן, ערכי F וערכי η_p^2 של מדד מיומנויות החשיבה מסדר נמוך
ומסדר גבוה לפי קבוצת המחקר 67
- לוח 27 : ממוצעים, סטיות תקן וערכי מבחן t של מדד זיהוי גופים ופעולות בתופעה שנחקרה
בעבודת הסיכום לפי קבוצת מחקר (N=37) 68
- לוח 28 : ממוצעים, סטיות תקן וערכי מבחן t של מדד הסבר נרטיבי של התופעה שנחקרה בעבודת
הסיכום לפי קבוצת מחקר (N=37) 69
- לוח 29 : ממוצעים, סטיות תקן וערכי מבחן t של מדד מיומנויות המידול בטרם ההתערבות לפי
קבוצת (N=123) 71
- לוח 30 : ממוצעים, סטיות תקן, ערכי F וערכי η_p^2 של מדד מיומנויות המידול לפי זמן המדידה
ולפי קבוצת המחקר 72
- לוח 31 : ממוצעים, סטיות תקן וערכי מבחן t של מדד מיומנות המידול בתופעה שנחקרה
בעבודת הסיכום לפי קבוצת מחקר (N=37) 73

לוח 32 : ממוצעים, סטיות תקן וערכי מבחן t של מדד מיומנות ההעברה בתופעה שנחקרה

בעבודת הסיכום לפי קבוצת מחקר (N=37) 74

רשימת תרשימים

תרשים 1 : ממוצעי תפיסת הפיזיקה של ההיבט האישי ושל ההיבט המדעי, לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר 46

תרשים 2 : התפלגות ההיגדים (באחוזים) בראיונות לפי קטגוריית תפיסת הפיזיקה ולפי קבוצת המחקר 47

תרשים 3 : ממוצעים של מדדי ההבנה הקונספטואלית ומיומנויות החשיבה לפי זמן המדידה ולפי קבוצות המחקר בשאלון הידע ובעבודת הסיכום 50

תרשים 4 : ממוצעי מדד כללי של הידע לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר 52

תרשים 5 : ממוצעי מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה במבחן הידע לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר 55

תרשים 6 : ממוצעי מדד זיהוי גופים ופעולות בתופעה הפיזיקלית לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר 59

תרשים 7 : ממוצעי מדד הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקלית בשפת האנרגיה לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר 62

תרשים 8 : אפקט אינטראקציה של מדד התפלגות ההישגים לפי ערך החציון, לפי קבוצת המחקר ולפי זמן המדידה 64

תרשים 9 : ממוצעי מדדי מיומנויות המידול וההעברה בשאלון הידע ובעבודת הסיכום לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר 72

רשימת איורים

איור 1 : מרכיבי מכוונות עצמית בלמידה, בדגש על מטה-קוגניציה ואסטרטגיות-ניטור המקשרות בין קוגניציה למרכיבי מטה-קוגניציה 18

איור 2 : מודל פירמידת ארבעת-הקודקודים, המבוסס על ארבעת המרכיבים לניתוח תופעה פיזיקלית 25

איור 3 : תיאור יחסי הגומלין בין כלי המחקר על פי מערך הסבר שלבי 28

איור 4 : סיכום מערך המחקר (נספח יא) 135

תקציר

מחקר זה עוסק בהשפעת הכוונה מטה-קוגניטיבית על תפיסת הפיזיקה בעיני תלמידים ועל הבנה קונספטואלית ומיומנויות חשיבה קוגניטיביות בקרב תלמידי ט' בכיתות הטרוגניות.

מטה-קוגניציה היא מיומנות-על בה הפרט מעבד את המידע, מפקח על תהליכי חשיבה של עצמו ומבקר את תוצרי החשיבה. חוקרים רבים הסיקו כי להכוונה מטה-קוגניטיבית יש אפקט חיובי על תוצרי למידה קוגניטיביים בלימודי המדעים ועיצוב הבניית הידע. מחקר זה עוסק בהשפעת הכוונה מטה-קוגניטיבית על תפיסת הפיזיקה בעיני תלמידים ועל הבנה קונספטואלית ומיומנויות חשיבה קוגניטיביות בנושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה בקרב תלמידי ט' בכיתות הטרוגניות.

מקצוע הפיזיקה מוערך כמדעי ויוקרתי ומשמש קרש קפיצה בהשכלה הגבוהה. מספר המהנדסים והמדענים, מידת תפוצת החקר המדעי והתעוזה הטכנולוגית של המדינה משקפים את חוזקה של המדינה, איכות החיים בה ויכולתה הכלכלית. בעיני תלמידים, פיזיקה נחשבת למקצוע חשוב בתרומתו החברתית והטכנולוגית, חרף זאת, הוא נתפס כקשה ללמידה, פחות מעניין מהמקצועות המדעיים האחרים ורלוונטי רק למי שמתעתד לעסוק בו בעתיד.

עולם הפיזיקה נשען על מספר נושאי לימוד מרכזיים, ביניהם: אנרגיה. המושג אנרגיה מוכתר כאחד ממושגי התווך במקצועות המדעיים, ונלמד כרעיון ספירלי בכיתות K-12, בהקשרים רבים. בחטיבת הביניים המושג אנרגיה משתלב בלימודי מדעים בכיתות ז'-ט', בין השאר בנושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה. התלמידים חווים לא מעט קשיי הבנה בעת ניתוח תופעות פיזיקליות, פשר חוק שימור האנרגיה וניתוח מצבים חדשים (העברה). חוקרים מציינים מספר גורמים המהווים מקור לקשיי ההבנה של התלמידים ומציעים דרכי הוראה חלופיות, לפיתוח וקידום למידה משמעותית, במקום ההוראה המסורתית.

לצורך מחקר זה נבנתה תוכנית התערבות פדגוגית, אשר מושתתת על מודל פדגוגי דמוי-פירמידה משוכללת, המאגד את ארבעת יסודות יחידת-הלימוד, והם: זיהוי תופעה פיזיקלית בהקשר של אנרגיות, הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקלית בשפת הפיזיקה, תיאור המרות האנרגיה באמצעות תרשימי זרימה ומטה-קוגניציה, ככלי המקשר בין מרכיבי הפירמידה. התמיכה המטה-קוגניטיבית התבצעה בפועל תוך הכוונה מפורשת של מתן פיגומים ושאלות מרמזות, לשם טיפוח הבנה משמעותית של מרכיבי התופעה הפיזיקלית.

שאלות המחקר

1. האם ובאיזה אופן הכוונה פדגוגית מטה-קוגניטיבית גורמת לשינוי בתפיסותיהם של התלמידים ביחס ללימודי הפיזיקה?
2. כיצד הכוונה פדגוגית מטה-קוגניטיבית במהלך ההוראה מסייעת לתלמידים לפתח הבנה משמעותית בנושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה?
3. האם ובאיזה אופן משפיעה תמיכה מטה-קוגניטיבית בעת הוראת הנושא המרות אנרגיה על מיומנויות מידול והעברה בקרב תלמידים?

השערות המחקר

1. תמיכה מטה-קוגניטיבית תשפר עמדות תלמידים כלפי מקצוע הפיזיקה, הם יפתחו אהדה כלפי המקצוע וירצו להמשיך ללמוד מקצוע זה בעתיד.
2. הכוונה מטה-קוגניטיבית תשפר את ההבנה הקונספטואלית (ברמת הידע) והמיומנויות הקוגניטיביות (מיומנויות חשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה) בקרב התלמידים, במידה רבה יותר בהשוואה לאלו שלא יקבלו תמיכה מטה-קוגניטיבית.
3. תמיכה מטה-קוגניטיבית תשפר מיומנויות מידול (ייצוגים חזותיים) ומיומנות העברה למצבים חדשים בקרב תלמידים במידה רבה יותר בהשוואה לאלו שלא יקבלו תמיכה מטה-קוגניטיבית. התלמידים בקבוצה עם ההתערבות הפדגוגית יהיו מסוגלים לנתח תופעות באמצעות תרשימי זרימה ותרשימי עוגה לתופעות, על פי מערך הכלים המטה-קוגניטיביים שרכשו במהלך לימוד הנושא.

במחקר השתתפו תלמידי כיתות ט' ($N=123$), הלומדים בכיתות הטרוגניות בבית ספר ממלכתי במרכז הארץ, שהתחלקו לשתי קבוצות מחקר: קבוצת התערבות ($n=63$) עם הכוונה מטה-קוגניטיבית וקבוצת השוואה ($n=60$) ללא הכוונה מטה-קוגניטיבית. כלי המחקר הכמותניים היו שאלון תפיסת הפיזיקה, שאלון ידע ומיומנויות חשיבה, עבודת סיכום וריאיון ככלי מחקר איכותני. כלי המחקר הכמותניים שימשו לבדיקת הבנה קונספטואלית של תכני הלימוד ולמיומנויות חשיבה מסדר נמוך וגבוה. עבודת הסיכום שימשה גם אמצעי לבדיקת מיומנות ההעברה של התלמידים. הראיונות היוו, בעיקר, הבהרה לממצאי תפיסת הפיזיקה.

ממצאי המחקר

1. בניגוד להשערה לשאלת המחקר הראשונה הייתה ירידה בתפיסת הפיזיקה בקרב קבוצת ההתערבות, הן בהיבט האישי והן בהיבט המדעי. אחת הסברות לממצאים אלו היא הגברת מידת השיפוט וביקורתיות אישית בקרב תלמידי קבוצת ההתערבות עקב ההכוונה המטה-קוגניטיבית.

2. בהתאם להשערה לשאלת המחקר השנייה היו הבדלים מובהקים לטובת קבוצת ההתערבות, שהתבטאו במספר מדדים: הבנה קונספטואלית על פי שלושת הקריטריונים במודל הפירמידה, ומיומנויות חשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה. להכוונה המטה-קוגניטיבית הייתה השפעה חיובית על הלמידה, אם כי ניכרו קשיי הבנה ותפיסות שגויות בעת ניתוח תופעות פיזיקליות וחוק שימור האנרגיה.

3. בהתאם להשערה לשאלת המחקר השלישית היה הבדל מובהק לטובת קבוצת ההתערבות במיומנויות המידול. ההכוונה המטה-קוגניטיבית שיפרה את מיומנות הייצוג החזותי של התופעות הפיזיקליות בתרשימי זרימה ובתרשימי עוגה, אך עדיין ניכרו קשיים לגבי מיומנויות אלו בתחום זה. לא התקבל הבדל מובהק לגבי מיומנות ההעברה. בשתי קבוצות המחקר ניכר קושי עצום בזיהוי תופעות פיזיקליות, אף שמדובר בהקשר דומה מאותו תחום.

לסיכום

תוצאות המחקר הנוכחי הראו כי הכוונה מטה-קוגניטיבית בנושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה משפרת הבנה קונספטואלית ומיומנויות חשיבה. עם זאת, יש צורך בשינוי דרכי ההוראה והתאמתן למיומנויות המאה ה-21, לעורר אהדה וסקרנות כלפי מקצוע הפיזיקה, לעודד שימוש במיומנויות חשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה, לפתח מיומנות מידול וליישם מיומנות העברה.

מבוא

תלמידים בבית הספר היסודי בעלי עמדות חיוביות כלפי מקצוע מדעים, אך עם הזמן התעניינותם במקצועות המדעיים במגמת ירידה עד כי בסביבות גיל 14 עמדותיהם ומידת העניין (בטווח חיובי-שלילי) מעוצבים דיים (Archer, et al., 2010). במקביל, במרוצת שנות הלימוד בחטיבה, מסתמנת הבחנה בין שני תחומי הדעת: ביולוגיה ופיזיקה, כשניכרת דעיכה בחיבה כלפי פיזיקה. בעיני התלמידים, מקצוע ביולוגיה נתפס מעניין, ופיזיקה כמקצוע משעמם, קשה להבנה ואף חסר רלוונטיות בנושאי לימוד מסוימים (לדוגמה: Williams, et al., 2003). חרף זאת, קיימת מודעות בקרב התלמידים לחשיבות הפיזיקה בחיי היום-יום עבור החברה, הסביבה, לפתרון בעיות רפואיות וכהנה (Roth & Roychoudhury, 1994; Sjøberg & Schreiner, 2010).

המושג אנרגיה משמש כרעיון מרכזי ספירלי בתוכניות לימודים במדעים בשכבות הגילאים גן-תיכון (American Association for the Advancement of Science - AAAS, 1993, 1999, 2007, K-12), לרבות תוכניות הלימודים במדעים בישראל. תלמידים נכנסים לבית הספר עם תפיסות מוקדמות של מהות האנרגיה בהקשרים שונים, הנובעות מחוויות יומיומיות ושפה (Lijnse, 1990), מצב נתון, שמוביל לעתים תכופות לקשיים בלמידת המושג אנרגיה כמושג מדעי (Park & Lin, 2016). על אף היותו מושג בסיסי, גישות נפוצות בהוראת נושא האנרגיה בחטיבת הביניים נחלו מעט הצלחה לסייע לתלמידים לפתח רעיונותיהם ולהגיע לרמות הבנה מתחכמות, שתהווה שימושיות להבנת הניסיון שלהם אודות אנרגיה (Nordine, et al., 2011). הספרות המדעית מציגה עושר רב של מחקרים לשיפור הוראת הפיזיקה, תוך הישענות על תהליכי חשיבה תמידיים, ייצוגי-מידע שונים ושילובים שלהם, ליצירת משמעות של תכני הלימוד בהתנסויותיהם של התלמידים - מעבר לחוויות שלהם בבית הספר (Duit & Treagust, 2012). מחקר זה חשוב בהכנת תשתית הבנייתית, המותאמת לכיתות הטרוגניות (לא מדעיות), לשיפור הבנת נושאי הלימוד המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה, המהווים את הפתיח בלימודי הפיזיקה בכיתות ט'. מטרת המחקר לבדוק מידת ההשפעה של תמיכה מטה-קוגניטיבית על מיומנויות החשיבה, ההבנה הקונספטואלית של נושא המרות אנרגיה ותפיסת הפיזיקה בעיני התלמידים. השאלות שנבחנו האם תמיכה מטה-קוגניטיבית משפיעה על מידת תפיסת הפיזיקה, משפרת יכולות קוגניטיביות ויכולת העברת מיומנויות החשיבה הנרכשות למצבים חדשים.

1. סקירה ספרותית

1.1 חשיבות המדע(ים) ברמה ארצית

חשיבותו של הידע המדעי ניכרת בתועלת הכלכלית הטמונה בחובו ובמשמעותו התרבותי, או כפי שהסבירו זאת החוקרים פוטוין והנסי (Potvin & Hasni, 2014) כי לחיבור חיובי בין המדע לטכנולוגיה יש השלכות חברתיות, כלכליות וסביבתיות. החוקר קנדי (Kennedy, 2011) הצביע על קשר ברור בין יכולתה הכלכלית של המדינה לבין מספר מהנדסים ומדענים (ביחס למיליון תושבים) הצומחים באותה חברה. חוזקה של מדינה משתקף באיכות החיים של אותה חברה, בהשקעה בהון האנושי, בפיתוח תרבות של יזמות, בחקר מדעי ובתעוזה טכנולוגית. אחוז המהנדסים והמדענים במדינה משקף את הרווחה הכלכלית שלה, לדוגמה: השוואת מספר המהנדסים בין המדינות המתפתחות למדינות המפותחות מראה יתרון משמעותי לטובת האחרונות. החוקר דבואר (DeBoer, 2000) הזדהה עם הקביעות, לפיהן הנחלת ידע מדעי ורכישת מיומנויות הן חיוניות בעולם בו הטכנולוגיה והמדע "משחקים תפקיד חשוב". פועל יוצא - ירידה בהתעניינות במדע מעידה על ירידה בקריירות הקשורות למדע. לדעתו, נתון זה מעורר דאגה מטעמים מדיניים-כלכליים, כי הישגיות ותחרותיות מבוססות על השכלה גבוהה, ועמדות שליליות כלפי מדע (ומתמטיקה) מסכנות שגשוג כלכלי של המדינה. קריאת אזהרה נשמעה אף על ידי הארגון לשיתוף פעולה כלכלי ופיתוח OECD (2008), שהתריעה על דימוי המקצועות מדעיים-טכנולוגיים כפחות אטרקטיביים וירידה ניכרת במספר התלמידים הפונים להשכלה הגבוהה.

על פי נתוני דו"ח ה-OECD (2017), במדינות המשתייכות לארגון, קיים כמעט שוויון באחוזי בנים ובנות המתעתדים לעבוד בתחומים קשורי-מדע: ניכר כי רוב הבנים מעוניינים לעסוק בעתיד בעבודות הקשורות למדע והנדסה, פחות במידע ותקשורת טכנולוגית ובתחום הבריאות. מרבית הבנות נוטות לעסוק בתחום הבריאות, פחות בתחום המדע והנדסה, ומעט מאוד בתחום המידע ותקשורת טכנולוגית. מכאן, יש המאמינים בהקניית חינוך מדעי ברמה גבוהה כדרך לשינוי עמדות מתבגרים והוריהם (DeBoer, 2000; Osborne, et al., 2003). החוקרים פיינשטיין ואחרים (Feinstein, et al. 2013) הרחיבו את קהל היעד והמליצו על חינוך מדעי גם לאלו הנחשבים "לא-מדענים" (Nonscientists), על מנת שהמדע יהיה רלוונטי לחייהם כאזרחים.

1.2 עמדות תלמידים כלפי מקצועות מדעיים

ספרות המחקר דשה רבות בנושא עמדות תלמידים כלפי מדע, לרבות פיזיקה, ביולוגיה, כימיה, טכנולוגיה ומתמטיקה (Osborne, et al., 2003). החוקרים מאירס ופאוטס (Myers & Fouts, 1992) הדגישו את סביבת כיתת הלימוד, כגורם משפיע על עמדות תלמידים כלפי מדעים. החוקר קובלה (Koballa, 1995)

ראה שילוב של מספר מרכיבים כמדד לנקיטת עמדות תלמידים כלפי מדע(ים): טיב המורה המלמד, מידת הערכיות כלפי מדע, תחושות כלפי מדע (הישגים, הנאה, חרדה, פחד מכישלון), הערכה עצמית, מוטיבציה, עמדות חברים והורים, סביבת הלימוד.

החוקרים אוסבורן ואחרים (Osborne, et al., 2003) סיכמו את הגורמים, לפיהם נהוג לנתח את מצב מקצוע המדעים בכלל ופיזיקה בפרט, ואלו עיקרם: מגדר, סגנונות הוראה של מורים, תכנית לימודים, גורמים פנימיים של התלמידים, גורמים חיצוניים של התלמידים ומשתנים תרבותיים. להערכתם, ספרות המחקר מצביעה על מגדר (גם: OECD, 2017; Baram-Tsabari & Yarden, 2011) ואיכות ההוראה של המורים (גם: OECD, 2016) כגורמים המשמעותיים ביותר המשפיעים על עמדות תלמידים כלפי מדע. לדידם, קיימת חשיבות רבה בניתוח תפיסת מקצוע המדעים כפי ששוררת במספר מדינות בעולם. כאשר בחנו עמדות תלמידים בגילאים שונים (יסודי-השכלה גבוהה) כלפי המדע וניסו להבין את הסיבה לירידה ניכרת במספר התלמידים הפונים ללמוד מדע. באותה נשימה הם דיווחו על התפלגויות של תלמידים, הנוהרים ללמוד מקצוע זה או אחר מסיבות שונות, לבסוף נתנו המלצותיהם לשיפור הוראת מדעים ונגישות המדע עבור התלמידים.

1.3 עמדות תלמידים כלפי לימודי הפיזיקה

במדינות רבות, מקבלי ההחלטות באגף ההשכלה הגבוהה מביעים צער על הירידה במספר הסטודנטים, המעוניינים להמשיך בלימודי הפיזיקה ולעסוק בכל הקשור בתחום זה. באופן כללי, בקרב סטודנטים ותלמידים קיימת פחות הנאה / אהדה כלפי פיזיקה בהשוואה לביולוגיה או לכימיה (Feinstein, et al., 2013; Häussler, 1987; OECD, 2008; Osborne, et al., 2003; Williams, et al., 2003; Woolnough, 1994). לאמיתו של דבר, בעת כניסת תלמידים לחטיבת הביניים, רבים מהם רוכשים אהדה שווה לביולוגיה ולפיזיקה, ואף רואים מקצועות אלו כמקשה אחת – מקצוע מדעים (Williams, et al., 2003). במרוצת שנות הלימוד בחטיבה, מסתמנת הבחנה בין שני תחומי דעת אלו והחיבה כלפי פיזיקה פוחתת.

החוקר וולנו (Woolnough, 1994) טען כי קיימות מספר סיבות להיענות נמוכה של תלמידי חטיבות ביניים להמשיך בלימודי הפיזיקה. חלק מהסיבות הקשורות למתרחש בבית הספר ובשיעורי מדעים, הן בשליטת המורה, כמו: הנגשה לקויה של התוכן הנלמד והתעלמות מגישור נכון של מהות המקצוע ליחס

¹ OECD - Organization for Economic Co-operation and Development.

הארגון לשיתוף פעולה ולפיתוח כלכלי, הוא ארגון בינלאומי בו חברות מדינות, הדוגלות בקבלת עקרונות הדמוקרטיה והשוק החופשי. ישראל הצטרפה בשנת 2010.

התלמידים כלפיו. החוקר ג'ורג' (George, 2000) הסביר את הירידה בהמשך לימודי הפיזיקה, בעיקר בשל גיבוש תפיסה-עצמית מדעית במהלך היכרות המקצועות המדעיים השונים, יותר מאשר השפעת המורה, השפעת עמיתים, מעורבות הורים ומגדר. החוקרים וויליאמס ואחרים (Williams, et al., 2003) התייחסו לאיכות המורים, כגורם משפיע בעיצוב עמדות התלמידים. לטענתם, קיימת ירידה במספר מורי הפיזיקה, כפועל יוצא מירידה במספר בוגרי לימודי פיזיקה. המחסור במורי פיזיקה מאלץ להעסיק מורים חסרי הכשרה מספקת בתחום, על אף מאמציהם, התלהבותם ורוח הפיזיקה שהם מקרינים – איכותם נופלת בהשוואה למורי פיזיקה מוסמכים. לדעתם, ישנן סיבות נוספות הקשורות למעמד נמוך, אי מתן תגמולים ומשכורות נמוכות, עבור אלו שבחרים בקריירה מבוססת-פיזיקה.

יש הרואים בעצם המגדר סיבה מהותית: במדינות רבות, קיימים הבדלים בהישגי תלמידים במבחני TIMSS² במדעים, על רקע מגדר, לטובת הבנים. לאמיתו של דבר, ההבדלים הללו מורגשים במידה רבה ביותר בתחום הפיזיקה, מאשר בתחומי מדע אחרים (Zohar & Sela, 2003). לדעת חוקרים אלו, הבנים מדווחים על הנאה משיעורי פיזיקה והנם בעלי תפיסה עצמית גבוהה יותר מאשר הבנות. מחקרים נוספים מראים, באופן נחרץ, שבנות מעדיפות לימודי ביולוגיה (לעתים בשילוב כימיה) על פני לימודי פיזיקה, בעוד שבנים מתעניינים, מתלהבים ומאותגרים יותר מההיבטים המופשטים והמתמטיים של המדע (Baram- Tsabari & Yarden, 2011; Koballa, 1995; OECD, 2017; Osborne, et al., 2003). במחקר של דויט ואחרים (Duit, et al., 2014) הם ציינו כי מקצוע פיזיקה פחות מעניין תלמידים בהשוואה למקצועות המדעיים האחרים. עבור התלמידים, ובעיקר בקרב הבנות, מדובר במדע מופשט למדי, מורכב, קשה, אינו אינטואיטיבי ולא מובן.

בהמשך לנידון לעיל, החוקרים קובלה וגלין (Koballa & Glynn, 2013) הסתמכו על מספר מחקרים (לדוגמה: George, 2000) וסיכמו כי תלמידי בית הספר היסודי חשים יותר אהדה כלפי מדעים, בעוד שבחטיבת הביניים ובתיכון חלה דעיכה. החוקרים תהו אם הדעיכה בעיני התלמידים נובעת מחוסר יכולתם להפריד בין עמדותיהם כלפי מדעים לעמדותיהם כלפי בית הספר.

ישנן גם סיבות התלויות ביכולות נמוכות של התלמידים, עמדותיהם השליליות ורקע תרבותי דל (כגון: משפחה שאינה תומכת). ספרות המחקר חלוקה בדעתה באשר להשפעת הרקע הסוציו-אקונומי על עמדות תלמידים כלפי הפיזיקה (Osborne, et al., 2003).

² מחקר ה-TIMSS (Trends in International Mathematics and Science Study) הוא מחקר חינוך בינלאומי במתמטיקה ובמדעים, הנערך על ידי ה-IEA (International Association for the Evaluation of Educational Achievement) הארגון הבינלאומי להערכת הישגים בחינוך בכיתות ד' ובכיתות ח'.

1.4 פיזיקה – היבט מדעי והיבט אישי

החוקר לינזי (Lijnse, 1990) דן בסוגיה לפיה הוראת הפיזיקה ותפיסת עולמם של התלמידים מתנהלות כעולמות נפרדים. החוקר משוכנע כי בקרב תלמידים קיים פער בין אופן החשיבה של עולם החיים שלהם (Life-World) לבין מקצוע הפיזיקה הנלמד בית הספר, הנובע מהתפתחות שונה של שני העולמות. הכוונה: מושגי מפתח מתחום הפיזיקה חלחלו לשפה הַדְּבֹרָה, אך בעקבות הקשרים אישיים או חברתיים חל שימוש שונה בהם, והם הפכו למעין צורת ביטוי או רעיון כללי (slogan) וכך משמעותם הפיזיקלית הטהורה השתנתה. לטענת החוקר, סיטואציה זו קשורה באופן ישיר לפעולה מעשית אישית או חברתית והשאיפה היא להשיג מטרה שימושית או משמעותית. דוגמה לכך: בפיזיקה, המושג "אנרגיה" נועד לתאר עקרון פיזיקלי באופן תיאורטי ומופשט, מוגדר ביסודו כגודל פיזיקלי שנשמר ובעל יחידת מידה. לכאורה המושג נבנה, לאור חוויות של עולם החיים, אך מנגד, החשיבה בעולם החיים מתמקדת דווקא בשימוש באנרגיה ובצריכת אנרגיה, בשל התמודדות עם מצרך זה בעולם שאנו חיים בו. לאור זאת, בעת לימוד מושגים בפיזיקה, כמו אנרגיה, נוצר בלבול בעיתוי ובהקשר לשימושם, גם בקרב המורים. לדבריו, הוראת הפיזיקה חייבת להיות מקושרת ורלוונטית לעולם החיים של התלמידים.

למיטב הבנתם של החוקרים רות' ורויחודהורי (Roth & Roychoudhury, 1994) עולמות שונים יכולים להתבטא גם בכיתה עצמה. הם ראו את הכיתה סביבה דינמית, מערבת כוחות חברתיים ותרבותיים, בה נפגשות מסגרות חשיבה של תלמידים ומורים כאשר דרכי ההתקשרות ביניהן אינן ניתנות לחיזוי. הנחת היסוד היא כי למידה משמעותית נוצרת כאשר תפיסות העולם של התלמידים ניתנות להערכה עם תכנים הנלמדים בכיתה. בלב העניין, תלמידים ומורים צריכים לחלוק הבנה בסיסית משותפת של תרבות מושגים ותכנים כדי לאפשר למידה משמעותית. ללא הבנה משותפת, המורים ותלמידיהם, יחיו בעולמות שונים.

בהקשר לנאמר לעיל, החוקר אייקנהד (Aikenhead, 2009) האמין שעקרון הרלוונטיות צריך להיות בלב תוכניות לימודי STS³ וההוראה ובשל כך מבקר את חוסר הרלוונטיות של מדעים בחיי היום-יום של התלמידים, הלומדים בבתי הספר בשיטה המסורתית. עם זאת, החוקר הבחין בין התלמידים מכווני-מדעים, זו קבוצת אליטה, המסוגלים לפתח בעצמם ראיית עולם מדעית, לבין רוב התלמידים שאינם מזוהים כמדעיים. לדעתו, תלמידים אינם צריכים להיפלט ממסגרת הכשרה מקצועית של החינוך המדעי, על אף שאינם רואים עצמם מדענים או מהנדסים לעתיד. הוא האמין שתלמידים לא מדעיים יכולים להשתלב בלימודי מדע לשם קידום תועלת מעשית, ערכים אנושיים, קשרים עם נושאים אישיים וחברתיים, אם הלמידה תתמקד גם בחשיבות היחיד כאזרח לעתיד.

מדע, טכנולוגיה וחברה. ³STS - Science, Technology and Society

החוקרים קוזול ואוסבורן (Kozoll & Osborne, 2003) הסבירו כיצד ניתן לגשר בין שני העולמות: עולם המדע, המתהווה בחיי הפרט, משמש כמקור השראה ותהליך מכונן לקידום השכלתו במובן גדול יותר, כלומר – כאשר אדם נותן פרשנות לעולם החיים (Lifeworld), הוא בוחן את סביבתו, תוהה, מפתח אוריינטציה לגבי זהותו ועיסוקו לעתיד לבוא. חוקרים אלו חיזקו את יחסי הגומלין בין שני עולמות אלו (עולם החיים ועולם המדע) ורואים הטמעת תפיסת המדע הפורמלי באמצעות סוגיות מסוימות של עולם החיים. אמנם מדובר בשני עולמות זרים זה לזה: עולם המדע האידיאלי – אובייקטיבי, לנגד העולם היומיומי – הרגיל של התלמיד, הנתון להשפעות מגדר, תרבות, אתניות ועוד. אכן, הקונפליקט הקיים בין שני העולמות מקשה על הלכידות ביניהם, אך לדבריהם, ניתן להתעלם מהפערים הללו על ידי בחינה ביקורתית של ה"דעות הקדומות" (prejudices) של כל צד – תהליך, שנראה בעיניהם כמעודד לפתיחת הגבולות בין שני העולמות. לא נסתר מעיניהם של החוקרים דוויט ואחרים (Duit, et al., 2014) כי תחום הפיזיקה מככב במרבית מחקרי הוראת ולימודי המדעים, לרבות ביולוגיה וכימיה. בין הסיבות שחוקרים אלו העלו, הם הדגישו כי יש קושי רב בלימודי הפיזיקה, שנובע מהתנגשות בין התהוות ידע של עולם הפיזיקה (nature of physics knowledge), לבין הנחלת מדע-הפיזיקה, דהיינו: תיאור תופעות ביום-יום לעומת הפיזיקה המופשטת, הבנייתית עם חוקיות מתמטית וגיאומטרית ברמה גבוהה (חישובים על בסיס מצב אידיאלי – תוך הזנחת גורמים "מפריעים"). החוקרים חיזקו את הטענה כי הקניית חוקים ועקרונות של הפיזיקה בקרב התלמידים אינה מושגת בקלות היות והתלמידים אוחזים בתפיסות ורעיונות מנוגדים לחלוטין מהמושגים והעקרונות של הפיזיקה האמיתית, החל מגיל גן ועד התיכון.

1.5 פיזיקה בתוכנית הלימודים בישראל

תוכנית הלימודים "לימודי המדע והטכנולוגיה", מנוסחת כהתפתחות ספיראלית בתחומי התוכן, המיומנויות ודרכי החשיבה, בהתאם לגיל הלומדים.⁴ מאז פרסום תוכנית הלימודים ב-1996 חלו בה מדי שנה שינויים ועדכונים, הניכרים בשיפור הניסוח, יותר שקיפות והתייחסות מפורשת לכל דיסציפלינה בנפרד (קליין, 2016). בשכבות הגיל א'-ט' קיימים חמישה תחומי תוכן מרכזיים הנלמדים ברצף ספירלי, בשילוב מיומנויות חשיבה: כימיה, פיזיקה, ביולוגיה, מדעי היקום וטכנולוגיה. כל תחום תוכן כולל מספר נושאים מרכזיים, הנלמדים תוך התייחסות לשלושת ההיבטים העיקריים: מדע – טכנולוגיה – חברה. תחום התוכן – פיזיקה – עוסק בתופעות הנעות ברצף מן החלקיקים האלמנטריים של האטום ועד לצבירי-על של הגלקסיות ביקום. היות ופיזיקה עוסקת גם בגופים הבסיסיים ביותר שמהם בנוי העולם, היא

⁴ תכנית הלימודים במדע וטכנולוגיה לחטיבת הביניים: שער ראשון – תפיסה רעיונית.
http://meyda.education.gov.il/files/Tochniyot_Limudim/Mada/TFisa.docx

קרויה לעתים בשם המדע הבסיסי, משום שהוא מהווה בסיס למדעים אחרים כמו: הכימיה, הביולוגיה והטכנולוגיה.⁵

לקראת דיון בוועדת המדע והטכנולוגיה של הכנסת (בינואר 2010), הוגש מסמך לנוגעים לעניין, המציג את מצב לימודי המדעים בבתי הספר העיוניים בישראל (גולדשמידט, 2010). ממצאי החקירה התבססו, בין השאר, על המלצות שנוסחו בזמנו על ידי הוועדה העליונה לחינוך מדעי טכנולוגי – "מחר 98".⁶ חלק מהנתונים מראים שיפור במצב, לצד אחרים, החורגים מההמלצות. להלן מספר הישגים: פיתוח תוכניות לימודים וחומרי לימוד יסודי-חטיבת ביניים-תיכון, יותר ריכוזיות בידי משרד החינוך ופחות בצוות הבית ספרי, הקצאת שעות מעבדה בתיכון, הכשרת והסבת אקדמאים להוראת פיזיקה, עידוד בנות ללמוד מקצועות מדעיים, שיבוץ מוט"ב (מדע וטכנולוגיה בחברה) בכיתות לא מדעיות בתיכון. לגבי מקצוע הפיזיקה נמצאו ליקויים, לדוגמה: הקצאת אחוז נמוך של שעות לימודי פיזיקה בחטיבת הביניים בהשוואה לממוצע בין-לאומי, ביטול/צמצום לימוד מקצוע פיזיקה בכיתות ט' (עקב מחסור במורי פיזיקה), ביטול מקצועות מדעיים בחלק מבתי הספר התיכוניים (למעט המגמות המדעיות), ירידה בשיעור הניגשים לבחינות בגרות ב-5 יחידות לימוד במקצוע הפיזיקה, ירידה במספר המורים לפיזיקה על אף הכשרת מורים והסבת אקדמאים (גולדשמידט, 2010; קליין, 2016).

1.6 אנרגיה – רעיון גרעיני בתוכנית הלימודים (בתחום הפיזיקה)

תוכנית הלימודים, בתחום מדעי החומר – פיזיקה, כוללת שני נושאי לימוד מרכזיים: אנרגיה וכוחות ותנועה, הנשענים על העקרונות המקובלים כיום במדעי החומר.

אין עוררין בקרב מתווי תוכניות הלימודים בעולם ובארץ בנוגע לחשיבותו של המושג "אנרגיה" במקצועות המדעיים. הוא אחד משבעה מושגים אשר מוכתרים "מושגי יסוד חוצי-תחומים" (Fundamental Crosscutting Concepts) ובעצם היותו מושג מקיף הוא יוצר קשרים בין המקצועות המדעיים (NRC, 1996, 2012). בנוסף, נחשב לרעיון גרעיני דיסציפלינרי (Disciplinary Core Idea) ונלמד בנשימה אחת עם המושג "חומר", הנתפסים כבעלי מאפיינים של זרימה, מחזוריות ושימור (NRC, 2012). על כן, המושג אנרגיה משמש כרעיון מרכזי ספירלי בתוכניות לימודים במדעים בשכבות הגילאים גן-תיכון (K-12), (American Association for the Advancement of Science - AAAS, 1993, 1999, 2007, 2009), לרבות תוכניות הלימודים במדעים בישראל.

⁵ תכנית הלימודים במדע וטכנולוגיה לחטיבת הביניים: שער רביעי – מבואות לעולם התכנים.
http://meyda.education.gov.il/files/Tochniyot_Limudim/Mada/mevuot.docx

⁶ דו"ח הוועדה העליונה לחינוך מדעי וטכנולוגי: "מחר 98", הוקמה על ידי שר החינוך זבולון המר, בראשות פרופ' חיים הררי, במטרה לבחון את נושא החינוך הטכנולוגי מדעי בישראל, ובעקבות זאת לגבש המלצות לשיפור.

לפי NRC (2007), הוראת נושא האנרגיה, על רבדיו השונים, נפרשת על פני תקופה ארוכת טווח. לטענת שמידט ואחרים (Schmidt, et al., 2013) מועד שיבוץ הנושא בתוכנית הלימודים משפיע על מידת נטייתו להתקבע בתוכניות הלימודים של השכבות הבוגרות יותר, בצורה מורחבת ומעמיקה. לדוגמה, סוגי האנרגיה, נראה בעיניהם בסיס איתן ללימודי הפיזיקה, ולא בכדי נכלל כבר בתוכנית הלימודים בבתי הספר היסודיים. עיון במסמך אבני הדרך (Benchmarks), בפיתוח פרויקט 2061 (AAAS, 1993, 2009), מגלה אוסף מאורגן ומסועף של הגדרות, מושגים ועקרונות בהוראת נושאים במדעים. אחת הקטגוריות מתייחסת לתחום הפיזיקה, שכוללת מספר תתי נושאים כגון המרות אנרגיה, אם כי מושג זה מוזכר גם בהקשר לתחומים אחרים. נושא המרות אנרגיה, כשאר הנושאים, נפרס על פני ארבעה חתכי גילאים בטווח השכבות K-12, תוך הדגשת העקרונות מה התלמידים מחויבים לדעת בסוף כל חתך גילאים (המקודדים בקודים). לדוגמה: בסוף כיתה ב' (grade 2) התלמידים צריכים לדעת כי "השמש מחממת את האדמה, האוויר והמים" (קוד 4E/P1). בסוף כיתה ח' (grade 8): "כשאנרגיה מופיעה במקום אחד, חייב שתיעלם במקום אחר..." (קוד 4E/M1). בסוף כיתה י"ב (grade 12): "על אף הופעת מגוון צורות שונות של אנרגיה, כל אחת יכולה להימדד באופן כזה המאפשר מעקב אחר כמה צורה אחת מומרת לאחרת..." (קוד 4E/H1). מסמך הסטנדרטים מטעם NRC (1996) מגדיר קווי מתאר אחידים בתחומי הדעת במדעים, המבטאים עובדות, עקרונות, תיאוריות ומודלים שעל התלמידים לדעת, להבין וליישם, לפי שלושה חתכי גילאים. לדוגמה, נושא האנרגיה, בתוך מדע הפיזיקה, מאורגן כך: בשכבות K-4 נלמדים מספר סוגי אנרגיה, בשכבות 5-8 נלמד הנושא מעברי אנרגיה, ובשכבות 9-12 נלמדים חוק שימור האנרגיה ואינטראקציות אנרגיה-חומר. בגרסה מעודכנת של מסמך סטנדרטים (NRC, 2012) מודגש כי תכלית שילוב התכנים, הרעיונות המרכזיים וההתנסויות המדעיות - ליצור בקרב תלמידי K-12, חוויות ביחס למהות המדע, בצורה מדויקת יותר.

1.7 אנרגיה – בתוכניות הלימודים בישראל

בישראל, ציוני הדרך של הסטנדרטים ותוכניות הלימודים במדעים בכיתות אי-ו' גובשו במקביל לעיון במסמכי סטנדרטים של מערכות חינוך מהעולם המערבי, תוך התאמה ייחודית למערכת החינוך בישראל.⁷ אנרגיה וחומר אף הם נתפסים כרעיונות ומושגים חוצים תחומי דעת (מבואות – שער שני).⁸

⁷ מתוך: תיק תכניות לימודים לעובדי הוראה. גני ילדים, יסודי, חטיבת ביניים חטיבה עליונה. משרד החינוך. גרסה אלקטרונית: <https://edu.gov.il/special/Curriculum/Pages/hp.aspx>
⁸ תכנית הלימודים במדע וטכנולוגיה לחטיבת הביניים: מבואות.
http://cms.education.gov.il/EducationCMS/Units/Tochniyot_Limudim/science_tech/TochnitMeodkenet/chatab.htm

דוגמאות לציוני הדרך לפי חתכי כיתות בבית הספר היסודי: בכיתות א'-ב' על התלמידים לזהות מקורות של חום ואור, להבחין בין מקורות טבעיים (שמש) למלאכותיים (נורה, נר), ולהביא דוגמאות לכך מחיי היום יום. בכיתות ג'-ד' על התלמידים לזהות מרכיבי מעגל חשמלי, להרכיב מעגלים חשמליים פשוטים ולהסביר תרומת האנרגיה החשמלית לחברה. בכיתות ה'-ו' על התלמידים להכיר צורות אנרגיה למיניהן, להביא דוגמאות לכך, לתאר מעברי אנרגיה, לזהות מאפיינים של אנרגיית אור וקול, לתאר שלבים בהפקת חשמל, ולהסביר השפעות חיוביות ושליליות של ניצול מקורות האנרגיה.

תכנית הלימודים במדע וטכנולוגיה בחטיבת הביניים מהווה המשך לתוכנית הלימודים "לימודי מדע וטכנולוגיה בבית הספר היסודי" ומבטאת התפתחות ספיראלית בתחומי התוכן, המיומנויות ודרכי החשיבה בהתאם לדרגת הגיל. התוכנית מהווה תשתית בסיסית לידע ולכישורים בתחומי המדע וטכנולוגיה הנחוצים לכל בוגרי מערכת החינוך ולאילו מבין התלמידים שיבחרו להתמחות בלימודי המדעים בחטיבה העליונה (מתוך: תכנית לימודים במדע וטכנולוגיה לחטיבות ביניים⁹ – פרק: הקדמה¹⁰).

בחטיבת הביניים, המושג אנרגיה מוגדר כנושא מרכזי ונלמד בכל שכבות הגיל של חטיבת הביניים (ז'-ט') בשילוב היבטים סביבתיים. בכיתה ז' מוצג הנושא ללא התייחסות כמותית. נידונים בו מושגים כמו סוגי אנרגיה, המרות ומעברי אנרגיה, חוק שימור האנרגיה. כמו כן, נידון הקשר בין השינויים המתרחשים בחומר עקב חימום או קירור לבין שינויים ברמת החלקיקים. בכיתה ח' הדגש הוא על האנרגיה החשמלית והתייחסות להיבטים מיקרוסקופיים – תנועת אלקטרונים במעגל ולהיבטים כמותיים, כמו: עוצמת זרם במעגל וגורמים המשפיעים עליה. בכיתה ט' נעשית העמקה והרחבה של הנושא בכמה היבטים: היבט כמותי הכולל נוסחאות וחישובים, התייחסות לאנרגיית קרינה, לאנרגיה גרעינית, למערכות טכנולוגיות, ולהמרת סוגי אנרגיות לאנרגיות שימושיות לאדם (ראה נספח א: תכנית הלימודים בפיזיקה כיתה ט).

1.8 אנרגיה – מושג מפתח באוריינות מדעית

אוריינות מדעית טכנולוגית כוללת את היכולת להשתמש בידע מדעי וטכנולוגי בשילוב מיומנויות לצורך תפקוד יעיל בחברה. המושג כולל שני רכיבים: קוגניטיבי והתנהגותי, הקשורים זה בזה. הרכיב הקוגניטיבי מתייחס לידע המדעי והטכנולוגי וליכולת להפעיל מיומנויות חשיבה. הרכיב ההתנהגותי קשור ביכולת המעשית להיות מעורב ופעיל בפתרון בעיות (במישור האישי והחברתי), הקשורות בתחומי המדע והטכנולוגיה. טיפוח אוריינות מדעית טכנולוגיה מחייב הבנייה של רכיבים אלו וישומם בסיטואציות אותנטיות מחיי היומיום.¹¹ הלומד האורייני-מדעי מאופיין כמי שמתמש במושגים מדעיים, מפתח

⁹ תכנית הלימודים במדע וטכנולוגיה לחטיבת הביניים: שער שני - הוראת מדע וטכנולוגיה בראייה תחומית ובינתחומית. http://cms.education.gov.il/EducationCMS/Units/Tochniyot_Limudim/science_tech/TochnitMeodkenet/chatab.htm

¹⁰ תכנית הלימודים במדע וטכנולוגיה לחטיבת הביניים: הקדמה. http://meyda.education.gov.il/files/Tochniyot_Limudim/Mada/Hakdama.pdf

¹¹ תכנית הלימודים במדע וטכנולוגיה לחטיבת הביניים: מבואות לעולם התכנים. http://cms.education.gov.il/EducationCMS/Units/Tochniyot_Limudim/science_tech/TochnitMeodkenet/chatab.htm

מיומנויות, מעריך ומקבל החלטות תוך שיתוף פעולה עם אחרים ועם הסביבה (National Science Teachers Association – NSTA, 1971) ותוצאות הלמידה עצמן אף הן משמשות מדד לאפיון מהו לומד אורייני. על כן, נוסחו סטנדרטים המעוגנים במטרות תהליך הלמידה להדגשת הצורך בשיפור אוריינות מדעית. מדדים אלו כוללים פיתוח מיומנויות של חקר מדעי ומיומנויות פתרון-בעיות. פועל יוצא - הוראת נושא האנרגיה הינה אמצעי לשפר את האוריינות המדעית (NRC, 1996).

לטענת קונסטנטינו ופאפאדוריס (Constantinou & Papadouris, 2012) הבניית הנושא בחטיבת ביניים הראתה הצלחה מעטה בקרב התלמידים בהקשר של פיתוח רעיונות להבנה מעמיקה יותר של נושא האנרגיה וקישורו לחוויותיהם של התלמידים. לפיכך, החוקרים מסכמים שתוכניות חינוכיות אשר בכוונתן לשפר אוריינות-אנרגיה (לפי מסמך הסטנדרטים NRC, 1996) צריכות לכוון לא רק לידע קוגניטיבי ומיומנויות אלא גם לעמדות, לערכים, לאמונות, לכוונות ולאסטרטגיות פעולה ביחס ללימוד נושא האנרגיה. גם החוקרים דהוטרס ואחרים (DeWaters, et al., 2013) הצטרפו לטענה כי הוראת המושג אנרגיה, עבור תלמידי חטיבת הביניים צריכה להיבנות בגישה איכותית (בדגש על הבנת המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה, ולא תיאורית כמו בבית הספר היסודי), תוך הקניית מיומנויות והכוונת התלמידים להיותם אזרחים אוריינים בעתיד.

מכאן, חשיבות המושג אנרגיה נובעת מהקשרו לנושאים מרכזיים בחיי הפרט והסביבה, כגון: דלדול מקורות האנרגיה והשפעות סביבתיות ביחס לאנרגיה. נושאים אלו הינם בעלי השלכות על מדיניות גלובלית ומקומית, על יציבות כלכלית, על בחירות ונטיות בתור צרכנים בעתיד, על הבריאות, רווחת האדם ועולם הטבע. לכן, הבנה משמעותית של נושא זה הינה חשובה לתלמיד ולעתידו כאזרח אורייני (DeWaters & Powers, 2011, October; DeWaters, et al., 2013). ההיבט היישומי המשתמע מהרעיונות הללו הוא הבנת תכני הידע לשם רתימתם לחיי היום-יום, עד כדי כך שקיום הסביבה והחברה מותנה בהשלכות של הפקת האנרגיה וצריכתה. על הפרט לתמוך בצורך של שימור האנרגיה ולפתח אפשרויות למקורות דלק חלופיים, מתוך ידיעה שקבלת החלטות ונקיטת פעולות אישיות מבוססות-אנרגיה, יש בכוחן להשפיע על הקהילה העולמית, וחשוב יותר – מדרבנות בקבלת החלטות ובהפגנת התנהגויות, המשקפות עמדות של מתן כבוד כלפי מקורות אנרגיה (DeWaters & Powers, 2011).

1.9 מחלוקת בהגדרת המושג אנרגיה בשלב טרום תיכון

לטענת ויצמן ואחרים (2013), מקור הבעייתיות בהגדרת המושג אנרגיה בהוראה, התפתח בעקבות שתי תפיסות עולם, בנוגע להגדרת המושג אנרגיה. האחת נמנעת מכל הגדרה מובנית והשנייה מסתמכת על המושג "עבודה". תומכי הגישה הראשונה מסבירים כי המושג אנרגיה הוא אבסטרקטי (לדוגמה: Millar,

2005). בשל כך פיתוח חומרי הלמידה נשען על הגישה הדידקטית, הדוגלת אזכור מושג זה כפי שנהוג להשתמש בו בחיי היום-יום, לדוגמה: "בלבי אנרגיה המכוננת לא הייתה נוסעת", "ללא אנרגיה לא היו חיים". גישה זו מדגישה כי לאנרגיה חשיבות רבה מאד עבור האדם והחברה מבלי לומר מהי אנרגיה. לכל היותר, אפשר למצוא מקרים בהם האנרגיה מוגדרת כיכולת לבצע עבודה ללא הגדרה ברורה מהי עבודה (ויצמן ואחרים, 2013). ההתייחסות אל המושג "אנרגיה" אינה כאל מושג גרידא אלא מושג נפוץ בשימוש בעולמנו כיום (DeWaters, et al., 2013). תוכניות הלימוד נכתבו בגישה של "שפת האנרגיה", לפיה לאנרגיה יש סוגים ומקורות שונים, היא מומרת מסוג אחד לסוג אחר ועוברת מגוף לגוף, בכל המקרים הנדונים מתקיים חוק שימור האנרגיה. ויצמן ואחרים (2013), ציינו כי חסידי הגישה השנייה – מורי הפיזיקה, נקטו בגישה של לימוד הגדרת המושג "עבודה" ובאמצעותו הגדירו שינוי באנרגיה כובדית, אנרגיה של קפיץ ואנרגיה קינטית, על פי משוואה המציינת שינויים בין מצבים שונים. אותה משוואה מהווה חלק מהחוק המגדיר שינוי באנרגיה – החוק הראשון של התרמודינמיקה.

המורים עצמם מעידים שאין בנמצא הגדרה מיטבית למושג אנרגיה והם חשים אי שביעות רצון מעובדה זו (Kruger, 1990). היות והמושג אנרגיה והגדרתו הם עניין בעייתי, מורי מדעים מנסים למצוא דרכים חלופיות ללמד מושג זה ביעילות (Kurnaz & Calik, 2009). החוקרים פאפאדוריס ואחרים (Papadouris, et al., 2008) איתרו במחקרם מספר גורמים לקשייהם של תלמידי בתי ספר יסודיים וחטיבת ביניים בלמידת הנושא מערכות פיזיקליות (ניתוח המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה בתופעות פיזיקליות). בין הממצאים, נראה כי תלמידים רבים אינם מעריכים דיים תהליכי חשיבה הבנייתית, המאפשרים את היכולת להסביר התרחשויות של תופעות פיזיקליות או לנבא אילו שינויים עשויים לקרות בתופעה. החוקרים מסיקים כי חשיבת התלמידים מושפעת ממגוון קשיים מושגיים הנגרמים מהוראה מדעית, מסורתית ואי טיפול נאות בתפיסות שגויות. החוקרים מועלם ואלון (Mualem & Eylon, 2010) מנו מספר גורמים המהווים מקור לקשיי ההבנה של התלמידים: בארץ ובעולם חומרי הלימוד מתמקדים בהוראת הנושא תוך שימוש בנוסחאות ותרגולים מספריים, מורי המדעים בחטיבת הביניים אינם בקיאים דיים בהוראת הנושא, חסרי הדרכה מספקת בהוראת הנושא, לעיתים קיימת בשיעורים הפרדה בין התיאוריה למציאות, תלמידי חטיבת הביניים לא רוכשים אסטרטגיות ממוקדות ואינם מיישמים אותן במתן טיעונים בעת פתרון בעיות איכותיות (הסבר תופעות, שאינו מצריך חישובים מתמטיים).

1.10 אפיון הקשיים בהוראת המושג אנרגיה

נושא האנרגיה מהווה מרכיב דומיננטי בחיי היום-יום, מעבר לעיסוק בבית הספר, ולמרות זאת תלמידים רבים מתקשים בהבנת מושג זה כמושג מדעי (ויצמן ואחרים, 2013). החוקר ווטס (Watts, 1983) אפיון

מסגרות חשיבה נפוצות, המבוססות על תפיסות תלמידים למושג אנרגיה, כדלקמן:

א. אנתרופוצנטריות (האדם הוא במרכז) - האנרגיה קשורה לבני אדם, כלומר מקורה מפעולות של בני אדם, ואנתרופומורפיות (האנשה) - התייחסות לחפצים כאילו יש להם תכונות אנושיות.

ב. מודל המאגר - אנרגיה היא סוג של מקור כוח שאגור בעצמים וגורם להם לעבוד.

ג. פעולה - הפעולה המתרחשת היא האנרגיה (כמו תנועה).

ד. משהו שימושי - אנרגיה מקוטלגת כסוג כללי של דלק ושימושית במיוחד בתחום הטכנולוגיה.

ה. סוג של נוזל - אנרגיה בעלת יכולת זרימה.

ו. מרכיב / מוצר - אנרגיה אינה הגורם להתרחשות אלא התוצאה כמו שמזון אינו מקור אנרגיה אלא הופך לאנרגיה לאחר אכילתו ואנרגיה מתבטאת בפחם לאחר שריפתו.

החוקר לינזי (Lijnse, 1990) ירד לשורש עניין קושי המושג אנרגיה והסביר כי חלה התפתחות שונה בשימוש המושג בחיי היום-יום (Life-World), כלומר, באופן בו אנשים משתמשים במילה "אנרגיה" בביצוע פעולות אישיות וחברתיות שלהם. לדבריו, החשיבה ב"יום-יום" מתבטאת, בדרך כלל, במצבים בהם קיימת שאיפה להשיג מטרה שימושית או משמעותית. ניתוח הגדרות של התלמידים למושג אנרגיה, הוביל את Lijnse למסקנה כי החשיבה הטבעית אודות אנרגיה מאופיינת בכך שהיא מואנשת, חומרנית, סיבתית ואינה מתמטית, ניתנת לצריכה, וכתוצאה מכך היא מאבדת את התועלת שלה או/ו נעלמת. זה משהו שקיים, אבל מסיבות לא ברורות היא מופיעה בצורות שונות, ורק ככה ניתן לחשב את הכמות שלה ולשמרה. לכן, כאשר מלמדים את הרעיון המדעי "אנרגיה", חל בלבול אצל התלמידים באיזה מושג להשתמש. החוקרים מרסי-שאק וטלנקר (Marcie-Shuck & Talanquer, 2020) מצדדים באפיונים אלו ומוסיפים כי האנרגיה נתפשת כרכוש, או תוצר של ישויות אישיות בודדות, ולא כתכונה של אינטראקציה בין עצמים במערכת.

החוקר מילר (Millar, 2005) ציין שתי סיבות לקשיי התלמידים עם המושג אנרגיה: האחת, אנרגיה היא מושג מדעי מתמטי מופשט והשנייה, על אף השימוש הנרחב במושג אנרגיה בהקשר היומיומי, לרוב המשמעות המיוחסת פחות מדויקת ולא מדעית במובן האמתי. במחקר שערכו החוקרים האמר ואחרים (Hammer, et al., 2005) במסגרת שיעורי פיזיקה, נבדקה יכולת התלמידים לבצע העברה של מיומנויות וידע, כביכול לסיטואציות חדשות. חוקרים אלו ציינו כי בעת לימוד חקר תופעה פיזיקלית בכיתה, המורים ניסו לפשט ולהקל על תלמידיהם בדרך של שימוש בהיגיון פשוט, כאמצעי לתהליך חשיבה. ניסיון זה של המורים גרם לתלמידים להבין את התופעה בצורה שטחית, אשר החלישה את יכולת התלמידים לבצע העברה (Transfer). תלמידים רבים בכיתה ט' נתקלים בקשיי הבנת שרשרת המרות אנרגיה וחוק שימור

האנרגיה, על אף שנושא המרות אנרגיה נלמד בשיעורי מדעים בבית הספר היסודי ובכיתה ז'. הקושי בהבנת המושג אנרגיה נגרם גם בשל פער, הרווח בקרב התלמידים, בין תפיסת המושג ברמה הקונקרטית שלהם לבין הבנתו ברמה המופשטת (Eick, et al., 2009). קשיים אלו מתבטאים בניתוח תופעות פיזיקליות, ובהמשך הלימוד גם ביכולת קישור בין העקרונות המדעיים להיבט הכמותי בחישובי המרות אנרגיה.

לדעתם של פפאדוריס וקונסטנטינו (Papadouris & Constantinou, 2012) אחד הדפוסים הקיימים בהוראת נושא האנרגיה מתבטא בשימוש במושג בעת תיאור מערכות ותהליכים באופן כללי ולא מוחשי בקרב התלמידים, אשר גורם לעתים קרובות לשימוש במושג בצורה חסרת משמעות עבורם, כמו קשיי הקשה בין ציטוט חוק שימור האנרגיה לבין ביאור חוויות יומיומיות על סמך עקרון שימור האנרגיה. החוקר תומס (Thomas, 2013) הוסיף כי גישת הוראה שטחית (Surface Approach) ולא מעמיקה (Deep Approach) אינה מעודדת טיפוח תהליכי למידה וחשיבה, ונטולת הכוונה ממוקדת של מיומנות העברת המושגים בפיזיקה לחוויות מחוץ לבית הספר. החוקרים דוויט והאוסלר (Duit & Haeussler, 2013) סיכמו כי תלמידי כיתה י', בהשוואה לתלמידי כיתה ו', שולטים יותר במתן דוגמאות לצורות אנרגיה למיניהן, אך עדיין מתקשים בהבנת הרעיון של המרות אנרגיה. בנוסף, התלמידים רואים את חשיבות שימור האנרגיה כאפקט סיבתי, ואינם מתייחסים להיבט זה כאל המסגרת של תופעה פיזיקלית. להמחשת טענה זו הם מביאים כדוגמה: תלמידים טוענים – "האנרגיה אינה נעלמת בגלל חוק שימור האנרגיה", במקום לטעון כי "בתהליך התרחשו שינויים בצורות האנרגיה ועם זאת כמות האנרגיה המומרת נשארת קבועה במערכת". הוסיפו והגדילו החוקרים דאן ואחרים (Daane, et al., 2015) כי קשיי הבנת חוק שימור האנרגיה ויישומו אינם מנת חלקם של התלמידים בלבד, גם מספר מורים חווים קשיים אלו, ברמת תיאור לקוי של מעברי אנרגיה והמרות אנרגיה. החוקרים פורטוס ואחרים (Fortus, et al., 2019) נתנו תמונת מצב קודרת יותר: הם קבעו כי רוב התלמידים, המסיימים מסגרת לימודית גן-י"ב, אינם מסוגלים לתאר תופעות כלשהן באופן הגיוני, בהתבסס על המושג אנרגיה. הם תהו האם קשיי התלמידים נובעים מגישות הוראה מסורתיות.

החוקרת זוזובסקי (2003) התייחסה למצב ארצי-מקומי לפיו חוסר ההתאמה בין תכנית הלימודים בישראל לתוכנית הלימודים המעודכנת של IEA¹² הובילה לירידה בהישגי תלמידי חטיבת ביניים

¹² האגודה הבינלאומית להערכת הישגים - International Association for the Evaluation of Educational Achievement

במשימות בינלאומיות בחינוך מדעי (כדוגמת מבחני TIMSS-1999). עובדה זו משתקפת בפער בין הכרת המושגים לבין היכולת להשתמש בהם בעת יישום תופעות.

1.11 פיתוח תוכניות לשיפור אוריינות בנושא האנרגיה (אוריינות-אנרגיה)

קיימים מספר היבטים משותפים להוראה, המקדמת הבנה משמעותית ורעיונית של נושא האנרגיה ומובאות בזאת מקצת דוגמאות לכך ממחקרים שונים המתועדים בספרות במחקרית:

◆ למידה חווייתית: א. הצגת עקרונות האנרגיה ב"קרקס האנרגיות" (Brook & Wells, 1988), ב. בניית מודל מדעי-טכנולוגי כחלק מביצוע פרויקט מסכם בנושא אנרגיה (אריאלי, אתר "אנרגיה בהיבט רב תחומי")¹³.

◆ מתן פיגומי תמיכה מצד המורה: הנחיות מטה-קוגניטיביות לעידוד אינטגרציה של תכנים מתחומי ידע שונים בפרויקטים מדעיים גדולים (Davis, 1996, 2000, 2003).

◆ הקניית אסטרטגיה של ניסוח טיעונים לשם הבניית הידע המדעי והערכתו (Onyancha, 2010).

◆ שיטות הערכה: מודל למדידת התקדמות תלמידים בתכני מדע (Lee & Liu, 2010).

◆ עידוד אוריינות אזרחית: א. חינוך לקיימות אנרגטית עתידית תוך שיתוף פעיל של תלמידים וקרוביהם בהקשר לשימוש במקורות אנרגיה בסביבתם וקבלת החלטות נאותות לעתיד (DeWaters & Powers, 2011), ב. פיתוח כלי מדידה קוגניטיביים רגשיים והתנהגותיים להבנת המושג אנרגיה כאזרחים (DeWaters, et al., 2013).

◆ הכשרת מורים להוראת הפיזיקה בגישה האיכותית: שימוש נאה בניסוחים מקובלים מעולם המדע (ויצמן ואחרים, 2013; Mualem & Eylon, 2010; Constantinou & Papadouris, 2012).

◆ הפשטת שפת הפיזיקה: תיאור תופעות בשפת האנרגיה תוך שימוש במודל "Stores and Transfer" (Harrer, et al., 2013), המבוסס על התפיסה כי אנרגיה יכולה להיות אצורה במספר צורות במערכת, ושינוי באנרגיה מתרחש כאשר אנרגיה מומרת מצורה לצורה.

◆ מפות מושגים: חיבור מושגים באמצעות מילות קישור, לקבלת משפט בעל משמעות. ניתן לקשר בין המשפטים לקבלת מארג משפטים, השזורים ביניהם במבנה לוגי מסוים (יחיאלי, 2012).

◆ גישת הוראה שונה לניתוח המרות אנרגיה: התבוננות על תופעה פיזיקלית, כשהדגש אינו סוגי אנרגיה, אלא בתהליך המתרחש בעת אינטראקציה בין מערכות, והעברת האנרגיה מתרחשת, בעצם, במקביל בין המערכות (Fortus, et al., 2019).

<https://stwww1.weizmann.ac.il/energy/>

¹³ אריאלי, ר. אנרגיה בהיבט רב תחומי. מכון ויצמן למדע.

1.12 ייצוגי-מידע בלימוד נושא המרות אנרגיה

חלק נכבד מהמחקרים בנושא ייצוגים בשיעורי הפיזיקה, עוסק בתפיסות חלופיות של התלמידים, תוך התמקדות בשינוי תפיסתי. עצם חשיבות הנושא הוביל לשינוי ורפורמה בהוראת הפיזיקה (לדוגמה: Duit & Treagust, 2013; Thomas, 2003; Treagust, 2003). על פי הצעתם של דואיט וטריגסט (Duit & Treagust, 2012) ייצוגי-המידע צריכים להיות חיצוניים: שימוש בשפת הפיזיקה (ורבלי), כתיבת סמלים (טקסטואלי), תמונות, עזרים פיזיקליים או שילוב של צורות אלו, ופנמיים: חשיבה על רעיונות אלו. חשוב לקשר את השימוש בייצוגי-מידע ותהליכי הלמידה להתנסויות בתוך בית הספר ומחוצה לו. תלמידים המוגדרים כלומדים לפי הגישה המסורתית, אינם מפתחים קשרים בין הרעיונות לייצוגי-המידע: למידתם מתאפיינת בשינון בעל פה, לא מסתמן שינוי מושגי ואין הצגת תוצרים (ייצוגים) לגבי מה שאכן למדו (אם כי יש להם השגות ששימוש מוגבר לא בהכרח יוביל לתוצאות למידה שונות כפי שנמדדו במבחנים בשיטה המסורתית). לעומת זאת, תלמידים הלומדים בגישה המעמיקה, מאופיינים ביצירת קשרים בין ידע חדש לקודם, בין הרעיונות לייצוגי-המידע בצורה מאורגנת וברמות חשיבה גבוהות. לשם שיפור בהוראת הפיזיקה יש להתבסס על תהליכי חשיבה תמידיים, ייצוגי-מידע שונים ושילובים שלהם ליצירת משמעות של תכני הלימוד בהתנסויותיהם של התלמידים מעבר לחוויות שלהם בבית הספר.

החוקר ג'ונסטון (Johnstone, 1991) הציע מודל ייצוג מידע המהווה מסגרת בהפשטה של תופעות בכימיה, שעברה מספר פיתוחים בידי חוקרים אחרים (Gabel, 1993; Gilbert & Treagust, 2009; Thomas, 2013). מדובר במודל תלת-קודקודי, כשכל קודקוד מייצג הסבר ברמת חשיבה מסוימת: א. הרמה המאקרוסקופית – שהיא הסבר התופעה ברמה החושית, ב. הרמה המולקולרית/התת-מיקרוסקופית – שהיא הסבר התופעה על פי חלקיקי החומר, ג. הרמה הסמלית – שהיא אופן ייצוג חזותי של התופעה (Dangur, et al., 2014). החוקר תומאס (Thomas, 2013) רתם את המודל כדי לסייע לתלמידים בהבנת תופעות בפיזיקה ולמידת שפת הפיזיקה, תוך התייחסות לקישור בין שלוש הרמות של ייצוג המידע. לטענתו, שילוב ייצוגי-מידע מהווה דרך ליצירת מסגרת מקיפה למתן הסברים לתופעות פיזיקליות, מאפשרת שליטה איך להשתמש בייצוגים ומתי, ומצריכה חשיבה מעמיקה בהבנת הקשרים בין הרמות (בהמשך תהיה התייחסות למודל – כבסיס לתוכנית ההתערבות).

1.13 מיומנויות חשיבה, קוגניציה ומטה-קוגניציה

תכנון הלימודים כולל מדידת שליטת התלמידים ביעדי למידה (לדוגמה: מטלות למידה), שניתן לסווגם באמצעות שיטות טקסונומיה. מספר חוקרים, ביניהם: בלום (Bloom), אנדרסון (Anderson) – תלמידו של בלום, קרתי'והל (Krathwohl) ועוד, ארגנו בשיטת הטקסונומיה את יעדי הלמידה לפי סוג, סדר ורמת

החשיבה שלהם (Baker, 2003). הטקסונומיה של בלום מספקת מסגרת תיאורטית, המסווגת בשש רמות את ההתנהגויות של יעדי למידה בתחום הקוגניטיבי: ידע, הבנה, יישום, אנליזה, סינתזה, הערכה. כל רמת חשיבה מאגדת פעולות (אלו הפעלים בשאלות), המייצגות את הפעילות האינטלקטואלית הנעשית, או הנחוצה, לפתירת השאלה או המשימה (Jones, et al., 2009). רמות החשיבה של בלום מחולקות לשלוש קבוצות, הנבדלות בסטנדרטים המצופים להשלמת המשימה. בהתאם לכך גם השאלות הניתנות לדוגמה במבחן הישגים, מסווגות באותו אופן: מיומנויות חשיבה מסדר נמוך - ידע והבנה, מיומנויות חשיבה מסדר בינוני - יישום ואנליזה, מיומנויות חשיבה מסדר גבוה - סינתזה והערכה.

הטקסונומיה של בלום היוותה מקור השראה לאנשי חינוך, אך יצוין כי מספר לא מבוטל של מבקרים ערכו עדכונים ותוספות, לדוגמה: 1. יש המבקרים את הטקסונומיה של בלום בשיוך פעלים זהים במספר רמות חשיבה (לדוגמה: (Almerico & Baker, 2005, as cited in Jones, et al., 2009), 2. רמות חשיבה גבוהות יכולות להתבטא ללא הישענות על רמות חשיבה נמוכות יותר (Baker, 2003), 3. עריכת תיקון על פי דירוג רמות ידע, 4. תהליכים קוגניטיביים ורמה חשיבה נוספת מסדר גבוה - יצירה (Wilson, 2016), 5. פסיג (Passig) הוסיף רמת חשיבה מסדר גבוה הנקראת השבחה (איגר, בתוך גלסנר ואחרים, 2009), וכיוצא בזה.

הוראה של מיומנויות חשיבה מסדר גבוה מקדמת הבנה והישגים בתחום הדעת הנלמד. השילוב המכוון של תהליכי חשיבה מסדר גבוה בהוראת המקצוע משפרת את ביצועי ההבנה, כמו גם את הציונים של הלומדים (Zohar, 2004). לדעת החוקרות ספקטור-לוי ואחרים (2006) יש להקנות מיומנויות באופן מכוון ומפורש בשילוב תחומי התוכן המרכיבים את המקצוע. המודל שהן מציעות, כולל מיומנויות למידה, מיומנויות חשיבה, מיומנויות פתרון בעיות ומיומנויות חקר, שנועדו להכשיר את הלומד להתעמת עם מידע חדש, לעבדו, להפיק ביעילות ידע חדש ולפתח אוריינות מדעית. אלו מיומנויות המתארות תפקודים שכליים, המאפיינים התנהלות קוגניטיבית של האדם באופן מודע (קוגניציה).

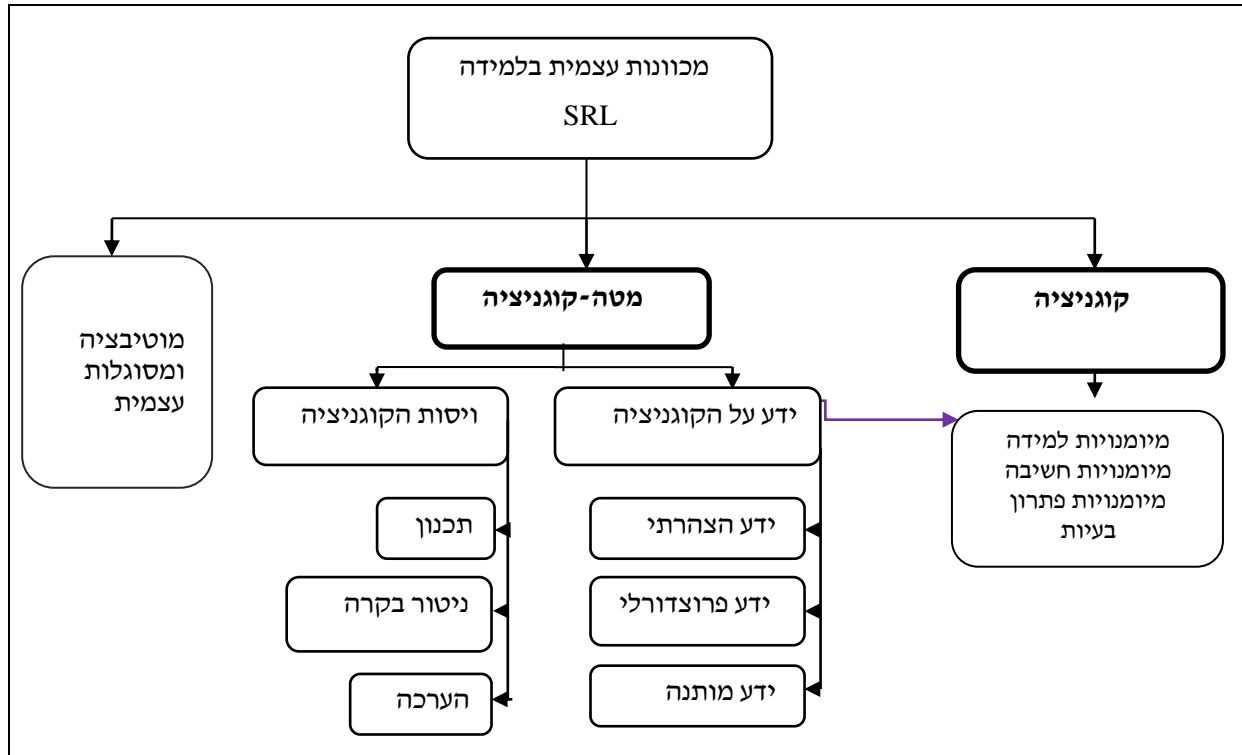
קוגניציה - זוהי ההכרה, הכוללת כישורים הדרושים לקידוד המידע, שינון וזכירתו. מרכיב זה מצריך שימוש באסטרטגיות פשוטות כמו שינון וסיוע בחיפוש מידע, וכן מיומנויות קוגניטיביות מורכבות יותר כמו פתרון בעיות וחשיבה ביקורתית (Schraw & Dennison, 1994). איגר (בתוך גלסנר ואחרים, 2009) מעריכה מאוד מיומנויות אלו, הנחשבות לתהליכי חשיבה מסדר גבוה, משום שהן הכרחיות ל"תפקוד מושכל" בעת שהמידע מתעצם כל הזמן. עם זאת, היא מסתייגת מהמדרג ההיררכי של המיומנויות הקוגניטיביות ומגדירה חשיבה זו כתלויה-הקשר, הכוללת את מאפייני המשימה ואת מאפייני הלומד.

את המושג מטה-קוגניציה (Metacognition) טבע פלאבל (Flavell, 1979) והגדירו כידע של הפרט אודות תהליכי החשיבה של עצמו ועל תוצרי החשיבה שלו. טענתו כי בכל פעילות קוגניטיבית, שמבצע האדם עם סביבתו, מתרחשות פעולות מגוונות של עיבוד מידע. מטה-קוגניציה מתייחסת לוויסות ולבקרת תהליכים אלו, תוך תזמון עם המידע הקוגניטיבי. הכוונה היא כי מטה-קוגניציה מפקחת על רצף של הפעולות בתהליך להשגת המטרה הקוגניטיבית. המודל שהציע פלאבל (Flavell, 1979) כולל ארבעה סוגי תופעות והקשרים ביניהם: א. ידע מטה-קוגניטיבי, ב. חוויות מטה-קוגניטיביות, ג. משימות או מטרות, ד. אסטרטגיות או פעולות.

מטה-קוגניציה - כוללת את המיומנויות המאפשרות הבנת תהליכים קוגניטיביים הדרושים ללמידה ומעקב אחריהם. מרכיב זה כולל שני תתי מרכיבים. תת מרכיב אחד הינו ידע על הקוגניציה המקיף שלושה היבטים: ידע הצהרתי, ידע פרוצדורלי וידע מותנה. ידע הצהרתי - מהם הגורמים המשפיעים על הלמידה האישית (כולל את היכולות של הלומד ומגבלותיו), לדוגמה: "כמה אני יודע בנושא מסוים?", "כמה אני זוכר מלימוד פרק מסוים?". ידע פרוצדורלי - מהן האסטרטגיות הדומיננטיות בהן משתמש הלומד, לדוגמה: "באילו אסטרטגיות עלי לבחור לביצוע יעיל של המשימה?". ידע מותנה - מהם הסיבות והתנאים לשימוש באסטרטגיות שנבחרו לצורך הלמידה (Schraw, 1998). מרכיב שני הינו ויסות הקוגניציה, הדורש שליטה במיומנויות: תכנון, בקרה והערכה (Schraw, et al., 2012). תכנון כולל בחירה של אסטרטגיות מתאימות והקצאת משאבים המשפיעים על הביצועים. תהליך זה מתפתח לאורך השנים, במיוחד בתקופות הילדות וההתבגרות. בקרה מיוחסת למידת המודעות הנדרשת להבנת ביצוע המשימה. דוגמה לכך היא היכולת לנהל מדי פעם מבחנים עצמיים בזמן הלמידה. הערכה מתייחסת להערכת תוצרי הלמידה (מבחינת מידת איכותם) והתהליכים המווסתים של הלמידה. דוגמה לכך היא היוזמה לבצע בחינה מחודשת של הצבת המטרות וניסוח המסקנות. על פי שראו ואחרים (Schraw, et al., 2006) היכולת להבין ולשלוט על הלמידה מיוחסת לתיאוריה של מכוונות עצמית בלמידה (Self-Regulated Learning-SRL), כאשר קוגניציה ומטה-קוגניציה הינן שני מרכיבים בתיאוריה זו והמרכיב השלישי הינו מוטיבציה. מחקר זה מתמקד ברכיב המטה-קוגניציה ולא במכלול תיאוריית ה-SRL, עם זאת חשוב לציין כי מרכיב המטה-קוגניציה אינו מנותק מה-SRL.

להלן איור 1, המתאר את הקשרים בין מרכיבי מכוונות עצמית בלמידה: קוגניציה, מטה-קוגניציה ומוטיבציה (מבוסס על פי ספקטור-לוי ואחרים, 2006; Efklides, 2006; Schraw, et al., 2006).

מרכיבי מכוונות עצמית בלמידה, בדגש על מטה-קוגניציה ואסטרטגיות-ניטור המקשרות בין קוגניציה למרכיבי מטה-קוגניציה



מבוסס על פי ספקטור-לוי ואחרים, 2006; Schraw, et al., 2006; Efkliides, 2006. מודגשים המושגים מטה-קוגניציה קוגניציה ורכיביהם, שכן הם עיקר מחקר זה ולא SRL כמכלול.

לדעת פרקינס וסלומון (Perkins & Salomon, 1987) המושג מטה-קוגניציה, המוכר גם במושגים שליטה עצמית (autocontrol) או ויסות עצמי (autoregulation) הוא למעשה ידע כללי, המכיל אסטרטגיות נרחבות לפתרון בעיות, חשיבה המצאתית, קבלת החלטות, למידה וניהול נפשי טוב. יישום הידע ומיומנויות החשיבה משתקף בכך שניתן לבצע העברה (transfer) לתחומים אחרים, שלכאורה אינם קשורים לקודמיהם. עם זאת הם ציינו כי ההעברה מותנית בידע ובכישורים הנרכשים ובאופן יכולתו של הפרט להתמודד מול מצב חדש. החוקרת אפקלידס (Efkliides, 2006) ציינה כי למטה-קוגניציה תפקיד כפול ("דו כיווני", כפי שנראה באיור מספר 1): היא מהווה ייצוג של הקוגניציה תוך התבססות על תהליכי הניטור וכן - מפעילה בקרה על הקוגניציה, תוך התבססות עליה. מספר חוקרים ניסחו אחרת את אופן הבקרה בין הקוגניציה למטה-קוגניציה: תלמידים צריכים לפתח ידע, שליטה ומודעות לתהליכי החשיבה והלמידה, כגון מטה-קוגניציה, תוך התייחסות לתוצרי הידע (לדוגמה: תשובה עם טיעון, ייצוגי ידע – תרשים, מודל) והשימוש בהם (Gilbert & Treagust, 2009).

1.14 מיומנויות חשיבה ומטה-קוגניציה ככלי תמיכה בהעברת ידע ומידול

מיומנות מידול היא אחת מתקני המדע, שפותחו בארצות הברית במסגרת יעדים לחינוך מדעי בשם Next Generation Science Standards (NGSS), המבוססת על מסגרת חינוך מדעי גן – י"ב (Framework K–12 Science Education), שנוצרה על ידי NRC. מטרת העל של NGSS בהצבת סטנדרטים חינוכיים חדשים לשם הקניית ידע, יצירת אחדות בהוראה ופיתוח עניין במדע בקרב התלמידים. מיומנות המידול, בהתייחס למושג אנרגיה בפיזיקה, משולבת כמטרות בתחומים שונים, כגון: לפתח מודל, המתאר כמויות אנרגיה פוטנציאלית האגורות במערכת בה מתרחשת אינטראקציה בין שני גופים עם שינויים במרחקים (קטלוג: MS-PS-3-2).¹⁴ ברוח זו, מערכת החינוך בישראל שקדה על עדכון מטרות הלמידה הרצויות לטווח השנים 2021-2031, במטרה "לעצב את דמות הבוגרת והבוגר ולהבטיח את מוכנותם לעולם המשתנה".¹⁵ המסמך המלא מפרט מטרות למידה בתחומי הידע, מיומנויות, ערכים, עקרונות מקדמי למידה והתאמה לשלבי הגיל. מבין שלוש עשרה המיומנויות, שמשרד החינוך לוקח אחריות עליהן באופן מערכתי, ישנה התייחסות למיומנות אוריינות מדעית. מיומנות אוריינות מדעית מאופיינת בהתמצאות מדעית והסבר מדעי של תופעות, ובין שאר הפעולות המצופות מהבוגרת נדרשות היכולות "לזהות, להשתמש, להעריך ולבנות מודלים לתיאור, להסבר ולחיזוי תופעות".

חוקרים רבים הסיקו כי להכוונה מטה-קוגניטיבית יש אפקט חיובי על תוצרי למידה קוגניטיביים בלימודי המדעים (לדוגמה: Dori & Avargil, 2015; Georghiades, 2004; Koch, 2001; Zion, et al., 2005). ספרות המחקר מגוללת מספר פרויקטים, בהם נערך שימוש במיומנויות חשיבה ומטה-קוגניציה כאמצעי לשיפור העברת ידע ומידול בתחום המדעים.

החוקרת דיוויס (Davis, 1966, 2000, 2003) דגלה בעידוד תלמידים לבצע רפלקציה מטה-קוגניטיבית במהלך שלבי עבודתם, באופן של מתן הנחיות לשיקוף המכלול (להבדיל מממוקדות), שלדידה תורם רבות בטיפול תהליכי אינטגרציה של ידע (Knowledge Integration) בפרויקטים מדעיים ומשקף איך התלמידים למדו. החוקרים האמר ועמיתיו (Hammer, et al., 2005) הבדילו בין העברה פסיבית, שהיא תלוית-מצב ומופעלת בהקשר כלשהו הנקרה בדרך, לבין העברה פעילה, בה למשאבים מטה-קוגניטיביים יש תפקיד ביכולת העברת ידע באופן פעיל מהקשר אחד לאחר. באופן מודע הלומד מנסה גישה אחרת ללמוד, שמוביל לחיפוש מכון אחר משאבים רעיוניים (Conceptual Resources) מחוויותיו היומיומיות.

¹⁴ [Read the Standards | Next Generation Science Standards \(nextgenscience.org\)](https://www.nextgenscience.org/read-the-standards)

¹⁵ המדיניות הפדגוגית הלאומית – דמות הבוגרת והבוגר. מיומנויות. מערכת החינוך / תשפ"א-תשצ"א / 2021-2031. <https://meyda.education.gov.il/files/Planning/dmuthabogeravneiderech.pdf>

החוקרים איק ואחרים (Eick, et al., 2009) דיווחו על שיפור במיומנויות העברת ידע בנושאי לימוד מתוך תכנית הלימודים בחטיבת ביניים, תוך שימוש במודל מעגלי בגישת חקר מובנה בעל אלמנטים מטה-קוגניטיביים, שהנם: חשיבה מפורשת בשלב הגישוש – חקר הרעיון ואיסוף נתונים – דיון – גיבוש הידע החדש שנרכש. העברה של למידה מתארת את היכולת ליישם למידה קודמת שהתרחשה בהקשר אחד לבעיה חדשה. בחינוך, העברה היא סוגיה מרכזית, מכיוון שהתלמידים אמורים ליישם את הידע שלהם מהתוכן הנלמד לתחום אחר, ובין בית הספר אל מחוצה לו (Bamberger & Davis, 2013).

החוקרים שר ואחרים (Scherr, et al., 2016) עודדו שימוש בייצוגים חזותיים בשם דיאגרמות מעברי אנרגיה. הייצוגים החזותיים משלבים מגוון יעדי למידה בכל הקשור לאנרגיה, לצורות אנרגיה, להמרות אנרגיה ולמערכות מורכבות של תרחישים בעולם האמיתי. הדיאגרמות, קרויות גם תרשימי הזרימה, מעוררות את התלמידים להכיר את המנגנונים והאילוצים של תהליכי המרות ומעברי אנרגיה, תומכות במתן נימוק באשר לאנרגיה פוטנציאלית, מאפשרות כימות יחסי של האנרגיות המעורבות בתהליך ומבהירות את השינויים בהמרות האנרגיה. לטענת החוקרים וויד-גיימס ואחרים (Wade-Jaimes, et al., 2018) מידול נחשב כפרקטיקה מדעית חשובה, ובתהליך הבניית המידול טמון פוטנציאל בתמיכת שינוי קונספטואלי בקרב התלמידים בפיזיקה. חוקרים אלו המליצו על גישת הוראה מפורשת עם כלים מטה-קוגניטיביים בעת לימוד נושאים בפיזיקה, כדי להגביר את היכולת של התלמידים בשימוש מודלים והפקת תועלת מהם. החוקרים נורדין ואחרים (Nordine, et al., 2018) הציגו גישת הוראה, על פיה נעשה מידול המתאר העברת אנרגיות בין מערכות, ללא צורך אפילו לציין שמות של צורות אנרגיה, ובכל זאת מספק לתלמידים מערך כלים עקבי ושימושי במתן פרשנות לתופעה. מידול האינטראקציות בין המערכות כולל מתן הסבר לתופעה, אלו תהליכים מתרחשים בכל מערכת, ואופן ייצוג התופעה באמצעות איורים, תרשימים ודגמים.

לפיכך, הוראת הנושא, תוך תמיכה מפורשת של מיומנויות מטה-קוגניטיביות, יכולה להגביר אהדה כלפי מקצוע הפיזיקה, לסייע בניתוח תופעות פיזיקליות, לבסס הבנתן באופן מפורש, ולאפשר העברת מיומנויות החשיבה הנרכשות להסבר תופעות אחרות.

2. מטרות המחקר

לאור סקירת הספרות במחקר זה נרצה להתמקד במטרות הבאות, על מנת להבין את מידת ההשפעה של תמיכה מטה-קוגניטיבית על מיומנויות החשיבה הקוגניטיביות, ההבנה הקונספטואלית ותפיסת הפיזיקה בעיני התלמידים.

לכן מטרות המחקר הן:

- א. פיתוח תפיסת הפיזיקה בקרב תלמידים בהקשר לנושאי מעברי אנרגיה המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה בעקבות הוראה מבוססת תמיכה מטה-קוגניטיבית.
- ב. טיפוח הבנה משמעותית בנושאי המרות אנרגיה, מעברי אנרגיה וחוק שימור האנרגיה באמצעות תמיכה מטה-קוגניטיבית.
- ג. פיתוח ואפיון מיומנויות חשיבה ברמה גבוהה: מידול והעברה - יכולת התלמיד לנתח תופעה פיזיקלית לא מוכרת ולהסבירה באמצעות מודלים חזותיים: מצגת/דגם.

2.1 שאלות המחקר

1. האם ובאיזה אופן הכוונה פדגוגית מטה-קוגניטיבית גורמת לשינוי בתפיסותיהם של התלמידים ביחס ללימודי הפיזיקה?
2. כיצד הכוונה פדגוגית מטה-קוגניטיבית במהלך ההוראה מסייעת לתלמידים לפתח הבנה משמעותית בנושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה?
3. האם ובאיזה אופן משפיעה תמיכה מטה-קוגניטיבית בעת הוראת הנושא המרות אנרגיה על מיומנויות מידול והעברה בקרב תלמידים?

2.2 השערות המחקר

1. תמיכה מטה-קוגניטיבית תשפר עמדות תלמידים כלפי מקצוע הפיזיקה, הם יפתחו אהדה כלפי המקצוע וירצו להמשיך ללמוד מקצוע זה בעתיד.
- החוקר טרומפר (Trumper, 2006) סיכם, על סמך סקירת מחקרים, כי שימוש בטכניקות הבנייתיות (קונסטרוקטיביסטיות) בהוראה בעל אפקט חיובי ביצירת עניין בעיני התלמידים לגבי הפיזיקה. החוקרים חואוטי ואחרים (Juuti, et al., 2010) הסיקו ממחקרם כי לימוד מדעים (פיזיקה וכימיה) בגישה קונסטרוקטיביסטית היא דרך לספק לתלמידים סיכוי שווה לפתח יכולת, קשר ואוטונומיה בטיפול תחושות חיוביות כלפי המדע. כמו כן, הערכת הרלוונטיות לעתיד בעיני התלמידים, היא הסיבה החשובה ביותר לבחירת או דחיית לימודי פיזיקה בתיכון. החוקרים פוטווין והנסי (Potvin & Hansi, 2014) ציינו במפורש כי הירידה בהתעניינות של תלמידים רבים בפיזיקה היא בשל הוראה בגישה המסורתית וכל התערבות פדגוגית יכולה להיות פורייה יותר לטובת הקשר בין התלמידים לבעיה הנידונה. עוד הדגישו כי

יצירת הקשר טוב של התוכן חשוב לעורר עניין בקרב התלמידים, ומהו הקשר טוב? קישור לסוגיות מהעולם האמיתי, לתופעות ולצרכים אמיתיים. מבחינתם, העיסוק בנושאים שנראים מעניינים או שימושיים בחיי היום-יום או לחייהם העתידיים בהקשר לפיזיקה, מחזק את תפיסת מושג העצמי ומעצים את המוטיבציה ומניעים פנימיים למידה.

2. הכוונה מטה-קוגניטיבית תשפר את ההבנה הקונספטואלית (ברמת הידע) והמיומנויות הקוגניטיביות (מיומנויות חשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה) בקרב התלמידים, במידה רבה יותר בהשוואה לאלו שלא יקבלו תמיכה מטה-קוגניטיבית.

החוקרת דייויס (Davis, 1996) הסיקה ממחקרה כי הנחיית התלמידים באמצעות פיגומים מטה-קוגניטיביים (Metacognitive Scaffolding), כהגדרתה לתמיכה מטה-קוגניטיבית, מעודדת שילוב ידע בקרב התלמידים ומשפרת את איכות וכמות עבודתם. החוקר ג'ורג'יאדס (Georghiadis, 2004) צידד בשילוב חשיבה מטה-קוגניטיבית בתוך תכנים מדעיים הנלמדים בבית הספר. חוקר זה הדגיש הטמעת הפעילויות המטה-קוגניטיביות במהלך תהליך ההוראה, משום שכך טמונה עמידות ההבנה המדעית של התלמידים, שבדרך כלל היא קצרת-מועד. החוקרת זוהר (Zohar, 2004) הדגישה את העיקרון לפיו: חשיבה מטה-קוגניטיבית היא חשיבה המובילה להבנה משמעותית. חוקרת זו ציינה לחיוב את השימוש בכלים מטה-קוגניטיביים לעוררות המודעות החשיבה באופן מפורש. כוונת החוקרת: זוהי חשיבה (מווסתת), המערבת תהליכים קוגניטיביים נכונים למצבים שהם ייחודיים, קשורי-תוכן ועשירים, בהשוואה לחשיבה ללא מטה-קוגניציה, לפיה נתקלים במצבים בהם המושגים מבולגנים במבנה הלוגי הבסיסי שלהם. החוקרת בן-דוד (בתוך גלסנר ואחרים, 2009) ציינה כי רוב החוקרים מסכימים שתהליכים מטה-קוגניטיביים חשובים לקידום כישורי חשיבה מסדר גבוה ולקידום תהליכי למידה, בהוסיפה כי יש חוקרים שהדגישו קידום יכולות קוגניטיביות למיניהן בתחומים שונים. עוד הוסיפה החוקרת כי גישת הוראה מטה-קוגניטיבית מפורשת מכוונת את התלמיד להבנות בעצמו ידע מפורש אודות אסטרטגיות חשיבה ותהליכי חשיבה וזה מוביל למידול והעברה.

3. תמיכה מטה-קוגניטיבית תשפר מיומנויות מידול (ייצוגים חזותיים) ומיומנות העברה למצבים חדשים בקרב תלמידים במידה רבה יותר בהשוואה לאלו שלא יקבלו תמיכה מטה-קוגניטיבית. התלמידים בקבוצה עם ההתערבות הפדגוגית יהיו מסוגלים לנתח תופעות באמצעות תרשימי זרימה ותרשימי עוגה לתופעות, על פי מערך הכלים המטה-קוגניטיביים שרכשו במהלך לימוד הנושא.

בעת לימוד נושאים בפיזיקה המליצו החוקרים וויד-ג'יימס ואחרים (Wade-Jaimes, et al., 2018) על גישת הוראה מפורשת עם כלים מטה-קוגניטיביים, כדי להגביר את היכולת של התלמידים בשימוש מודלים והפקת תועלת מהם. החוקרים שר ואחרים (Scherr, et al., 2016) חיזקו את השימוש בתרשימי

זרימה, כייצוגים חזותיים, כי באופן זה קיימת שקיפות בהבנת הדינמיקה של האנרגיה בקרב התלמידים ולכן ניתן להשתמש בהם גם לצרכי הערכה. החוקרים נורדין ואחרים (Nordine, et al., 2019) הציעו גישת הוראה המבוססת על שימוש במודל, והוא זה המוצג כפתרון להתמודדות אל מול אתגר הבנת המרות אנרגיה. המודל, שהנו תרשים זרימה, מאפשר הצגת תיאור התופעה עם התרחשות המרות האנרגיה, מחייב זיהוי המערכות ביניהן קיימת אינטראקציה של המרות האנרגיה ואת השינויים החלים באנרגיות. חוקרים אלו סיכמו כי בדרך זו מושגי האנרגיה מתבהרים כמועילים יותר.

החוקר ג'ורג'יאדס (Georghiades, 2000) טען כי יכולת העברת תפיסות התלמידים מתחום אחד לאחר מאופיינות בעמידות נמוכה ולמשך זמן קצר, לכן מטה-קוגניציה נחשבה בעיניו כמתווך פוטנציאלי לשיפור למידת השינוי התפיסתי בקרב תלמידים. החוקרת בן דוד (בתוך גלסנר ואחרים, 2009) טענה כי לשם תהליך העברה נרכשו אסטרטגיות חשיבה בהקשר מסוים והן מיושמות בהקשר חדש בתחום הלימודים או בחיי היום-יום. חוקרת זו ציינה לנכון את היתרון של הקניית כלים מטה-קוגניטיביים ליכולת ההעברה, מעבר למצב או תחום ספציפי.

3. מתודולוגיה

3.1 משתתפים

במחקר השתתפו 123 תלמידים, מתוכם 56 בנים (46%) ו-67 בנות (54%), מארבע כיתות ט' בחטיבת ביניים בעיר במרכז הארץ, המאופיינת בחתך כלכלי-חברתי בינוני (5, בסקלה של 1-10).¹⁶ הכיתות היו הטרוגניות (לא הוגדרו ככיתות מדעיות). שתי כיתות (51.2%, $n = 63$) למדו את נושא המרות האנרגיה וחוק שימור האנרגיה עם הכוונה מטה-קוגניטיבית מפורשת (קבוצת התערבות), ושתי כיתות ($n = 60$, 48.8%) למדו ללא הכוונה מטה-קוגניטיבית (קבוצת השוואה).

על מנת לבדוק אם קיימת תלות מובהקת בין משתנה המגדר לבין משתנה קבוצת המחקר, נערך מבחן χ^2 עם תיקון הרציפות של ייטס (Yates) ללוח 2×2 . על פי מבחן χ^2 עולה כי לא נמצאה תלות מובהקת בין משתנה המגדר לבין משתנה קבוצת המחקר $\chi^2(1) = 0.63, p = .429$. כלומר, התפלגות הבנים והבנות בקבוצת ההתערבות ובקבוצת השוואה הייתה דומה ולפיכך לא נמצא צורך לפקח על משתנה המגדר במסגרת בדיקת שאלות המחקר. בלוח 1 מוצגת התפלגות המשתתפים לפי שיוכם המגדרי ולפי קבוצות המחקר. בפרק הממצאים יוצגו מדדים אחרים שנבדקו בשלב טרום ההתערבות לצורך השוואה בין שתי הקבוצות.

לוח 1

התפלגות המשתתפים לפי מגדר ולפי קבוצות מחקר

סך הכול	בנות	בנים	
63 (51.2%)	37 (58.7%)	26 (41.3%)	קבוצת ההתערבות
60 (48.8%)	30 (50%)	30 (50%)	קבוצת השוואה
123 (100%)	67 (54.5%)	56 (45.5%)	סך הכול

3.2 מודל פירמידת ארבעת-הקודקודים

החוקר הרפז (2014) טען כי למידה משמעותית הינה הבסיס לתובנות מורכבות יותר בעתיד. התכנים החדשים מארגנים אחרת את אשר נלמד בעבר ומה שילמד בעתיד. דרך ההוראה צריכה לעודד עיסוק פעיל בידע לשם יצירת ההבנה, להבדיל מהוראה ישירה של ידע מהמורה לתלמיד, שאינה תורמת להבניית ההבנה. בעצם העיסוק בידע הלומד קושר, למעשה, בין המושגים לסביבתו.

<http://www.cbs.gov.il>

¹⁶ על פי נתוני הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, דירוג רשויות על פי מדד חברתי כלכלי.

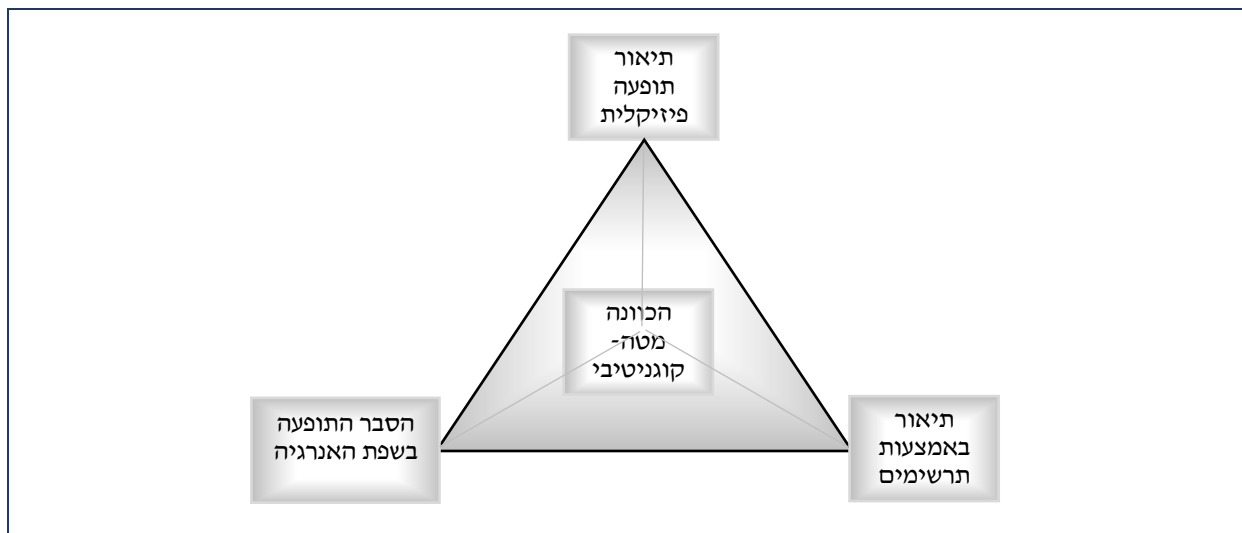
פעולת ההתערבות הפדגוגית במחקר זה הושתתה על למידה מכוונת-הבנה, שהתבצעה באמצעות מודל פדגוגי דמוי-פירמידה משוכללת, המאגד את ארבעת יסודות יחידת-הלימוד, והם:

- זיהוי תופעה פיזיקלית בהקשר של אנרגיות.
- הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקלית בשפת הפיזיקה – היבט תאורטי.
- תיאור המרות האנרגיה באמצעות תרשימי זרימה.
- מטה-קוגניציה, ככלי המקשר בין מרכיבי הפירמידה.

באיור 2 מוצג מודל פירמידת ארבעת-הקודקודים, המבוסס על ארבעת המרכיבים לניתוח תופעה פיזיקלית.

איור 2

מודל פירמידת ארבעת-הקודקודים, המבוסס על ארבעת המרכיבים לניתוח תופעה פיזיקלית



מדובר בהרחבת המודל תלת-קודקודי של ג'ונסטון (Johnstone, 1991) למודל ארבעה-קודקודי (ראה גם Gabel, 1993; Gilbert & Treagust, 2009), מסגרת הנשענת על מודל מעולם הכימיה הבנוי מארבע רמות הבנה: סמל, מאקרוסקופי, מיקרוסקופי ותהליך. ספרות המחקר חושפת מספר פרויקטים הנשענים על מודל ארבע רמות הבנה בכימיה. לדוגמה, מחקרם של קברמן ודורי (Kaberman & Dori, 2008) התבסס על מודל זה, בשילוב כלים מטה-קוגניטיביים, לעידוד שאילת שאלות והשבחתן בקרב תלמידים מצטיינים בשיעורי כימיה. במחקר אחר שערכו דורי ואברגיל (Dori & Avargil, 2015) תלמידי מגמת כימיה נחשפו לאסטרטגיות מטה-קוגניטיביות, שסייעו להם לניטור והערכת תגובותיהם בפתרון בעיות במהלך הבניית תהליכי הלמידה המשמעותית.

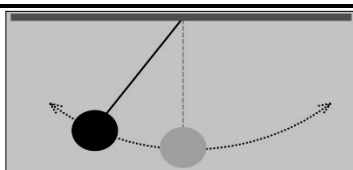
המחקר הנוכחי עשה שימוש במודל ארבע-רמות מתחום הכימיה כמסגרת מודל ארבע-קודקודי בנושא לימוד בתחום הפיזיקה. המודל כלל יישום מיומנויות חשיבה מסדר גבוה (על פי בן-דוד, Zohar & 2009; Efklides, 2006; Schraw, et al., 2006; Ben-David, 2009; המדגיש יצירת הקשרים בין התופעה הפיזיקלית למתן הסבר מילולי תאורטי לתופעה ולאפשרות של ייצוג חזותי. במהלך הלמידה ופתרון בעיות בכיתה התלמידים נחשפו לחלקים שונים של רמזים מטה-קוגניטיביים המאורגנים בטבלה (ראה להלן), במטרה לשפר את יכולתם בזיהוי המרכיבים השונים של התופעה, יכולת המעבר בין מרכיבי התופעה על פי המודל ארבעת הקודקודים והצגת שלבי חקר תופעה חדשה באמצעות מודל חזותי. לטענת החוקרות בורנר ושרנהורסט (Börner & Scharnhorst, 2009) המודל החזותי, מצגת או בניית דגם תלת ממדי, משקף את השליטה בשפה הפורמאלית של המערכת הנחקרת.

מחקר זה נועד לבחון את ההבנה המשמעותית של התלמידים בתיאור תופעה פיזיקלית לפי כל אחד משלושת הקודקודים במודל הפירמידה וקישור ביניהם באופן מושכל, באמצעות שימוש במושגים בשפת האנרגיה, תיאור תהליך המרות אנרגיה והפנמת העיקרון של שימור כמות האנרגיה במערכת. מודל הפירמידה משלב קודקוד רביעי, שמהווה את ההתערבות המטה-קוגניטיבית מההיבט של ויסות הקוגניציה (Regulation of Cognition), לשם טיפוח ההבנה משמעותית של כל מרכיבי התופעה הפיזיקלית. הווי אומר, ויסות הקוגניציה מהווה כלי תמיכה עבור התלמיד לזהות תופעה פיזיקלית חדשה, לבצע העברת הידע שנצבר בשיעורים, ולנתח את התופעה בשפת האנרגיה, תוך שימוש במיומנויות חשיבה ומרכיבים מטה-קוגניטיביים.

בעיקרון, התמיכה המטה-קוגניטיבית התבצעה תוך הכוונה מפורשת של המורה ובהדרגה היא התעמעמה לאפשר לתלמידים להיות יותר פעילים בחשיבה העצמית שלהם. בלוח 2 מובאת דוגמה לניתוח תופעה פיזיקלית עם תמיכה מטה-קוגניטיבית על פי מודל פירמידת ארבעת הקודקודים.

לוח 2

דוגמה לניתוח תופעה פיזיקלית עם תמיכה מטה-קוגניטיבית על פי מודל פירמידת ארבעת הקודקודים



תלמיד שיחק במטוטלת (כדור המחובר לקצה חוט).
הוא דחף את הכדור והסתכל כיצד הכדור נע מצד לצד.
לאחר זמן מה, הכדור הפסיק לנוע.
הסבירו, מדוע עצר הכדור? התייחסו בתשובתכם:

לזיהוי התופעה, להסבר בשפת הפיזיקה, תיאור באמצעות תרשים.

הכוונה מטה-קוגניטיבית לפתרון הבעיה על פי מודל הפירמידה

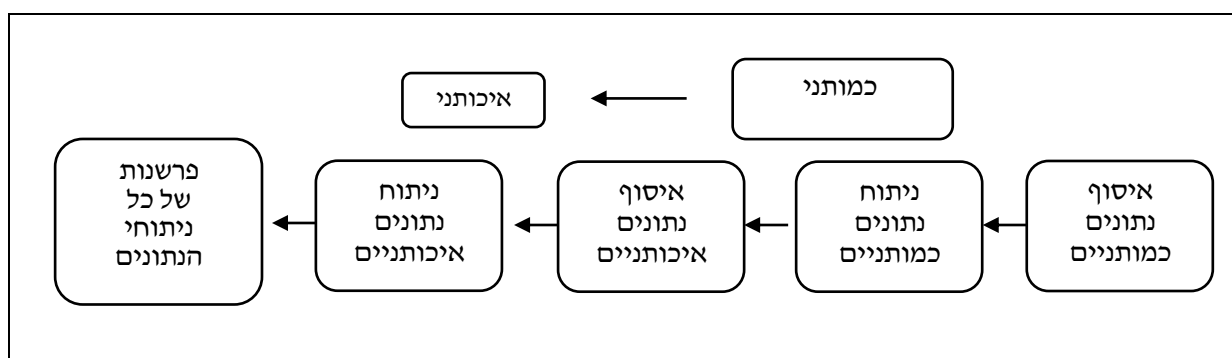
<p>רמזים מטה-קוגניטיביים לזיהוי תשובות התלמידים (metacognitive) (prompts)</p>	<p align="center">התשובה המיטבית הנדרשת בכל קודקוד</p>	<p>הממד במודל הפירמידה ותהליך החשיבה במעבר בין הממדים (בין-קודקודי)</p>												
<p>דוגמאות של שאלות מנחות לתיאור התופעה: א. האם ציינתם את כל הגופים המשתתפים בתופעה? ב. האם התייחסתם לכל הפעולות המבוצעות על ידי כל אחד מהגופים בתופעה?</p>	<p align="center">כדור מטוטלת נדחף מצד אחד, נע מצד לצד (למעשה מעלה-מטה-מעלה), המרחקים שעובר הכדור הולכים ומתקצרים והכדור נעצר לאחר מספר ניעות (מחזורים), עקב החיכוך עם האוויר.</p>	<p>תיאור מילולי של התופעה הפיזיקלית</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>מהתיאור המילולי לשפת הפיזיקה</p> </div>												
<p>דוגמאות של שאלות מנחות לזיהוי רכיבי התופעה: א. האם התייחסתם לכל צורות האנרגיה המעורבות בתופעה? ב. האם בכל פעולה הקפדתם על תיאור נכון של המרות האנרגיה?</p>	<p align="center">באמצעות אנרגיה כימית המופקת בשרירי ידו של הילד, לכדור המטוטלת מועברת אנרגיית תנועה שמומרת לאנרגיית גובה. בעת ירידת הכדור - אנרגיית הגובה מומרת לאנרגיית תנועה, בעת עלייתו - אנרגיית תנועה מומרת לאנרגיית גובה. בהדרגה מומרת אנרגיית התנועה והופכת לאנרגיית חום בגלל המגע של הכדור עם האוויר עד לעצירתו המוחלטת (טמפי' האוויר עולה במקצת בסביבת הכדור).</p>	<p>הסבר בשפת הפיזיקה</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>ניתוח אנליזה</p> </div>												
<p>דוגמאות של שאלות מנחות לזיהוי קשרים בין הרכיבים (אג'פ): א. האם קישרתם בין הגוף, לפעולה שהוא מבצע ולאנרגיות המומרות בכל שלב שבתופעה? ב. האם התייחסתם לכל השינויים שהתרחשו בתופעה? ג. האם בתשובתכם יש התאמה בין התיאור המילולי להסבר בשפת הפיזיקה?</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">מהם הגופים המשתתפים בתופעה?</th> <th style="width: 33%;">מהן הפעולות המתרחשות בתופעה?</th> <th style="width: 33%;">מהן האנרגיות המעורבות בתופעה?</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>יד</td> <td>דחיפת הכדור</td> <td>אנרגיה כימית בשריר מומרת לאנרגיית תנועה היד, אשר מומרת לאנרגיית תנועת הכדור.</td> </tr> <tr> <td>כדור (הקשור לחוט)</td> <td>תנועת הכדור מעלה ומטה, מספר פעמים</td> <td>אנרגיית תנועת הכדור מומרת לאנרגיית גובה, והיא מומרת שוב לאנרגיית תנועה - כך מספר פעמים.</td> </tr> <tr> <td>אוויר</td> <td>עצירת הכדור בהדרגתיות</td> <td>אנרגיית תנועת הכדור מומרת לאנרגיית חום.</td> </tr> </tbody> </table>	מהם הגופים המשתתפים בתופעה?	מהן הפעולות המתרחשות בתופעה?	מהן האנרגיות המעורבות בתופעה?	יד	דחיפת הכדור	אנרגיה כימית בשריר מומרת לאנרגיית תנועה היד, אשר מומרת לאנרגיית תנועת הכדור.	כדור (הקשור לחוט)	תנועת הכדור מעלה ומטה, מספר פעמים	אנרגיית תנועת הכדור מומרת לאנרגיית גובה, והיא מומרת שוב לאנרגיית תנועה - כך מספר פעמים.	אוויר	עצירת הכדור בהדרגתיות	אנרגיית תנועת הכדור מומרת לאנרגיית חום.	<p>מעבר בין תיאור מילולי של התופעה להסבר בשפת הפיזיקה</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>הבניית תרשים, סינתזה</p> </div>
מהם הגופים המשתתפים בתופעה?	מהן הפעולות המתרחשות בתופעה?	מהן האנרגיות המעורבות בתופעה?												
יד	דחיפת הכדור	אנרגיה כימית בשריר מומרת לאנרגיית תנועה היד, אשר מומרת לאנרגיית תנועת הכדור.												
כדור (הקשור לחוט)	תנועת הכדור מעלה ומטה, מספר פעמים	אנרגיית תנועת הכדור מומרת לאנרגיית גובה, והיא מומרת שוב לאנרגיית תנועה - כך מספר פעמים.												
אוויר	עצירת הכדור בהדרגתיות	אנרגיית תנועת הכדור מומרת לאנרגיית חום.												
<p>דוגמאות של שאלות מנחות למיזוג רכיבי התופעה באמצעות תרשים: א. האם ציינתם בתרשים המרות האנרגיה את כל השלבים שתוארו בהסבר התופעה? ב. האם הקפדתם לסדר את המרות האנרגיה לפי השתלשלות האירועים שקרו בתופעה?</p>	<div style="text-align: center;"> <pre> graph LR A[אנרגיית חום] --> B[אנרגיית תנועה של הכדור] B --> C[אנרגיית גובה של הכדור] C --> D[אנרגיית תנועה של הכדור] D --> E[אנרגיה כימית בשרירים] </pre> </div>	<p>תיאור באמצעות תרשים</p>												

3.3 כלי המחקר

המחקר נערך בשיטה בה שולבו כלי מחקר כמותניים ואיכותניים (Mixed Methods). שילוב כלי מחקר נועד לספק ניתוח עשיר והבנה טובה יותר, מאשר כל אחת מהשיטות בנפרד (Creswell, 2013, 2017), מתוך רציונל שכך מקבלים יותר מגמות ופרטים לניתוח בעיית המחקר (Ivankova, et al., 2006). אופן שילוב כלי המחקר נערך על פי דגם הקרוי מערך הסבר שלבי (The Sequential Explanatory Strategy) (Creswell, 2017; Ivankova, et al., 2006). הווי אומר: הכלים הכמותניים מהווים את החלק הארי של המחקר. הראיונות, ככלי איכותני, נערכים לאחר מימוש הכלים הכמותניים. מערך זה נובע משימת דגש באופן השפעת ההתערבות הפדגוגית (לפני-אחרי) על המשתנה המושפע (כמו: הבנה קונספטואלית), שנבדק באמצעות כלים עם מדדי קריטריונים נושאי ניקוד. המידע שנאסף באמצעות הראיונות נטמע (embedding) במידע שהופק על ידי הכלים הכמותניים, תפקידו לתמוך בממצאי המחקר (Creswell, 2017), ובמתן הסבר עמדות הנבדקים בעקבות פעולת ההתערבות (Fetters, et al., 2013). במחקר זה, עלו בראיונות פירטי מידע, שתכליתם להבהיר/להעמיק היבטים מרכזיים הקשורים באופן ישיר לשאלות המחקר. כמו כן, הופק מהם מידע נוסף, מעבר לשאלות המחקר הנוכחי, שניתן לנצלו כנקודת מוצא ליצירת תיאוריה חדשה מעוגנת בשדה (Grounded Theory) (Strauss & Corbin, 1998, as cited in) (Creswell & Poth, 2016). איור 3 מתאר את יחסי הגומלין בין כלי המחקר על פי מערך הסברי שלבי (Creswell, 2017).

איור 3

תיאור יחסי הגומלין בין כלי המחקר על פי מערך הסבר שלבי (Creswell, 2017)



3.3.1 שאלון לבדיקת תפיסות התלמידים כלפי לימודי הפיזיקה

שאלון לבדיקת תפיסות תלמידים כלפי לימודי הפיזיקה נבנה לצרכי המחקר הנוכחי, בהתבסס על שני שאלונים בעלי תוקף ומהימנות מוכחים:

א. שאלון מתוך פרויקט ROSE¹⁷ (Trumper, 2006). ב. שאלון תפיסות SEMLI-S¹⁸ (Thomas, et al., 2008).

שאלון תפיסת הפיזיקה כולל תשע שאלות (ראה נספח ב – גרסת טופס לתלמיד). להלן היגדי השאלון:

1. אני סבור שלימודי הפיזיקה הם מקצוע שחשוב ללמד בכיתה ט.
 2. לימודי הפיזיקה תורמים לי להבין את החשיבות של חיסכון באנרגיה.
 3. לימודי הפיזיקה תורמים להבנה טובה יותר של תופעות בחיי היום-יום.
 4. ניתן לוותר על שיעורי פיזיקה לטובת מקצועות אחרים.
 5. לימודי הפיזיקה חשובים להתפתחות החברה והטכנולוגיה.
 6. הודות ללימודי הפיזיקה תהיה יותר מודעות לשימוש במקורות אנרגיה מתחדשים.
 7. הידע שרכשתי בלימודי הפיזיקה יסייע לי להתנהל כאזרח בעתיד לבוא.
 8. אני חושב שאמשיך בלימודי הפיזיקה בתיכון.
 9. אני מחפש ליצור קשר בין מה שאני לומד מחיי מחוץ לכיתה לבין שיעורי פיזיקה.
- לצורך המחקר הנוכחי, נבחרו משאלון ROSE שאלות מתוך שלושה אינדקסים:
- א. מידת העניין של תלמידים בשיעורי פיזיקה (פריטים: 2, 6), ב. דעות תלמידים על שיעורי מדעים (פריטים: 1, 3, 4, 7, 8), ג. עמדות תלמידים כלפי מדע וטכנולוגיה (פריט 5). בנוסף, למחקר הנוכחי נבחרה משאלון SEMLI-S שאלה אחת מהמקבץ קישוריות הבנייתית (Constructivist Connectivity) (פריט 9).
- השאלות תורגמו לעברית לצורך מחקר זה ועברו תיקוף על ידי מומחית בהוראת המדעים. התשובות לשאלות ניתנו בסולם ליקרט, בן 5 דרגות, כאשר התלמידים התבקשו לבחור את הדירוג: 1 "מאוד לא מסכים", 2 "לא מסכים", 3 "נוטה לא להסכים", 4 "נוטה להסכים", 5 "מסכים". ככל שהציון גבוה יותר, מידת החשיבות שהתלמיד ייחס כלפי מהות נושא השאלה היא גבוהה יותר. ניסוחה של שאלה 4 היה בכיוון הפוך לניסוח יתר השאלות, כך שאפיון גבוה יותר שלה הצביע על מידת חשיבות נמוכה ולכן בוצע לגביה היפוך ערך.

השאלון נועד לבדוק תפיסות תלמידים כלפי לימודי הפיזיקה ותרומת המקצוע למספר היבטים בהתנהלות היום-יומית שלהם. שני המרכיבים העיקריים למידת החשיבות של התלמידים כלפי הפיזיקה הנם: **היבט אישי** – תפיסה שהתעצבה בפרט, בהקשר של חשיבות הפיזיקה ו**היבט מדעי** – תפיסה הקשורה למדע הפיזיקה.

¹⁷ פרויקט ROSE (The Relevance of Science Education) הוא פרויקט בינלאומי שיזמו משרד החינוך הנורווגי, אוניברסיטת אוסלו וועידת המחקר של נורבגיה. במסגרת פרויקט זה נאספו נתונים מ-40 מדינות בנושא הרלוונטיות של לימודי מדעים.

¹⁸ Self-Efficacy and Metacognition Learning Inventory- Science (SEMLI-S).

היבט אישי (Individual), מהווה את הקשר הנוצר הודות לניסיון האישי אותו חווה הלומד עם העולם הפיזי, מעבר לספרי הלימוד או על ידי תיווך המורה (Roth & Roychoudhury, 1994). הפריטים המשויכים: 1, 3, 7, 8, 9. לדוגמה: "לימודי הפיזיקה תורמים להבנה טובה יותר של תופעות בחיי היום-יום", "אני סבור שלימודי הפיזיקה הם מקצוע שחשוב ללמד בכיתה ט'". **היבט מדעי**, הנו מסגרת של עובדות, מושגים ותפיסות, כפי שמוצגת בספרי הלימוד או הנוצרת בתיווך המורה. לצורך מחקר זה ההיבט המדעי משקף את עמדות התלמידים באשר לחשיבות הפיזיקה במספר תחומים בחיי היום-יום, הקניית מושגים בהקשר של אנרגיה וחשיבה לשימוש הגיוני באנרגיה בעקבות הוראת הפיזיקה בשיעורים (Lijnse, 1990). הפריטים המשויכים: 2, 4, 5, 6. לדוגמה: "לימודי הפיזיקה תורמים לי להבין את החשיבות של חיסכון באנרגיה", "לימודי הפיזיקה חשובים להתפתחות החברה והטכנולוגיה". כדי לבדוק האם קיים מתאם מובהק בין שני הגורמים של שאלון תפיסת הפיזיקה בשלב לפני ההתערבות, נערך מבחן פירסון ביניהם. נמצא כי בין שני הגורמים בינם לבין עצמם קיים מתאם חיובי מובהק בשאלון ה-pre ($N = 122, r = .67, p < .001$).

ניתוח גורמים - ניתוח מאשש

בוצע ניתוח גורמים מסוג Varimax, תוך הגבלת מספר הגורמים ל-2, על שאלון תפיסת הפיזיקה. מטרת ניתוח הגורמים הייתה לאשש את הגורמים המאפיינים את עמדות התלמידים כלפי מקצוע הפיזיקה בכיתה ט' ותרומת לימודי הפיזיקה לחיי היום-יום. תוצאות ניתוח הגורמים המוצגות בלוח 3 מראות כי השאלון מחולק ל- 2 גורמים. שאלות 1, 2, 7 נמצאו מתנדנדות והן בעלות רמת טעינות גבוהה על שני הגורמים. יחד עם זאת, הוחלט להשאירן במחקר וזאת לאור חשיבותן המחקרית.

לוח 3

ניתוח גורמים של שאלון תפיסת הפיזיקה

גורם 1 היבט אישי	גורם 2 היבט מדעי	
.79	.12	שאלה 8
.79	.14	שאלה 9
.71	.31	שאלה 3
.61	.51	שאלה 7
.59	.41	שאלה 1
.21	.86	שאלה 6
.20	.79	שאלה 5
.20	.58	שאלה 4 (הפוכה)
.48	.54	שאלה 2
31.05	28.43	שונות מוסברת

בדיקת מהימנות

במחקר הנוכחי נערכה בדיקת מהימנות של עקיבות פנימית (Cronbach's α) לסולמות תפיסת הפיזיקה בשאלוני ה-pre, המבוססים על ניתוח הגורמים. כמו כן חושב מקדם מהימנות לסולם הכללי של השאלון. בלוח 4 מוצגים ממצאי בדיקת המהימנות.

לוח 4

מקדמי המהימנות של עקיבות פנימית לסולמות בשאלון תפיסת הפיזיקה

שם הסולם	סך כול הפריטים	פירוט הפריטים	Cronbach's α
היבט אישי	5	1, 3, 7, 8, 9	.82
היבט מדעי	4	2, 4, 5, 6	.75
סולם כללי	9	1-9	.87

בדיקת המהימנות הניבה מקדמים גבוהים מאוד. העקיבות הפנימית אלפא קרונבך בשאלון תפיסת הפיזיקה היא $\alpha = .87$. לפיכך, לא הוצאו פריטים מהשאלונים.

בהתבסס על ממצאי ניתוח הגורמים ובדיקת המהימנות חושב לכל תלמיד ציון במדד הכללי של תפיסת הפיזיקה וכן חושבו שני ציוני הגורמים המרכיבים אותו: תפיסת הפיזיקה בהיבט האישי ותפיסת הפיזיקה בהיבט המדעי בשאלון ה-pre. הציונים חושבו באמצעות חישוב ממוצע הפריטים המשתייכים לכל גורם. טווח הציונים נע מ-1 ועד 5 וככל שהציון גבוה יותר תפיסת הפיזיקה חיובית יותר.

3.3.2 שאלון ידע ומיומנויות חשיבה בנושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה

לקבלת מענה לשאלת המחקר השנייה נבנה שאלון ידע (נספח ג). מטרת שאלון הידע הייתה לבדוק הבנה קוגניטיביות של התלמידים על פי קריטריונים הבאים: 1. יכולת זיהוי הגופים והפעולות בתופעה הפיזיקלית, 2. תיאור נרטיבי של השינויים בתופעה, 3. תיאור המרות האנרגיה בתרשימי זרימה ובתרשימי עוגה, 4. מתן הסבר לשינויים על פי חוק שימור האנרגיה. השאלות נבנו תוך בדיקת מיומנויות חשיבה מסדר נמוך (כגון: שיום סוגי האנרגיה על פי השינויים החלים בתופעה) ומיומנויות חשיבה מסדר גבוה (כגון: מתן הסבר שגודל השינוי של האנרגיות השונות נשמר בעת המרות אנרגיה).

שאלון הידע הורכב מעשר שאלות במגוון סגנונות (נספח ג): רב-ברירתיות, שאלות פתוחות עם טיעונים, ניתוח ושרטוט תרשימי זרימה ותרשימי עוגה. השאלות הסתעפו ובסך הכול מדובר ב-22 תתי-שאלות. השאלון נבנה על סמך פריטים, המאושרים כנדרש על ידי גופים ממשלתיים. מקורות הפריטים כדלהלן:

א. פריטי הערכה, מטעם האגודה האמריקאית לקידום המדע (Project 2061- AAAS, 2015).¹⁹ הפריט הנבחר עבר תיקוף לשם התאמתו למחקר הנוכחי, הוא תורגם לעברית ותרגומו שוב עבר תיקוף עמיתים.

ב. עֶרְכָּה למורה לתכנון הוראה-למידה-העֶרְכָּה (ה.ל.ה) בנושאים: "אנרגיה – סוגים, המרות ושימור" "חום וטמפרטורה".²⁰ ערכת ה.ל.ה מיועדת להפעלה במסגרת תכנית הלימודים במדע וטכנולוגיה בחט"ב ומתבססת על חומרי למידה קיימים המאושרים על ידי משרד החינוך.

ג. מבדקי מפמ"ר (מפקח מרכז מקצוע) - משימות הערכה מסכמות במדע וטכנולוגיה לתלמידי כיתה ט', המזכירות הפדגוגית, הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה, משרד החינוך.²¹

הפריטים עברו התאמה על פי מסמך ההיערכות ומסמך האב במדע וטכנולוגיה לשנת תשע"ו של משרד החינוך. בלוח 5 מובאת חלוקת השאלות בשאלון הידע על פי מקורן.

לוח 5

חלוקת פריטי השאלות בשאלון הידע על פי מקורן

מבדקי מפמ"ר	עֶרְכָּה למורה לתכנון הוראה-למידה-העֶרְכָּה	האגודה האמריקאית לקידום המדע
10, 9, 6, 4	2, 3, 5, 7, 8, 8**	1

*נערך שינוי בגופים המשתתפים בתופעה
 **התווספה דרישה לניסוח הסברים, מעבר לתשובה: כן/לא.

בדיקת מהימנות לשאלון הידע המקדים ותיקוף המחווון המחקרי

תחילה, חושב מקדם מהימנות לשאלון הידע המקדים. בדיקת המהימנות הניבה מקדם גבוה מאוד. העקיבות הפנימית אלפא קרונבך בשאלון הידע הוא $\alpha = .83$.

נערכה דגימה מכוונת של שאלות ממבחן הידע, המייצגות את כל המיומנויות הנדרשות במבחן. לשם כך, כל סעיפי שאלות המבחן קוטלגו לפי שלושה מהקריטריונים מתוך המודל ארבעת קודקודי הפירמידה: זיהוי תופעה פיזיקלית, הסבר נרטיבי של התופעה בשפת הפיזיקה, תיאור המרות האנרגיה באמצעות תרשימי זרימה. מתוך כל שאלות המבחן נבחרו באופן מבוקר כאלו, שהמענה עליהן פרופורציונלי לדרישות כל שאלות המבחן. כך נבחרו שאלות 3, 5, 8, 9 להמשך ניתוח מעמיק. כל סעיפי ארבע השאלות שנבחרו עברו חישוב סכימה לפי אחוזים (הציון של כל תת שאלה חושב לפי 100%) ונערכה להן בדיקת מהימנות של

¹⁹ <http://assessment.aaas.org/topics>. Physical Science, Topic: Energy: Forms, Transformation, Transfer, and Conservation.

²⁰ בפיתוח המרכז הארצי למורי מו"ט בחט"ב, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע. צוות פיתוח: ויצמן ואחרים,

2012. proj.ac.il פריטי הערכה בנושא אנרגיה

²¹ education.gov.il מבחנים, מבדקים ומשימות הערכה

עקיבות פנימית (α Cronbach's). העקיבות הפנימית אלפא קרונבך של שאלות 3, 5, 8 ו-9 על סעיפיהן היא

0.73. בלוח 6 מובאות ארבע השאלות הנבחרות מתוך שאלון הידע.

לוח 6

ארבע השאלות הנבחרות מתוך שאלון הידע

3. א. תלמיד מתכופף קרוב לרצפה ומעיף כדור כלפי מעלה. בעת תנועת הכדור כלפי מעלה:

1. אנרגיית התנועה שלו קטנה ואנרגיית הגובה שלו גדלה.
2. אנרגיית התנועה שלו גדלה ואנרגיית הגובה שלו קטנה.
3. אנרגיית התנועה שלו קטנה ואנרגיית הגובה שלו קטנה.
4. אנרגיית התנועה שלו גדלה ואנרגיית הגובה שלו גדלה.

ב. הכדור מגיע לשיא גובהו ונופל למטה. מה ניתן לטעון לגבי כמות אנרגיית התנועה של הכדור לפני

נגיעתו ברצפה יחסית לאנרגיית הגובה כשהיה בשיא גובהו?
בחרו בתשובה הנכונה והסבירו. (לא יתקבל ניקוד ללא הסבר):

1. שוות בדיוק.
2. גדולה יותר.
3. קטנה יותר.

הסבר: _____

5. יעל מטפס על הר.



- א. ציינו את הגופים המשתתפים בתופעה זו: _____
- ב. תארו במילים שלכם את הפעולות המתרחשות בתופעה זו: _____
- ג. תארו בתרשים זרימה את המרות האנרגיה המתרחשות בתופעה זו: _____

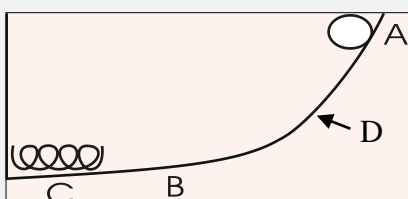
8. לפניכם מספר תופעות.

א. סמנו את המקרים אשר אינם יכולים להתרחש:

1. שלט הטלוויזיה פועל, גם לאחר שהסוללות שלו התרוקנו.
2. כדורסל נופל מגובה 10 מטר, פוגע בחול ועולה שוב לגובה 0.5 מטר.
3. כדורגלן בועט בכדור ממרחק 11 מטר, הכדורגל פוגע ברשת וחוזר למרחק 18 מטר.
4. טיל נורה לאוויר ועולה לגובה 300 מטר.

ב. הסבירו במילים שלכם, מדוע מקרים אלו אינם יכולים להתקיים? _____

9. כדור משתחרר מנקודה A מתגלגל דרך נקודה B עד שהוא נעצר לרגע על ידי קפיץ בנקודה C.



הכדור עולה חזרה והתהליך ממשיך מספר פעמים.

א. תארו בתרשים את המרות האנרגיה שהתרחשו

במקרה זה: _____

ב. האם תהליך זה יימשך לתמיד? _____
 נמקו תשובתכם תוך התייחסות לחוק שימור האנרגיה:

ג. הכדור עולה מנקודה C, חולף על פני נקודה D וממשיך בעלייתו. השלימו בתרשים העוגה את מאזן האנרגיות של הכדור בנקודה D. בחרו צבעים שונים של סוגי האנרגיות לפי בחירתכם.
 ציינו את מקרא הצבעים לצורות האנרגיה: _____



פריטי שאלות המדגם עברו ניתוח רגיש יותר לפי מיומנויות חשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה, בהתבסס על הטקסונומיה של בלום (Wilson, 2016) ואיגר (איגר, בתוך גלסנר ואחרים, 2009).
 בלוח 7 מוצג מיון שאלות המדגם לפי הקריטריונים של מודל ארבעת הקודקודים ולפי מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה.

לוח 7

מיון שאלות המדגם לפי הקריטריונים של מודל ארבעת הקודקודים ולפי מיומנויות החשיבה מסדר נמוך

ומסדר גבוה

קריטריונים לפי מיומנויות חשיבה מסדר גבוה			←	קריטריונים לפי מיומנויות חשיבה מסדר נמוך			לפי מודל ארבעת הקודקודים
מיומנות החשיבה	קריטריון	מספר השאלה		מיומנות החשיבה	קריטריון	מספר השאלה	
מיומנות החשיבה	אזכור כל הגופים וכל הפעולות בתופעה.	ב5	←	זיהוי, תיאור	זיהוי גופים וציון פעולות	א5, ב5, א8	תיאור תופעה פיזיקלית
סינתזה	קישור בין השינויים בכמויות האנרגיה לחוק שימור האנרגיה.	ג3	←	הבנה, הבחנה	הסכמה לקיום חוק שימור האנרגיה (תוך ציטוט החוק, אך ללא הסבר תואם לתופעה).	א3* ²² , ב3* ²³ , ג3	תיאור התופעה בשפת האנרגיות
הצדקות ונימוקים לטיעונים	התייחסות נכונה לאנרגיית חום בעת חיכוך (ללא המשך ההמרה לאנרגיה מכנית כלשהי).	ב8, ב9	←	כינוי בשם	שיום צורות האנרגיה	א8** ²³ , ב8, ב9	תרשימי זרימה
מיומנות החשיבה	שרטוט תרשימים הכוללים את כל הגופים והאנרגיות על פי סדרם.	ג5	←			ג5	
מיומנות החשיבה	אזכור כל הגופים וכל הפעולות בתופעה.	ב5	←	זיהוי, תיאור	זיהוי גופים וציון פעולות	א5, ב5, א8	תיאור תופעה פיזיקלית
מיומנות החשיבה	קישור בין השינויים בכמויות האנרגיה לחוק שימור האנרגיה.	ג3	←	הבנה, הבחנה	הסכמה לקיום חוק שימור האנרגיה (תוך ציטוט החוק, אך ללא הסבר תואם לתופעה).	א3* ²² , ב3* ²³ , ג3	תיאור התופעה בשפת האנרגיות
מיומנות החשיבה	התייחסות נכונה לאנרגיית חום בעת חיכוך (ללא המשך ההמרה לאנרגיה מכנית כלשהי).	ב8, ב9	←	כינוי בשם	שיום צורות האנרגיה	א8** ²³ , ב8, ב9	תרשימי זרימה
מיומנות החשיבה	שרטוט תרשימים הכוללים את כל הגופים והאנרגיות על פי סדרם.	ג5	←			ג5	

²² סעיפים אלו מוזכרים בטבלה להבנת הקשר לסעיף ג3. הם נכללו בנימוחים הסטטיסטיים שנערכו עם כל שאלות המבחן, ולא נכללו בנימוחים הסטטיסטיים, שהתבססו על שאלות המדגם.

²³ ** א8 שוין לקטגוריית תיאור תופעה פיזיקלית, אך מוזכר בטבלה כבסיס לסעיפים ב8 ו-א8.

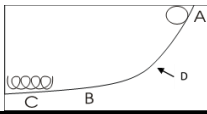
כל סעיפי השאלות (3א, 3ב, 3ג, 5א, 5ב, 5ג, 8א, 8ב, 9א, 9ב, 9ג) נותחו לפי Corrected Item-Total Correlation ("מתאם סך הכול-פריט מתוקן", המציג חישוב המתאם של כל פריט עם המבחן כולו. מתאם מעל 0.30 מעיד על התאמה טובה עם הסולם הכללי). הפריטים 3א ו-3ב בעלי מתאם פחות מ-0.30, לכן בנייתוחי ההשוואות לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר, שנערכו במסגרת שאלות המחקר, הם נלקחו בחשבון רק בנייתוח ההשוואות שנערך לפי כל שאלות המבחן ולא בנייתוחי ההשוואות שנערכו לפי מדגם השאלות.

בלוח 8 מובאת דוגמה לשאלה (מספר 9 בשאלון הידע), ואפיון סעיפיה לפי הקריטריונים של מודל ארבעת הקודקים ולפי מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה.

לוח 8

אפיון סעיפי שאלה לפי הקריטריונים של מודל ארבעת הקודקים ולפי מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה

ומסדר גבוה

סעיף השאלה	הקריטריון לפי מודל ארבעת הקודקים	אופן התייחסות התשובה לפי מיומנויות חשיבה מסדר נמוך	אופן התייחסות התשובה לפי מיומנויות חשיבה מסדר גבוה	שיוך לשאלת מחקר
<p>כדור משתחרר מנקודה A מתגלגל דרך נקודה B עד שהוא נעצר לרגע על ידי קפיץ בנקודה C. הכדור עולה חזרה והתהליך ממשיך מספר פעמים.</p> <p>א. תארו בתרשים את המרות האנרגיה שהתרחשו במקרה זה:</p> 	תרשים שרשרת המרות אנרגיה	תיאור חלקי של צורות האנרגיה בשרשרת ההמרות.	התייחסות לכל האנרגיות בירידה ובעלייה, כולל אנרגיית חום במהלך תנועת הכדור לאורך המסלול ובמגע עם הקפיץ.	3
<p>ב. האם תהליך זה יימשך לתמיד? _____</p> <p>נמקו תשובתכם תוך התייחסות לחוק שימור האנרגיה: _____</p>	שפת האנרגיות: חוק שימור האנרגיה	הכדור יעצור, כי חלה המרת אנרגיית תנועה לחום.	הכדור לא ימשיך לעד, כי בעת תנועת הכדור לאורך המדרון ובעת מגע עם האוויר והקפיץ, יש חיכוך, ואנרגיית התנועה מומרת בהדרגה לאנרגיית חום. אנרגיית הגובה בהתחלה מומרת בסופו של דבר לאנרגיית חום.	2
<p>ג. הכדור עולה מנקודה C, חולף על פני נקודה D וממשיך בעלייתו. השלימו בתרשים העוגה את מאזן האנרגיות של הכדור בנקודה D.</p> <p>בחרו צבעים שונים של סוגי האנרגיות לפי בחירתכם. ציינו את מקרא הצבעים לצורות האנרגיה.</p>	תרשים עוגה: החלק היחסי של כל אנרגיה במצב מסוים	חלוקת העיגול לשתי גזרות: אנרגיית תנועה ואנרגיית גובה.	התייחסות לכל צורות האנרגיה: תנועה, גובה וחום.	3

בלוח 9 מוצג מחוון מחקרי חלקי לשאלה 9, מתוך שאלון הידע. המחוון כולל הסבר לניקוד תתי השאלה ודוגמאות לתשובות תלמידים. (בנספח ד מצורף מחוון מחקרי מפורט לשאלות 3, 5, 8, 9 מתוך שאלון הידע).

לוח 9

מחוון מחקרי לשאלה 9 מתוך שאלון הידע עם דוגמאות לתשובות תלמידים

סעיף השאלה	תשובות תלמידים	מיומנויות חשיבה מסדר נמוך	מיומנויות חשיבה מסדר גבוה
		הסבר לניקוד שניתן	הסבר לניקוד שניתן
		אפשרויות ניקוד 2,1,0	אפשרויות ניקוד 2,1,0
א	1. אנרגיית גובה -< אנרגיית תנועה -< אנרגיית קפיצית/אלסטית -< אנרגיית תנועה -< אנרגיית גובה. וחוזר חלילה (+)אנרגיית חום במהלך תנועת הכדור לאורך המסלול ובמגע עם הקפיץ.	2 תיאור המרות האנרגיה באמצעות תרשימי זרימה	2 התייחסות לכל האנרגיות ברידה ובעלייה. לעת עתה, ניתן לקבל את התוספת "וחוזר חלילה" או שרטוט של חץ לתחילת שרשרת המרות האנרגיה.
	2. אנרגיית גובה -< אנרגיית חום -< אנרגיית תנועה -< אנרגיית קול -< אנרגיית אלסטית	1 ציון כל צורות האנרגיות המופיעות בתופעה. אין התייחסות לחזרת הכדור מעלה.	1 רצף צורות האנרגיה לקוי ברובו. אנרגיית חום ואנרגיית קול אינן מומרות לאנרגיה פנימית במערכת.
	ב. לא. הכדור ייעצר. באופן הדרגתי יש המרת אנרגיית תנועה לחום.	2 תיאור המרת אנרגיית תנועה לאנרגיית חום עקב החיכוך.	2 יש קישור לחוק שימור האנרגיה, השינוי באנרגיית החום שווה לשינוי באנרגיית התנועה.
ב	1. לא. בתוך כמות האנרגיה שהופעלה בהתחלה היא מומרת לחום (ולחיכוך) וכך מאבדת גובה ומהירות עד שהכדור יעצור.	2 יש התייחסות להמרה מאנרגיית תנועה לחום (עם שגיאה - לא עם חיכוך אלא בגלל החיכוך).	1 יש התייחסות להפחתה באנרגיות המכניות אך אין קישור שהשינויים שווים.
	2. לא! אנרגיה לא נעלמת זה נכון אבל היא מועברת ובמקרה הזה אחרי כמה פעמים האנרגיה תועבר לאנרגיה אחרת. (אני חום).	1 אין תיאור מלא של המרות האנרגיה.	1 יש הישענות חלקית על חוק שימור האנרגיה, אך היא כללית. אין הסבר מהם השינויים של האנרגיות במקרה זה, מלבד ציון אנרגיית חום.
ג	1.	3 חלוקת העיגול ל-3 גזרות: גובה, תנועה וחום.	2 התייחסות לכל האנרגיות: תנועה, גובה וחום. האחוז היחסי של כל צורת אנרגיה פחות חשוב. כל שכן, ניכרת חשיבות בהתייחסות לאנרגיית חום כחלק מהשינויים במערכת, על אף שאינה מומרת לאנרגיה מכנית.
	2. חלוקת העיגול ל-4 גזרות: גובה, תנועה, אלסטית, חום.	4 הוספת אנרגיה אלסטית / קפיצית (לא ייתכן כי הרי הכדור כבר במעלה השיפוע)	1 התייחסות לאנרגיית גובה, אנרגיית תנועה ואנרגיית חום.
	3. אנרגיית גובה + אנרגיית תנועה	2 מוצגות שתי אנרגיות מכניות.	1 אין התייחסות לאנרגיית חום.



התיקוף התבצע על ידי מורה לפיזיקה בתיכון, שהנו עמית בקהילת מורי פיזיקה בבתי ספר תיכוניים. במבחן מהימנות בין-שופטי הגענו לאחוזי הסכמה 95% עם $kappa = 0.94$. אי הסכמות יושבו על ידי דיון.

3.3.3 עבודת סיכום

עבודת הסיכום ניתנה לשתי קבוצות המחקר ונועדה לספק מענים לשאלות המחקר השנייה והשלישית. העבודה נועדה לבחון את ההבנה הקונספטואלית ומיומנויות החשיבה של התלמידים באמצעות ניתוח תופעה פיזיקאלית, על פי התבחינים של מודל ארבעת-הקודקודים. בנוסף, נבחנה מידת יכולת ההעברה של התלמידים על פי נושא התופעה הפיזיקלית לבחירתם, הכוונה: ניתוח תופעה פיזיקלית שלא נידונה בכיתה או הובאה בשאלון הידע המסכם. ההנחיות לעבודת הסיכום תוקפו על ידי מומחית בהוראת המדעים ושני המורים, המלמדים בכיתות המחקר (נספח ה: הנחיות לעבודת הסיכום "מתעדים המרות אנרגיה"). לבדיקת העבודות נבנה מחוון מחקרי (נספח ו), על פי הקריטריונים של מודל הפירמידה ארבעת הקודקודים, בדגש על מיומנויות חשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה, ובהתבסס על הטקסונומיה של בלום (Wilson, 2016) ואיגר (איגר, בתוך גלסנר ואחרים, 2009). המחוון המחקרי למתקף כלל פירוט אופן ניקוד התשובות, דוגמאות של תשובות, הציון שניתן וההסבר לכך. בלוח 10 מפורטים סעיפי עבודת הסיכום, ייצוגם במודל הפירמידה, ההבנה הקונספטואלית ומיומנויות החשיבה הנדרשות בכפוף לשאלות המחקר.

לוח 10

חלוקת סעיפי עבודת הסיכום על פי הקריטריונים של המודל, ההבנה ומיומנויות החשיבה, בכפוף לשאלות



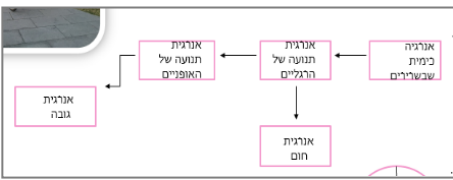
המחקר

סעיף לפי המחוון	ההנחיה הנדרשת	קריטריון על פי המודל	מיומנות נדרשת	מיומנות חשיבה מסדר נמוך/גבוה	שידך לשאלת מחקר
1.1	תיאור הגופים בתופעה	זיהוי גופים	זיהוי - ידע	נמוך	2
1.2.1	תיאור הפעולות בתופעה	זיהוי פעולות			
1.2.2	תיאור השינויים בתופעה לפי סדרם	סדר פעולות			
2.1	תיאור המרות אנרגיה במילים	תיאור התופעה בשפת האנרגיה	זיהוי - ידע	נמוך	2
2.2	סדר נכון של תיאור השינויים בשפת האנרגיות	סדר השינויים בשפת האנרגיה	סינתזה- ידע	גבוה	2
3	תיאור המרות אנרגיה בתרשים זרימה		ארגון ומיפוי - מידול	גבוה	2-3
4.1	חוק שימור האנרגיה בתרשים עוגה / גרף	תרשים שרשרת המרות אנרגיה			
4.2	יחס נכון של השינויים בכמויות האנרגיה המומרות בתופעה	תרשימי עוגה	ארגון ומיפוי - מידול	גבוה	2-3
5.1	ניסוח חוק שימור האנרגיה בתופעה שנבחרה	תיאור חוק שימור האנרגיה	הבנה - ידע	נמוך	2
5.2.1	תיאור מספר גורמים בתופעה: משתנה בלתי-תלוי, משתנה תלוי וגורמים קבועים	הסבר חוק שימור האנרגיה על פי גורמים משפיעים ומושפעים	אנליזה - ידע	גבוה	2
5.2.2	תיאור שינוי כלשהו של המשתנה המשפיע ותוצאת השפעתו על המשתנה המושפע				
6	יצירתיות בבחירת נושא התופעה	סיווג התופעה (העברה)	העברה	גבוה	3

המחווון המחקרי עבר תיקוף עמיתים. צוות התיקוף כלל מומחית בהוראת המדעים, דוקטורנטים ומסטרנטים מתחום הוראת המדעים והכימיה בטכניון. במבחן מהימנות בין-שופטי הגענו לאחוזי הסכמה 95.24% עם 0.73 kappa. אי הסכמות יושבו על ידי דיון. בשלב הבא נערכה סְכִימָה של הציונים ושקלולם לפי אחוזים. בלוח 11 מוצגת דוגמה חלקית לניתוח עבודת סיכום לפי המחווון המחקרי (נספח ז מציג ניתוח מלא של עבודה זו).

לוח 11

דוגמה חלקית לניתוח עבודת סיכום לפי המחווון המחקרי

רכיבה על אופניים במעלה מדרון	
שקופית 2	שקופית 3
	
קריטריון	הסבר לניקוד שניתן לקריטריון זה
רמת החשיבה	ציין (מסך הכול)
1.1 תיאור התופעה במילים - גופים	3 (3)
רמת חשיבה נמוכה: ידע (זיהוי גופים)	רוכבת, אופניים, מדרון, אם כי חסר אוויר (כי בהמשך יש התייחסות לחיכוך)
2. תיאור המרות אנרגיה במילים	2 (3)
1. רמת חשיבה נמוכה: הבנה (תרגום מתיאור מילולי לשפת האנרגיות)	בתיאור המילולי: אין שיום של כל צורות האנרגיה במילים.
2. תיאור המרות אנרגיה במילים	1 (2)
2. רמת חשיבה גבוהה: סינתזה (חיבור בין צורות האנרגיה בסדר נכון)	קישור חלקי בין השינויים לשפת האנרגיה. בניסוח המשפטים יש ערבוב של פעולות עם אנרגיות.
3. תיאור המרות אנרגיה בתרשים זרימה	5 (5)
רמת הבנה גבוהה: אנליזה	יש פירוט של תרשימי אנרגיה לכל מצב מ-3 המצבים שנבחרו. התרשים המסכם:
	

3.3.4 ראינות חצי מובנים

מחקר זה שילב כלי מחקר במערך ההסבר הרציף (The Sequential Explanatory Design). המחקר נתמך בראיון, המהווה את הכלי האיכותני. שאלות הריאיון מושתתות (grounded) על הקריטריונים של הכלים הכמותניים, לקבל תמונת מצב מעמיקה והבנת הסיבות להבדלים כתוצאה מפעולת ההתערבות (Ivankova, et al., 2006). במחקר זה שאלות הראיונות נשענו על ההיבט האישי וההיבט המדעי, עליהם מתבסס שאלון תפיסת הפיזיקה, זאת, על מנת לקבל תמונת מצב מעמיקה יותר בנוגע למידת חשיבות הפיזיקה בעיני התלמידים, וגם לנסות להבין את הסיבה להבדלים בין קבוצת ההתערבות לקבוצת ההשוואה בתפיסת הפיזיקה. הריאיון מובנה למחצה, שלדו המרכזי בנוי מ-12 שאלות פתוחות, שעברו תיקוף עמיתים (נספח ט: שאלון הריאיון). בלוח 12 מוצג סיווג שאלות הריאיון לפי הגורמים: היבט אישי, היבט מדעי, קשיים בנושא הנלמד. בריאיון תלמידות – הנוסח היה בלשון נקבה.

לוח 12

חלוקת שאלות הריאיון לפי היבט אישי, היבט מדעי, קשיים בנושא המרות אנרגיה

קשיים בנושא הנלמד	היבט מדעי	היבט אישי
3. באילו קשיים נתקלת בעת לימוד נושא המרות אנרגיה?	2. האם אתה מבין טוב יותר את תופעות היום-יום בזכות לימודי הפיזיקה?	1. האם לדעתך חשוב שכל תלמידי כיתה ט' ילמדו פיזיקה?
4. מה עזר לך להתמודד עם הקשיים שהתעוררו בעת לימוד נושא המרות אנרגיה?	7. כיצד ידעת איך לנסח שרשרת המרות אנרגיה לתופעות חדשות שלא נידונו בכיתה?	5. האם אתה חושב להמשיך ללמוד פיזיקה בתיכון או במסגרת לימודית אחרת?
6. אילו גיוונים ניתן לערוך בשיעורים לעניין יותר את התלמידים?	10. הגדר מהי אנרגיה.	8. מה היו המניעים שלך בעת בחירת הנושא לעבודה המצולמת?
9. במה נעזרת כאשר תיארת את התופעה וניסחת את חוק שימור האנרגיה?		11. האם יש הבדלים בין ההתייחסות לאנרגיה כפי שנלמדת בכיתה להתייחסות לאנרגיה בתופעות בחיי היום יום?
		12. האם אתה נהנה ללמוד פיזיקה? האם אתה לומד פיזיקה כי זה חשוב או כי זה מעניין?

בלוח 13 מובא מפתח תמות וקטגוריות בשיטת הקידוד (Strauss & Corbin, 1990) כפי שצוטט אצל שקדי, (2003) לפיו מוינו דברי המרואיינים.

מפתח תמות וקטגוריות בשיטת הקידוד

מספר קוד לתת הקטגוריה	תת קטגוריה	קטגוריה	תמה
11	גילוי עניין וסקרנות		
12	רלוונטיות אישית וכללית	היבט אישי	תפיסת הפיזיקה
13	חשיבות לעתיד		
14	הסברים מדעיים		
15	תרומה טכנולוגית חברתית	היבט מדעי	
21		מסדר נמוך: זכירה, הבנה, הסכמה ללא הסבר	
22		מסדר גבוה: הקשה, אנליזה, העברה	חשיבה
33		המלצות	התנהלות
34		קשיים בהבנת הנושא	השיעורים

בכפוף להיבטים (אישי ומדעי) מתוך הרקע הספרותי, עליהם מבוסס שאלון תפיסת הפיזיקה, עוצבה סכמת קידוד לנושאים (תמות) בראיונות, על פי הגישה המכוונת לניתוח תוכן (Directed Approach to Content Analysis) כיאה במחקר איכותני (Hsieh & Shannon, 2005). תחילה, מתוך הראיונות נדלו וקודדו הממצאים המשתייכים לקטגוריות היבט אישי והיבט מדעי. בשלב הראשון קביעת הקידוד לתתי הקטגוריה הסתמכה על הקטגוריות המובנות בשאלון מתוך פרויקט ROSE (Trumper, 2006) ושאלון SEMLI-S (Thomas, et al., 2008) (פרק 3.3.1). נערכה הצלבה בין תוכן האמירות לבין שאלות שהופיעו תחת אותה קטגוריה בשאלונים. לדוגמה: היבט אישי כולל את הדעות המתייחסות לסקרנות, עיסוק במקצוע הזה בעתיד, או האם כל אחד צריך ללמוד פיזיקה בבית הספר. מבחינת רלוונטיות – האם לימודי הפיזיקה יסייעו בחיים האישיים. מבחינת ההיבט המדעי – הגדרת מושגים והסבר תופעות מתחום הפיזיקה.

בשלב השני, היו ממצאים שלא זוהו תחת הקטגוריה של תפיסת הפיזיקה ונמצאו שהם מייצגים מיומנויות חשיבה ונגיעה בהבנת מושגי מפתח בהקשר הנושא הנלמד. הקריטריונים קודדו בסכמה, כאשר חלה חלוקה לשתי קטגוריות: מיומנויות חשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה. פרוצדורה מתודולוגית זו מקלה בחיפוש תמות מתוך הראיונות, שכן ניתן להתאימן ולמזג אותן עם המידע הכמותני (שקדי, 2003; Krippendorff, 2004). אכן, שאלון הידע ועבודת הסיכום נותחו גם לפי מיומנויות חשיבה מסדר נמוך וגבוה – כך שניתן למצוא תמיכה בקטגוריות אלו בניחות תוכן של הראיונות.

במהלך הראיונות זוהו ממצאים שלא ניתן היה לקודדם על פי שתי התמות הנזכרות. נקבעה תמה שלישית, המאגדת ממצאים המבטאים את קשיי המרואיינים במהלך לימוד הנושא והמלצותיהם לשיעורים בעתיד.

הריאיון נועד לאפשר הצפת קשיים ודרכי ההתמודדות של התלמידים בנושא הנלמד (ניתוח שרשרת המרות אנרגיה). על אף שהגורם, המוזכר אחרון, אינו תורם להבהרת נושא תפיסת חשיבות הפיזיקה בעיני התלמידים, הוא נחוץ לקבלת הסברים מפי התלמידים על מידת הבנת הנושא המרות אנרגיה, רלוונטיות הנושא בחיי היום-יום ואלו מיומנויות/דרכי חשיבה/אמצעי עזר הפעילו להבנתו (Duit & Haueslar, 2008; Mualem & Eylon, 2010; Papadouris, et al. 2013). נערך תיקוף עמיתים לניסוח שאלות הריאיון וחלוקתן לפי הנושאים, בסיוע מומחית בהוראת המדעים. במהלך הריאיון השאלות היו נתונות להרחבה/לניסוח ממוקד יותר לשיקול המראיית ומאפשרות מתן הסברים, נימוקים ודוגמאות לשיקול המרואיינים.

3.4 הליך

לאחר קבלת האישור ועדת האתיקה של בית ספר לחינוך באוניברסיטת בר אילן (מספר 58, מתאריך 22.2.2017), נעשו מספר פניות למנהלי חטיבות ביניים במחוז תל אביב. נבחרה חטיבה הכוללת ארבע כיתות ט' הטרוגניות, הלומדות שני שיעורי פיזיקה בשבוע כמקובל לפי מסמך האב של משרד החינוך (2 ש"ש), וצוות מדעים בו נמנים שני מורי פיזיקה. מנהלת חטיבת הביניים עודכנה באשר לאישורים הנדרשים לביצוע מחקר אקדמי (אישור מטעם המדען הראשי לביצוע המחקר בתאריך 12.7.2018, אישור רשמי מטעם המדען הראשי - תיק מספר 10155 אל, מתאריך 12.11.2018). לפני הוראת יחידת הלימוד, עורכת המחקר נפגשה עם שני מורי הפיזיקה, שהנם בעלי ניסיון של לפחות עשר שנים בהוראת פיזיקה בחטיבת ביניים. למורים נמסרו אוגדנים לא זהים, הכוללים תשעה מערכי שיעור של יחידת הנושא המרות אנרגיה. המורה שלימד בשתי הכיתות ללא התערבות מטה-קוגניטיבית, קיבל אוגדן מערכי שיעור חסרי כלים מטה-קוגניטיביים. המורה שלימדה בשתי הכיתות עם התערבות מטה-קוגניטיבית, קיבלה הדרכה פדגוגית, על ידי עורכת המחקר, על מהות מטה-קוגניציה, חשיבותה בהוראה ועל אופן שילוב הכלים המטה-קוגניטיביים בשיעורים.

לפני התחלת הוראת הנושא, עורכת המחקר נכנסה לכיתות, הציגה עצמה בפני התלמידים והסבירה את חשיבות המחקר לשם הפקת לקחים ושיפור הוראת שיעורי פיזיקה. עוד הדגישה כי לא יפורסם אמצעי כלשהו המאפשר זהותם של התלמידים ושל בית הספר. התלמידים לא ידעו לאיזו קבוצת מחקר הם שייכים: עם ההתערבות או ללא ההתערבות. לתלמידים חולקו מכתבי ההסכמה מטעם המדען הראשי לחתימת הוריהם (נספח ח). אישורי ההורים נאספו והופקדו בידי עורכת המחקר.

נושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה השתרע על פני עשרה שיעורים (תשעה שיעורים + שיעור אחד למבחן המסכם). השיעורים התקיימו במסגרת לימודי הפיזיקה על פי מערכת השעות הרגילה של כיתות המחקר (קבוצת ההתערבות וקבוצת ההשוואה). איור 4 מתאר סיכום מערך המחקר (נספח י"א).

3.4.1 שאלון תפיסת הפיזיקה

השאלון הועבר בכל הכיתות, הוא הודפס כהמשך לשאלון הידע, כך התאפשר אופן זיהוי התלמידים. הועבר שאלון זה במבחן המקדים ובמבחן המסכם.

3.4.2 שאלון הידע

שאלון הידע המקדים הצריך הזדהות אישית של התלמיד שם, כיתה ומגדר, והמשכו, כאמור, שאלות המבחן עם ציון הניקוד המרבי שלהן. שאלון הידע המקדים התקיים כשבועיים מתחילת שנת הלימודים והועבר בו זמנית בארבע כיתות ט' ההטרוגניות. המורים המלמדים לא נחשפו למבחן מבעוד מועד. בתום הוראת הנושא נערך מבחן ידע מסכם, בו זמנית בארבע הכיתות. המבחן זהה ברמת הקושי למבחן המקדים, חלק מהשאלות שונו בניסוחן, אך בעלות אותה כוונה כמו המבחן המקדים לדוגמה: שינוי במצבים, גופים, פעולות, תמונות וכדומה.

3.4.3 עבודת סיכום

תקופת הוראת נושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה נחתמה בעבודת סיכום בנושא זה בשתי קבוצות המחקר. עבור התלמידים העבודה הוגדרה הערכה חלופית נושאת ציון. דף הנחיות העבודה כלל את דרישות המשימה, אופן תיעוד המשימה (מצגת / בניית מודל), דוגמה מצולמת, מחוון למורה. ניתנה לתלמידים אפשרות לערוך את העבודה באופן אישי או להצטוות כראות עיניהם עד ארבעה תלמידים בקבוצה. עבודות הסיכום נבדקו על פי מחוון מחקרי.

3.4.4 ראיונות

מספר חודשים מסיום לימוד הנושא, התקיימו ראיונות אישיים עם תלמידים, שנבחרו בגישת מדגם שיפוט (Judgement Sample) (Marshall, 1996). למורים המלמדים בשתי הקבוצות הוצבו קריטריונים לבחירת תלמידים לראיונות האישיים, כדלקמן: יכולת שיתוף פעולה, ברי שיחה, יושרה, השתתפות למען תרומה לשיעור / לשם שיפור ההבנה האישית, ציונים נמוכים/בינוניים עד טובים מאוד והתנהגות טובה. להרכבת מדגם מייצג ותכליתי, המשקף גם שיפוט מאוזן במספר רבדים, נבחרו שישה תלמידים, כאשר כל קבוצה כוללת: שתי בנות ובן אחד, תלמיד אחד בעל ציון בינוני ושניים אחרים בעלי ציונים טובים עד למצוינים (על פי מבחנים ועבודות). באשר לתלמידים בעלי ציון נמוך מאוד התקשורת הייתה קלושה והופעל שיקול דעת לא לראינים. הראיונות אושרו על ידי גורמים מוסמכים מטעם ההנהלה ובהסכמה מלאה של התלמידים והוריהם. נמסר לכל הנוגעים מטרת הריאיון: להתרשם מהם על אופן לימוד הנושא המרות אנרגיה, הקשיים שחוו במהלך לימוד יחידה זו, הדרכים שלהם להתמודדות עם הקשיים, והעלאת רעיונות לשיפור לימוד הנושא. הראיונות תואמו מראש לפי זמינות התלמיד/ה (בשעות הבוקר המאוחרות/בשיעור

מסוים) והתקיימו בדיסקרטיות בחדר שקט בבית הספר. הראיונות הוקלטו במכשיר הקלטה ותומללו על ידי החוקרת.

3.5 ניתוח הנתונים

3.5.1 שאלת מחקר ראשונה: תפיסת הפיזיקה

לצורך בדיקת השערת המחקר הראשונה נערכו ניתוחי שונות מדידות חוזרות Mixed Design Repeated ANOVA Measures ו- MANOVA 2 (זמן המדידה: קדם ובתר) \times 2 (קבוצת המחקר: התערבות והשוואה) עבור המשתנים התלויים בשאלון הידע היבט אישי והיבט מדעי. המשתנים הבלתי-תלויים היו פקטור תוך-נבדקי שהינו זמן המדידה ופקטור בין-נבדקי היה קבוצת המחקר.

3.5.2 שאלת מחקר שנייה: הבנת הנושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה

לצורך בדיקת השערת המחקר השנייה נערכו ניתוחי שונות מדידות חוזרות Mixed Design Repeated ANOVA Measures ו- MANOVA 2 (זמן המדידה: קדם ובתר) \times 2 (קבוצת המחקר: התערבות והשוואה) עבור המשתנים התלויים בשאלון הידע: 1. ציון כללי, 2. מיומנויות חשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה, 3. זיהוי הגופים והפעולות בתופעה הפיזיקלית, 4. הסבר נרטיבי של התופעה בשפת האנרגיות, 5. התפלגות הישגים לפי ערך החציון. המשתנים הבלתי-תלויים היו פקטור תוך-נבדקי שהינו זמן המדידה ופקטור בין-נבדקי היה קבוצת המחקר.

בהמשך, לבדיקת אותה השערת מחקר, למדדים בעבודת הסיכום, חושבו מבחני t למדגמים בלתי-תלויים וניתוח שונות One Way MANOVA. המשתנים התלויים בעבודת הסיכום: 1. ציון כללי, 2. מיומנויות חשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה, 3. זיהוי הגופים והפעולות בתופעה הפיזיקלית, 4. הסבר נרטיבי של התופעה בשפת האנרגיות. המשתנה הבלתי-תלוי היה קבוצת המחקר.

3.5.3 שאלת מחקר שלישית: מיומנויות מידול ויכולת העברה

לצורך בדיקת השערת המחקר השלישית נערכו ניתוחי שונות מדידות חוזרות Mixed Design Repeated ANOVA Measures ו- MANOVA 2 (זמן המדידה: קדם ובתר) \times 2 (קבוצת המחקר: התערבות והשוואה) עבור המשתנה התלוי בשאלון הידע מיומנות המידול והמשתנים הבלתי-תלויים היו פקטור תוך-נבדקי שהינו זמן המדידה ופקטור בין-נבדקי היה קבוצת המחקר.

בנוסף, לבדיקת אותה השערת מחקר, למדדים בעבודת הסיכום, חושבו מבחני t למדגמים בלתי-תלויים וניתוח שונות One Way MANOVA. המשתנים התלויים בעבודת הסיכום: מיומנות המידול ויכולת העברה. המשתנה הבלתי-תלוי היה קבוצת המחקר.

3.5.4 ריאיון

עיבוד דברי המרואיינים נעשה על פי חלוקה לשלוש תמות, בהתאם לשאלות המחקר, וחלוקתן לקטגוריות ותתי קטגוריות, כמפורט בלוח 13, עמוד 40.

הוקדשה חשיבה מעמיקה לקביעת המקטעים ומיונם לפי קטגוריות התוכן לשם אינטגרציה ברמת הפרשנות והדיווח (Fetters, et al., 2013). ננקטו מספר דרכים לזיהוי מדויק של כוונת דברי המרואיינים, מתוך מכלול של שיקולי דעת. מחד גיסא, בחירת הקשרים (context) ארוכים - לשמירת ההקשר בין דברי מרואיינים שנאמרו באופן מעורפל (Chi, 1997). במקרים בהם המרואיינים הביעו הסכמה/התנגדות עם השאלה מבלי להרחיב, או תשובתם הייתה חלקית - ניתנה עדיפות לבחירת קטעים נרחבים, יחסית, על פני קטעים מצומצמים (שקדי, 2003). מאידך גיסא, בחירת הקשרים קצרים נעשתה בעת מתן פרשנות מספקת וממוקדת ברמה מקומית, בהתאם לקידוד הקטגוריה (Chi, 1997). ברמת הפרשנות, המידע בתכני mixed methods מתייחס להפיכת הנתונים האיכותניים למשתנים מספריים תוך שימוש בניתוח תוכן, כך שהמידע מתמזג עם בסיס הנתונים הכמותניים. בניתוח תוכן נערכה ספירת שכיחות הקודים של התחומים (domain) כפי שזוהו (Krippendorff, 2004). הוספת ציטוט המרואיינים יוצק עושר ועומק במתן פרשנות לכל קטגורית תוכן בסכמת הקידוד, וכך ממחיש למעשה את הנתונים האיכותניים. תיקוף הכלי האיכותני נסלל בעצם שילוב הניתוח האיכותני עם המדדים הכמותניים, כאשר חל ביסוס פרשנות הראיונות עם עדויות נוספות (Chi, 1997; Roller, 2019). בנוסף, נערך תיקוף עמיתים, על ידי מומחית בהוראת המדעים, כדי לשפר את אמינות הפרשנות הכוללת של הנתונים. המרואיינים מוצגים בשמות בדויים. המרואיינים מקבוצת ההתערבות מוצגים עם מספר קוד (1) בצמוד לשמם. המרואיינים מקבוצת ההשוואה מוצגים עם מספר קוד (2) בצמוד לשמם.

4. ממצאים

השערות המחקר נבדקו באמצעות שלושה כלים כמותניים בשילוב כלי איכותני אחד. דיווח הממצאים הכמותניים יתבצע לפי סדר השערות המחקר, בתמיכת ממצאי הכלי האיכותני (ראיונות).

4.1 בדיקת האפקטיביות של הכוונה מטה-קוגניטיבית בקידום תפיסת הפיזיקה של התלמידים

בהשערת המחקר הראשונה נטען כי הכוונה פדגוגית מטה-קוגניטיבית במהלך לימוד הנושא המרות אנרגיה תחזק באופן חיובי את יחסם של התלמידים בנוגע ללימודי הפיזיקה. לצורך בדיקת השערת המחקר, נערכו השוואות של מדדי תפיסת הפיזיקה לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר מההיבט האישי ומההיבט המדעי. בלוח 14 מוצגים הממוצעים, סטיות התקן, ערכי ניתוחי השוונות החד-משתניים (Univariate Tests) וגודל האפקט של מדדי תפיסת הפיזיקה לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר.

מבחן פירסון בין מדדי תפיסת הפיזיקה

כדי לבדוק האם קיים מתאם מובהק בין שני הגורמים של שאלון תפיסת הפיזיקה בשלב לפני ההתערבות, נערך מבחן פירסון ביניהם. נמצא כי בין שני הגורמים בינם לבין עצמם קיים מתאם חיובי מובהק בשאלון ה-pre ($N = 122, r = .67, p < .001$). כלומר, ככל שהממוצע של ההיבט האישי גבוה יותר כך הממוצע של ההיבט המדעי גבוה. גם בשאלון ה-post נמצא מתאם חיובי מובהק בין שני הגורמים ($N = 118, r = .74, p < .001$).

השוואת מדדי תפיסת הפיזיקה בטרום ההתערבות לפי קבוצת המחקר

תחילה, נערכה השוואה בין קבוצות המחקר במדדי התפיסות של התלמידים ביחס ללימודי הפיזיקה, כפי שנבדקו בשלב טרום ההתערבות. לשם כך נערכו ניתוחי שוונות מסוג One Way MANOVA ו-One Way ANOVA. המשתנים התלויים היו מדדי תפיסת הפיזיקה: היבט אישי והיבט מדעי. המשתנה הבלתי-תלוי היה קבוצת המחקר (עם הכוונה מטה-קוגניטיבית וללא הכוונה מטה-קוגניטיבית).

בניתוח One Way MANOVA לא נמצא הבדל מובהק בין הקבוצות בשלב טרום ההתערבות $F_{(2,119)} = .025, \eta_p^2 = .222, p = 1.53$. גם בניתוחי שוונות One Way ANOVA, במהלכם נבדק כל מדד בנפרד, לא

נמצאו הבדלים מובהקים בין הקבוצות בשלב טרום ההתערבות לפי מדד התפיסה בהיבט האישי $F_{(1,120)} = .006, \eta_p^2 = .414, p = .67$. ולפי ההיבט המדעי $F_{(1,120)} = .36, p = .551, \eta_p^2 = .003$.

השוואת מדדי תפיסת הפיזיקה לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר – מדידות חוזרות

בהמשך, נערך ניתוח שוונות מדידות חוזרות Mixed-Design Repeated Measures Two Way MANOVA (זמן: טרום התערבות, לאחר התערבות) 2×2 (קבוצה: השוואה, התערבות). המשתנים

התלויים היו מדדי תפיסת הפיזיקה והמשתנים הבלתי-תלויים היו פקטור תוך-נבדקי שהינו זמן המדידה ופקטור בין-נבדקי היה קבוצת המחקר. בניתוח השונות הרב-משתני (Multivariate Test) נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן המדידה $F_{(2,115)} = 8.07, p < .001, \eta_p^2 = .0123$, לא נמצא אפקט עיקרי מובהק לקבוצות המחקר $F_{(2,115)} = 2.55, p = .082, \eta_p^2 = .043$, עם זאת כן נמצא אפקט אינטראקציה מובהק זמן×קבוצה $F_{(2,115)} = 5.60, p = .005, \eta_p^2 = .089$.

בלוח 14 מוצגים הממוצעים, סטיות התקן, ערכי ניתוחי השונות החד-משתניים (Univariate Tests) וגודל האפקט של מדדי תפיסת הפיזיקה לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר.

לוח 14

ממוצעים, סטיות תקן, ערכי F וערכי η_p^2 של מדדי תפיסת הפיזיקה לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר

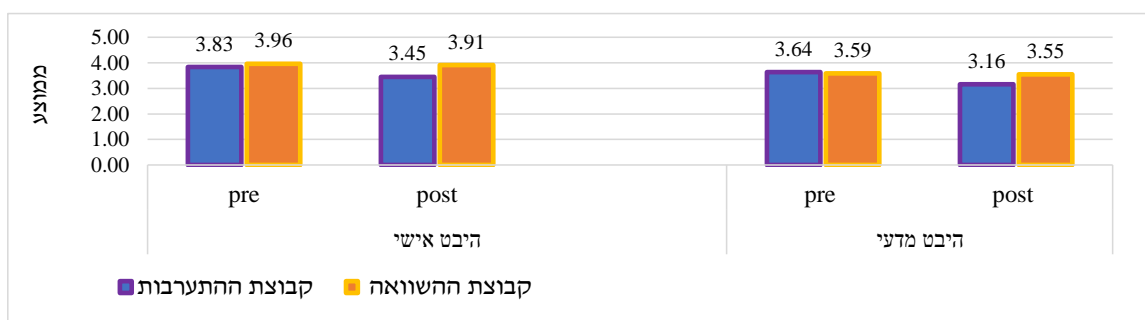
זמן×קבוצה		קבוצה		זמן		קבוצת ההשוואה (n = 57)			קבוצת ההתערבות (n = 61)			היבט
η_p^2	F	η_p^2	F	η_p^2	F	ציון השינוי	post	pre	ציון שינוי	post	pre	
	(1,116)		(1,116)		(1,116)							
.080	10.13**	.012	1.43	.102	13.20***	-0.03	3.55	3.59	-0.48	3.16	3.64	M
							0.87	0.93		0.86	0.78	SD
.052	6.43*	.040	4.79*	.088	11.20***	-0.05	3.91	3.96	-0.38	3.45	3.83	M
							0.79	0.82		0.88	0.76	SD

הערה: טווח ציוני המדדים בין 1-5 וככל שהציון גבוה יותר רמת המדד הנבדק גבוהה יותר
 $***p < .001$. $**p < .01$. $*p < .05$

מהתבוננות בערכי ניתוח השונות המוצגים בלוח 14 עולה כי נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן המדידה הן במדד ההיבט האישי והן במדד ההיבט המדעי, נמצא אפקט עיקרי מובהק לקבוצה במדד ההיבט האישי, אך לא נמצא אפקט עיקרי מובהק לקבוצה במדד ההיבט המדעי, עם זאת כן נמצא אפקט אינטראקציה מובהק זמן×קבוצה בשני מדדי תפיסת הפיזיקה. בתרשים 1 מומחש באופן גרפי אפקט האינטראקציה המובהקת של בשני מדדי תפיסת הפיזיקה.

תרשים 1

ממוצעי תפיסת הפיזיקה של ההיבט האישי ושל ההיבט המדעי, לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר



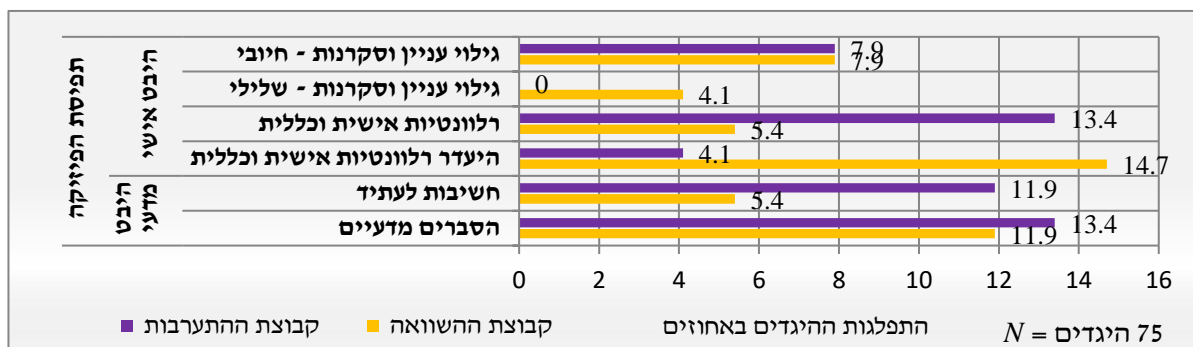
מעיון בממוצעים המוצגים בתרשים 1 ומניתוחי Simple Effects, עולה כי, בניגוד להשערה הראשונה, לפיה צפויה עלייה במדדי תפיסת הפיזיקה בעיני התלמידים, בקבוצת ההתערבות חלה ירידה מובהקת במדדי תפיסת הפיזיקה, הן בהיבט המדעי והן בהיבט האישי משלב טרום ההתערבות לשלב בתר ההתערבות ואילו בקבוצת ההשוואה לא חל שינוי מובהק במדדים אלו בין שני זמני המדידה. באשר לממד תפיסת הפיזיקה בהיבט המדעי בקבוצת ההתערבות נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן המדידה $F_{(1,60)} = 18.13, p < .001, \eta_p^2 = .23$, בקבוצת ההשוואה לא נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן המדידה $F_{(1,56)} = 0.15, p = .70, \eta_p^2 = .003$. באשר לממד תפיסת הפיזיקה בהיבט האישי, בקבוצת ההתערבות נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן המדידה $F_{(1,60)} = 16.58, p < .001, \eta_p^2 = .22$, בקבוצת ההשוואה לא נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן המדידה $F_{(1,56)} = .35, p = .56, \eta_p^2 = .006$. לסיכום, דפוס הממצאים מצביע על כך שבתשובה לשאלת המחקר הראשונה בקבוצת ההתערבות נמצאה ירידה מובהקת במדדי תפיסת הפיזיקה, בהיבט האישי ובהיבט המדעי, משלב טרום ההתערבות לשלב בתר ההתערבות, ואילו בקבוצת ההשוואה לא חל שינוי מובהק ברמת המדדים בין שני זמני המדידה. ממצא זה יידון בהרחבה בפרק הדיון.

תפיסת הפיזיקה מתוך הראיונות

שאלת המחקר הראשונה נועדה לבדוק האם וכיצד אופן הכוונה פדגוגית מטה-קוגניטיבית גורמת לשינוי בתפיסותיהם של התלמידים ביחס ללימודי הפיזיקה. על מנת לתמוך בממצאים הכמותניים שהתקבלו באמצעות שאלון תפיסת הפיזיקה, נערכו גם ראיונות חצי מובנים. השאלות שהופנו לששת המרואיינים התבססו על הקריטריונים של תפיסת הפיזיקה מההיבט האישי ומההיבט המדעי, כאשר מתוך הראיונות עלו טיעונים וכוונות, המסבירים קטגוריות אלו. בתרשים 2 מוצגת התפלגות ההיגדים (באחוזים) שעלו בראיונות, בקרב תלמידי קבוצת ההתערבות וקבוצת ההשוואה. חישוב האחוזים נערך מתוך סך כל ההיגדים בכל קטגוריות הראיון, משתי קבוצות המחקר יחדיו ($N=75$).

תרשים 2

התפלגות ההיגדים (באחוזים) בראיונות לפי קטגוריית תפיסת הפיזיקה ולפי קבוצת המחקר



בלוח 15 מובאות דוגמאות לדברי המרואיינים לכל אחת מקטגוריות התוכן של תפיסת הפיזיקה.

לוח 15

דוגמאות לדברי המרואיינים לקטגוריות התוכן של תפיסת הפיזיקה

קטגוריית תוכן (כולל הגדרה)	תת קטגוריה (כולל הגדרה)	סיווג בתת הקטגוריה	אמירות מרואיינים
א. גילוי עניין וסקרנות			
היבט אישי (Individual): מהווה את הקשר הנוצר הודות לניסיון האישי אותו חווה הלומד עם העולם הפיזי, מעבר לספרי הלימוד או על ידי תיווך המורה (Roth & Roychoudhury, 1994). מבחינת תפיסת עולמם האישי של המרואיינים עלו עמדות, אשר סווגו לפי: א. גילוי עניין וסקרנות, ב. רלוונטיות אישית וכללית, ג. חשיבות לעתיד.	קטגוריית גילוי עניין משלבת תחושות, מחשבות ופעילויות, על פני אחרות, אשר מושכות את תשומת לב ומהוות גורם הנעה להמשך עיסוק בנושא יותר (Gardner & Tamir, 1989a, in Trumper, 2006).	בנימה חיובית	"אני נהנית ללמוד פיזיקה, אני חושבת שזה נורא מעשיר, מפתח את יכולת החשיבה". "זה נורא מעניין לראות תופעות ופשוט לנתח אותן, לראות מה גורם להן, אלו שינויים קורים בתהליך הזה".
		בנימה לא החלטית	"אני ספציפית לא כל כך מתחבר למקצוע הזה, לא יודע. זה לא משעמם אותי, זה מעניין, אבל קשה לי לומד מכיוון שזה מעניין מרגיש שזה חשוב ללמוד פיזיקה".
ב. רלוונטיות אישית וכללית			
היבט מדעי: מסגרת של עובדות, מושגים ותפיסות, כפי שמוצגת בספרי הלימוד או הנוצרת בתיווך המורה. לצורך מחקר זה ההיבט המדעי משקף את עמדות התלמידים באשר לחשיבות הפיזיקה במספר תחומים בחיי היום-יום, הקניית מושגים בהקשר של אנרגיה וחשיבה לשימוש הגיוני באנרגיה בעקבות הוראת הפיזיקה בשיעורים (Lijnse, 1990).	Lijnse (1990) מבחין בין רלוונטיות מעשית-תכליתית (Pragmatic Relevance), הכרוכה בידע ובמיומנויות המועילים ישירות לפעולה במצבים בעולם החיים, לבין רלוונטיות תיאורטית (Theoretical Relevance), המכוונת להבנה עמוקה ועקבית בעולם בו אנו חיים.	רלוונטיות הפיזיקה בהיבט כללי	"...זה נלמד כבסיס, שככה אפשר ללכת בחיי היום-יום ולהתמצא, כאילו להבין כול פעולה ואת האנרגיה שנדרשת לפעולה הזאת".
		רלוונטיות הפיזיקה ברמה האישית	"נגיד שאני מחמם משהו, אני רואה שכאילו יש קשר למה שלמדתי. למדתי שצריך להגיע לחום מסוים כדי לחמם דברים, מים נגיד, אז אני מבין את הקשר כאילו, למה שלמדתי".
		חוסר החלטיות	"זה לא שיש הפרדה, זה פשוט שאם אני אראה משהו בחוץ אני לא בהכרח ישר אקשר אז למה שלמדתי בשיעור פיזיקה. זה פשוט לא... לרוב לא. אין חיבור".
ג. חשיבות לעתיד			
"עכשיו אנחנו אולי לא יודעים מה אנחנו נרצה להיות, אבל אולי פתאום אנחנו נרצה להיות משהו שזה קשור לפיזיקה, ואנחנו לא נדע אפילו את הבסיס, לפי דעת".			
הסברים מדעיים			
היבט מדעי: מסגרת של עובדות, מושגים ותפיסות, כפי שמוצגת בספרי הלימוד או הנוצרת בתיווך המורה. לצורך מחקר זה ההיבט המדעי משקף את עמדות התלמידים באשר לחשיבות הפיזיקה במספר תחומים בחיי היום-יום, הקניית מושגים בהקשר של אנרגיה וחשיבה לשימוש הגיוני באנרגיה בעקבות הוראת הפיזיקה בשיעורים (Lijnse, 1990).	מהי תופעה פיזיקלית?	מהי תופעה פיזיקלית?	"מעבר, אולי, של אנרגיה?" "כל דבר בערך הוא תופעה פיזיקלית, לא? כאילו... אהממ... לא יודעת, משהו נראה לי קשור. לא יודעת". "כאילו יש בה תנועה וזה ברור כזה, לא יודע".
		מהי אנרגיה?	"אנרגיה? חושבת שזה... העברת... אולי, חומר? צורת ההעברה יכול להיות. צורת ההעברה זה כאילו מן כללי כזה...". "אנרגיה היא כוח כאילו שמניע את הגוף ויכולה כאילו לעבור מגוף לגוף". "כוח מסוים שעובר בין גוף לגוף".
		חוק שימור האנרגיה	"בתופעה שלי זה... זה היה כאילו רכיבה על אופניים וכמות הכוח. אני ידעתי שחוק שימור האנרגיה זה כמות הכוח שהיא התחלתית תהיה שווה לסופית".

ממצאי שאלון התפיסות הראו ירידה בתפיסת הפיזיקה בקרב תלמידי קבוצת ההתערבות. לעומת זאת, הראיונות הראו ממצאים שונים: (1-מרואיין מקבוצת ההתערבות. 2-מרואיין מקבוצת ההשוואה)

א. כל המרואיינים העידו כי מקצוע הפיזיקה הנו חשוב. להלן דוגמה של דברי מרואיינות, שתשובתן מעידה על עמדה מקובלת ביחס לחשיבות מקצוע הפיזיקה.

מראיינת: "האם חשוב שכול תלמידי ט' ילמדו פיזיקה?"

לינוי (2): "זה מקצוע חשוב. זה מקצוע כזה מדעי. גם כול ה... מהתיכון וכול המקצועות החשובים".

נגה (2): "אני חושבת שזה לא מזיק, זה מקצוע שהוא חשוב כמו רוב המקצועות האחרים. כן חשוב".

ב. מרואייני קבוצת ההתערבות ומרואיינת מקבוצת ההשוואה, גילו יותר עניין וסקרנות כלפי מקצוע הפיזיקה בהשוואה ליחס שלילי.

ג. מרואייני קבוצת ההתערבות ביטאו מקרים המצביעים על רלוונטיות המקצוע, תמכו דבריהם בדוגמאות, הן מבחינה אישית והן מבחינה כללית, וכן גם חשיבות המקצוע לעתיד, יותר מהנאמר על ידי מרואייני קבוצת ההשוואה. עם זאת, הדוגמאות שניתנו היו במעגל האישי או בבית. בראיונות האמירות לא קלחו בשטף ובאופן ספונטני, אלא לאחר שאילת שאלות מסייעות. שני המרואיינים הנותרים מקבוצת ההשוואה לא מצאו לנכון לספר על קשר כלשהו באשר לתרומת הפיזיקה בחיי היום-יום עבורם.

דניאל (1): "סתם דוגמה, תהליכים שקורים, מה קורה בעצם מתחת לכל הדבר הזה, אם יש דברים הכי בסיסיים: קרח שהופך למים, אז נורא מעניין מה גורם לזה, איך זה יכול להשפיע, מה אני יכולה לעשות עם זה, אז זה דברים שיכולים מאוד מאוד לעניין ולסקרן".

עומר (1): "נגיד כאילו כל הדברים האלה עם החום... אם יודעים על זה אז זה קצת יותר קל. נגיד שאני מחמם משהו, אני רואה שכאילו יש קשר למה שלמדתי. למדתי שצריך להגיע לחום מסוים כדי לחמם דברים, מים נגיד, אז אני מבין את הקשר כאילו, למה שלמדתי".

לינוי (2): "זה היה על החשמל והקצר וכול העומס יתר וזה, ושנפל החשמל, כאילו הצלחתי להבין ולדבר על זה עם ההורים שלי".

שני מרואיינים מקבוצת ההשוואה הביעו הסתייגות באשר לתרומת הפיזיקה בחיי היום-יום ואף הודו שאין קשר בין הפיזיקה לחיים מחוץ לכיתה. להלן דוגמה של מרואיינת מקבוצת ההשוואה.

מראיינת: "איך מתבטאת החשיבות (של מקצוע הפיזיקה)?"

נגה (2): "[...] כי אני לא באמת חושבת שזה באמת עוזר בחיים האמיתיים, כי... אלא אם כן את באמת הולכת לומדת את זה אחר כך".

ד. המרואיינים התבקשו להסביר מספר מושגי מפתח, כמו: מהי אנרגיה, מהי תופעה פיזיקלית, בתקווה לקשר מושגים אלו לחשיבות הפיזיקה מבחינת ההיבט המדעי. יש לציין כי בכל הזדמנות שהיא, אף מרואיין לא העלה אמירה כלשהי או שיקף את נחיצות הפיזיקה בקידום הטכנולוגיה והתרומה לחברה.

4.2 בדיקת האפקטיביות של הכוונה מטה-קוגניטיבית בקידום ההבנה ומיומנויות החשיבה בנושא

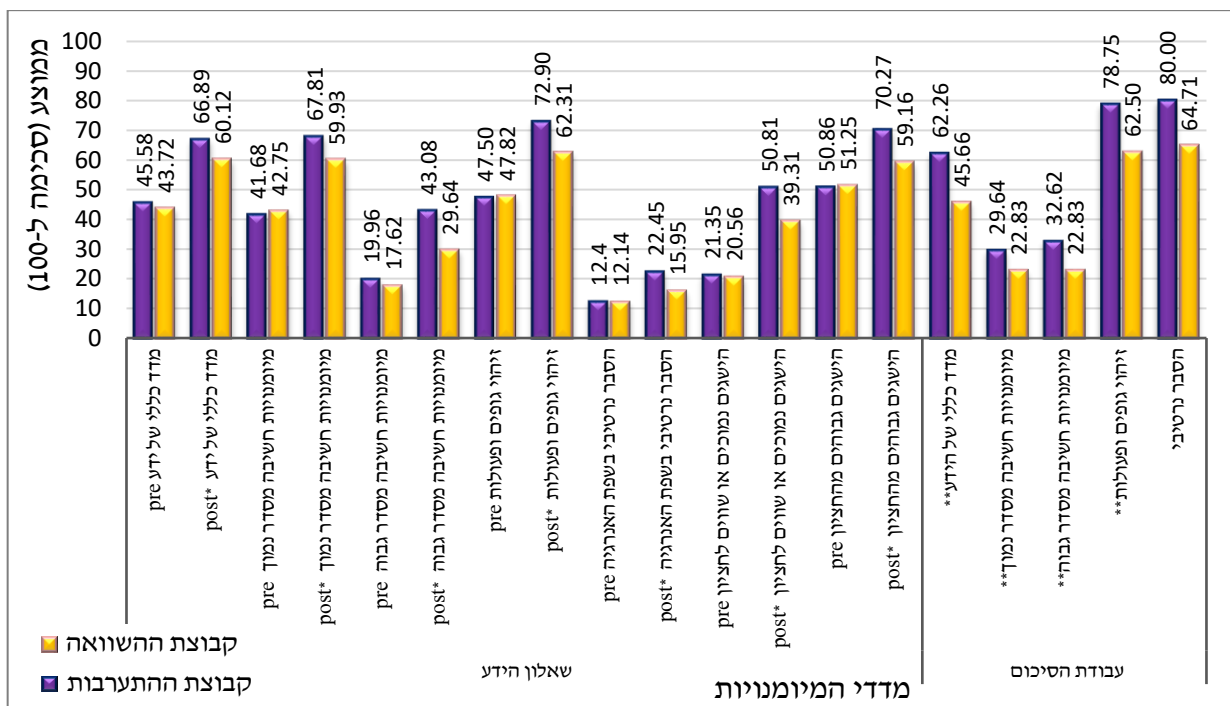
המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה בקרב התלמידים

בהשערת המחקר השנייה נטען כי הכוונה פדגוגית מטה-קוגניטיבית במהלך ההוראה מסייעת לתלמידים לפתח הבנה משמעותית בנושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה. לצורך בדיקת השערת המחקר השנייה, נערכו מספר השוואות לבדיקת הבנה קונספטואלית (ברמת התוכן) ומיומנויות חשיבה הן בשאלון הידע והן בהערכה החלופית (עבודת הסיכום).

בשאלון הידע והמיומנויות נבדקו לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר המדדים הבאים: 1. ציון כללי, 2. מיומנויות חשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה, 3. זיהוי הגופים והפעולות בתופעה הפיזיקלית, 4. הסבר נרטיבי של התופעה בשפת האנרגיות, 5. התפלגות הישגים לפי ערך החציון. בהמשך, בעבודת הסיכום המיומנויות נבדקו לפי קבוצת המחקר במדדים הבאים: 6. ציון כללי, 7. מיומנויות חשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה, 8. זיהוי הגופים והפעולות בתופעה הפיזיקלית, 9. הסבר נרטיבי של התופעה בשפת האנרגיות. בתרשים 3 מוצגים הממוצעים של מדדי ההבנה הקונספטואלית ומיומנויות החשיבה לפי זמן מדידה ולפי קבוצת המחקר בשאלון הידע ובעבודת הסיכום.

תרשים 3

ממוצעים של מדדי ההבנה הקונספטואלית ומיומנויות החשיבה לפי זמן מדידה ולפי קבוצת המחקר בשאלון הידע ובעבודת הסיכום



*עלייה מובהקת בשתי קבוצות המחקר. בקבוצת ההתערבות הייתה עלייה גבוהה יותר באופן מובהק.
**נמצא הבדל מובהק לפי קבוצת המחקר. בקבוצת ההתערבות המדד היה גבוה יותר באופן מובהק.

4.2.1 השוואת המדד הכללי של הידע (בשאלון הידע) לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר

הכוונה מטה-קוגניטיבית בהוראת נושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה תשפר את מידת הבנת הידע בקרב התלמידים במידה רבה יותר בהשוואה לאלו שלמדו ללא תמיכה מטה-קוגניטיבית.

השוואת המדד הכללי של הידע בטרום ההתערבות לפי קבוצת המחקר

תחילה נערכה השוואה של מדד הידע הכללי בהתבסס על הציון הכללי של שאלון הידע בטרום ההתערבות, לפי קבוצת המחקר, זאת במטרה לבדוק אם יש צורך לפקח על רמת הידע בטרום ההתערבות במסגרת בדיקת השערת המחקר. על מנת להשוות את מדד הידע הכללי בטרום ההתערבות, חושבו מבחני t למדגמים בלתי-תלויים. המשתנה התלוי היה ציון כולל של השאלון. המשתנה הבלתי-תלוי היה קבוצת המחקר (קבוצת התערבות, קבוצת השוואה). בלוח 16 מוצגים, הממוצעים, סטיות התקן וערכי מבחן t למדגמים בלתי-תלויים למדד הכללי של הידע בטרום ההתערבות לפי קבוצת מחקר.

לוח 16

ממוצעים, סטיות תקן וערכי מבחן t של מדד כללי של הידע בטרום ההתערבות לפי קבוצת מחקר ($N=123$)

השוואה סטטיסטית		קבוצת השוואה ($n = 60$)		קבוצת התערבות ($n = 63$)		מדד הידע
<i>sig</i>	$t_{(121)}$	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	
= .525	0.64	16.26	43.71	16.24	45.58	מדד כללי של הידע

הערה: טווח ציוני המדדים בין 0-100 וככל שהציון גבוה יותר רמת המדד הנבדק גבוהה יותר

מהתבוננות בערך מבחן t , המוצג בלוח 16, עולה כי במדד הכללי של הידע לא נמצא הבדל מובהק לפי קבוצת המחקר. מכאן, שלא מסתמן צורך לערוך פיקוח סטטיסטי על המדד הכללי של הידע בטרום ההתערבות במסגרת בדיקת השערות.

השוואת המדד הכללי של הידע לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר – מדידות חוזרות

בהמשך, נערך ניתוח שונות מדידות חוזרות Mixed-Design Repeated Measures Two Way ANOVA (זמן: טרום התערבות, לאחר התערבות) 2×2 (קבוצה: השוואה, התערבות). המשתנה התלוי היה מדד כללי של הידע והמשתנים הבלתי-תלויים היו פקטור תוך-נבדקי שהינו זמן המדידה ופקטור בין-נבדקי היה קבוצת המחקר. בנייתוח השונות נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן המדידה $F_{(1,121)} = 251.43, p < .001, \eta_p^2 = .68$, לא נמצא אפקט עיקרי לקבוצה $F_{(1,121)} = 2.41, p = .123, \eta_p^2 = .02$, כמו כן נמצא אפקט אינטראקציה מובהק זמן×קבוצה $F_{(1,121)} = 4.13, p = .044, \eta_p^2 = .033$. בלוח 16 מוצגים הממוצעים, סטיות התקן, ערכי ניתוחי השונות החד-משתניים (Univariate Tests) וגודל האפקט של

המדד הכללי של הידע לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר. בלוח 17 מוצגים הממוצעים, סטיות התקן, ערכי ניתוחי השונוות החד-משתניים (Univariate Tests) וגודל האפקט של המדד הכללי של הידע לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר.

לוח 17

ממוצעים, סטיות תקן, ערכי F וערכי η_p^2 של המדד הכללי של הידע לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר

זמן×קבוצה		קבוצה		זמן		קבוצת ההשוואה (n = 60)			קבוצת ההתערבות (n = 63)			ממוצעים וסטיות תקן	מדדי הידע
η_p^2	$F_{(1,121)}$	η_p^2	$F_{(1,121)}$	η_p^2	$F_{(1,121)}$	ציון שינוי	post	pre	ציון שינוי	post	pre		
.033	4.13**	.020	2.410	.675	251.43**	16.40	60.12	43.72	21.31	66.89	45.58	<i>M</i>	מדד כללי
							17.65	16.26		16.57	16.24	<i>SD</i>	של הידע

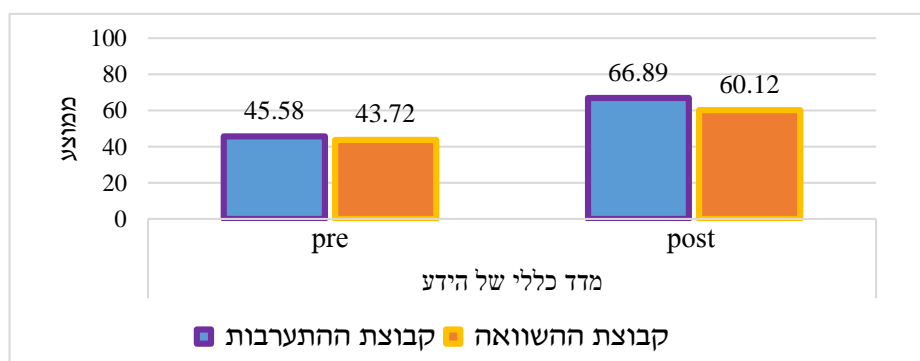
הערה: טווח ציוני המדדים בין 0-100 וככל שהציון גבוה יותר רמת המדד הנבדק גבוהה יותר

** $p < .01$

מהתבוננות בערכי ניתוח השונוות המוצגים בלוח 17 עולה כי נמצא אפקט אינטראקציה מובהק זמן×קבוצה במדד כללי של הידע. בתרשים 4 מומחש אפקט האינטראקציה באופן גרפי.

תרשים 4

ממוצעי מדד כללי של הידע לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר



מעיון בממוצעים המוצגים בתרשים 4 ומניתוחי Simple Effects עולה כי, בהתאם להשערה, בשתי הקבוצות חלה עלייה מובהקת במדד הכללי של הידע משלב טרום ההתערבות לשלב בתר ההתערבות. בקבוצת ההתערבות נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן המדידה $F_{(1,62)} = 141.70, p < .001, \eta_p^2 = .70$, וכן בקבוצת ההשוואה נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן המדידה $F_{(1,59)} = 111.77, p < .001, \eta_p^2 = .66$. יחד עם זאת, על פי גודל האפקט, בקבוצת ההתערבות העלייה במדד הכללי של הידע הייתה גדולה יותר

($\eta_p^2 = .70$) לעומת קבוצת השוואה ($\eta_p^2 = .66$). לאחר פעולת ההתערבות המדד הכללי של הידע היה גבוה

יותר באופן מובהק בקבוצת ההתערבות לעומת קבוצת השוואה ($\eta_p^2 = .04$, $F_{(1,121)} = 4.73$, $p = .032$). דפוס הממצאים מצביע על כך שבתשובה לשאלת המחקר השנייה, בשתי קבוצות המחקר נמצאה עלייה מובהקת במדד הכללי של הידע, משלב טרום ההתערבות ולאחר ההתערבות, אך בקרב קבוצת ההתערבות העלייה הייתה גבוהה יותר באופן מובהק.

4.2.2 השוואת מדדי מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה בשאלון הידע לפי זמן המדידה ולפי

קבוצת המחקר

הכוונה מטה-קוגניטיבית תשפר את ההבנה הקונספטואלית (רמת הידע) ומיומנויות החשיבה (מסדר נמוך ומסדר גבוה) בקרב התלמידים, במידה רבה יותר בהשוואה לאלו שלא יקבלו תמיכה מטה-קוגניטיבית. מדד זה נקבע על פי ארבע שאלות מסועפות, שנבחרו מכלל שאלות המבחן, כשבכל סעיף חלה הבחנה מדוקדקת בתשובות התלמידים, לפי מיומנויות מסדר נמוך ולפי מיומנויות מסדר גבוה.

השוואת מדדי מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה בטרם ההתערבות לפי קבוצת המחקר

במטרה לבדוק אם יש צורך לפקח על מדדי המיומנויות בטרם ההתערבות במסגרת בדיקת השערת המחקר השנייה נערכה השוואה של מדדי מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה בטרם ההתערבות לפי קבוצת המחקר באמצעות ניתוח שונות One Way MANOVA. המשתנים התלויים היו ציוני מדדי מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה לאחר שקלולם לפי הטווח 0-100. המשתנה הבלתי-תלוי היה קבוצת המחקר (קבוצת התערבות, קבוצת השוואה).

במבחן ה-pre נמצא מתאם חיובי גבוה מובהק בין מדדי מיומנויות החשיבה מסדר נמוך למיומנויות חשיבה מסדר גבוה ($r = .69$, $p < .001$). בניתוח ה-MANOVA לא נמצא אפקט עיקרי מובהק למשתנה קבוצת המחקר ($\eta_p^2 = .02$, $F_{(2,120)} = 1.26$, $p = .288$). במדד מיומנויות החשיבה מסדר נמוך לא נמצא אפקט עיקרי מובהק ($\eta_p^2 = .001$, $F_{(1,121)} = 0.10$, $p = .757$). במדד מיומנויות חשיבה מסדר גבוה לא נמצא אפקט עיקרי מובהק ($\eta_p^2 = .005$, $F_{(1,121)} = 0.61$, $p = .438$). מכאן, שלא מסתמן צורך לערוך פיקוח סטטיסטי על מדדי מיומנויות החשיבה בטרם ההתערבות במסגרת בדיקת השערות.

השוואת מדדי מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר –

מדידות חוזרות

נערך ניתוח שונות מדידות חוזרות 2 Mixed-Design Repeated Measures Two Way MANOVA (זמן: טרום התערבות, לאחר התערבות) \times 2 (קבוצה: השוואה, התערבות). המשתנים התלויים היו מדדי מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה והמשתנים הבלתי-תלויים היו פקטור תוך-נבדקי שהינו זמן

המדידה ופקטור בין-נבדקי היה קבוצת המחקר. בנייתו ה-MANOVA נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן המדידה $F_{(2,120)} = 5.14, p = .007$, נמצא אפקט עיקרי לקבוצה $F_{(2,120)} = 131.99, p < .001, \eta_p^2 = .69$, כן נמצא אפקט אינטראקציה מובהק $F_{(2,120)} = 5.56, p < .001, \eta_p^2 = .14$. בלוח 18 מוצגים הממוצעים, סטיות התקן, ערכי ניתוחי השונות Two Way ANOVA מדידות חוזרות וגודל האפקט של מדדי מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה לפי זמן המדידה ולפי קבוצות המחקר.

לוח 18

ממוצעים, סטיות תקן, ערכי F וערכי η_p^2 של מדדי מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר

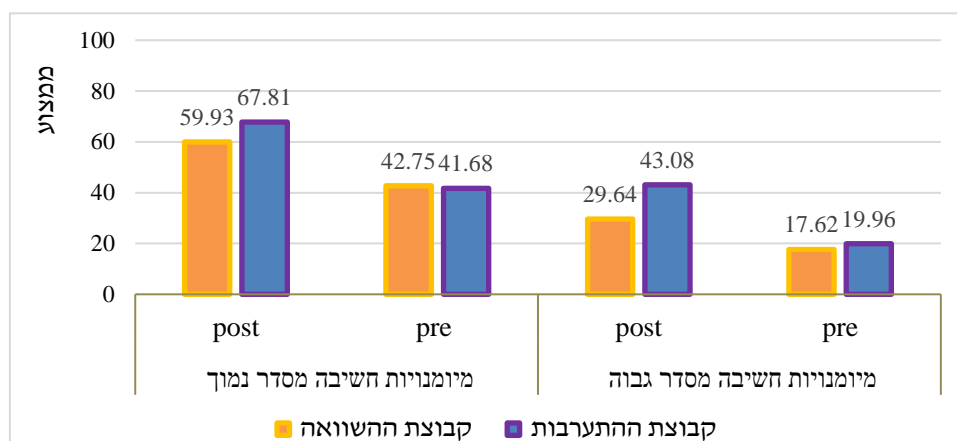
מדדי הידע	ממוצעים (M)	קבוצת ההתערבות (n = 63)		קבוצת ההשוואה (n = 60)		זמן	קבוצה	זמן×קבוצה
		pre	post	pre	post			
מדד מיומנויות חשיבה מסדר נמוך	M	41.68	67.81	42.75	59.93	.64	קבוצה	10.68**
	SD	18.78	16.91	19.48	20.32	.01	זמן	164.83***
מדד מיומנויות חשיבה מסדר גבוה	M	19.96	43.08	17.62	29.64	.58	קבוצה	16.45***
	SD	15.93	19.67	17.37	18.36	.06	זמן×קבוצה	7.29**

הערה: טווח ציוני המדדים בין 0-100 וככל שהציון גבוה יותר רמת המדד הנבדק גבוהה יותר
 $*p < .05$. $**p < .01$. $***p < .001$

מהתבוננות בערכי ניתוחי השונות Two Way ANOVA מדידות חוזרות המוצגים בלוח 18 עולה כי באשר למדד מיומנויות החשיבה מסדר נמוך: נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן $F_{(1,121)} = 214.03, p < .001, \eta_p^2 = .64$, לא נמצא אפקט עיקרי מובהק לקבוצה $F_{(1,121)} = 1.55, p = .22, \eta_p^2 = .01$, נמצא אפקט אינטראקציה מובהק $F_{(1,121)} = 10.68, p = .003, \eta_p^2 = .08$. באשר למדד מיומנויות מסדר גבוה: נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן $F_{(1,121)} = 164.83, p < .001, \eta_p^2 = .58$, נמצא אפקט עיקרי מובהק לקבוצה $F_{(1,121)} = 16.45, p < .001, \eta_p^2 = .06$, וכן נמצא אפקט אינטראקציה מובהק $F_{(1,121)} = 7.29, p = .008, \eta_p^2 = .12$. בתרשים 5 מומחש אפקט האינטראקציה של מדדי מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה באופן גרפי.

תרשים 5

ממוצעי מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה במבחן הידע לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר



מעיון בממוצעים המוצגים בתרשים 5 ומניתוחי simple effects עולה כי בהתאם להשערה, בשתי הקבוצות חלה עלייה מובהקת במדדי מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה משלב טרום ההתערבות לבתר. באשר למדד מיומנויות החשיבה מסדר נמוך נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן המדידה בקבוצת ההתערבות $F_{(1,62)} = 160.2, p < .001, \eta_p^2 = .73$, נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן המדידה בקבוצת ההשוואה $F_{(1,59)} = 62.28, p < .001, \eta_p^2 = .51$. באשר למדד מיומנויות החשיבה מסדר גבוה נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן המדידה בקבוצת ההתערבות $F_{(1,62)} = 138.63, p < .001, \eta_p^2 = .69$, וכן נמצא אפקט

עיקרי מובהק לזמן המדידה בקבוצת ההשוואה $F_{(1,59)} = 39.97, p < .001, \eta_p^2 = .40$.

יחד עם זאת, על פי גודל האפקט, בקבוצת ההתערבות העלייה במדד מיומנויות החשיבה מסדר נמוך הייתה גדולה יותר ($\eta_p^2 = .73$) לעומת קבוצת ההשוואה ($\eta_p^2 = .51$), וגם לגבי מדד מיומנויות החשיבה מסדר גבוה בקבוצת ההתערבות העלייה הייתה גדולה יותר ($\eta_p^2 = .69$) לעומת קבוצת ההשוואה ($\eta_p^2 = .40$). לאחר פעולת ההתערבות מדד מיומנויות החשיבה מסדר נמוך היה גבוה יותר באופן מובהק בקבוצת ההתערבות לעומת קבוצת ההשוואה $F_{(1,121)} = 6.45, p = .012, \eta_p^2 = .05$, וגם מדד מיומנויות החשיבה מסדר גבוה היה גבוה יותר באופן מובהק בקבוצת ההתערבות לעומת קבוצת ההשוואה $F_{(1,121)} = 15.32, p < .001, \eta_p^2 = .11$. לסיכום, דפוס הממצאים מצביע על כך שבתשובה לשאלת המחקר השנייה בשתי קבוצות המחקר נמצאה עלייה מובהקת במדדי מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומיומנויות החשיבה מסדר גבוה, משלב טרום ההתערבות לשלב בתר ההתערבות, אך בקרב קבוצת ההתערבות העליות היו גבוהות יותר באופן מובהק.

דוגמאות למיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה בשאלון הידע

תשובות התלמידים התבססו על טיעונים חלקיים או שגויים, לרוב התאפיינו על פי מיומנויות חשיבה מסדר נמוך, למרות שחלק מהנימוקים היו אמורים להתנסח על פי מיומנויות חשיבה מסדר גבוה. להלן מספר דוגמאות:

א. דוגמה למיומנות חשיבה מסדר נמוך, המהווה למעשה פרשנות בקריטריון הבנה (Krathwohl, 2002), (ללא הגהה): "אנרגיית התנועה של כדור בנפילתו שווה לשינוי באנרגיית הגובה. הן שוות משום שלפני נגיעתו ברצפה כמות אנ' הגובה שלו מאוד נמוכה וכמות אנרגיית התנועה גבוהה, לעומת זאת שהוא בשיא גובהו, אנ' הגובה גבוהה ואנ' התנועה נמוכה". ההסבר לא מספק למקרה הנידון בו השינויים בכמויות האנרגיות שווים, ומלבד זאת הוא נטול התייחסות לחוק שימור האנרגיה.

ב. בהסברים שהסתמכו כביכול על חוק שימור האנרגיה, הובא ציטוט העיקרון כי אנרגיה לא יכולה להיעלם ולא יכולה להיווצר מאפס (מיומנות חשיבה מסדר נמוך), אך לא היה חיבור לתופעה (סינתזה – מיומנות חשיבה מסדר גבוה Krathwohl, 2002), לדוגמה: שאלה בשאלון הידע, עסקה בנפילת כדור במדרון פגיעתו בקפיץ ועלייתו מעלה, והאם התהליך ימשך לתמיד. מתוך הסברי תלמידים: "על פי חוק שימור האנרגיה אנרגיה אינה יכולה להיעלם, היא מחליפה סוג אנרגיה", "כאשר אנרגיה מומרת לאנרגיה אחרת יש חיכוך בין הגופים לפי חוק שימור האנרגיה. האנרגיה לא נעלמת היא מומרת לאנרגיה אחרת", "התהליך ירידת הכדור ועלייתו ימשך לתמיד כי לפי חוק שימור האנרגיה כמות אנרגיית התנועה, אלסטית וגובה תשמר".

ג. במספר שאלות היה צורך לתאר תופעה בשפת האנרגיות, תוך שימוש במיומנויות חשיבה מסדר גבוה (אנליזה – לניתוח מלא של המרות האנרגיה, וסינתזה – לקשר לחוק שימור האנרגיה), אך ההסברים היו מבולבלים, ניכרו חוסר הקפדה על פרטים ועקביות, כגון: תיאור תנועת כדור לאורך מדרון, פגיעתו בקפיץ ועלייתו בחזרה (ללא הגהה) - "התהליך ימשך לתמיד מכיוון שכמות האנרגיה נשמרת וזה חוזר על עצמו כל פעם עם אותו כמות האנרגיה ושהקפיץ נותן לו תמיד דחיפה שיעלה למעלה", "לפי חוק שימור האנרגיה, כמות אנרגיית התנועה, אלסטיות וגובה תשמר", "חוק שימור האנרגיה מתקיים בתופעה בכך שהאנרגיה אינה נעלמת הכדור מושמט מגובה וצובר אנרגיית גובה לאחר מכן היא עוברת לאנרגיית תנועה וחום הכדור פוגע בריצפה וחוזר למעלה מספר פעמים בזמן זה מתבצעות המרות אנרגיית מתנועה לגובה לתנועה לגובה ולחום עד שלבסוף כל האנרגייה מומרת לאנרגיית חום והכדור לא קופץ יותר". במקרה זה, הקישור בין הפרטים אינו מושלם, למשל: קיימת עמימות באשר לגורל אנרגיית החום בעת תנועת הכדור, האם היא גם מומרת לאנרגיית גובה או שאינה מנוצלת?

ד. דוגמה לדרך חשיבה של מרואיינת מקבוצת ההתערבות, המשקפת מיומנות חשיבה מסדר גבוה כיצד

התמודדה עם קשיי המרות אנרגיה.

מראיינת: "באילו קשיים נתקלת בעת לימוד נושא המרות אנרגיה?"

דניאל (1): "הקושי היחידי שאני חושבת שנתקלתי בו זה, סתם לדוגמה, בתופעה של שרשרת המרות אנרגיה, היה לי קושי כי אני חשבת בכלליות. סתם דוגמה, מאנרגיית גובה לאנרגיית תנועה. אבל היה לי קשה מאוד להכניס באמצע, סתם דוגמה, אם יש אנרגיה כימית או של השרירים או של דלק למשל. אני עבדתי נורא בכלליות וכשהיה צריך ממש לפרט כל שלב ושלב זה היה קצת יותר בעייתי".

מראיינת: "מה עזר לך להתמודד עם הקשיים שהתעוררו בעת לימוד נושא המרות אנרגיה?"
דניאל (1): "אני חושבת שקודם כול לקרוא את השאלה ולהבין אותה לעומקי עומקים. הדבר הראשון שאני רואה, האנרגיה הראשונה שאני רואה, וכדי שאני אעבור לשלב הבא אני כאילו חושבת מה יכול לצאת מהאנרגיה הראשונה. מה אני יכולה לקבל, סתם לדוגמה, מאנרגיית גובה? מה יכול להיות השלב הבא? השלב האמצעי שיוביל אותי לשלב הנוסף".

4.2.3 השוואת מדד זיהוי הגופים והפעולות בתופעה הפיזיקלית בשאלון הידע לפי זמן המדידה ולפי

קבוצת המחקר

בהשערת המחקר השנייה נטען כי הכוונה פדגוגית מטה-קוגניטיבית במהלך ההוראה מסייעת לתלמידים לפתח את הבנה קונספטואליות בנושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה. במחקר זה אחד משלושת הקודקודים במודל ארבעת הקודקודים, עליו מתבססת ההכוונה הפדגוגית בהוראת נושא המרות אנרגיה, הנו: זיהוי גופים ופעולות בתופעה הפיזיקלית. לצורך בדיקת השערת המחקר השנייה לגבי מדד זה, מתוך מקבץ ארבע השאלות, נדלו שלושה פריטים העוסקים בזיהוי גופים ופעולות בתופעה. הפריטים 5, א, 5ב ו-8א (עמוד 34), הבודדים את המדד המדובר, נותחו לפי Corrected Item-Total Correlation ("מתאם סך הכול-פריט מתוקן", המציג חישוב המתאם של כל פריט עם המבחן כולו) ונמצאו בעלי מתאם בטווח הנע בין 0.32 לבין 0.35 (מתאם מעל 0.30 מעיד על התאמה טובה עם הסולם הכללי).

השוואת מדד זיהוי הגופים והפעולות בתופעה הפיזיקלית בטרם ההתערבות לפי קבוצת המחקר

תחילה, נערכה השוואה של מדד זיהוי גופים ופעולות בתופעה הפיזיקלית בטרם ההתערבות לפי קבוצת המחקר, זאת במטרה לבדוק אם יש צורך לפקח על מדד זה בטרם ההתערבות במסגרת בדיקת השערת המחקר. על מנת להשוות את מדד זיהוי גופים ופעולות בתופעה הפיזיקלית בטרם ההתערבות, חושבו מבחני t למדגמים בלתי-תלויים. המשתנה התלוי היה ציון כולל של שלושת הפריטים העוסקים בזיהוי גופים ופעולות, ממקבץ ארבע השאלות במבחן הידע. המשתנה הבלתי-תלוי היה קבוצת המחקר (קבוצת התערבות, קבוצת השוואה). בלוח 19 מוצגים הממוצעים, סטיות התקן וערכי מבחן t למדגמים בלתי-תלויים למדד זיהוי גופים ופעולות בתופעה הפיזיקלית בטרם ההתערבות לפי קבוצת מחקר.

ממוצעים, סטיות תקן וערכי מבחן t של מדד זיהוי גופים ופעולות בתופעה בטרום ההתערבות לפי קבוצת

מחקר ($N = 123$)

השוואה סטטיסטית		קבוצת השוואה ($n = 60$)		קבוצת התערבות ($n = 63$)		מדד
sig	$t_{(121)}$	SD	M	SD	M	
= .941	0.75	24.58	47.82	23.42	47.50	זיהוי גופים ופעולות בתופעה הפיזיקאלית

הערה: טווח ציוני המדדים בין 0-100 וככל שהציון גבוה יותר רמת המדד הנבדק גבוהה יותר

מהתבוננות בערך מבחן t , המוצג בלוח 19, עולה כי במדד זיהוי גופים ופעולות בתופעה הפיזיקאלית על פי שלושת הפריטים הנבחרים למדד זה, לא נמצא הבדל מובהק לפי קבוצות המחקר. מכאן, שלא מסתמן צורך לערוך פיקוח סטטיסטי על מדד זה בטרום ההתערבות במסגרת בדיקת ההשערות.

השוואת מדד זיהוי גופים ופעולות בתופעה הפיזיקאלית לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר – מדידות

חוזרות

נערך ניתוח שונות מדידות חוזרות Two Way ANOVA Mixed-Design Repeated Measures 2 (זמן: טרום התערבות, לאחר התערבות) $2 \times$ (קבוצה: השוואה, התערבות). המשתנה התלוי היה מדד זיהוי גופים ופעולות בתופעה הפיזיקאלית והמשתנים הבלתי-תלויים היו פקטור תוך-נבדקי שהינו זמן המדידה ופקטור בין-נבדקי היה קבוצת המחקר.

בניתוח השונות נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן המדידה $\eta_p^2 = .40$, $F_{(1,121)} = 78.75$, $p < .001$, לא נמצא אפקט עיקרי מובהק לקבוצה $\eta_p^2 = .02$, $F_{(1,121)} = 2.16$, $p = .144$, וכן נמצא אפקט אינטראקציה מובהק זמן \times קבוצה $\eta_p^2 = .05$, $F_{(1,121)} = 5.90$, $p = .017$.

בלוח 20 מוצגים הממוצעים, סטיות התקן, ערכי ניתוחי השונות החד-משתניים (Univariate Tests) וגודל האפקט של מדד מיומנויות זיהוי גופים ופעולות בתופעה הפיזיקאלית לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר.

ממוצעים, סטיות תקן, ערכי F וערכי η_p^2 של מדד זיהוי גופים ופעולות בתופעה הפיזיקאלית לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר

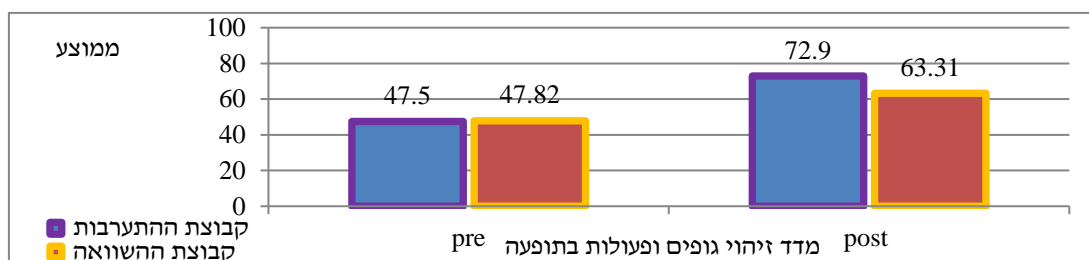
מדד	ממוצעים	קבוצת ההתערבות (n = 63)				קבוצת ההשוואה (n = 60)				זמן	קבוצה	זמן × קבוצה
		ציין שינוי	post	pre	ציין שינוי	post	pre	ציין שינוי	post			
	<i>M</i>	25.40	72.90	47.50	14.49	62.31	47.82	25.40	72.90	47.50	.40	78.75***
	<i>SD</i>	19.68	23.43	24.58	24.15	24.58	19.68	23.43	24.58	24.15	19.68	23.43

הערה: טווח ציוני המדדים בין 0-100 וככל שהציון גבוה יותר רמת המדד הנבדק גבוהה יותר
 $*p < .05$. $**p < .01$. $***p < .001$

בתרשים 6 מומחש באופן גרפי אפקט האינטראקציה של מדד זיהוי גופים ופעולות בתופעה פיזיקאלית.

תרשים 6

ממוצעי מדד זיהוי גופים ופעולות בתופעה הפיזיקאלית לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר



מעיון בממוצעים המוצגים בתרשים 6 ומניתוחי simple effects עולה כי בהתאם להשערה לשאלת המחקר השנייה, בשתי הקבוצות חלה עלייה מובהקת במדד זיהוי הגופים והפעולות בתופעה הפיזיקאלית משלב טרום ההתערבות לשלב בתר ההתערבות. באשר למדד זיהוי גופים ופעולות בקבוצת ההתערבות נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן המדידה $F_{(1,62)} = 71.53, p < .001, \eta_p^2 = .54$, בקבוצת ההשוואה נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן המדידה $F_{(1,59)} = 18.62, p < .001, \eta_p^2 = .24$. יחד עם זאת, על פי גודל האפקט, בקבוצת ההתערבות העלייה במדד זיהוי גופים ופעולות הייתה גדולה יותר ($\eta_p^2 = .54$) לעומת קבוצת ההשוואה ($\eta_p^2 = .24$). לאחר פעולת ההתערבות מדד זיהוי גופים ופעולות היה גבוה יותר באופן מובהק בקבוצת ההתערבות לעומת קבוצת ההשוואה $F_{(1,121)} = 7.13, p = .009, \eta_p^2 = .06$. לסיכום, דפוס הממצאים מצביע על כך שבתשובה לשאלת המחקר השנייה, בשתי קבוצות המחקר נמצאה עלייה מובהקת במדד זיהוי גופים ופעולות בתופעה הפיזיקאלית, משלב טרום ההתערבות לאחר ההתערבות, אך בקרב קבוצת ההתערבות העלייה הייתה גבוהה יותר באופן מובהק.

4.2.4 השוואת מדד הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקאלית בשפת האנרגיות בשאלון הידע לפי זמן

המדידה ולפי קבוצת המחקר

בהשערת המחקר השנייה נטען כי הכוונה פדגוגית מטה-קוגניטיבית במהלך ההוראה מסייעת לתלמידים לפתח את הבנה קונספטואלית בנושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה. במחקר זה קודקוד שני במודל ארבעת הקודקודים, עליו מתבססת הכוונה הפדגוגית בהוראת נושא המרות אנרגיה, הנו: הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקאלית בשפת האנרגיות. לצורך בדיקת השערת המחקר השנייה לגבי מדד זה, מתוך מקבץ ארבע השאלות, נדלו שלושה פריטים העוסקים בהסבר נרטיבי של התופעה בשפת האנרגיות. הפריטים 3, 8 ו-9 (עמוד 34), הבוחנים את המדד המדובר, נותחו לפי Corrected Item-Total Correlation ("מתאם סך הכול-פריט מתוקן", המציג חישוב המתאם של כל פריט עם המבחן כולו) ונמצאו בעלי מתאם בטווח הנע בין 0.39 לבין 0.42.

השוואת מדד הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקאלית בשפת האנרגיות בטרומם ההתערבות לפי קבוצת המחקר

תחילה, נערכה השוואה של מדד הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקאלית בשפת האנרגיה בטרומם ההתערבות לפי קבוצות המחקר, זאת במטרה לבדוק אם יש צורך לפקח על מדד זה בטרומם ההתערבות במסגרת בדיקת השערת המחקר. על מנת להשוות את מדד הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקאלית בשפת האנרגיה בטרומם ההתערבות, חושבו מבחני t למדגמים בלתי-תלויים. המשתנה התלוי היה ציון כולל של שלושת הפריטים העוסקים בהסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקאלית בשפת האנרגיה, ממקבץ ארבע השאלות במבחן הידע. המשתנה הבלתי-תלוי היה קבוצת המחקר (קבוצת התערבות, קבוצת השוואה). בלוח 21 מוצגים, הממוצעים, סטיות התקן וערכי מבחן t למדגמים בלתי-תלויים למדד הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקאלית בשפת האנרגיה בטרומם ההתערבות לפי קבוצת מחקר.

לוח 21

ממוצעים, סטיות תקן וערכי מבחן t של מדד הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקאלית בשפת האנרגיות

בטרומם ההתערבות לפי קבוצת מחקר ($N = 123$)

השוואה סטטיסטית	קבוצת השוואה ($n = 60$)		קבוצת התערבות ($n = 63$)		מדד
	$t_{(121)}$	SD	M	SD	
sig					
	0.14	10.61	12.14	9.19	12.40
	=.888				

הערה: טווח ציוני המדדים בין 0-100 וככל שהציון גבוה יותר רמת המדד הנבדק גבוהה יותר

מהתבוננות בערך מבחן t , המוצג בלוח 21, עולה כי במדד הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקאלית בשפת האנגרית על פי שלושת הפריטים הנבחרים למדד זה, לא נמצא הבדל מובהק לפי קבוצות המחקר. מכאן, שלא מסתמן צורך לערוך פיקוח סטטיסטי על מדד זה בטרום ההתערבות במסגרת בדיקת ההשערות.

השוואת מדד הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקאלית בשפת האנגרית לפי זמן המדידה ולפי קבוצת

המחקר – מדידות חוזרות

בהמשך, נערך ניתוח שונות מדידות חוזרות Mixed-Design Repeated Measures Two Way ANOVA (2 זמן: טרום התערבות, לאחר התערבות) \times 2 (קבוצה: השוואה, התערבות). המשתנה התלוי היה מדד הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקאלית בשפת האנגרית והמשתנים הבלתי-תלויים היו פקטור תוך-נבדקי שהינו זמן המדידה ופקטור בין-נבדקי היה קבוצת המחקר.

בניתוח השונות נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן המדידה $F_{(1,121)} = 54.35, p < .001, \eta_p^2 = .31$, לא נמצא אפקט עיקרי מובהק לקבוצה $F_{(1,121)} = 3.50, p = .064, \eta_p^2 = .03$, וכן נמצא אפקט אינטראקציה מובהק זמן \times קבוצה $F_{(1,121)} = 11.02, p < .001, \eta_p^2 = .08$.

בלוח 22 מוצגים הממוצעים, סטיות התקן, ערכי ניתוחי השונות החד-משתניים (Univariate Tests) וגודל האפקט של מדד מיומנויות הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקאלית בשפת האנגרית לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר.

לוח 22

ממוצעים, סטיות תקן, ערכי F וערכי η_p^2 של מדד הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקאלית בשפת האנגרית לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר

מדד	ממוצעים	קבוצת ההתערבות (n = 63)			קבוצת ההשוואה (n = 60)			זמן \times קבוצה	
		pre	post	ציין שינוי	pre	post	ציין שינוי	$F_{(1,121)}$	η_p^2
הסבר נרטיבי של התופעה בשפת האנגרית	M	12.40	22.45	10.5	12.14	15.95	3.81	11.02**	.08
	SD	9.19	12.84		9.87	12.18			

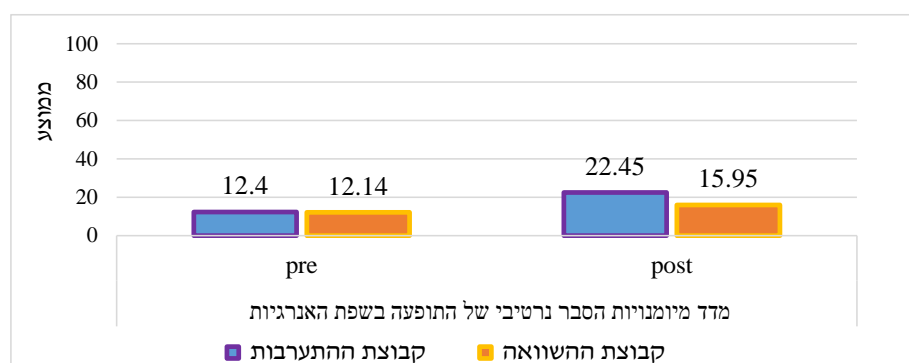
הערה: טווח ציוני המדדים בין 0-100 וככל שהציון גבוה יותר רמת המדד הנבדק גבוהה יותר
 $***p < .001$. $**p < .01$. $*p < .05$

בתרשים 7 מומחש אפקט האינטראקציה של מיומנויות הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקאלית בשפת האנגרית באופן גרפי.

תרשים 7

ממוצעי מדד מיומנויות הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקלית בשפת האנרגיות לפי זמן המדידה ולפי

קבוצת המחקר



מעיון בממוצעים המוצגים בתרשים 7 ומניתוחי simple effects עולה כי בהתאם להשערה לשאלת המחקר השנייה, בשתי הקבוצות חלה עלייה מובהקת במדד מיומנויות הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקלית בשפת האנרגיות משלב טרום ההתערבות לשלב בתר ההתערבות. באשר למדד מיומנויות הסבר נרטיבי בשפת האנרגיות בקבוצת ההתערבות נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן המדידה $F_{(1,62)} = 50.28, p < .001, \eta_p^2 = .45$ בקבוצת ההשוואה נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן המדידה $F_{(1,59)} = 9.70, p = .003, \eta_p^2 = .14$.

יחד עם זאת, על פי גודל האפקט, בקבוצת ההתערבות העלייה במדד מיומנויות הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקלית בשפת האנרגיות הייתה גדולה יותר ($\eta_p^2 = .45$) לעומת קבוצת ההשוואה ($\eta_p^2 = .14$). לאחר פעולת ההתערבות מדד מיומנויות הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקלית בשפת האנרגיות היה גבוה יותר באופן מובהק בקבוצת ההתערבות לעומת קבוצת ההשוואה $F_{(1,121)} = 8.27, p = .005, \eta_p^2 = .06$.

לסיכום, דפוס הממצאים מצביע על כך שבתשובה לשאלת המחקר השנייה, בשתי קבוצות המחקר נמצאה עלייה מובהקת במדד מיומנויות הסבר נרטיבי של התופעה הפיזיקלית בשפת האנרגיות, משלב טרום ההתערבות לאחר ההתערבות, אך בקרב קבוצת ההתערבות העלייה הייתה גבוהה יותר באופן מובהק.

4.2.5 השוואת התפלגות הישגי התלמידים בשאלון הידע לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר – לפי

רמת הישגים בשאלון הידע

בהשערת המחקר השנייה נטען כי הכוונה מטה-קוגניטיבית תשפר את ההבנה הקונספטואלית בקרב התלמידים. הפעם, ההשוואה בין קבוצות המחקר נערכה לפי רמת הישגי התלמידים, בהתבסס על ציון החציון במבחן המקדים, לבדוק איזו רמת הישגים של תלמידים נתרמה יותר בסיוע ההכוונה המטה-קוגניטיבית.

אופן חלוקת המשתתפים לפי ציון חציון של רמת הישגים בשאלון הידע

מגבלת מספר המשתתפים בכל רמת הישגים היוותה שיקול דעת לבחירת מדד התפלגות הישגים. ניתוח הנתונים לפי התפלגויות, כגון: שלישונים, רבעונים, עשירונים, הניבו קבוצות עם מיעוט משתתפים (פחות מ-30). החלוקה, אם כן, נקבעה לפי ציון חציון ($median=35.14$) של מקבץ ארבע השאלות מתוך מבחן הידע המקדים, ל-2 רמות הישגים: 1. נמוכים או שווים לערך החציון, 2. גבוהים מעל ערך החציון. כל רמת הישגים כללה כ-30 תלמידים מכל קבוצת מחקר (התערבות והשוואה). בלוח 23 מוצגת התפלגות התלמידים לפי מדד החציון ולפי קבוצת המחקר.

לוח 23

התפלגות התלמידים לפי ערך החציון ולפי קבוצת המחקר

מספר משתתפים בחציון	קבוצת ההשוואה ($n = 60$)			קבוצת ההתערבות ($n = 63$)			חציון	
	אחוז מכלל הקבוצה	אחוז חלקי בחציון	מספר משתתפים	אחוז מכלל הקבוצה	אחוז חלקי בחציון	מספר משתתפים	טווח הציונים	רמת הישגים
63	55.00	52.40	33	47.60	47.60	30	35.14-0	נמוכה או שווה לערך החציון
60	45.00	45.00	27	52.40	55.00	33	75.68-35.15	גבוהה מעל הערך החציון

הערה. החלוקה לפי רמת הישגים נערכה לפי ציון החציון ($median = 35.14$) של מקבץ ארבע השאלות מתוך מבחן הידע.

כדי לבדוק האם קיימת תלות בין רמת הישגים על פי ציון החציון לבין קבוצת המחקר נערך מבחן χ^2 לאי תלות. הכוונה, האם ההתפלגות של מספר התלמידים בכל אחת משתי רמות הישגים דומה בשתי קבוצות המחקר. במבחן נמצא כי לא קיימת תלות מובהקת $p = .41$, $\chi^2_{(1)} = .67$, כלומר, התפלגות המשתתפים לפי רמת הישגים דומה בכל אחת משתי הקבוצות.

השוואת הישגים במבחן הידע לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר ולפי ציון החציון – מדידות חוזרות

נערך ניתוח שונות מדידות חוזרות Three Way ANOVA Mixed-Design Repeated Measures 2 (זמן: טרום התערבות, לאחר התערבות) $2 \times$ (רמת הישגים: נמוכה או שווה לחציון, גבוהה מהחציון) $2 \times$ (קבוצה: השוואה, התערבות). המשתנה התלוי היה מדד רמת הישגים במבחן הידע והמשתנים הבלתי-תלויים היו פקטור תוך-נבדקי שהינו זמן המדידה, פקטור בין-נבדקי היה רמת הישגים לפי ערך החציון ופקטור בין-נבדקי היה קבוצת המחקר. בניתוח השונות נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן המדידה

$$F_{(1,119)} = 200.61, p < .001, \eta_p^2 = .63$$

$$F_{(1,119)} = 7.92, p = .006, \eta_p^2 = .06$$

$$F_{(1,119)} = 148.13, p < .001, \eta_p^2 = .56$$

$$F_{(1,119)} = 13.94, p < .001, \eta_p^2 = .13$$

נמצא אפקט אינטראקציה מובהק זמן×קבוצה $F_{(1,119)} = 13.94, p < .001, \eta_p^2 = .13$ וכן לא נמצא

אפקט אינטראקציה מובהק זמן×קבוצה×חציון $F_{(1,119)} = .02, p = .881, \eta_p^2 < .001$, הווי אומר שהשיפור בשתי רמות ההישגים היה דומה בכל אחת מקבוצות המחקר (תלמידים ברמת הישגים נמוכה או שווה לחציון שיפרו באותה מידה כמו התלמידים ברמת הישגים גבוהה מהחציון). בלוח 24 מוצגים הממוצעים, סטיות התקן, ערכי ניתוחי השונות ANOVA מדידות חוזרות וגודל האפקט של מדד ההישגים במבחן הידע לפי זמן המדידה, לפי רמת ההישגים ולפי קבוצת המחקר.

לוח 24

ממוצעים, סטיות תקן, ערכי F וערכי η_p^2 של מדד ההישגים במבחן הידע, לפי זמן המדידה, לפי רמת ההישגים ולפי קבוצת המחקר

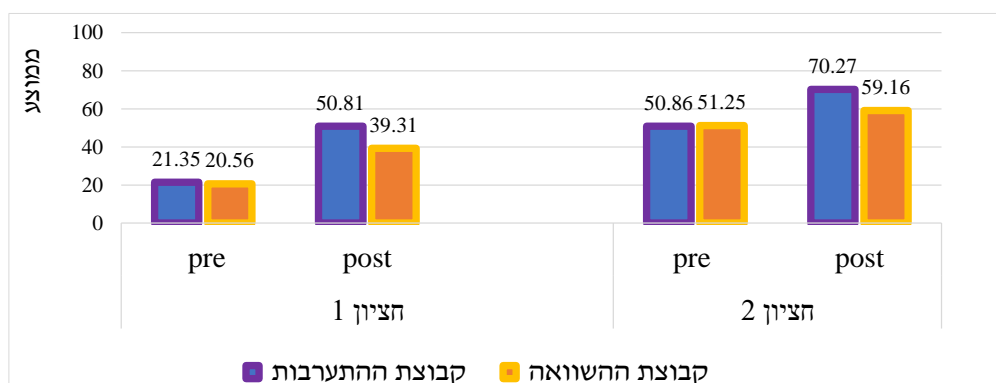
רמת ההישגים	קבוצת ההתערבות (n = 63)				קבוצת ההשוואה (n = 60)				ממוצעים סטיות תקן
	pre	post	ציין שינוי	n	pre	post	ציין שינוי	n	
נמוכה או שווה לחציון	21.35	50.81	29.46	30	20.56	39.31	18.75	33	M (SD)
גבוהה מהחציון	50.86	70.27	19.41	33	51.25	59.16	7.91	27	
אפקט	$F_{(1,119)}$				η_p^2				
זמן	200.61***				.63				
קבוצה	7.92**				.06				
זמן×קבוצה	17.34***				.13				
חציון	148.13***				.56				
זמן×קבוצה×חציון	.02				.00				

הערה: טווח ציוני המדדים בין 0-100 וככל שהציון גבוה יותר רמת המדד הנבדק גבוהה יותר
 $***p < .001$. $**p < .01$. $*p < .05$

בתרשים 8 מומחש באופן גרפי אפקט האינטראקציה של מדד התפלגות ההישגים לפי ערך החציון.

תרשים 8

אפקט אינטראקציה של מדד התפלגות ההישגים לפי ערך החציון, לפי קבוצת המחקר ולפי זמן המדידה



למרות שלא נמצא אפקט אינטראקציה מובהק זמן×קבוצה×חציון, נערכה סדרת ניתוחי simple effects לשם השוואה של רמת ההישגים לפי זמן המדידה ולפי קבוצות המחקר, בקרב תלמידים בעלי ציון נמוך או שווה לערך החציון ובקרב תלמידים בעלי ציון גבוה מערך החציון.

מעיון בממוצעים המוצגים בתרשים 8 ומניתוחי simple effects עולה כי בתשובה לשאלת המחקר השנייה, הן בקרב הנמוכים ברמת ההישגים והן בקרב הגבוהים ברמת ההישגים, בשתי קבוצות המחקר חלה עלייה מובהקת במדד רמת ההישגים משלב טרום ההתערבות לשלב בתר ההתערבות.

באשר לרמת הישגים נמוכה או שווה לערך החציון בקבוצת ההתערבות נמצא אפקט פשוט מובהק לזמן המדידה $F_{(1,29)} = 70.28, p < .001, \eta_p^2 = .71$, ובקבוצת ההשוואה נמצא אפקט פשוט מובהק לזמן

המדידה $F_{(1,32)} = 52.22, p < .001, \eta_p^2 = .62$. לגבי רמת הישגים גבוהה מערך החציון בקבוצת

ההתערבות נמצא אפקט פשוט מובהק לזמן המדידה $F_{(1,32)} = 83.94, p < .001, \eta_p^2 = .72$, ובקבוצת

ההשוואה נמצא אפקט פשוט מובהק לזמן המדידה $F_{(1,26)} = 13.54, p = .001, \eta_p^2 = .34$. יחד עם זאת,

על פי גודל האפקט, בקרב תלמידים בעלי ציון נמוך או שווה לערך החציון, בקבוצת ההתערבות העלייה

הייתה גדולה יותר ($\eta_p^2 = .71$) לעומת קבוצת ההשוואה ($\eta_p^2 = .62$). בקרב תלמידים בעלי ציון גבוה מערך

החציון, בקבוצת ההתערבות הייתה עלייה גדולה יותר ($\eta_p^2 = .72$) לעומת קבוצת ההשוואה ($\eta_p^2 = .34$).

לסיכום, דפוס הממצאים מצביע על כך שבתשובה לשאלת המחקר השנייה, הן בקרב תלמידים בעלי ציון

נמוך או שווה לערך החציון והן בקרב תלמידים בעלי ציון גבוה מערך החציון, בשתי קבוצות המחקר

נמצאה עלייה מובהקת במדד ההישגים משלב טרום ההתערבות לאחר ההתערבות, אך בקרב קבוצת

ההתערבות העלייה הייתה גבוהה יותר באופן מובהק בשתי רמות ההישגים של התלמידים.

4.2.6 השוואת מדד ידע כללי של עבודת הסיכום לפי קבוצת המחקר

הכוונה מטה-קוגניטיבית תשפר את ההבנה הקונספטואלית בקרב התלמידים, במידה רבה יותר בהשוואה

לאלו שלא יקבלו תמיכה מטה-קוגניטיבית. הפעם, מדד זה נקבע לפי הציון הכללי של עבודת הסיכום,

שהתלמידים חקרו אודות תופעה פיזיקאלית. השוואה זו נערכה בנוסף למקבילה לה במבחן הידע, על מנת

לבדוק מדד זה במשימה הדורשת יותר עצמאות.

משתי קבוצות המחקר הוגשו בסך הכול שלושים ושבע עבודות סיכום קבוצתיות, להן נערכה השוואה

במדד הציון הכללי, לפי קבוצות המחקר. על מנת להשוות את מדד הציון הכללי, חושבו מבחני t למדגמים

בלתי-תלויים. המשתנה התלוי היה ציון מסכם של כל סעיפי העבודה. המשתנה הבלתי-תלוי היה קבוצת

המחקר (קבוצת ההתערבות, קבוצת השוואה). בלוח 25 מוצגים, הממוצעים, סטיות התקן וערכי מבחן t

למדגמים בלתי-תלויים למדד הציון הכללי של עבודת הסיכום לפי קבוצת מחקר.

ממוצעים, סטיות תקן וערכי מבחן t של מדד הציון הכללי של עבודת הסיכום לפי קבוצת מחקר ($N=37$)

השוואה סטטיסטית		קבוצת השוואה ($n = 17$)		קבוצת התערבות ($n = 20$)		מדד הידע
<i>sig</i>	$t_{(35)}$	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	
< .001	3.99	13.02	45.66	12.27	62.26	מדד ציון כללי של עבודת הסיכום

הערה: טווח ציוני המדדים בין 0-100 וככל שהציון גבוה יותר רמת המדד הנבדק גבוהה יותר

מהתבוננות בערך מבחן t , המוצג בלוח 25, עולה כי במדד הציון הכללי של עבודת הסיכום נמצא הבדל מובהק לפי קבוצות המחקר. על פי הממצאים, בקרב קבוצת ההתערבות מדד הציון הכללי של עבודת הסיכום היה גבוה יותר באופן מובהק מקבוצת השוואה.

4.2.7 השוואת מדד מיומנויות חשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה בעבודת הסיכום לפי קבוצת המחקר

הכוונה מטה-קוגניטיבית תשפר את המיומנויות הקוגניטיביות (מיומנויות חשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה) בקרב התלמידים, במידה רבה יותר בהשוואה לאלו שלא יקבלו תמיכה מטה-קוגניטיבית. השוואה זו נערכה בנוסף למקבילה לה במבחן הידע, על מנת לבדוק מדד זה במשימה הדורשת יותר יוזמה ותכנון. מדד זה נקבע על פי כל סעיפי העבודה, כשבכל סעיף חלה הבחנה מדוקדקת בתשובות התלמידים, לפי מיומנויות מסדר נמוך ולפי מיומנויות מסדר גבוה (סעיף 3.3.3 לוח 10 עמוד 38).

תחילה, נערך מתאם בין מדדי מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה ונמצא מתאם חיובי גבוה מובהק בין שני מדדים אלו ($r = .50, p = .002$). כלומר, ככל שהממוצע של מיומנויות החשיבה מסדר נמוך גבוה יותר כך הממוצע של מיומנויות החשיבה מסדר גבוה, גבוה יותר.

לבדיקת הבדלים על פי מדד מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומיומנויות החשיבה מסדר גבוה נערך ניתוח שונות One Way MANOVA. המשתנים התלויים היו מדדי מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה והמשתנה הבלתי-תלוי היה קבוצת המחקר. בניתוח ה-MANOVA נמצא אפקט עיקרי מובהק לקבוצה

$$.F_{(2,34)} = 8.30, p = .001, \eta_p^2 = .33$$

באשר למדדי כל אחד מהמשתנים התלויים, שנועדו לבדוק את מקור המובהקות, נמצא כי מדד מיומנויות החשיבה מסדר נמוך היה גבוה יותר באופן מובהק בקבוצת ההתערבות לעומת מדד זה בקבוצת ההשוואה $.F_{(1,35)} = 12.97, p < .001, \eta_p^2 = .27$, וגם מדד מיומנויות החשיבה מסדר גבוה היה גבוה יותר

$$.F_{(1,35)} = 9.88, p = .003, \eta_p^2 = .22$$

בלוח 26 מוצגים הממוצעים, סטיות התקן, ערכי ניתוחי השונות החד-משתניים (Univariate Tests) וגודל

האפקט של מדד מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה לפי קבוצת המחקר.

לוח 26

ממוצעים, סטיות תקן, ערכי F וערכי η_p^2 של מדד מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה לפי קבוצת המחקר

שונות	קבוצת ההשוואה (n = 17)		קבוצת ההתערבות (n = 20)		מדד מיומנות	
	$F_{(1,35)}$	SD	M	SD		M
η_p^2						
.27	12.97***	7.10	22.83	4.26	29.64	מדד מיומנויות חשיבה מסדר נמוך
22.	9.89***	7.90	22.83	10.57	32.62	מדד מיומנויות חשיבה מסדר גבוה

הערה: טווח ציוני המדדים בין 0-100 וככל שהציון גבוה יותר רמת המדד הנבדק גבוהה יותר
 $***p < .001$. $**p < .01$. $*p < .05$

לסיכום, במדדי מיומנויות החשיבה בעבודת הסיכום, נמצאו הבדלים מובהקים לפי קבוצת המחקר. הן מדד מיומנויות החשיבה מסדר גבוה והן מדד מיומנויות החשיבה מסדר נמוך היו גבוהים יותר באופן מובהק בקבוצת ההתערבות לעומת קבוצת ההשוואה.

מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה בעבודת הסיכום

עבודת הסיכום היוותה הזדמנות לגייס מיומנויות חשיבה רבות מסדר נמוך ומסדר גבוה: זיהוי רכיבים וקשרים, יישום, השוואה, הסקה ומיזוג. עם זאת, בעבודות התגלו קשיים בשלבים שונים בניתוח התופעה לבחירת התלמידים והיעדר שימוש במיומנויות חשיבה מסדר גבוה. ניכר כי התלמידים התאמצו להוכיח שהושקעה עבודה מצידם, אך לרוב, תיאוריהם היו שטחיים וההסברים סבלו מאי דיוקים ומחוסר עקביות, לדוגמה (ללא הגהה): "מטוס עם מיכל דלק מלא המריא למרומים, תחילה המטוס נסע וצבר תנופה לטוס, ראינו שבו האנרגיה הכימית ואנרגית החום גדלו, וכאשר המטוס התרומם וטס השמימה צבר גובה אך גם אנרגית החום גדלה והאנרגיה הכימית נשארה כרגיל, וכשהמטוס הגיע לבסוף לגובהו המקסימאלי בטיסה אנרגית הגובה גדלה ואנרגית החום והאנרגיה הכימית נשארו כפי שהם". ניתוח התופעה, מעיד על חשיבה לא מסודרת ואין שימוש במיומנויות חשיבה מסדר גבוה (אנליזה סינתזה וגם הערכה – Krathwohl, 2002).

4.2.8 השוואת מדד זיהוי גופים ופעולות בתופעה שנחקרה בעבודה הסיכום לפי קבוצת המחקר

הכוונה מטה-קוגניטיבית בהוראת נושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה תשפר את מידת זיהוי גופים ופעולות בתופעה בעבודת הסיכום שנחקרה בקרב התלמידים במידה רבה יותר בהשוואה לאלו שלמדו ללא תמיכה מטה-קוגניטיבית. מדד זה נקבע לפי הסעיפים 1.1, 1.2.1, 1.2.2, העוסקים בקריטריון זיהוי גופים

ופעולות בתופעה שנחקרה בעבודת הסיכום (סעיף 3.3.3 לוח 10 עמוד 38).

נערכה השוואה של מדד זיהוי גופים ופעולות בתופעה שנחקרה, לפי קבוצות המחקר. על מנת להשוות את מדד הקריטריון זיהוי גופים ופעולות, חושבו מבחני t למדגמים בלתי-תלויים. המשתנה התלוי היה ציון מסכם של כל סעיפי העבודה העוסקים בקריטריון זיהוי הגופים והפעולות בתופעה. המשתנה הבלתי-תלוי היה קבוצת המחקר (קבוצת התערבות, קבוצת השוואה). בלוח 27 מוצגים, הממוצעים, סטיות התקן וערכי מבחן t למדגמים בלתי-תלויים למדד זיהוי גופים ופעולות בתופעה שנחקרה בעבודת הסיכום לפי קבוצת מחקר.

לוח 27

ממוצעים, סטיות תקן וערכי מבחן t של מדד זיהוי גופים ופעולות בתופעה שנחקרה בעבודת הסיכום לפי קבוצת מחקר ($N=37$)

מדד הידע	קבוצת התערבות ($n = 20$)		קבוצת השוואה ($n = 17$)		השוואה סטטיסטית
	SD	M	SD	M	
מדד זיהוי גופים ופעולות בתופעה שנחקרה	9.16	78.75	17.68	62.50	$t_{(35)} = .59$, $sig = .001$

הערה: טווח ציוני המדדים בין 0-100 וככל שהציון גבוה יותר רמת המדד הנבדק גבוהה יותר

מהתבוננות בערך מבחן t , המוצג בלוח 27, עולה כי במדד זיהוי גופים ופעולות בתופעה שנחקרה בעבודת הסיכום נמצא הבדל מובהק לפי קבוצות המחקר. על פי הממצאים, בקרב קבוצת ההתערבות מדד זיהוי הגופים והפעולות בתופעה שנחקרה בעבודת הסיכום היה גבוה יותר באופן מובהק מקבוצת השוואה.

4.2.9 השוואת מדד הסבר נרטיבי של התופעה שנחקרה בעבודת הסיכום לפי קבוצת המחקר

הכוונה מטה-קוגניטיבית בהוראת נושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה תשפר את מידת ההסבר הנרטיבי של התופעה הפיזיקאלית במידה רבה יותר בהשוואה ללא תמיכה מטה-קוגניטיבית. מדד זה נקבע על פי סעיפים 2.1, 2.2, העוסקים בתבחין הסבר נרטיבי של התופעה שנחקרה על ידי התלמידים בעבודת הסיכום (סעיף 3.3.3 לוח 10 עמוד 38).

נערכה השוואה של מדד הסבר נרטיבי של התופעה שנחקרה, לפי קבוצות המחקר. על מנת להשוות את מדד התבחין הסבר נרטיבי, חושבו מבחני t למדגמים בלתי-תלויים. המשתנה התלוי היה ציון מסכם של כל סעיפי העבודה העוסקים בתבחין הסבר נרטיבי של התופעה. המשתנה הבלתי-תלוי היה קבוצת המחקר (קבוצת התערבות, קבוצת השוואה).

בלוח 28 מוצגים, הממוצעים, סטיות התקן וערכי מבחן t למדגמים בלתי-תלויים למדד הסבר נרטיבי של התופעה שנחקרה בעבודת הסיכום לפי קבוצת מחקר.

לוח 28

ממוצעים, סטיות תקן וערכי מבחן t של מדד הסבר נרטיבי של התופעה שנחקרה בעבודת הסיכום לפי קבוצת מחקר ($N = 37$)

מדד הידע	קבוצת התערבות ($n = 20$)		קבוצת השוואה ($n = 17$)		השוואה סטטיסטית
	SD	M	SD	M	
מדד תבחין הסבר נרטיבי של התופעה שנחקרה	25.13	80.00	19.88	64.71	$t_{(35)} = 2.03$, $sig = .050$

הערה: טווח ציוני המדדים בין 0-100 וככל שהציון גבוה יותר רמת המדד הנבדק גבוהה יותר

מהתבוננות בערך מבחן t , המוצג בלוח 28, עולה כי במדד הסבר נרטיבי של התופעה שנחקרה בעבודת הסיכום לא נמצא הבדל מובהק לפי קבוצות המחקר. על פי הממצאים, ממוצע מדד תבחין הסבר נרטיבי של התופעה שנחקרה בעבודת הסיכום בקבוצת ההתערבות ($M = 80.00$, $SD = 25.13$) אינו גבוה באופן מובהק מזה של קבוצת השוואה ($M = 64.71$, $SD = 19.88$).

4.2.10 דוגמאות למדדי הידע מתוך שאלון הידע, עבודת הסיכום והראיונות

השאלונים והראיונות הציפו קשיים, תפיסות שגויות וחוסר ידע בנושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה. להלן לקט מייצג של דוגמאות, על פי הקריטריונים שנבדקו במחקר זה: זיהוי גופים ופעולות והסבר בשפת האנרגיה:

א. הסבר נרטיבי בשפת האנרגיה. נעשה שימוש לא נכון במושג כוח במקום אנרגיה, כגון: "יעל הפעיל את כוחות והתחיל לעלות במעלה ההר". דוגמה לשאלה: מדוע כדור מטוטלת הנע מצד לצד עוצר לאחר מספר מחזורי תנועה? "כי הכדור איבד את הכוח בזמן התנועה".

ב. הסבר תופעה בשפת האנרגיה. הטיעון המדעי נשען על חוק שימור האנרגיה, אך שילובו לעתים היה מאולץ ולא תואם להסבר, לדוגמה: "הפעולה מתרחשת כאשר אצבע מקישה על מקשי מקלדת. בזמן שמקשים על המקש הפעולה מתרחשת. האצבעות הן אלה שמתחילות את סדרת פעולות אלו. חוק שימור האנרגיה מתרחש כאשר האנרגיה מתחלפת באנרגיה אחרת. בתופעה שלנו ראינו שהאנרגיה ההתחלתית הייתה אנרגיית הגובה וברגע שהאצבע החלה לזוז ראינו שהתווספו עוד ועוד אנרגיות ואנרגיית הגובה". דוגמה נוספת: (האם השינוי באנרגיית התנועה של כדור בנפילתו שווה לשינוי באנרגיית הגובה בשיא גובהו?) "אנרגיית התנועה גדולה יותר מכיון שלפני שהכדור מגיע לרצפה המהירות שלו מואצת". שאלה

שעסקה בנפילת כדור, פגיעתו בקפיץ ועלייתו מעלה (ללא הגהה): "התהליך ימשך לתמיד מכיוון שכמות האנרגיה נשמרת וזה חוזר על עצמו כל פעם עם אותו כמות האנרגיה ושהקפיץ נותן לו תמיד דחיפה שיעלה למעלה".

ג. תרשימי המרות אנרגיה. תיאור שלבי המרות האנרגיה לווה בתפיסות שגויות, לפיהן השינויים באנרגיות היו בסדר האירועים בתופעה, לדוגמה:

תיאור קפיצה של כלבה שפוצל לשלושה שלבים (לפני הקפיצה, במהלך הקפיצה, סיום הקפיצה והגעת הכלבה לרצפה). לצורך העניין, מתואר בזאת השלב השלישי (ללא הגהה): "תיאור תופעה: הכלבה קפצה, הגיעה לגרב שהייתה מורמת באוויר ותפסה אותה, לאחר שהכלבה נחתה מהקפיצה, אינה נעצרה והמשיכה לנוע עם הגרב. תיאור התופעה בשפה פיזיקלית: לאחר שהכלבה תפסה את הגרב ונחתה אנרגיית הגובה של הכלבה הומרה לגמרי לאנרגיית התנועה של הכלבה ואנרגיית חום מהחיכוך עם הרצפה, ואנרגיית הגובה של הגרב הומרה לאנרגיית התנועה שלה כשהכלבה ירדה יחד איתה".

בעת הפעלת מכשיר חשמלי: "אנרגיה כימית בשרירים" <- אנרגיית תנועת היד <- אנרגיה חשמלית". תיאור התופעה חץ בוער נורה מקשת, פוגע בערמת עצים ומתלקחת מדורה: "אנרגיה כימית בשרירים + אנרגיית חום של החץ <- אנרגיית תנועה של החץ <- אנרגיית חום של המדורה".

ד. הראיונות סיפקו נקודת מבט נוספת בהכרת מושגים חשובים בנושא הנלמד. המרואיינים התבקשו להגדיר מספר מושגים, כדי לבדוק את עמדותיהם מבחינת תפיסת הפיזיקה. מנקודת ראות של מדד הידע, יש לציין כי המרואיינים לא סיפקו הגדרות מיטביות, או שהיו שגויות, כגון:

1. מהי אנרגיה?

"אנרגיה? חושבת שזה... העברת... אולי, חומר? צורת ההעברה יכול להיות. צורת ההעברה זה כאילו מן כללי כזה, כלליות... אני חושבת שזה יכול להיות מובן לכול אחד, השאלה אם נכנסים לזה בצורה יותר מעמיקה אז זה יכול לפרט ואפשר... צריך לפרט יותר כדי שאנשים יבינו מה זה הבסיס", "אנרגיה היא כוח כאילו שמניע את הגוף ויכולה כאילו לעבור מגוף לגוף", "כוח מסוים שעובר בין גוף לגוף".

2. תופעה פיזיקלית.

"מעבר, אולי, של אנרגיה?", "כל דבר בערך הוא תופעה פיזיקלית, לא? כאילו... אהממ... לא יודעת, משהו נראה לי קשור. לא יודעת", "מה זאת אומרת, תופעות? לא יודע", "כי, כי כאילו יש בה תנועה וזה ברור כזה, לא יודע", "לא יודעת..".

4.3 בדיקת האפקטיביות של הכוונה מטה-קוגניטיבית בקידום מיומנויות מידול ויכולת העברה בקרב

התלמידים

בהשערת המחקר השלישית נטען כי הכוונה פדגוגית מטה-קוגניטיבית במהלך ההוראה מסייעת במיומנויות המידול ויכולת ההעברה בקרב התלמידים בנושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה. לצורך

בדיקת השערת המחקר השלישית, נערכו השוואות לפי מדד מיומנויות מידול, שנבדק לפי תרשימי הזרימה ולפי תרשימי העוגה בשאלון הידע ובעבודת הסיכום. יכולת ההעברה נבדקה לפי נושא התופעה הפיזיקלית של עבודת הסיכום לבחירת התלמידים.

4.3.1 השוואת מדד מיומנות מידול בשאלון הידע

במחקר זה מיומנויות המידול באו לידי ביטוי באופן הצגת התופעות בתרשימי זרימה ובתרשים עוגה. לצורך בדיקת השערת המחקר השלישית, נדלו שלוש תתי-שאלות, ג5, ג9 ו-ג9, העוסקים במיומנויות מידול, מתוך מקבץ ארבע השאלות 3, 5, 8, ו-9 (סעיף 3.3.2 לוח 6 עמוד 38). פריטים אלו נבדקו במסגרת שאלות פתוחות.

השוואת מדד מיומנויות מידול בטרם ההתערבות לפי קבוצת המחקר

תחילה, נערכה השוואה של מדד מיומנויות מידול בטרם ההתערבות לפי קבוצת המחקר, זאת במטרה לבדוק אם יש צורך לפקח על רמת מיומנויות זו בטרם ההתערבות במסגרת בדיקת השערת המחקר. על מנת להשוות את מדד מיומנויות המידול בטרם ההתערבות, חושבו מבחני t למדגמים בלתי-תלויים. המשתנה התלוי היה ציון כולל של שני הפריטים העוסקים במידול, ממקבץ ארבע השאלות במבחן הידע. המשתנה הבלתי-תלוי היה קבוצת המחקר (קבוצת התערבות, קבוצת השוואה). בלוח 29 מוצגים, הממוצעים, סטיות התקן וערכי מבחן t למדגמים בלתי-תלויים למדד מיומנויות המידול של שני הפריטים בטרם ההתערבות לפי קבוצת מחקר.

לוח 29

ממוצעים, סטיות תקן וערכי מבחן t של מדד מיומנויות המידול בטרם ההתערבות לפי קבוצת מחקר

($N = 123$)

השוואה סטטיסטית		קבוצת השוואה ($n = 60$)		קבוצת התערבות ($n = 63$)		מדד המיומנויות
sig	$t_{(121)}$	SD	M	SD	M	
= .104	1.64	25.61	32.50	27.36	40.34	מיומנויות המידול

הערה: טווח ציוני המדדים בין 0-100 וככל שהציון גבוה יותר רמת המדד הנבדק גבוהה יותר

מהתבוננות בערך מבחן t , המוצג בלוח 29, עולה כי במדד מיומנות המידול של שני הפריטים הנבחרים למדד מיומנויות המידול, לא נמצא הבדל מובהק לפי קבוצות המחקר. מכאן, שלא מסתמן צורך לערוך פיקוח סטטיסטי על מדד זה בטרם ההתערבות במסגרת בדיקת השערות.

השוואת מדד מיומנויות המידול לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר – מדידות חוזרות

בהמשך, נערך ניתוח שונות מדידות חוזרות Mixed-Design Repeated Measures Two Way ANOVA

2 (זמן: טרום התערבות, לאחר התערבות) $2 \times$ (קבוצה: השוואה, התערבות). המשתנה התלוי היה מדד מיומנויות המידול והמשתנים הבלתי-תלויים היו פקטור תוך-נבדקי שהינו זמן המדידה ופקטור בין-נבדקי היה קבוצת המחקר.

בניתוח השונות נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן המדידה $F_{(1,121)} = 131.18, p < .001, \eta_p^2 = .52$, נמצא גם אפקט עיקרי מובהק לקבוצה $F_{(1,121)} = 9.26, p = .003, \eta_p^2 = .07$ וכן נמצא אפקט אינטראקציה מובהק זמן \times קבוצה $F_{(1,121)} = 4.45, p = .037, \eta_p^2 = .04$. בלוח 30 מוצגים הממוצעים, סטיות התקן, ערכי ניתוחי השונות החד-משתניים (Univariate Tests) וגודל האפקט של מדד מיומנויות המידול לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר.

לוח 30

ממוצעים, סטיות תקן, ערכי F וערכי η_p^2 של מדד מיומנויות המידול לפי זמן המדידה ולפי קבוצת המחקר

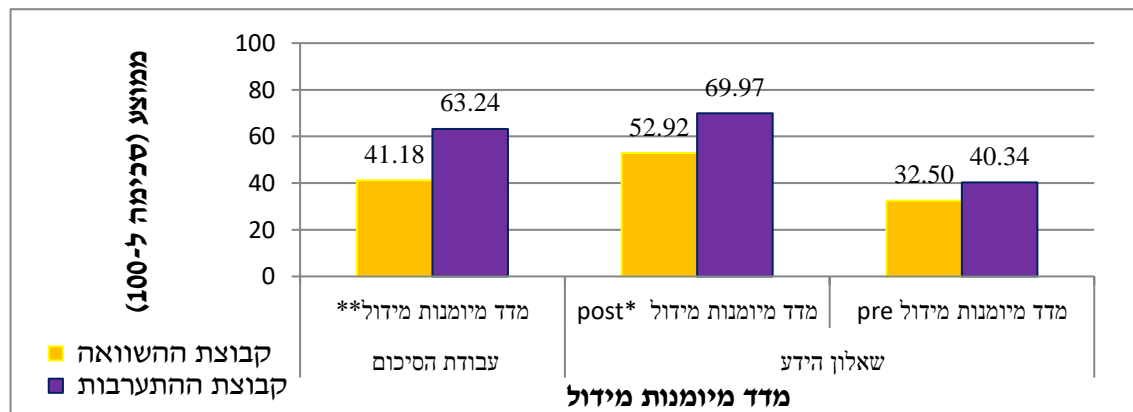
ממוצעים סטיות תקן	קבוצת ההתערבות (n = 63)			קבוצת ההשוואה (n = 60)			זמן \times קבוצה	קבוצה	זמן	מדד מיומנות המידול
	pre	post	צינון שינוי	pre	post	צינון שינוי				
M	40.34	69.97	29.63	32.50	52.92	20.42	$F_{(1,121)}$	η_p^2	$F_{(1,121)}$	η_p^2
SD	27.36	27.50	21.80	25.61	21.80	21.80	$F_{(1,121)}$	η_p^2	$F_{(1,121)}$	η_p^2

הערה: טווח ציוני המדדים בין 0-100 וככל שהציון גבוה יותר רמת המדד הנבדק גבוהה יותר
 $***p < .001$. $**p < .01$. $*p < .05$

בתרשים 9 מוצגים הממוצעים של מדדי מיומנויות המידול בשאלון הידע ובעבודת הסיכום לפי זמן מדידה ולפי קבוצת המחקר.

תרשים 9

ממוצעי מדדי מיומנויות המידול בשאלון הידע ובעבודת הסיכום לפי זמן מדידה ולפי קבוצת המחקר



* עלייה מובהקת בשתי קבוצות המחקר. בקבוצת ההתערבות הייתה עלייה גבוהה יותר באופן מובהק.
 ** נמצא הבדל מובהק לפי קבוצת המחקר. המדד היה גבוה יותר באופן מובהק בקבוצת ההתערבות.

מעיון בממוצעים המוצגים בתרשים 9 ומניתוחי simple effects עולה כי בהתאם להשערה, בשתי הקבוצות חלה עלייה מובהקת במדד מיומנויות המידול משלב טרום ההתערבות לשלב בתר ההתערבות. באשר למדד מיומנויות המידול בקבוצת ההתערבות נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן המדידה $F_{(1,62)} = .56$, $\eta_p^2 = .56$, $p < .001$, 77.21 , בקבוצת השוואה נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן המדידה $F_{(1,59)} = .49$, $\eta_p^2 = .49$, $p < .001$, 55.50 . יחד עם זאת, על פי גודל האפקט, בקבוצת ההתערבות העלייה במדד מיומנויות המידול הייתה גדולה יותר ($\eta_p^2 = .56$) לעומת קבוצת השוואה ($\eta_p^2 = .49$). לאחר פעולת ההתערבות מדד מיומנויות המידול היה גבוה יותר באופן מובהק בקבוצת ההתערבות לעומת קבוצת השוואה $F_{(1,121)} = 14.44$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .11$.

לסיכום, דפוס הממצאים מצביע על כך שבתשובה לשאלת המחקר השלישית, בשתי קבוצות המחקר נמצאה עלייה מובהקת במדד מיומנות המידול לפי שאלון הידע, משלב טרום ההתערבות לאחר ההתערבות אך בקרב קבוצת ההתערבות העלייה הייתה גבוהה יותר באופן מובהק.

4.3.2 השוואת מדד מיומנות מידול בעבודות הסיכום

הכוונה מטה-קוגניטיבית בהוראת נושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה תשפר את מידת מיומנות המידול בעבודת הסיכום שנחקרה בקרב התלמידים במידה רבה יותר בהשוואה לאלו שלמדו ללא תמיכה מטה-קוגניטיבית. מדד זה נקבע על פי סעיפים 3, 4.1, 4.2, העוסקים בקריטריון זיהוי מידול בתופעה שנחקרה בעבודת הסיכום (סעיף 3.3.3 לוח 10 עמוד 38).

נערכה השוואה של מדד מיומנות המידול בתופעה שנחקרה, לפי קבוצות המחקר. על מנת להשוות את מדד הקריטריון מידול, חושבו מבחני t למדגמים בלתי-תלויים. המשתנה התלוי היה ציון מסכם של כל סעיפי העבודה העוסקים בקריטריון מידול. המשתנה הבלתי-תלוי היה קבוצת המחקר (קבוצת התערבות, קבוצת השוואה). בלוח 31 מוצגים, הממוצעים, סטיות התקן וערכי מבחן t למדגמים בלתי-תלויים למדד מיומנות המידול בתופעה שנחקרה בעבודת הסיכום לפי קבוצת מחקר.

לוח 31

ממוצעים, סטיות תקן וערכי מבחן t של מדד מיומנות המידול בתופעה שנחקרה בעבודת הסיכום לפי קבוצת מחקר ($N = 37$)

מדד הידע	קבוצת התערבות ($n = 20$)		קבוצת השוואה ($n = 17$)		השוואה סטטיסטית
	SD	M	SD	M	
מדד מיומנות המידול בתופעה שנחקרה	24.43	63.24	16.77	41.18	$t_{(35)} = 3.14$, $sig = .003$

הערה: טווח ציוני המדדים בין 0-100 וככל שהציון גבוה יותר רמת המדד הנבדק גבוהה יותר

מהתבוננות בערך מבחן t , המוצג בלוח 31, עולה כי במדד מיומנות המידול שנחקרה בעבודת הסיכום נמצא הבדל מובהק לפי קבוצות המחקר. על פי הממצאים, בקרב קבוצת ההתערבות מדד מיומנות המידול בתופעה שנחקרה בעבודת הסיכום היה גבוה יותר באופן מובהק מקבוצת השוואה.

4.3.3 השוואת מדד מיומנות ההעברה בעבודות הסיכום

הכוונה מטה-קוגניטיבית בהוראת נושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה תשפר את מיומנות ההעברה בתופעה הפיזיקאלית במידה רבה יותר בהשוואה ללא תמיכה מטה-קוגניטיבית. מדד זה נקבע על פי סעיף 6, המייצג את הציון שניתן על פי נושא התופעה הפיזיקאלית שנחקרה על ידי התלמידים (סעיף 3.3.3 לוח 10 עמוד 38). נערכה השוואה של מדד מיומנות ההעברה של התופעה שנחקרה, לפי קבוצות המחקר. על מנת להשוות את מדד קריטריון ההעברה, חושבו מבחני t למדגמים בלתי-תלויים. המשתנה התלוי היה ציון מסכם של סעיף 6 בעבודה. המשתנה הבלתי-תלוי היה קבוצת המחקר (קבוצת התערבות, קבוצת השוואה). בלוח 32 מוצגים, הממוצעים, סטיות התקן וערכי מבחן t למדגמים בלתי-תלויים למדד מיומנות ההעברה בתופעה שנחקרה בעבודת הסיכום לפי קבוצת מחקר.

לוח 32

ממוצעים, סטיות תקן וערכי מבחן t של מדד מיומנות ההעברה בתופעה שנחקרה בעבודת הסיכום לפי

קבוצת מחקר ($N = 37$)

ממד הידע	קבוצת התערבות ($n = 20$)		קבוצת השוואה ($n = 17$)		השוואה סטטיסטית
	SD	M	SD	M	
מדד מיומנות ההעברה בתופעה שנחקרה	34.79	40.00	35.09	32.35	$t_{(35)} = .66$, $sig = .511$

הערה: טווח ציוני המדדים בין 0-100 וככל שהציון גבוה יותר רמת המדד הנבדק גבוהה יותר

מהתבוננות בערך מבחן t , המוצג בלוח 32, עולה כי במדד מיומנות ההעברה בתופעה שנחקרה בעבודת הסיכום לא נמצא הבדל מובהק לפי קבוצת המחקר. על פי הממצאים, ממוצע מדד מיומנות ההעברה בתופעה שנחקרה בעבודת הסיכום בקבוצת ההתערבות ($M = 40.00$, $SD = 34.79$) אינו גבוה באופן מובהק מזה של קבוצת השוואה ($M = 32.35$, $SD = 35.09$). לאור סטיות התקן הגבוהות במדד זה הוחלט לערוך ניתוח אפרמטרי מסוג U Mann-Whitney, גם בנייתוח זה לא נמצא הבדל מובהק בין מדרגי הציון ($U = 149$, $p = .537$).

4.3.4 דוגמאות למדדי מיומנות מידול ומיומנות ההעברה מתוך שאלון הידע ועבודת הסיכום

1. ניתן לאפיין את הקשיים למיומנות המידול על פי תרשימי הזרימה ותרשימי העוגה בשאלון הידע ובעבודת הסיכום. תלמידי שתי קבוצות המחקר התקשו בניסוח התופעות בתרשימי הזרימה ותרשימי עוגה בשאלון הידע ובעבודת הסיכום, אם כי בקבוצת ההשוואה נצפו יותר קשיים.

א. תלמידים נטו להזכיר חלקית את הגופים המשתתפים בתופעה. כאשר מדובר במספר גופים המעורבים בתופעה, עצם כתיבתם מבהיר את השתלשלות השלבים בתופעה והשינויים שחלים בגודל האנרגיות. דוגמה לתרשים זרימה חלקי (ללא הגהה): התופעה - "ילד בועט כדור ברגלו, הכדור נמחץ והוא מתגלגל על הרצפה ונעצר. תרשים: אנרגיה כימית ← אנרגיה אלסטית ← אנרגיית תנועה ← אנרגיית חום".

ב. ביצוע חלקי של ניתוח תופעה התבצע גם לגבי חוסר אזכור כל / רוב האנרגיות ההכרחיות להבנת התופעה, לדוגמה (ללא הגהה): "ילד זורק בעזרת ידו בקבוק כלפי מעלה הבקבוק מסתובב ונוחת על השולחן נעצר. תרשים: אנרגיה כימית ← אנרגיית תנועה ← אנרגיית גובה ← אנרגיית חום".

ג. פרשנות לא טובה של סדר השינויים בתופעה גרמה לניסוח שגוי של תרשים הזרימה (ללא הגהה): "צילמנו את הכלב של ד' רץ אחרי אבן ומחזיר אותה. במרדף אחרי האבן: אנרגיה כימית בשרירים ← אנרגיית תנועה ברגליים ← אנרגיית חיכוך מהרצפה ← אנרגיית חום".

ד. בלבול בין השינויים בכמויות האנרגיה לסוג האנרגיה, כמו למשל אנרגיה כימית בחומרי דלק לאנרגיית חום, (ללא הגהה): "טיל משוגר כלפי מעלה במהירות גבוהה. הטיל צבר יותר מהירות ועלה מעלה. הטיל כבר בשיא גובהו והוא טס באופן אופקי. הרקטה בנחיתה. הרקטה נפלה והתפוצצה על האדמה. תרשים

הזרימה: אני כימית ← אני גובה ← אני תנועה ← אני חום".

המקרה האחרון הוא גם דוגמה לקביעה שגויה של מקורות האנרגיה, קרי: פיצוץ הרקטה התרחש כתוצאה מהשינוי באנרגיית התנועה, ולא חומר הנפץ הממוקם בראש הטיל/רקטה.

ה. ניתוח המרות האנרגיה של התלמידים שיקף תפיסה שגויה לפיה, השינויים בכמויות האנרגיה מתרחשים לפי סדר השלבים שניבנו במערכת, לדוגמה (ללא הגהה): "אישה מותחת גומייה אשר דוחפת את המכונית המתחילה לנסוע ומפילה ספר שמפיל אחריו ספר נוסף וכן הלאה. הספר האחרון פוגע ברעשן המשמיע קול. תרשים הזרימה: אנרגיה כימית בשרירים ← אנרגיה אלסטית בגומייה ← אנרגיית תנועה

של הספר ← אנרגיית תנועה של הספר שאחריו ← אנרגיית קול של הרעשן".

ו. חוסר תשומת לב או חוסר עקביות ניכרו כשתלמידים סיפרו את התופעה בשפת האנרגיות ושרטטו תרשימי עוגה באופן קצת שונה. לדומה: בתופעה בה כדור נופל, מתדרדר במדרון, פוגע בקפיץ ועולה מעלה, התלמידים היו צריכים לקבוע את מאזן האנרגיות בנקודה D, שסומנה באמצע המדרון (אשר רחוקה

ממיקום הקפיץ). לא מעט תלמידים הקציבו בתרשים העוגה גזרה המייצגת שינוי באנרגיה קפיצית (אף שהאינטראקציה עם הקפיץ חדלה), תוך שצינו גם אנרגיית תנועה ואנרגיית גובה. לגבי אותה שאלה, היו שהוסיפו גזרה שייצגה שינוי באנרגיית חום, כשבסעיף הקודם טענו כי הכדור ירד ויעלה לעד, או שבתרשים העוגה לא התייחסו לאנרגיית חום למרות טענתם בסעיף הקודם כי הכדור ייעצר מתישהו.

דוגמה נוספת מעבודת הסיכום (ללא הגהה): "תיאור התופעה: הרקטה נפלה והתפוצצה על האדמה. בשפת הפיזיקה: אנרגיית התנועה והגובה הומרה לאנרגיית חום. תרשים זרימה: אני התנועה ← אני חום. תרשים עוגה: גזרה גדולה מייצגת את אני תנועה, גזרה קטנה מייצגת את אני חום".

ז. מספר תלמידים נמנעו מניתוח התופעה על פי תרשימי עוגה, אחרים התייחסו רק למצב אחד, או כאלו שהתייחסו למצבים המאופיינים בגודל מקסימאלי של צורת אנרגיה מסוימת, לדוגמה (ללא הגהה): "ניתוח התופעה: הכדור מתגלגל בשביל באיטיות לכיוון המדרגות ונופל. הוא מתחיל לרדת מדרגה בקפיצות עד הגיעו למטה וממשיך להתגלגל עד שהוא מגיע לעצירה מלאה. תרשים עוגה א': אנרגיית גובה (100%). תרשים עוגה ב': אנרגיית תנועה (100%). תרשים עוגה ג': אנרגיית חום (100%)".

ח. גם כשניתנה לתלמידים לבחור מצבים בתופעה שניתחו, הם לא הצליחו להשתחרר מהתפיסה השגויה כי תרשים עוגה מתאר מצב רגעי ולא משקף את מכלול האנרגיות במערכת או כפי שתיארו בתרשים הזרימה. להלן דוגמה של שלב מעבודה המתארת המרות אנרגיה במסלול הפלת ספרים, באמצעות מכונית שנורית ממתחת גומייה (ללא הגהה): "מצב ב' - הילדה מפעילה אנרגיה כימית שבשרירים על מנת למתוח את הגומייה. הגומייה גמישה (אנרגיה אלסטית) ונותנת תנופה למכונית. המכונית נוסעת (אנרגיית תנועה). תרשים זרימה: אנרגיה כימית בשרירים ← אנרגיה אלסטית ← אנרגיית תנועה. תרשים העוגה: אנרגיית תנועה של המכונית (45%), אנרגיה אלסטית שבגומייה (25%), אנרגיה כימית שבשרירים (20%), אנרגיית חום (10%)".

2. דוגמאות למיומנות ההעברה לפי עבודת הסיכום

א. עבודות רבות היו פשוטות, בהן הודגמה נפילת גוף לרצפה. סדרה נוספת של עבודות היו חיקוי של מערכות, על פי סרטונים ברשת בנושא "המרות אנרגיה". הסבר של מרואיינת מקבוצת ההשוואה לבחירת נושא העבודה:

מרואיינת: "מה היו הסיבות לבחירת נושא העבודה?"

נגה (2): "אני חושבת שלקחתי את מה שאני חושבת, שחשבתי שהבנתי הכי טוב, שכאילו היה לי הכי ברור. צריכים לצלם המרת אנרגיה כלשהי, אז זה היה בקבוצות, אז אנחנו לקחנו פשוט כדור ופשוט כאילו הפלנו אותו [...] זה היה נראה כאילו, זה היה נראה יותר קל, יותר פשוט להבין".

מרואיינת: "על מנת לסיים את העבודה?"

נגה (2) : "כך."

מראיינת: "כדי לקבל 100?"

נגה (2) : "כך. השתמשנו במה שצילמנו, כאילו הסתכלנו... אני לא יודעת הכול היה מאוד ברור, הכול

היה מאוד פשוט זה לא היה מסובך."

מראיינת: "לפי מה שלמדתם בכיתה?"

נגה (2) : "כך."

מראיינת: "כלומר, העתק-הדבק?"

נגה (2) : "כן. משהו כזה."

ב. דוגמה להעברה על פי תיאורו של עומר (1) : "אם מטילים כאילו בגיו-גייטסו על הרצפה צריך להרים

אותו ומנצלים את האנרגיה שלו מהגובה וגורמים לו ליפול. משהו ששמתי לבי".

ג. מכל קבוצת מחקר התקבלו מעט עבודות, שניתן היה לקבוע כי התבצעה העברה במידה מסוימת.

בקבוצת ההשוואה הוגשו עבודות בנושאים: פופקורן, מים נשפכים ומסובבים שבשבת והתפרצות הר געש

(אם כי עבודה זו לא נערכה בהתאם לדרישות ולוותה בשגיאות רבות). מקבוצת ההתערבות הוגשו עבודות

בנושאים: נסיעת אופניים בשיפוע כלפי מעלה וגולות במדרון עם לולאה. נושאי עבודות אלו אינם מהווים

חדשנות בהשוואה לנלמד בכיתה (מלבד אולי הכנת פופקורן והתפרצות הר געש), אבל מחברי העבודות

יזמו בחירת משתנים בלתי תלויים מעניינים והשפעתם על מספר משתנים תלויים, לדוגמה: גולות במדרון

עם לולאה (לופ). מחברת העבודה שחררה גולות בעלות מסות שונות מראש מדרון, שפגעו בגולה שעמדה

בתחתית הלולאה, בשילוב שינוי מסת הגולה בלולאה (משתנים בלתי תלויים). משתנים תלויים: מדידת

זמנים לפני הפגיעה בגולה, האם שתי הגולות ימשיכו להתגלגל, וגם זמן הגעתן לתחתית המדרון.

ד. אחת הדרישות להגשת עבודת הסיכום הייתה כתיבת רפלקציה. מרבית התלמידים משתי קבוצות

המחקר סיכמו כי נהנו לעשות את העבודה ולמדו הרבה ממנה לגבי נושא המרות אנרגיה, מבלי לציין מה

באמת למדו. מעט תלמידים התייחסו לתהליך החשיבתי שחוו, הרציונל מאחורי בחירת נושא העבודה

ושיתוף בקשיים שנתקלו במהלך העבודה. מתוך הרפלקציה בעבודה עם הגולות במדרון: "אני מאוד

נהניתי [...] במיוחד בגלל שאני בחרתי את הנושא, ואת התופעה עצמה". מדברי דניאל (1), שהשתתפה

בביצוע העבודה בנושא אופניים במדרון: "אמרתי שאני אשתמש בכמה שיותר תנועה, משהו שנגיד

תלמידים אחרים יכולים להזדהות איתו".

4. דיון ומסקנות

מחקר זה עסק ב"הוראה מבוססת תמיכה מטה-קוגניטיבית בנושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה השפעתה על היבטים קוגניטיביים ותפיסות אצל תלמידים". המחקר נערך בקרב תלמידי כיתות ט' הטרוגניות ובחן השפעת שילוב כלים מטה-קוגניטיביים בעת לימוד הנושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה, מתוך יחידת ההוראה בנושא אנרגיה. מטרת המחקר הייתה לבדוק האם ובאיזו מידה הכוונה מטה-קוגניטיבית מחוללת שינוי בתפיסת הפיזיקה בעיני התלמידים, ומשפרת את הידע ההבנה הקונספטואלית ומיומנויות החשיבה שלהם. עמדות התלמידים, ההבנה והמיומנויות הושוו בין אלו שנבדקו בתחילת נושא הלימוד לאלו בסיום לימוד הנושא. כמו כן, ההבנה ומיומנויות החשיבה נבדקו בתום נושא הלימוד באמצעות עבודת סיכום. בנוסף, נערכו מספר ראיונות לבדיקת היבטים בנוגע לתפיסת המקצוע בעיני המרואיינים, מידת הרלוונטיות של הנושא בחייהם ואופן התמודדותם עם הקשיים הנלווים.

השערות המחקר נבדקו בשיטת Mixed Methods, לפיה כלי המחקר הכמותניים שולבו עם כלי המחקר האיכותניים. נקיטת גישה זו של טריאנגולציה (הצלבת מידע ממקורות שונים) מחזקת את מהימנות מסקנות המחקר, מאשר כל אחד היה נחקר בנפרד (Creswell, 2017). מבחן הידע (pre-post) ועבודת הסיכום נותחו על פי אותם קריטריונים, כך שהממצאים מכל כלי מחקר יכולים לחזק את ההסברים להבדלים בין שתי קבוצות המחקר. הראיונות, ככלי איכותני, נועדו לשפוך אור על חלק מהממצאים הכמותניים, שהתקבלו משאלון תפיסת הפיזיקה (pre-post).

5.1 שאלת מחקר ראשונה – תפיסת הפיזיקה

בשאלה זו נבדק הקשר בין ההכוונה המטה-קוגניטיבית בשיעורי הפיזיקה בנושא המרות אנרגיה על תפיסת הפיזיקה בעיני התלמידים. בהשערת המחקר נטען כי ההכוונה המטה-קוגניטיבית תשפר עמדות תלמידים כלפי מקצוע הפיזיקה, הם יפתחו אהדה כלפי המקצוע וירצו להמשיך ללמוד מקצוע זה בעתיד. ממצאי המחקר הנוכחי מצביעים על כך שבקבוצת ההתערבות נמצאה ירידה מובהקת במדדי תפיסת הפיזיקה, בהיבט האישי ובהיבט המדעי, משלב טרום ההתערבות לשלב בתר ההתערבות, ואילו בקבוצת ההשוואה לא חל שינוי מובהק ברמת המדדים בין שני זמני המדידה.

תפיסת הפיזיקה בראייה כללית

בעולם המחקר ישנם מספר הסברים לירידה בתפיסת הפיזיקה בקרב תלמידים. הסבר אחד לירידה במדדי תפיסת הפיזיקה בקבוצת ההתערבות ניתן להבין ממחקרו של האוסלר (Häussler, 1987) שנערך בקרב תלמידים בחטיבת ביניים. חוקר זה ניסח בעדינות כי ייתכן שלפני כל הוראה בנושא בפיזיקה, לתלמידים יש ציפיות גבוהות, עניין ורחשי כבוד כלפי הפיזיקה, אך במהלך לימודי הפיזיקה הם אינם חווים אותם

וחלה דעיכה. לאחר תקופת הסתגלות חלה התייצבות בתפיסת הפיזיקה, אם כי ברמה נמוכה יותר בהשוואה לראשיתה. הסבר נוסף לירידה בתפיסת הפיזיקה הוצע על ידי החוקרים אוסבורן ועמיתיו (Osborne, et al., 2003), לפיו תוכניות הלימוד שמות דגש רב מדי על פעילויות לא תובעניות כמו זיכרון והעתקה ופחות של אתגר אינטלקטואלי והתלמידים חשים שעמום.

במחקר שערכו סנדי-אורנה ואחרים (Sandi-Urena, et al., 2011) הם הצביעו על ירידה מובהקת בשאלון עמדות דווקא בקבוצת ההתערבות שקיבלה הכוונה מטה-קוגניטיבית, בעוד שבקבוצת ההשוואה לא חל שינוי. תחילה, החוקרים הביעו פליאה לירידה בציוני עמדות המשתתפים בקבוצת ההתערבות, משום שהנטייה להאמין כי במצב בו המודעות למטה-קוגניציה היא רבה יותר – אזי תהיה עלייה בדיווח האישי שלהם. עם זאת, לטענתם, העלאת המודעות הודות למטה-קוגניציה נתפסת כמפתחת ראייה ביקורתית ובשל כך המשתתפים נוטים לדרג עצמם בצורה קפדנית יותר ולכן ציוני עמדותיהם ירדו.

החוקרת אברגיל (Avargil, 2019) תיארה תופעה, מעניינת בעיניה, לפיה מדדי המסוגלות העצמית של קבוצת ההתערבות היו נמוכים יותר מקבוצת ההשוואה, על אף שהישגי ההבנה בכימיה היו גבוהים יותר מקבוצת ההשוואה. לטענתה, תלמידי קבוצת ההתערבות לא העריכו כראוי את ידיעותיהם לפי רמת הידע וההבנה בכימיה וחשו פחות בטוחים, כנראה, משום שהיו יותר ביקורתיים כלפי עצמם, לעומת תלמידי קבוצת ההשוואה.

על סמך מחקרים אלו ניתן להניח, במשנה זהירות, כי במחקר זה הירידה במדדי תפיסת הפיזיקה בקבוצת ההתערבות נובעת מהשקפה ריאלית וביקורתית יותר של תלמידי קבוצה זו בעקבות ההכוונה המטה-קוגניטיבית, שייתכן היוותה עומס קוגניטיבי (Cognitive Load) (Herrmann-Abell & DeBoer, 2011), ולכן רף ציפיותיהם ירד אל מול הישגיהם.

מקצוע פיזיקה נחשב למקצוע יוקרתי בתיכון, בהמשך משמש מדרגה ללימודים גבוהים ורלוונטי לקריירה (Sheldrake, et al., 2019). המרואיינים משתי קבוצות המחקר סברו כי מקצוע פיזיקה חשוב ורובם הוסיפו כי מקצוע הלימוד יכול להועיל בעתיד. ברם, שאלות נוספות בהקשר זה הניבו טיעונים המרמזים על חוסר החלטיות, מי למעשה מפיק תועלת ממקצוע הפיזיקה, ולמה הכוונה "עתיד". חלקם הזכירו כי פיזיקה בעל מעמד של מקצוע חשוב בתיכון ומחציתם התנו את החשיבות רק למי שמיעד עצמו לעסוק בתחום זה בעתיד. במקרה, רק המרואיינים מקבוצת ההתערבות ציינו כי פיזיקה יכול לתרום לידע כללי, ולא רק כעיסוק בעתיד (ואף נתנו דוגמאות).

מכאן, ההנחה היא כי בשאלון ה-pre המדדים שהתקבלו בשתי קבוצות המחקר היו גבוהים מאוד כי התלמידים בעלי ציפיות גבוהות לקראת התיכון. בשאלון ה-post חלה ירידה בקבוצת ההתערבות כי

התלמידים היו יותר מציאותיים בדירוג שלהם, רמת הביקורתיות שלהם כלפי עצמם עלתה בעקבות ההכוונה המטה-קוגניטיבית ולכן חל איזון בין המדדים של תפיסת הפיזיקה להישגיהם במבחן הידע. לעומת זאת, יותר תלמידים מקבוצת ההשוואה נשארו במעין "חלום", על אף הציונים הנמוכים במבחני הידע הם נותרו עדיין עם התחושה שפיזיקה מקצוע חשוב (וזהו), ולא קישרו בין הציפיות שלהם ליכולות שלהם.

תפיסת הפיזיקה בהיבט האישי

החוקרים שלדרייק ואחרים (Sheldrake, et al. 2019) ערכו מחקר אורך בקרב תלמידים בחטיבת ביניים ודיווחו על ירידה בתפיסת הפיזיקה בהיבט האישי. רוב התלמידים שהיו בעלי עמדות חיוביות מאוד כלפי פיזיקה, דבקו בעמדותיהם, אולם תלמידים בעלי עמדות פחות גבוהות הראו מגמת ירידה בתפיסת הפיזיקה. החוקרים ראו קשר טבעי בין עמדות התלמידים לבין האפשרות ללמוד (או אולי לא ללמוד) פיזיקה בהמשך. כמו כן, הם סברו כי הירידה נובעת, אולי, משחיקה שהולכת וגוברת בתחום המדעי. למיטב הבנתם הם ייחסו את מגמת הירידה למספר מניעים, כדלקמן: אי כוונת התלמידים להמשיך בלימודי הפיזיקה, התועלת שיפיקו מהפיזיקה, מידת העניין שלהם בפיזיקה, תפיסת העצמי לאור יכולותיהם וביצועיהם הנוכחיים.

במחקר נוכחי זה לא ניתן להסיק מדברי המרואיינים מדוע ישנה ירידה מובהקת בתפיסת הפיזיקה בהיבט האישי בקבוצת ההתערבות. להיפך, מרבית המרואיינים הביעו חשיבות גדולה ללימודי הפיזיקה ומידת הרלוונטיות לחיי היום-יום שלהם. שלושת המרואיינים מקבוצת ההתערבות ומרואיינת אחת מקבוצת ההשוואה הראו סקרנות רבה, הביאו דוגמאות לחיזוק הקשר שבין הפיזיקה לחיי היום-יום שלהם והביעו כוונתם להמשיך ללמוד בעתיד. שני מרואיינים מקבוצת ההשוואה הביעו הסתייגות באשר לתרומת הפיזיקה בחיי היום-יום ואף הודו שאין קשר בין הפיזיקה לחיים מחוץ לכיתה.

תפיסת הפיזיקה בהיבט המדעי

החוקר טרומפר (Trumper, 2006) סיכם על סמך סקירת מחקרים, כי שימוש בטכניקות הבנייתיות (קונסטרוקטיביסטיות) בהוראה בעל אפקט חיובי ביצירת עניין בעיני התלמידים לגבי הפיזיקה. החוקרים חואוטי ואחרים (Juuti, et al., 2010) ציינו כי תלמידים אשר מתעניינים בלימודי מדעים (כימיה ופיזיקה) בבית הספר, או חושבים כי לימודי מדע בבית הספר הם רלוונטיים בחיי היום-יום, יחבבו יותר פעילויות יצירתיות כמו סיעור מוחין ועבודות פרויקט.

עם זאת, במחקר שנערך על ידי החוקרים קונג ולינדר (Kung & Linder, 2007) נחקרה פעילות מטה-קוגניטיבית של סטודנטים לפיזיקה באוניברסיטה, במהלך עבודתם במעבדה. בין ממצאי המחקר הסתמנה ירידה בהתנהגותם של הסטודנטים בפיזיקה, על אף שהפגינו שימוש רב של אמירות מטה-קוגניטיביות.

החוקרים ציינו כי כמות גדולה יותר של מטה-קוגניציה אינה נראית כמשפרת הצלחת תלמידים במעבדה – מה שנראה חשוב הוא האם מטה-קוגניציה גורמת לסטודנטים לשנות התנהגותם.

יש לסייג השוואה זו כי משתתפי המחקר לעיל הנם סטודנטים לפיזיקה באוניברסיטה ולא תלמידי חטיבת ביניים, והמסקנה הוסקה על פי פעילות במעבדה, אך יש לתת את הדעת וההסברים לממצאי מחקר נוכחי זה. במחקר נוכחי זה לא ניתן להסיק מדברי המרואיינים מדוע ישנה ירידה מובהקת בתפיסת הפיזיקה בהיבט המדעי בקבוצת ההתערבות והאם ההכוונה המטה-קוגניטיבית השפיעה על דעיכה בתפיסת הפיזיקה בהיבט המדעי. כן ניתן להצביע על מידת מה של רלוונטיות מדע הפיזיקה בחיי היום-יום של רובם, אך תלושה מהבנה משמעותית בהיבט החברתי-גלובלי וכאזרחים לעתיד (DeWaters, et al., 2013).

5.2 שאלת מחקר שנייה – ההבנה הקונספטואלית והמיומנויות הקוגניטיביות

בשאלה זו נבדקה השפעת ההכוונה המטה-קוגניטיבית בשיעורי הפיזיקה בנושא המרות אנרגיה על מידת ההבנה הקונספטואלית והמיומנויות הקוגניטיביות. בהשערת המחקר נטען כי הכוונה מטה-קוגניטיבית תשפר את ההבנה הקונספטואלית והמיומנויות הקוגניטיביות בקרב התלמידים, במידה רבה יותר בהשוואה לאלו שלא יקבלו תמיכה מטה-קוגניטיבית. לצורך בדיקת השערת המחקר השנייה, נערכו מספר השוואות לבדיקת הבנה ברמת התוכן ומיומנויות חשיבה בשאלון הידע (pre-ו post) ובעבודת הסיכום.

מחקרים הראו כי להכוונה מטה-קוגניטיבית השלכות חיוביות ותורמות במספר היבטים, לדוגמה: החוקר ג'ורג'יאדס (Georghiadis, 2004) הסיק ממחקרו כי למטה-קוגניציה השפעה חיובית בלימודי מדעים בקרב תלמידים ואפילו לאורך זמן, אם כי הוא מסייג שאין בהכרח מדובר בכמויות גדולות של ידע, אלא על עומק התפיסות של התלמידים. החוקרת אפקלידס (Efklides, 2006) טענה כי מטה-קוגניציה תורמת משמעותית במספר היבטים, לרבות ידע, גורמת לשיפור בהישגי התלמידים ונועדה ליצור מודעות ממוקדת בעת ביצוע המשימה. החוקרים אנדרסון ונשון (Anderson & Nashon, 2009) חיזקו על סמך מחקרם, את חשיבותה של מטה-קוגניציה בשיפור יכולות התלמידים בלמידה משמעותית, בכלל זה משפיעה על עיצוב הבניית הידע.

תלמידים לא מעטים נוטים לראות בידע אוסף של עובדות פשוטות ומבודדות זו מזו, בדומה לאוסף אבני לגו הפזורות על השטיח, ללא סדר או עיקרון מארגן. תפיסה מוטעית זו נתמכת על ידי שיטות הוראה המדגישות שינון של פרטים ועובדות במנותק מהקשר כולל. כדי ליצור ידע יש לחבר בין אבני הלגו ולבנות מהן מבנה, כלומר ליצור קשרים בין מושגים: למשל, להבין כיצד משתנים או אירועים תלויים זה בזה או משפיעים זה על זה. רצוי ליצור לתלמידים הזדמנות לעסוק בבנייה של ידע ולהיחשף לאופיו המורכב של הידע. (משרד החינוך, 2009, עמ' 7)

ממצאי שאלון הידע ועבודת הסיכום מאששים מסקנות חוקרים כי להכוונה מטה-קוגניטיבית יש השפעה חיובית על ההבנה הקונספטואלית ומיומנויות החשיבה של התלמידים. מדדי הידע נבדקו על פי מספר קריטריונים, וברובם ככולם נמצאו הבדלים מובהקים בין שתי קבוצות המחקר. תלמידי קבוצת ההתערבות שיפרו את הישגיהם והפגינו יכולת טובה יותר בניסוח תשובותיהם, ביחס לקבוצת ההשוואה. בשתי קבוצות המחקר הממוצעים ההתחלתיים של מדדי הידע היו נמוכים ואפילו נמוכים מאוד (טווח ממוצעים 12-50), אך ניתן להיווכח כי ההכוונה המטה-קוגניטיבית היטיבה, כאשר בשאלון ה-post חל שיפור סביר יותר בקרב קבוצת ההתערבות במדד הכללי של הידע, במדד מיומנויות החשיבה מסדר נמוך ובמדד הישגים הגבוהים מערך החציון (טווח ממוצעים 60-70). עם זאת, מעבר להבדלים המובהקים בין שתי קבוצות המחקר, ישנם קריטריונים בהם הממוצעים בקבוצת ההתערבות עדיין לא משביעי רצון על אף ההכוונה המטה-קוגניטיבית, למשל: במדד מיומנויות החשיבה מסדר גבוה ובמדד הישגים הנמוכים או השווים לערך החציון (טווח ממוצעים 40-50). על פי שאלון הידע - סקירת שניים מתוך שלושת הקריטריונים, מתוך המודל המחקר, מציגה מצב לא עקבי: בקריטריון זיהוי גופים ופעולות השיפור היה טוב (ממוצע 72), בהשוואה לקריטריון מתן הסבר בשפת האנרגיה, שספג כישלון צורב (ממוצע 12). בהשוואה בין שתי קבוצות המחקר נמצאו הבדלים מובהקים בשתי רמות הישגים: חלשים עד בינוניים וטובים. פעולת ההתערבות שיפרה את הישגי התלמידים החלשים עד בינוניים (ממוצע 50) ושל הטובים (ממוצע 70), אם כי לא ניתן להסיק אלו תלמידים נתרמו יותר היות ולא נמצא הבדל מובהק בין שתי רמות הישגים. באשר להישגים בעבודת הסיכום: הממוצעים בקבוצת ההתערבות היו טובים יותר ובאופן מובהק, אם כי מדדי מיומנויות החשיבה לא נסקו מעלה (ממוצע 30) בהשוואה למדד כללי של הידע ומדד ההסבר הנרטיבי בשפת הפיזיקה (ממוצעים בטווח 60-80).

תלמידי שתי קבוצות המחקר הפגינו מגוון קשיים על פי ביצועיהם בשאלון הידע ובעבודת הסיכום, אם כי בקבוצת ההשוואה הקשיים היו ביתר עוצמה.

ניתן לאפיין את הקשיים לפי הקריטריונים של מודל ארבעת הקודקודים (זולת מטה-קוגניציה, ששימשה כאמצעי הכוונה ולא קריטריון לבדיקה):

א. זיהוי גופים ופעולות

החוקרים לינדזי ואחרים (Lindsey, et al., 2012) טענו כי תלמידים אינם מאמינים שניתן לקבץ אובייקטים (גופים) ולהחשיב זאת כמערכת. במחקר הנוכחי תלמידים התקשו לזהות את כל הגופים והפעולות הקשורים לתופעה ולהתייחס אליהם כמערכת אחת. בעת ניתוח התופעה יש נטייה לפרק גוף ולשייך לכל חלק פעולה מסוימת, מתוך ראייה כי לכל חלק תפקיד אחר במערכת, לדוגמה: יעל מטפס על הר. הגופים: "יעל, הר, סלעים", "שריר, רגל". קושי אחר נובע מהתעלמות מגופים במערכת, כולל פעולות

שהתרחשו, והם חלק מהתופעה.

ב. הסבר נרטיבי בשפת האנרגיה

ניתוח התופעות הפיזיקליות חשף כי הדרישה לתיאור נרטיבי של התופעה היוותה משימה מורכבת, קשה ומאתגרת עבור התלמידים (יותר מתיאור באמצעות תרשימי זרימה), שהשתקפה במספר היבטים: חשוב לדעת מהן צורות האנרגיה, כדי להצליח במקרים העוסקים בהמרות אנרגיה (Herrmann-Abell & DeBoer, 2011). תלמידים טעו בקביעת סוג האנרגיה, כלומר, שיום נכון של סוג האנרגיה לפי השינוי, לדוגמה: אנרגיית מהירות במקום אנרגיית תנועה, אנרגיית חיכוך במקום אנרגיית חום, אנרגיית כוח במקום אנרגיה כימית בשרירים וכהנה.

תלמידים סבורים כי אנרגיה וכוח מועברים במהלך אינטראקציה מכאנית (Herrmann-Abell & DeBoer, 2011). הבלבול הרב, בין המושג אנרגיה לכוח ניכר בתיאור מעברי אנרגיה, לפיכך ההסברים לתופעות בשפת האנרגיה כללו מושגים בהקשרים לא נכונים, כגון כדור שמאבד מכוחו בזמן התנועה או במהלך טיפוס – ההר מעביר אנרגיה לגוף שעולה. קיימת תפיסה שגויה נוספת, לפיה, לאובייקט יש אנרגיה כי אדם העביר לו אנרגיה (Herrmann-Abell & DeBoer, 2014; Watts, 1983).

המושג חיכוך כיכב בתשובות התלמידים. ברמת כיתה זו אין הכוונה להתמקד בהבחנה בין כוח לעבודה, אלא ההתייחסות היא לתופעה כללית, שהיבטיה כוללים את כוח החיכוך, הפחתה באנרגיה והתחממות (Lacy, et al., 2014). ההתייחסות למושג חיכוך הייתה כצורת אנרגיה הנובעת ממגע בין גופים, שלפחות אחד מהם בתנועה, או הוא הגורם להיווצרות חום במערכת, או/גם הגורם לירידה באנרגיית תנועה או הסיבה להפסקת תנועתו של גוף, לדוגמה: עצירת כדור מטוטלת נגרמת מהגדלת אנרגיית חיכוך. עבודת הסיכום זכתה להצלחה הרבה יותר גדולה בקריטריון תיאור התופעות בהשוואה לשאלון הידע, אם כי ניכרו בעיות התנסחות בשפה רהוטה ותקנית.

ג. מיומנויות חשיבה מסדר נמוך ומסדר גבוה

הטקסונומיה של מטרות החינוך היא מסגרת המשלבת ממדי ידע ותהליך קוגניטיבי, ומשמשת לסיווג יעדים, פעילויות והערכות של יחידת הוראה, כציפייה למה שהתלמידים אמורים ללמוד וכן לשיפור תכנית הלימודים וההוראה בדיעבד (Krathwohl, 2002). הבנה של מטרות השימוש במיומנות (אסטרטגיה) מסייעת לתלמידים להבין את נחיצותה ולזהות את המצבים שבהם רצוי להשתמש בה (משרד החינוך, 2009). שאלון הידע כלל, בין השאר, דרישה להסביר את בחירת התשובה (בשאלה רב-ברירתית) או מתן נימוק לתופעה על פי חוק שימור האנרגיה. התלמידים היו אמורים לבנות טיעון מדעי כהלכה, לנסח תשובה מיטבית ולהפגין בקיאותם בנושא. תלמידים רבים סיפקו הסברים חלקיים, לא מדויקים ומעגליים

(ההסבר לא היווה חידוש אלא הייתה חזרה על המידע שהופיע בשאלה או בסעיף הקודם). התשובות התאפיינו יותר על פי מיומנויות חשיבה מסדר נמוך ופחות מסדר גבוה, יש לציין - פחות מהמצופה על פי השערות המחקר.

מחקרים הציגו מקרים בהם תלמידים הכירו בעקרון של חוק שימור האנרגיה, אך פחות מסוגלים ליישמו במקרים ספציפיים (Goldring & Osborne, 1994; Herrmann-Abell & DeBoer, 2014). תלמידים התקשו לשזור נכון את המושג חוק שימור האנרגיה בתשובותיהם. ניחא שהניסוח היה בלשון כמויות אנרגיה, ללא אזכור שמדובר בשינויים בכמויות האנרגיות. הדגש הוא על חוסר מיומנות ליישם את עקרון חוק שימור האנרגיה בתופעה המדוברת (גם סינתזה – מיומנות חשיבה מסדר גבוה (Kratwohl, 2002). מעבר לציטוט, לא ניתן להבין מההסברים האם הייתה הפנמה למהות העקרון של חוק שימור אנרגיה. השימוש הנרדף במונחים "שימור" ו"חיסכון" בחיי היומיום גורם לתלמידים להבין את עקרון שמירת האנרגיה בצורה שגויה. במציאות, החיסכון באנרגיה עולה לסדר היום בקשר למשבר אנרגיה, והתלמידים חושבים על שימור האנרגיה (במסגרת חוק שימור האנרגיה) כחיסכון באנרגיה, כפי שעוסקים בנושא דלדול מקורות אנרגיה (Goldring & Osborne, 1994). גם במחקר נוכחי זה ניתן היה להיווכח במקרים, שתלמידים, מסתבר, לא הבינו את המושג חוק שימור האנרגיה. אמנם ההסברים פתחו "על פי חוק שימור האנרגיה..." אך ההסבר היה שגוי. לדידם, קיימת התרחשות תמידית כי האנרגיה נשאר/נשמרת לעד. נושא העבודה היה לבחירת התלמידים. רבים מהם התקשו בהבחנה של מקורות אנרגיה, מהות אנרגיה פוטנציאלית (כבידתית, קפיצית, אלסטית), אנרגיית מיתוג (האנרגיה הנחוצה ללחיצה על מתג המעגל החשמלי, אך אינה מהווה המשך בשרשרת המרות אנרגיה) ועוד, לכן הסתבכו עם השלבים של המרות האנרגיה ותיארו את השינויים של צורות האנרגיה כסדר הכרונולוגי של התרחשות האירועים בתופעה.

5.3 שאלת מחקר שלישית – מיומנויות מידול והעברה

בשאלה זו נבדק הקשר בין ההכוונה המטה-קוגניטיבית בשיעורי הפיזיקה בנושא המרות אנרגיה על מיומנויות מידול והעברה. בהשערת המחקר נטען כי ההכוונה המטה-קוגניטיבית תשפר בקרב התלמידים את מיומנות המידול (ייצוג חזותי) ומיומנות ההעברה (ניתוח תופעה חדשה), בהשוואה לאלו שלא קיבלו תמיכה מטה-קוגניטיבית. לצורך בדיקת השערת המחקר השלישית, נערכו השוואות בשאלון הידע (pre ו-post) ובעבודת הסיכום לבדיקת מיומנות המידול, ונבדקה מיומנות ההעברה בעבודת הסיכום.

א. מיומנות המידול

שימוש בטכניקות הוראה מטה-קוגניטיביות, לרבות תרשימי זרימה כאמצעים גרפיים, מסייע בארגון הנושא הנלמד, הבנתו וזיכרתו (Hartman, 2001), בעל השפעה משמעותית על ההישגים (Ellis, et al.,)

2014), והערכת דיאגראמות אנרגיה, פרי מחשבתם של התלמידים, מגלמת יתרון עיקרי בהבעת רעיונותיהם לגבי האנרגיה בתרחיש הפיזיקלי (Gray, et al., 2019). ספרות המחקר מציעה מודלים רבים שאמורים להסביר את תופעת המרות האנרגיה באופן ברור וליוצר ולמתבונן, לדוגמה: תרשימי עמודות, תרשימי עוגה, תרשימי זרימה (למיניהם) (Harrer & Paul, 2019; Hobson, 2004; Scherr, et al.,), (2016), אך אליה וקוץ בה – כל תרשים מדגיש היבטים שונים ולכן עשוי לייצג מושגים שונים של אנרגיה (Harrer & Paul, 2019), תועלתם מוגבלת במעקב אחרי זרימת האנרגיה בין הגופים (Scherr, et al.,), (2016), אינם דינמיים ומייצגים זמן בתמונות (Seeley, et al., 2021). מחקר זה בדק מיומנויות מידול של תלמידים באמצעות תרשימי זרימה ותרשימי עוגה הקלאסיים ולא עסק בפיתוח מודלים ויזואליים להמחשת המרות אנרגיה, ובכל זאת תיאור מעבר האנרגיה והמרתה משקף חשיבה שימושית להשגת תפוקה של המערכת (Sathyaseelan, 2015).

ממצאי שאלון הידע ועבודת הסיכום מאששים מסקנות חוקרים כי להכוונה מטה-קוגניטיבית יש השפעה חיובית על מיומנות המידול. מבדיקת מיומנות המידול נמצאו הבדלים מובהקים בין שתי קבוצות המחקר בשאלון הידע ובעבודת הסיכום. בהתייחס לתרשימי הזרימה ותרשימי העוגה, קבוצת ההתערבות ביטאה בצורה טובה יותר יכולת תרגום הסיפור הנרטיבי של התופעות לתרשימים, ביחס לקבוצת ההשוואה. בשתי קבוצות המחקר הממוצעים ההתחלתיים של מדד מיומנות המידול היו נמוכים (טווח ממוצעים 40-30), אך ניתן להיווכח כי ההכוונה המטה-קוגניטיבית היטיבה, כאשר בקבוצת ההתערבות חל שיפור טוב יותר במדד זה בשאלון ה-post (70 ובקבוצת ההשוואה 52) ובעבודת הסיכום הממוצע היה 63, בעוד שקבוצת ההשוואה דשדשה מאחור עם ממוצע 41 בלבד. ניתן לאפיין את הקשיים בהתייחס לקריטריונים כפי שנוסחו במחווון עבודת הסיכום, אך רלוונטיים גם לגבי תשובות התלמידים במבחן הידע:

1. כתיבה נכונה של שרשרת המרות האנרגיה בתרשים זרימה תוך כתיבת צורת האנרגיה והגוף לגביו חל השינוי.

ניתוח המרות האנרגיה של התלמידים שיקף תפיסה שגויה לפיה, השינויים בכמויות האנרגיה מתרחשים לפי סדר השלבים שניבנו במערכת. תלמידים בנו מערכת/תיארו סרטון מ-YouTube לשם הדגמת תגובת שרשרת בסגנון מכונת רוב-גולדברג (Rube-Goldberg Machine),²⁴ מיזם פופולארי במסגרת שיעורי פיזיקה בבתי הספר ועד תחרויות ארציות

[/https://www.rubegoldberg.com](https://www.rubegoldberg.com)

²⁴ אתר האינטרנט הרשמי של מכונת רוב גולדברג.

בקרב חובבי האתגר (Harrer, et al., 2013). הפעלת המכונה/המערכת מערבת כוחות, התנגשויות, שימור אנרגיה, שימור תנע ועוד (Xu, 2021). מנקודת ראות של אנרגיה, ישנם שלבים בהם כן יש העברת אנרגיה מגוף לגוף, אך בחלק מהשלבים אצורה בגופים אנרגיה פוטנציאלית (כובדית, קפיצית, אלסטית), עקב הפעלת כוח על הגוף בעת הקמת המיזם. האנרגיה הפוטנציאלית מומרת לאנרגיה מכאנית בעקבות הפעלת כוח של הפריט מהשלב הקודם.²⁵ לדוגמה: ספר מפיל ספר. ספר ב' נופל בעקבות ההתנגשות עם ספר א' והפגיעה בו גורמת להמרת אנרגיה פוטנציאלית כובדית לאנרגיית תנועה (בתוספת שינוי באנרגיית התנועה של ספר א').

2. תיאור שלושה מצבים מסוימים (לבחירת התלמידים), המוצגים בתרשים עוגה / גרף. כתיבת

צורות האנרגיות הקיימות בשלבים שנבחרו. אין צורך לדייק בכמויות או באחוזים.

תלמידים רבים התקשו להפנים שתרשים עוגה מתאר נקודת זמן ולא סיכום של כל צורות האנרגיה הרלוונטיות במערכת. חוסר תשומת לב או חוסר עקביות ניכרו כשתלמידים סיפרו את התופעה בשפת האנרגיות ושרטטו תרשימי עוגה באופן קצת שונה.

תרשימי עוגה מחולקים לגורות, המציינות את הכמויות היחסיות של צורות האנרגיה, מכלל האנרגיה במערכת. שימור האנרגיה בתוך המערכת מיוצגת על ידי העיגול השלם, אם כי החיסרון של ייצוג חזותי זה בתיאור מעבר אנרגיה לתוך המערכת או ממנה (Scherr, et al., 2016). תהליך המרות האנרגיה הוא תהליך טבעי רציף. תרשים עוגה מתאר את החלק היחסי של כל שינוי/אפשרות לשינוי של האנרגיה במערכת, בנקודת זמן ספציפית, מתוך כל התהליך הרציף.

3. במעבר מתרשים לתרשים נשמר יחס נכון של השינויים בכמויות האנרגיה המומרות בתופעה.

עקביות בשינויים של צורות האנרגיה היה מאתגר מאוד למרבית התלמידים בשתי קבוצות המחקר. מיומנות החשיבה היא מסדר גבוה, משום שצריך לקשר באופן קוהרנטי בין תיאור התופעה לתרשימי הזרימה ולבין תיאור שלושה מצבים מהתופעה. מערך דרישות מעין זה מכונה בפי החוקרים הרמן-אבל ודבואר (Herrmann-Abell & DeBoer, 2011) עומס קוגניטיבי (Cognitive Load), הכרוך בפרשנות התרחיש והסקת מסקנות לוגיות. לטענתם, משימה מורכבת יוצרת קושי בנוגע לפריטים, מאשר פשוט לזהות את האמת של אמירה כללית אודות שימור האנרגיה. לפיכך, מספר תלמידים לא ביצעו חלק זה, אחרים התייחסו רק למצב אחד, או כאלו שהתייחסו למצבים המאופיינים בגודל מקסימאלי של צורת אנרגיה מסוימת. גם כשניתנה לתלמידים לבחור מצבים בתופעה שניתחו, הם לא הצליחו להשתחרר

²⁵ שרגא, ע. (2019). המכונה המורכבת ביותר. מכון דוידסון. הזרוע החינוכית של מכון ויצמן למדע.

מהתפיסה השגויה כי תרשים עוגה מתאר מצב רגעי ולא משקף את מכלול האנרגיות במערכת או כפי שתיארו בתרשים הזרימה.

ב. מיומנות ההעברה

החוקרים האמר ועמיתיו (Hammer, et al., 2005) הדגישו את העובדה כי למטה-קוגניציה או לפיגומים מטה-קוגניטיביים יש תפקיד חשוב בתמיכה בהעברת ידע ומיומנויות. בתהליך העברה באופן מכוון, הלומד מודע לבחירה שהוא מבצע ומכיר את תבנית החשיבה, מנסה גישה אחרת ללמוד, שמוביל לחיפוש מכוון אחר ידע מושגי (Conceptual Knowledge) מחוויותיו היומיומיות. זאת, להבדיל מהעברה פאסיבית, אשר סביר שתתרחש אם יעשה שימוש חוזר בתבנית החשיבה. בכל מקרה, בשני המנגנונים יש צורך בלמידה קודמת, והעברה תתאפשר בצורה סבירה יותר אם התלמידים ראו את הרעיון הנתון בשני הקשרים נפרדים, או שמקבלים פיגומים מטה-קוגניטיביים.

מיומנות ההעברה נבדקה לפי נושא הבחירה בעבודת הסיכום. ממצאי המחקר הנוכחי מצביעים על כך שאין הבדל מובהק בין שתי קבוצות המחקר, קרי: ההכוונה המטה-קוגניטיבית לא עודדה יישום מיומנות ההעברה בקרב תלמידי קבוצת ההתערבות.

התלמידים היו אמורים לנתח תופעה פיזיקלית חדשה בעלת עקרונות מדעיים כפי שנידונו בשיעורים בנושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה. מיומנות זו היא דוגמה להעברה קרובה (Near Transfer), כפי שכינו אותה החוקרים פרקינס וסלומון (Perkins & Salomon, 1992), לפיה מיומנות ההעברה מתקיימת בין הקשרים דומים מאותו תחום.

ספרות המחקר מצביעה על מספר תנאים להתממשות מיומנות ההעברה, כגון: תרגול יסודי ומגוון, הפשטה מפורשת, ניטור עצמי פעיל, עוררות תשומת הלב (Perkins & Salomon, 1992). החוקרות במברגר ודיוויס (Bamberger & Davis, 2013) בדקו שינויים בידע תוכן והעברה בהקשר של הוראה מבוססת-מודל בשלושה נושאים, שכל אחד בעל דרגת היכרות מסוימת עבור התלמידים (נלמד, מוכר, לא נלמד). תוצאות מחקרן הראו כי לגבי נושא שנלמד בכיתה או כזה שהוא מוכר – היה שיפור בידע ובהעברה, ואילו נושא שהיה שונה ורחוק ממה שנלמד – לא חל שיפור משמעותי בהעברה קרובה.

מכאן ניתן להניח מה היו חלק מהחסמים של התלמידים, במחקר הנוכחי, בעטיים לא התרחשה העברה.

1. ניטור-עצמי פעיל (Active Self-Monitoring)

חלק מנושאי העבודות היו תופעות שכבר נותחו בכיתה, או חיקוי של הדוגמה שהובאה בדף ההנחיות, כגון: ירי חץ מקשת, קפיצה בטרמפולינה, זריקת כדור לסל, בעיטה בכדור או גוף נופל. ניתוח שרשרת המרות האנרגיה פשוט הועתק מהמחברת, כמו כן גם תרשימי העוגה מתוך דף ההנחיות. לא התרחש שינוי

תודעתית, מעבר לנלמד בכיתה. בחלק מהעבודות ניכר המאמץ שהוקדש יותר בחזות העבודה, הפקת הצילום, במקום ניסוח נכון ומדויק של הפרטים הנדרשים העבודה. החוקרים פרקינס וסלומון (Perkins & Salomon, 1992) טענו כי אחד התנאים להעברה נקרא ניטור-עצמי פעיל (Active Self-Monitoring), בו ההשתקפות המטה-קוגניטיבית על תהליכי החשיבה מקדמת העברת הכישורים. ההעברה תלויה בתהליך החשיבה עצמו, תוך הסתמכות על זיכרון, לפיו הלומד מודע מתי להשתמש באסטרטגיה זו. סביר להניח כי במחקר זה תלמידים רבים לא גילו העברה עקב אי ניטור-עצמי פעיל, משום שלא היו מספיק מודעים לתהליכי החשיבה הנחוצים לזיהוי איך ומתי ליישם את מיומנות ההעברה. ניתן לשער כי לתלמידים היו קשיים בנושא הנלמד, או שהוא עדיין זר להם, או מניעת התנסות אישית בתופעה אחרת. סיבות נוספות יכולות לנבוע מחוסר מוטיבציה או חוסר עניין או עצלות, פשוט לסיים את העבודה מהר ובטוח.

2. יכולת הפשטה מפורשת (Explicit Abstraction)

החוקרים פרקינס וסלומון (Perkins & Salomon, 1992) הצביעו על תנאי נוסף להעברה שהיא תלויה-סיטואציה, הקרויה הפשטה מפורשת (Explicit Abstraction), לפיה ללומדים תכונות קריטיות מופשטות לסיטואציה, כלומר: יישום פתרון לבעיה קודמת יכול לשמש פתרון לבעיה מקבילה. נושא עבודה פופולרי היה דומינו ספרים, רעיון שנלקח מסרטונים שהתפרסמו באתר You Tube. בשיעורים התלמידים לא התנסו בבניית מכונת/מערכת רוב-גולדברג, ההתרשמות הייתה רק מסרטונים. אמנם, עבודות אלו ניחנו בגיוון של השלבים במערכת, אבל הן הועתקו מהסרטון המקורי עם שינוי חפץ שהועמד בהתחלה או בסוף. כמעט כולן סבלו משגיאות או אי דיוקים בנייתן שרשרת המרות אנרגיה (כפי שהוסבר בסעיף הקודם על מיומנות המידול). התלמידים איתרו בנקל סרטונים לפי הכותרת "המרות אנרגיה", מן הסתם הם ידעו כי מדובר בסיטואציות הקשורות לנושא, אך לא השכילו לביים מצג שונה של גופים. ניתן להניח כי תלמידים אלו ידעו למצוא סיטואציה שלא התנסו במהלך השיעורים, אך עקב חוסר ביכולת הפשטה מפורשת לא ידעו לתת פרשנות מספיק מדויקת כאשר מדובר בסיטואציה קצת שונה. גם תלמידים אלו נשארו באזור הבטוח תוך הישענות על סיוע חיצוני.

מכל קבוצת מחקר התקבלו מעט עבודות, שניתן היה לקבוע כי התבצעה העברה במידה מסוימת. מחברי העבודות הטובות השכילו ליזום בחירת משתנים בלתי תלויים מעניינים והשפעתם על מספר משתנים תלויים, תוך שיקוף הקשר ביניהם והסקת מסקנות נכונות.

אחת הדרישות להגשת עבודת הסיכום הייתה כתיבת רפלקציה, שיכולה הייתה לסייע בהבנת הרציונל של העבודה, להבדיל מאלו של קבוצת ההתערבות. ניתן היה להתרשם מהרפלקציות על תהליך החשיבה של עורכות העבודות, מה הוביל אותן לבחור בנושא ולבדוק אילו גורמים הן שינו והשפעתם על הגורם

המושפע. הרפלקציות והגורמים המשפיעים במערכת אותם בחרו לשנות, למעשה מעידים על יכולת הפשטה מפורשת - חיפוש במודע אחר בעיה חדשה.

5.4 סיכום

פיזיקה מזוהה כמקצוע קשה להוראה וללמידה, תלמידים מתקשים בהבנת מצבים פיזיקליים יומיומיים ובשימוש במושגים פיזיקליים ועקרונות להסבר מצבים אלו (Mualem & Eylon, 2010), זהו מקצוע משעמם ולא רלוונטי (Williams, et al., 2003), אך רלוונטי למי שמתעד לעסוק בו (Osborne & Collins, 2001), ובהשוואה למקצועות המדעיים הוא פחות מעניין בעיני התלמידים (ובעיקר בקרב הבנות), זהו מדע מופשט למדי, מורכב, קשה, אינו אינטואיטיבי ולא מובן (Duit, et al., 2014). מצד שני, החוקרים האזרי ואחרים (Hazari, et al., 2010) סברו כי אלו המבצעים עבודתם באהבה יהיו יצרניים יותר מאלו שהם פחות נלהבים. החוקרים רואים קשר חיובי בין מכוונות למידה לבין פריון עתידי, שכן מכוונות הלמידה משמשת מניע לפעולה ויכולה להשפיע על הצלחת הקריירה בעתיד. עם זאת, מטה-קוגניציה היא גורם מפתח המשפיע על מאמצי למידה מדעית (Thomas, 2019).

5.5 מגבלות המחקר

במחקר זה קיימות מספר מגבלות מחקר שזוהו במהלך העבודה, כדלהלן:

גורמים חיצוניים

א. המחקר נערך במסגרת מערכת השעות הפורמליות של לימודי פיזיקה בכיתות שהשתתפו במחקר, והוקצו בסך הכול אחת עשרה שעות ללימוד הנושא כולל העברת השאלונים. מערכי השיעור עם ההכוונה המטה-קוגניטיבית היו מורכבים יותר בהשוואה לתוכנית ללא ההכוונה, אך לשם אחידות וקביעת מבחן שכבתי לא הייתה הסכמה הדדית להארכת תקופת לימוד הנושא. לפיכך, ייתכן כי תוספת שעות הוראה הייתה משפרת ביצועי התלמידים בשתי קבוצות המחקר ומטמיעה בצורה יעילה יותר את הכלים המטה-קוגניטיביים בקבוצת ההתערבות (Georghiades, 2004).

ב. המחקר נערך בסיועם של שני מורים לפיזיקה. אמנם כל מורה קיבל ערכת מערכי שיעור מסודרים, אך אי אפשר להתעלם מאישיות שונה שלהם, סגנון הוראה ייחודי (Koballa, 1995; OECD, 2010; Osborne, et al., 2003) ואולי רמת בקיאות שונה בחומר הנלמד (לדוגמה: Mualem & Eylon, 2010; Williams, et al., 2003). המגע האישי של המורה, האווירה הלימודית בכיתה, אופן הנגשת תכני הלימוד,

התייחסותם לקשיים ועוד, אלו גורמים שאינם תלויים במשתנים שנבדקו במחקר נוכחי זה ובכל זאת עשויים להשפיע על נטיות ועמדות התלמידים כלפי המקצוע.

ג. המחקר נערך בבית ספר אחד, בארבע כיתות לימוד. אין שליטה למנוע זליגה של תכנים וסיכומי שיעור בין שתי קבוצות המחקר. סביר להניח שזה קרה היות והיו מספר זוגות תאומים וחברים שלמדו בכיתות מקבילות. כך, ייתכן מצב בו תלמידים מקבוצת ההשוואה נחשפו לאופן ניתוח תופעה פיזיקלית לפי הכלים המטה-קוגניטיביים ויכלו לנתב עצמם טוב יותר.

כלי המחקר

א. מיומנות מטה-קוגניטיבית לא נבחנה באופן מפורש כתהליך חשיבה בקרב התלמידים, היא שולבה בהקשר לתהליכי הלמידה בכיתה. יצירת התנאים בכיתה, גם עם הכוונה מטה-קוגניטיבית, לא מספיקים כדי להבין באופן מפורש מהי למעשה "מיומנות מטה-קוגניטיבית", כגון: כיצד מודל ארבעת-הקודקודים סייע לתלמידים להתעמת עם הנושא הנלמד, מה הניע אותם לענות כפי שענו, עד כמה הם היו מודעים מה דרוש לענות על השאלות, והאם ביצועיהם טובים דיים (בן-דוד, 2009). התוצרים שנבדקו היו על סמך הבנה קונספטואלית בשאלון הידע ובעבודת הסיכום, לפי רמות החשיבה מסדר נמוך וגבוה, כאשר השערות המחקר היו שהוראת הנושא עם הכוונה מטה-קוגניטיבית תשפר את הישגי הידע, יכולת טיעון, מידול והעברה.

ב. שאלון תפיסת הפיזיקה כלל מעט היגדים המשויכים לשני היבטים. שאלון קצר אינו משקף דיו את ההיכרות עם התלמידים, מצמצם את האמינות, וחוסר בהיגדים דומים לא נותן תמיכה סטטיסטית חזקה (Thomas, et al., 2008).

ג. המחקר נשען ברובו על ניתוח כלים כמותניים, בחיזוק כלי איכותני – הריאיון. התקיימו מעט ראיונות עם תלמידים, שהפחית משמעותית קבלת תמונה רחבה ומדויקת יותר של תפיסות התלמידים ועמדותיהם, העלאת קשיים והתלבטויות.

ד. היעדר תצפיות בשיעורים מעיב על ווידוא מידת ההטמעה בפועל של מערכי השיעור עם הכוונה מטה-קוגניטיבית וללא הכוונה. התצפיות היו מאששות את היישום של מערכי השיעור כמתוכנן, תוך הבדלה מוחלטת בין שיעורים עם הכוונה וללא הכוונה. כמו כן, ייתכן והיו מציפות גורמים נוספים שיכולים להסביר את ההבדלים בין שתי קבוצות המחקר.

5.6 המלצות תיאורטיות

הוראת הנושא במחקר זה הושתתה על מודל ארבעת הקודקודים: זיהוי גופים ופעולות, שפת האנרגיה, מידול ומטה-קוגניציה. כל קודקוד מהווה נקודת מבט על הנושא, כאשר מטה-קוגניציה מחברת ביניהם. היות ומטה-קוגניציה אינה מתפתחת באופן אוטומטי בקרב כל התלמידים, למורים יש חלק חיוני

בהתפתחותה (De Jager, et al., 2005). על פי מחקרים, תלמידים שנעזרים במטה-קוגניציה נוטים לפתח הבנה מושגית (Avargil, et al., 2018), השימוש באסטרטגיות מטה-קוגניטיביות בתהליך ההוראה והלמידה מהווה גורם חשוב בחיזוי תוצאות למידה מוצלחות, במיוחד בפעילויות עם בעיות הבנה לתלמידים, לרבות פיזיקה (Sáiz-Manzanares & Montero-García, 2015), הדרכה ותרגול ישיר של כישורים מטה-קוגניטיביים יכולים לשפר ביצועי ניטור מטה-קוגניטיבי, למידה, העברה ומוטיבציה בשיעורי מדעים בחטיבת ביניים (Zepeda, et al., 2015). על כן, ממצאי המחקר עשויים לעורר חשיבה בדבר תרומה אפשרית של מודל ארבעת הקודקודים, כפלטפורמה לשיפור הוראת הנושא הנלמד בכיתה הטרוגנית, ברמות הישגים שונות.

5.7 המלצות והשלכות יישומיות

א. על פי תוכנית הלימודים במדע וטכנולוגיה בישראל, מספר השעות המומלצות בכיתה ז' להוראת הנושא: אנרגיה – סוגים, המרות וחוק שימור האנרגיה, הוא חמש שעות, עם הדגשים לאלו סוגי אנרגיה להתייחס, ובכיתה ט' – חלוקת השעות נעשית בין סוגי האנרגיה השונים, הנלמדים בהפרדה זה מזה, לצד הערה דידיקטית שיש לרענן את נושא המרות אנרגיה משום שנלמד בכיתות ז' וח'. ממצאי מחקר נוכחי זה התקבלו לאחר הוראת הנושא במשך עשרה שיעורים, בכיתות ט' הטרוגניות. ניכר מהישגי התלמידים בשאלון הידע ותוצרי עבודת הסיכום שיש צורך להקדיש יותר שעות לביסוס הנושא. לא די שחלק מסוגי האנרגיה וחוק שימור האנרגיה נלמדו בכיתות ז' וח', אלא יש צורך בביסוס הנושאים והתייחסות אליהם, מעבר לריענון.

שיעורי פיזיקה אמורים להיות מגוונים, מרתקים ורלוונטיים כדי לעורר אהדה, חיבה, עניין וסקרנות של התלמידים כלפי המקצוע ותכני הלימוד. להלן מספר הצעות, מבוססות-מחקרים, שקצרו פירות הצלחה, לרוב בקרב תלמידי חטיבת ביניים:

ב. תפיסת הפיזיקה.

הקדשת מספר שיעורים להבהרת חשיבות הפיזיקה במעגלי שייכות שונים: רלוונטי-אישי-בהווה, רלוונטי-אישי-לעתיד, הבנת תופעות עולמיות, תרומה טכנולוגית-חברתית וכהנה. השאיפה היא הקניית חינוך פיזיקה לכול: חשיפת התלמידים להיבטים שונים של הפיזיקה כדי לעורר בהם את המודעות להבנת המשמעות של פיזיקה יומיומית, היכרות טובה יותר של תופעות והגברת הסיפוק מהמקצוע (לדוגמה: (Angell, et al., 2004; Thomas, et al., 2008; Trumper, 2006).

ג. זיהוי גופים ופעולות, מתוארים בשפת האנרגיה.

תרגול זיהוי גופים ופעולות ותיאור התופעה בשפת הפיזיקה יכול להתבצע על ידי ניתוח איורים מבדרים,

סרטונים, סרטוני אנימציה, לדוגמה: פרויקט מבוסס חקר מדעי (PBIS)²⁶ - לדבר בשפת הפיזיקה (Harrer, et al., 2013). הצעת החוקרים נבעה מטענה כי תלמידים נוטים להתמקד בגופים ובתהליכים ולא בשינויים המתרחשים במערכת המרות אנרגיה. מחקרם מושתת על ניתוח איורים ברוח מכונת רוב-גולדברג, תוך התמקדות במושגים ופעולות הקשורים לעולם המרות אנרגיה ושינויים במערכת. מלבד זאת, הסבר ותיאור נרטיבי של תופעות פיזיקליות במגוון משימות יכול להוות אמצעי טוב לשיפור ניסוח מילולי וטיעון מדעי של התלמידים.

ד. מודלים.

1. חשיפת תלמידים למודלים שונים.

חשיבה מבוססת מודלים היא תהליך מתוחכם שאמור להיות חלק מפורש מהלמידה. המורים צריכים להפגין רגישות לשוני בין המודלים בעת שימושם להסביר תופעות מדעיות. היות והתלמידים מפרשים ספרי לימוד ומודלים של מורים, הם מחליטים מה המודל מביע עבורם לגבי מושג ומה לא. לכן יש סיבה טובה לשימוש מספר מודלים במקביל (Harrison & Treagust, 2000). יש לעודד את התלמידים להשתמש במודלים, לשם פיתוח ידע מטה-קוגניטיבי, תקשורת של ידע ומיומנות העברת למידה (Bamberger & Davis, 2013).

2. פיתוח מודל חופשי.

מודל מייצג תופעה, מערכת או אובייקט. בניית המודל מתאפשרת הודות להפגנת יכולות של הלומד: התבוננות על התופעה (מערכת או אובייקט), איסוף נתונים, הפעלת שיקולי דעת ומתן פרשנות. פיתוח מודל הוא כלי לביטוי ההבנה של הלומד לגבי המערכת, ברמה של הפגנת יכולות מטה-קוגניטיביות (Constantinou, et al., 2019). לכן, לאפשר לתלמידים לבנות מודל, על פי מחוון, שיבהיר את עקרון המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה. המודל, לא רק שיהווה הזדמנות לפתח את מיומנויות החשיבה של התלמידים, אלא גם ישקף את מידת ההבנה שלהם בהקשר לנושא הנלמד.

ה. לימוד פיזיקה בגישה המסורתית וחד-גונית מעוררת תחושות לא נעימות בקרב התלמידים ואינה מעודדת למידה משמעותית (Aikenhead, 2009; Duit & Treagust, 2012; Fortus, et al., 2019; Mualem & Eylon, 2010). הכוונה מטה-קוגניטיבית תוך יצירת רלוונטיות לעולמם של התלמידים, יכולה להתבצע בשילוב פעילויות במהלך השיעורים ועשויה לרענן את האווירה הלימודית, כגון: פעילויות

²⁶ Project-Based Inquiry Science

<https://www.compadre.org/per/perc/2012/files/MSStudentsTalkEnergy2012.pdf>

בכיתה ומחוץ לכיתה, פתרון בעיות ושימוש בתוכנות (Toli & Kallery, 2019), הדמיות (Moser, et al., 2017), משחקי וידאו (Anderson & Barnett, 2013), הפעלת צעצועים בכיתה (Stein & Miller, 1997).

5.8 המלצות למחקר עתידי

- א. לבדוק את הסיבות לירידה במדדי תפיסת הפיזיקה בקבוצת ההתערבות ביחס לקבוצת ההשוואה. איך החשיבה המטה-קוגניטיבית השפיעה על ביקורתיות גדולה יותר בקבוצת ההתערבות?
 - ב. לערוך מחקר אורך ולבדוק מתאם בין תפיסת הפיזיקה בקרב התלמידים לבין הישגיהם בסוף השנה, לבין בחירת מסלול הלימוד בתיכון ולבין המסלול הנלמד בפועל.
 - ג. לבדוק השפעת תמיכה מטה-קוגניטיבית על מיומנויות מטה-קוגניטיביות, לרבות פיתוח מודל לנושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה (Bamberger & Davis, 2013).
-

רשימה ביבליוגרפית

בן-דוד, ע' (2009). מטה-קוגניציה בהוראה ובלמידה. *אאוריקה*, 27, 9-1.
<https://www.matar.tau.ac.il/wp-content/uploads/2015/02/newspaper27-doc06.pdf>

גולדשמידט, ר' (2010). החינוך למדעים ולטכנולוגיה. ירושלים: מרכז המחקר והמידע של הכנסת.
https://fs.knesset.gov.il/globaldocs/MMM/92c38d55-f7f7-e411-80c8-00155d010977/2_92c38d55-f7f7-e411-80c8-00155d010977_11_8743.pdf

גלסנר, א', בן דוד, ע' ואיגר, ע' (2009). *פיתוח חשיבה מסדר גבוה – סקירת ספרות*. משרד החינוך המזכירות הפדגוגית, האגף לתכנון ולפיתוח תוכניות לימודים, והאוניברסיטה הפתוחה, המחלקה לחינוך ולפסיכולוגיה, היחידה להשתלמות עובדי הוראה. ירושלים. 10 למרץ, 2011.
http://meyda.education.gov.il/files/Tochniyot_Limudim/Portal/Skirot/Chashiva.pdf

הרפז, י' (2014). תנאים ללמידה משמעותית. *הד החינוך*, פ"ח (4), 45-40.
ויצמן, א', אריאלי, ר', חזן, א', יחיאלי, ת', להבי, י', מועלם, ר' ואילון, ב' (2013). מאנרגיה לשינוי באנרגיה: גישה חדשה להוראת האנרגיה בחט"ב. *תהודה*, עיתון מורי הפיזיקה. כרך 31 (2).
<https://pte.weizmann.ac.il/Uploads/dbsAttachedFiles/32-43.pdf>

יחיאלי, ת' (2012). הבנת מושגים באנרגיה באמצעות מפת מושגים. *קריאת ביניים*. גיליון 19, 21-34.
לימודי מדע וטכנולוגיה בחט"ב (1996). האגף לתוכניות לימודים, משרד החינוך והספורט.
מני-איקן, ע' ורוזן, ד' (2013). *הוראת המדעים בישראל: מגמות, אתגרים ומנופים לשינוי*. מכון הנרייטה סאלד.

משרד החינוך, האגף לתכנון ופיתוח תוכניות לימודים (2009). *אסטרטגיות חשיבה מסדר גבוה - מסמך מנחה למתכנני תוכניות לימודים ארציות ומקומיות ולמפתחי חומרי למידה*. משרד החינוך.
https://meyda.education.gov.il/files/Tochniyot_Limudim/Portal/EstrategiyotChashiva.pdf

ספקטור-לוי, א', שרץ, ז' ואלון, ב' (2006). ללמ(ו)ד כיצד ללמוד – אסטרטגיה להוראת מיומנויות למידה. *קריאת ביניים*. גיליון 9, 15-21.

קליין, ש' (2016). *מחר 98 – הדוח ויישומיו*. היזמה למחקר יישומי בחינוך, האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים.

<http://education.academy.ac.il/SystemFiles/22972.pdf>

Aikenhead, G. S. (2009). Research into STS science education. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 9(1).

Alsop, S., & Watts, M. (2000). Facts and feelings: Exploring the affective domain in the learning of physics. *Physics Education*, 35(2), 132-138.

- American Association for the Advancement of Science. (1993). *Benchmarks for Science Literacy*. Oxford University Press.
- American Association for the Advancement of Science. (1999). *Atlas of Science Literacy* (Vol. 1). AAAS Project 2061.
- American Association for the Advancement of Science. (2007). *Atlas of Science Literacy* (Vol. 2). AAAS Project 2061.
- American Association for the Advancement of Science. (2009). *Benchmarks for Science Literacy*. Project 2061.
- Anderson, J. L., & Barnett, M. (2013). Learning physics with digital game simulations in middle school science. *Journal of Science Education and Technology*, 22(6), 914-926.
- Angell, C., Guttersrud, Ø., Henriksen, E. K., & Isnes, A. (2004). Physics: Frightful, but fun. Pupils' and teachers' views of physics and physics teaching. *Science Education*, 88(5), 683-706. <https://doi.org/10.1002/sce.10141>
- Archer, L., DeWitt, J., Osborne, J., Dillon, J., Willis, B., & Wong, B. (2010). “Doing” science versus “being” a scientist: Examining 10/11-year-old schoolchildren's constructions of science through the lens of identity. *Science Education*, 94(4), 617-639. <https://doi.org/10.1002/sce.20399>
- Avargil, S. (2019). Learning chemistry: Self-efficacy, chemical understanding, and graphing skills. *Journal of Science Education and Technology*, 28(4), 285-298. <https://doi.org/10.1007/s10956-018-9765-x>
- Avargil, S., Lavi, R., & Dori, Y. J. (2018). Students' metacognition and metacognitive strategies in science education. In *Cognition, Metacognition, and Culture in STEM Education* (pp. 33-64). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66659-4_3
- Bächtold, M., & Munier, V. (2019). Teaching energy in high school by making use of history and philosophy of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 56(6), 765-796. <https://doi.org/10.1002/tea.21522>
- Baker, R. K. (2003). A framework for design and evaluation of internet-based distance learning courses: Phase one—framework justification design and evaluation. *Online Journal of Distance Learning Administration*, 6(2), 43-51. <https://www.westga.edu/~distance/ojdla/summer62/baker62.html>
- Bamberger, Y. M., & Davis, E. A. (2013). Middle-school science students' scientific modelling performances across content areas and within a learning progression. *International Journal of Science Education*, 35(2), 213-238. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.624133>
- Baram-Tsabari, A., & Yarden, A. (2011). Quantifying the gender gap in science interests. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 9(3), 523-550. <https://doi.org/10.1007/s10763-010-9194-7>

- Börner, K., & Scharnhorst, A. (2009). Visual conceptualizations and models of science. *Journal of Informetrics*, 3(3), 161-172. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2009.03.008>
- Brook, A. J., & Wells, P. (1988). Conserving the circus? An alternative approach to teaching and learning about energy. *Physics Education*, 23(2), 80.
- Constantinou, C. P., Nicolaou, C. T., & Papaevripidou, M. (2019). A framework for modeling-based learning, teaching, and assessment. In *Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education* (pp. 39-58). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30255-9_3
- Constantinou, C. P., & Papadouris, N. (2012). Teaching and learning about energy in middle school: An argument for an epistemic approach. *Studies in Science Education*, 48(2), 161-186. <https://doi.org/10.1080/03057267.2012.726528>
- Creswell, J. W. (2013). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage publications.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage publications.
- Daane, A. R., McKagan, S. B., Vokos, S., & Scherr, R. E. (2015). Energy conservation in dissipative processes: Teacher expectations and strategies associated with imperceptible thermal energy. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 11(1), 010109. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.11.010109>
- Dangur, V., Avargil, S., Peskin, U., & Dori, Y. J. (2014). Learning quantum chemistry via a visual-conceptual approach: Students' bidirectional textual and visual understanding. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(3), 297-310. <https://doi.org/10.1039/C4RP00025K>
- Davis, E. A. (1996). Metacognitive scaffolding to foster scientific explanations. Paper presented at the Annual Meeting of American Educational Research Association, New York, NY. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED394853.pdf>
- Davis, E. A. (2000). Scaffolding students' knowledge integration: Prompts for reflection in KIE. *International Journal of Science Education*, 22(8), 819-837. <https://doi.org/10.1080/095006900412293>
- Davis, E. A. (2003). Prompting middle school science students for productive reflection: Generic and directed prompts. *The Journal of the Learning Sciences*, 12(1), 91-142. https://doi.org/10.1207/S15327809JLS1201_4
- DeBoer, G. E. (2000). Scientific literacy: Another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 37(6), 582-601. [https://doi.org/10.1002/1098-2736\(200008\)37:6%3C582::AID-TEA5%3E3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/1098-2736(200008)37:6%3C582::AID-TEA5%3E3.0.CO;2-L)

- De Jager, B., Jansen, M., & Reezigt, G. (2005). The development of metacognition in primary school learning environments. *School Effectiveness and School Improvement*, 16(2), 179-196. <https://doi.org/10.1080/09243450500114181>
- DeWaters, J. E., & Powers, S. E. (2011). Energy literacy of secondary students in New York State (USA): A measure of knowledge, affect, and behavior. *Energy Policy*, 39(3), 1699-1710. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.12.049>
- DeWaters, J. E., & Powers, S. E. (2011, October). Improving energy literacy among middle school youth with project-based learning pedagogies. In *2011 Frontiers in Education Conference (FIE)* (pp. T1D-1). IEEE. <https://doi.org/10.1109/FIE.2011.6142961>
- DeWaters, J., Qaqish, B., Graham, M., & Powers, S. (2013). Designing an energy literacy questionnaire for middle and high school youth. *The Journal of Environmental Education*, 44(1), 56-78. <https://doi.org/10.1080/00958964.2012.682615>
- Dori, Y. J., & Avargil, S. (2015). Promoting metacognitive skills in the context of chemistry education. In *Relevant Chemistry Education* (pp. 119-141). Brill Sense.
- Duit, R., & Haeussler, P. (2012). Learning and teaching energy. In Fensham, P., Gunstone, R., & White, R. (Eds.), *The Content Of Science: A Constructive Approach To Its Teaching And Learning* (pp. 185-200). Routledge.
- Duit, R., Schecker, H., Höttecke, D., & Niedderer, H. (2014). Teaching physics. In *Handbook of Research on Science Education, Volume II* (pp. 448-470). Routledge.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688. <https://doi.org/10.1080/09500690305016>
- Duit, R. H., & Treagust, D. F. (2012). Conceptual change: Still a powerful framework for improving the practice of science instruction. In *Issues and Challenges in Science Education Research* (pp. 43-54). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-3980-2_4
- Efkliides, A. (2006). Meta-cognition and affect: What can meta-cognitive experiences tell us about the learning process?. *Educational Research Review*, 1(1), 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2005.11.001>
- Eick, C. J., Dias, M., & Smith, N. R. C. (2009). Middle school students' conceptual learning from the implementation of a new NSF supported curriculum: Interactions in physical science™. *School Science and Mathematics*, 109(1), 45-56. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2009.tb17861.x>
- Ellis, A. K., Denton, D. W., & Bond, J. B. (2014). An analysis of research on metacognitive teaching strategies. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 116, 4015-4024. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.883>
- Feinstein, N. W., Allen, S., & Jenkins, E. (2013). Outside the pipeline: Reimagining science education for nonscientists. *Science*, 340(6130), 314-317. <https://doi.org/10.1126/science.1230855>

- Fetters, M. D., Curry, L. A., & Creswell, J. W. (2013). Achieving integration in mixed methods designs—principles and practices. *Health Services Research, 48*(6pt2), 2134-2156. <https://doi.org/10.1111/1475-6773.12117>
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist, 34*, 906 - 911. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0003-066X.34.10.906>
- Fortus, D., Kubsch, M., Bielik, T., Krajcik, J., Lehavi, Y., Neumann, K., ... & Touitou, I. (2019). Systems, transfer, and fields: Evaluating a new approach to energy instruction. *Journal of Research in Science Teaching, 56*(10), 1341-1361. <https://doi.org/10.1002/tea.21556>
- Gabel, D. L. 1993. Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding. *Journal of Chemical Education, 70*(3): 193–194. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ed070p193>
- George, R. (2000). Measuring change in students' attitudes toward science over time: An application of latent variable growth modeling. *Journal of Science Education and Technology, 9*(3), 213-225. <https://doi.org/10.1023/A:1009491500456>
- Georghiades, P. (2000). Beyond conceptual change learning in science education: Focusing on transfer, durability and metacognition. *Educational Research, 42*(2), 119-139. <https://doi.org/10.1080/001318800363773>
- Georghiades, P. (2004). Research report: Making pupils' conceptions of electricity more durable by means of situated metacognition. *International Journal of Science Education, 26*(1), 85–99. <https://doi.org/10.1080/0950069032000070333>
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. F. (2009). Towards a coherent model for macro, submicro and symbolic representations in chemical education. In *Multiple Representations in Chemical Education* (pp. 333-350). Springer.
- Goldring, H., & Osborne, J. (1994). Students' difficulties with energy and related concepts. *Physics Education, 29*(1), 26-32.
- Gray, K. E., Wittmann, M. C., Vokos, S., & Scherr, R. E. (2019). Drawings of energy: Evidence of the Next Generation Science Standards model of energy in diagrams. *Physical Review Physics Education Research, 15*(1), 010129. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010129>
- Hammer, D., Elby, A., Scherr, R. E., & Redish, E. F. (2005). Resources, framing, and transfer. *Transfer of Learning from a Modern Multidisciplinary Perspective, 89-120*.
- Harrer, B. W., Flood, V. J., & Wittmann, M. C. (2013, January). Students talk about energy in project-based inquiry science. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1513, No. 1, pp. 162-165). American Institute of Physics. <https://doi.org/10.1063/1.4789677>
- Harrer, B., & Paul, C. (2019). Modeling energy dynamics with the energy-interaction diagram. *The Physics Teacher, 57*(7), 462-466. <https://doi.org/10.1119/1.5126824>

- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026. <https://doi.org/10.1080/095006900416884>
- Hartman, H. J. (2001). Metacognition in science teaching and learning. In *Metacognition in Learning and Instruction* (pp. 173-201). Springer.
- Häussler, P. (1987). Measuring students' interest in physics-design and results of a cross-sectional study in the Federal Republic of Germany. *International Journal of Science Education*, 9(1), 79-92. <https://doi.org/10.1080/0950069870090109>
- Hazari, Z., Potvin, G., Tai, R. H., & Almarode, J. (2010). For the love of learning science: Connecting learning orientation and career productivity in physics and chemistry. *Physical review special topics-physics education research*, 6(1), 010107. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.6.010107>
- Herrmann-Abell, C. F., & DeBoer, G. E. (2011). Investigating students' understanding of energy transformation, energy transfer, and conservation of energy using standards-based assessment items. In *The National Association for Research in Science (NARST) Teaching Annual Conference*.
- Herrmann-Abell, C. F., & DeBoer, G. E. (2014). Developing and using distractor-driven multiple-choice assessments aligned to ideas about energy forms, transformation, transfer, and conservation. In *Teaching and Learning of Energy in K-12 Education* (pp. 103-133). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05017-1_7
- Hobson, A. (2004). Energy flow diagrams for teaching physics concepts. *The Physics Teacher*, 42(2), 113-117. <https://doi.org/10.1119/1.1646488>
- Hoffmann, L. (2002). Promoting girls' interest and achievement in physics classes for beginners. *Learning and Instruction*, 12(4), 447-465. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(01\)00010-X](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(01)00010-X)
- Hsieh, H. F., & Shannon, S. E. (2005). Three approaches to qualitative content analysis. *Qualitative Health Research*, 15(9), 1277-1288. <https://doi.org/10.1177%2F1049732305276687>
- Ivankova, N. V., Creswell, J. W., & Stick, S. L. (2006). Using mixed-methods sequential explanatory design: From theory to practice. *Field Methods*, 18(1), 3-20. <https://doi.org/10.1177%2F1525822X05282260>
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75-83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>
- Jones, K. O., Harland, J., Reid, J. M., & Bartlett, R. (2009, October). Relationship between examination questions and Bloom's taxonomy. In *2009 39th IEEE Frontiers in Education Conference* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/FIE.2009.5350598>

- Juuti, K., Lavonen, J., Uitto, A., Byman, R., & Meisalo, V. (2010). Science teaching methods preferred by grade 9 students in Finland. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8(4), 611-632. <https://doi.org/10.1007/s10763-009-9177-8>
- Kaberman, Z., & Dori, Y. J. (2009). Metacognition in chemical education: Question posing in the case-based computerized learning environment. *Instructional Science*, 37(5), 403-436. [DOI 10.1007/s11251-008-9054-9](https://doi.org/10.1007/s11251-008-9054-9)
- Kennedy, P. (2011). *Preparing for the Twenty-First Century*. Vintage.
- Koballa Jr, T. R., & Glynn, S. M. (2013). Attitudinal and motivational constructs in science learning. In *Handbook of Research on Science Education* (pp. 89-116). Routledge.
- Koch, A. (2001). Training in metacognition and comprehension of physics text. *Science Education*, 85(6), 758-768. <https://doi.org/10.1002/sce.1037>
- Kozoll, R. H., & Osborne, M. D. (2004). Finding meaning in science: Lifeworld, identity, and self. *Science Education*, 88(2), 157-181. <https://doi.org/10.1002/sce.10108>
- Krathwohl, D. R. (2002). A revision of Bloom's taxonomy: An overview. *Theory into Practice*, 41(4), 212-218. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4104_2
- Kruger, C. (1990). Some primary teachers' ideas about energy. *Physics Education*, 25(2), 86. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/25/2/002>
- Kung, R. L., & Linder, C. (2007). Metacognitive activity in the physics student laboratory: Is increased metacognition necessarily better?. *Metacognition and Learning*, 2(1), 41-56. [DOI 10.1007/s11409-007-9006-9](https://doi.org/10.1007/s11409-007-9006-9)
- Kurnaz, M. A., & Calik, M. (2009). A thematic review of 'energy' teaching studies: Focuses, needs, methods, general knowledge claims and implications. *Energy Education Science and Technology Part B: Social and Educational Studies*, 1(1), 1-26.
- Lacy, S., Tobin, R. G., Wiser, M., & Crissman, S. (2014). Looking through the energy lens: A proposed learning progression for energy in grades 3-5. In *Teaching and learning of energy in K-12 education* (pp. 241-265). Springer, Cham.
- Lee, H. S., & Liu, O. L. (2010). Assessing learning progression of energy concepts across middle school grades: The knowledge integration perspective. *Science Education*, 94(4), 665-688. <https://doi.org/10.1002/sce.20382>
- Lijnse, P. (1990). Energy between the life-world of pupils and the world of physics. *Science Education*, 74(5), 571-583.
- Lindsey, B. A., Heron, P. R., & Shaffer, P. S. (2012). Student understanding of energy: Difficulties related to systems. *American Journal of Physics*, 80(2), 154-163. <https://doi.org/10.1119/1.3660661>
- Macrie-Shuck, M., & Talanquer, V. (2020). Exploring Students' explanations of energy transfer and transformation. *Journal of Chemical Education*, 97(12), 4225-4234. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00984>

- Marshall, M. N. (1996). Sampling for qualitative research. *Family practice*, 13(6), 522-526. <https://doi.org/10.1093/fampra/13.6.522>
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook*. sage.
- Millar R., (2005), *Teaching about energy*, York: University of York.
- Moser, S., Zumbach, J., & Deibl, I. (2017). The effect of metacognitive training and prompting on learning success in simulation-based physics learning. *Science Education*, 101(6), 944-967. <https://doi.org/10.1002/sci.21295>
- Myers, R. E., & Fouts, J. T. (1992). A cluster analysis of high school science classroom environments and attitude toward science. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(9), 929-937. <https://doi.org/10.1002/tea.3660290904>
- Mualem, R., & Eylon, B. S. (2010). Junior high school physics: Using a qualitative strategy for successful problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(9), 1094-1115. <https://doi.org/10.1002/tea.20369>
- National Research council. (1996). *National science education standards*. National Academies Press.
- National Research Council. (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. National Academies Press.
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Academies Press.
- National Science Teachers Association (NSTA). (1971). NSTA position statement on school science education for the 70s. *The Science Teacher*, 38, 46-51.
- Nordine, J., Fortus, D., Lehavi, Y., Neumann, K., & Krajcik, J. (2019). Modelling energy transfers between systems to support energy knowledge in use. *Studies in Science Education*, 54(2), 177-206. <https://doi.org/10.1080/03057267.2018.1598048>
- OECD. (2008). *Encouraging student interest in science and technology studies*, OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264040892-en>
- OECD. (2016). *PISA 2015 Results (Volume II): Policies and practices for successful schools*, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264267510-en>
- OECD (2017), "What kind of careers in science do 15-year-old boys and girls expect for themselves?", *PISA in Focus*, No. 69, OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/76e7442c-en>
- Onyancha, K. M. (2010). *Matter and energy transformation: An investigation into secondary school students' arguments*. Michigan State University.
- Osborne, J., Simon, S., & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049-1079. <https://doi.org/10.1080/0950069032000032199>

- Papadouris, N., Constantinou, C. P., & Kyratsi, T. (2008). Students' use of the energy model to account for changes in physical systems. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 45(4), 444-469. <https://doi.org/10.1002/tea.20235>
- Park, M., & Liu, X. (2016). Assessing understanding of the energy concept in different science disciplines. *Science Education*, 100(3), 483-516. <https://doi.org/10.1002/sce.21211>
- Perkins, D. N., & Salomon, G. (1989). Are cognitive skills context-bound?. *Educational Researcher*, 18(1), 16-25. <https://doi.org/10.3102%2F0013189X018001016>
- Perkins, D. N., & Salomon, G. (1992). Transfer of learning. *International Encyclopedia of Education*, 2, 6452-6457.
- Potvin, P., & Hasni, A. (2014). Interest, motivation and attitude towards science and technology at K-12 levels: A systematic review of 12 years of educational research. *Studies in Science education*, 50(1), 85-129. <https://doi.org/10.1080/03057267.2014.881626>
- Roller, M. R. (2019). *A quality approach to qualitative content analysis: Similarities and differences compared to other qualitative methods*. SSOAR-Social Science Open Access Repository.
- Roth, W. M., & Roychoudhury, A. (1994). Physics students' epistemologies and views about knowing and learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(1), 5-30. <https://doi.org/10.1002/tea.3660310104>
- Sáiz-Manzanares, M. C., & Montero-García, E. (2015). Metacognition, self-regulation and assessment in problem-solving processes at university. In *Metacognition: Fundamentals, Applications, and Trends* (pp. 107-133). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11062-2_5
- Sandi-Urena, S., Cooper, M. M., & Stevens, R. H. (2011). Enhancement of metacognition use and awareness by means of a collaborative intervention. *International Journal of Science Education*, 33(3), 323-340. <https://doi.org/10.1080/09500690903452922>
- Sathyaseelan, S. (2015). *Functional modeling through energy flow diagrams for novice engineering design students* (Doctoral dissertation).
- Scherr, R. E., Harrer, B. W., Close, H. G., Daane, A. R., DeWater, L. S., Robertson, A. D., ... & Vokos, S. (2016). Energy tracking diagrams. *The Physics Teacher*, 54(2), 96-102. <https://doi.org/10.1119/1.4940173>
- Schmidt, W. H., Burroughs, N. A., & Cogan, L. S. (2013). On the road to reform: K-12 science education in the United States. *Bridge*, 43(1), 7-14.
- Schraw, G. (1998). Promoting general metacognitive awareness. *Instructional Science*, 26(1-2), 113-125. <https://doi.org/10.1023/A:1003044231033>

- Schraw, G., Crippen, K. J., & Hartley, K. (2006). Promoting self-regulation in science education: Metacognition as part of a broader perspective on learning. *Research in Science Education*, 36(1), 111-139. <https://doi.org/10.1007/s11165-005-3917-8>
- Schraw, G., & Dennison, R. S. (1994). Assessing metacognitive awareness. *Contemporary Educational Psychology*, 19(4), 460-475. <https://doi.org/10.1006/ceps.1994.1033>
- Schraw, G., & Moshman, D. (1995). Metacognitive theories. *Educational psychology review*, 7(4), 351-371.
- Schraw, G., Olafson, L., Weibel, M., & Sewing, D. (2012). Metacognitive knowledge and field-based science learning in an outdoor environmental education program. In Zohar, A., & Dori, Y. J. (Eds.), *Metacognition in Science Education: Trends in Current Research* (pp. 57-77). Springer Science & Business Media. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2132-6_4
- Seeley, L., Gray, K., & Robertson, A. D. (2021). Energy cubes. *The Physics Teacher*, 59(2), 89-93. <https://doi.org/10.1119/10.0003457>
- Sheldrake, R., Mujtaba, T., & Reiss, M. J. (2019). Students' changing attitudes and aspirations towards physics during secondary school. *Research in Science Education*, 49(6), 1809-1834. <https://doi.org/10.1007/s11165-017-9676-5>
- Sjøberg, S., & Schreiner, C. (2010). The ROSE project: An overview and key findings. Oslo: University of Oslo, 1-31.
- Stein, M., & Miller, D. (1997). Teaching with toys. *The Science Teacher*, 64(4), 22.
- Thomas, G. P. Exploring practicing and pre-service teachers' procedural metacognitive knowledge: initial findings and potential implications. *Science Teaching Processes*, 367.
- Thomas, G., Anderson, D., & Nashon, S. (2008). Development of an instrument designed to investigate elements of science students' metacognition, self-efficacy and learning processes: The SEMLI-S. *International Journal of Science Education*, 30(13), 1701-1724. <https://doi.org/10.1080/09500690701482493>
- Thomas, G. P. (2013). Changing the metacognitive orientation of a classroom environment to stimulate metacognitive reflection regarding the nature of physics learning. *International Journal of Science Education*, 35(7), 1183-1207. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.778438>
- Toli, G., & Kallery, M. Enhancing secondary school students' learning and interest for energy: results from the implementation of an intervention. *Science Teaching Processes*, 350.
- Trumper, R. (2006). Factors affecting junior high school students' interest in physics. *Journal of Science Education and Technology*, 15(1), 47-58. <https://doi.org/10.1007/s10956-006-0355-6>

- Wade-Jaimes, K., Demir, K., & Qureshi, A. (2018). Modeling strategies enhanced by metacognitive tools in high school physics to support student conceptual trajectories and understanding of electricity. *Science Education*, 102(4), 711-743. <https://doi.org/10.1002/sce.21444>
- Watts, D. M. (1983). Some alternative views of energy. *Physics education*, 18(5), 213.
- Weinburgh, M. H. (2000). Gender, ethnicity, and grade Level as predictors of middle school students' attitudes toward science.
- Williams, C., Stanisstreet, M., Spall, K., Boyes, E., & Dickson, D. (2003). Why aren't secondary students interested in physics?. *Physics Education*, 38(4), 324.
- Wilson, L. O. (2016). Anderson and Krathwohl–Bloom’s taxonomy revised. *Understanding the New Version of Bloom's Taxonomy*.
- Woolnough, B. E. (1994). Why students choose physics, or reject it. *Physics Education*, 29(6), 368.
- Xu, S. (2021). Rube Goldberg machine project report. *Academic Journal of Engineering and Technology Science*, 4(2). <http://dx.doi.org/10.25236/AJETS.2021.040204>
- Zepeda, C. D., Richey, J. E., Ronevich, P., & Nokes-Malach, T. J. (2015). Direct instruction of metacognition benefits adolescent science learning, transfer, and motivation: An in vivo study. *Journal of Educational Psychology*, 107(4), 954. <http://dx.doi.org/10.1037/edu0000022>
- Zion, M., Michalsky, T., & Mevarech, Z. R. (2005). The effects of metacognitive instruction embedded within an asynchronous learning network on scientific inquiry skills. *International Journal of Science Education*, 27(8), 957-983. <https://doi.org/10.1080/09500690500068626>
- Zohar, A. (2004). *Higher order thinking in science classrooms: Students’ learning and teachers’ professional development* (Vol. 22). Springer Science & Business Media.
- Zohar, A., & David, A. B. (2009). Paving a clear path in a thick forest: A conceptual analysis of a metacognitive component. *Metacognition and Learning*, 4(3), 177-195. <https://doi.org/10.1007/s11409-009-9044-6>
- Zohar, A., & Sela, D. (2003). Her physics, his physics: Gender issues in Israeli advanced placement physics classes. *International Journal of Science Education*, 25(2), 245-268. <https://doi.org/10.1080/09500690210126766>
- Zuzovsky, R., & Tamir, P. (1999). Growth patterns in students' ability to supply scientific explanations: Findings from the Third International Mathematics and Science Study in Israel. *International Journal of Science Education*, 21(10), 1101-1121. <https://doi.org/10.1080/095006999290219>

נספחים

נספח א: תכנית הלימודים בפיזיקה כיתה ט

תחום תוכן: מדעי החומר – פיזיקה ומערכות טכנולוגיות

נושא מרכזי: אנרגיה ומערכות טכנולוגיות

נושאי משנה:

1. סוגי אנרגיה, המרות אנרגיה, מעברי אנרגיה וחוק שימור האנרגיה [כיתות: ז, ח, ט].
 2. מקורות אנרגיה, הפקת אנרגיה והשימושים בה [כיתות: ח, ט].
 3. השפעת השימושים באנרגיה על הפרט, על החברה ועל הסביבה [כיתות: ז, ח, ט].
- רעיונות והדגשים:

1. לאנרגיה יש מופעים שונים (סוגי אנרגיה).
 2. אנרגיה יכולה להפוך מסוג אנרגיה אחד לסוג אנרגיה אחר (המרת אנרגיה).
 3. אנרגיה יכולה לעבור מגוף לגוף (מעבר אנרגיה).
 4. במערכות טכנולוגיות מתרחשים המרות אנרגיה ומעברי אנרגיה.
 5. חוק שימור האנרגיה: כמות האנרגיה הכוללת במערכת מבודדת, שאינה מאפשרת מעבר אנרגיה בינה ובין סביבתה, נשמרת.
 6. בהמרות ובמעברי אנרגיה לא כל סוגי האנרגיה המתקבלים הם שימושיים.
 7. האנרגיה החשמלית היא אנרגיה רווחת מאוד בשימוש.
 8. האדם מנצל אנרגיה לתועלתו כדי להתקיים, להגביר את יכולתו וכדי לשפר את איכות חייו.
 9. משאבי (מקורות) האנרגיה שונים זה מזה בזמינותם ובדרכי ניצולם לצורכי האדם.
 10. להפקת אנרגיה ולשימוש במשאבי (מקורות) האנרגיה השונים יש השפעה על איכות החיים ועל הסביבה.
 11. קיימים קשרי גומלין בין מדע, טכנולוגיה וחברה.
 12. הטכנולוגיה משפיעה על איכות החיים ועל הסביבה. יש לה השפעות חיוביות כמו עליה ברמת החיים ובאיכות החיים. שימוש נכון בטכנולוגיה מאפשר לצמצם את השפעותיה השליליות.
- נושא משנה א: סוגי אנרגיה, המרות אנרגיה, מעברי אנרגיה, חוק שימור האנרגיה
- נושא משנה ב: מקורות אנרגיה, הפקת אנרגיה והשימושים בה
- הערה: שני נושאי המשנה מופיעים יחד עקב הזיקה החזקה ביניהם כאן.
- מטרות:

1. חקר - התלמידים יתכננו ויבצעו ניסויים מדעיים הקשורים לתוכני הלימוד בנושא אנרגיה, יסיקו מסקנות מתוך ממצאי הניסוי וייצגו את מסקנותיהם בדרכים שונות.
2. המרות אנרגיה, מעברי אנרגיה וחוק שימור האנרגיה.
3. התלמידים ידעו ליישם את השימוש במושגים הקשורים באנרגיה.
4. התלמידים ידעו ליישם את חוק שימור האנרגיה בהמרות ובמעברי אנרגיה.
5. התלמידים יכירו תהליכים כימיים פולטי אנרגיה ותהליכים כימיים קולטי אנרגיה.

נספח ב: שאלון תפיסות תלמידים בנוגע ללימודי הפיזיקה

תשע"ח

שלום שמי חני סולימנפור, סטודנטית מאוניברסיטת בר אילן. במסגרת מחקרי אני מעוניינת לבדוק את

עמדות התלמידים כלפי מקצוע הפיזיקה.

מטרת השאלון היא לבדוק מה את/ה חושב/ת על לימודי הפיזיקה בכיתה ט.

אין תשובות נכונות או בלתי נכונות.

אנא השתדל/י לענות בכנות על השאלות. הנתונים הם ללא ציון והם לצורך מחקר ולעינינו בלבד.

שיתוף הפעולה שלך חשוב לי מאוד.

תודה מראש,

ד"ר שירלי אברגיל (מנחה) shirly.avargil@gmail.com

חני סולימנפור hannysolimanfor@gmail.com

שם התלמיד/ה: _____ כיתה _____ אני: בן/בת

לפניך היגדים. אנא סמני ב - v את המספר המתאים ביותר להתייחסותך האישית. קרא/י בעיון כל משפט

ודרג/י את הסכמתך לגבי כל אחד מהפריטים על פי הסולם הבא:

1 = מאוד לא מסכים, 2 = לא מסכים, 3 = נוטה לא להסכים, 4 = נוטה להסכים, 5 = מסכים.

ניקוד					היגדים
5	4	3	2	1	
5	4	3	2	1	1. אני סבור שלימודי הפיזיקה הם מקצוע שחשוב ללמד בכיתה ט.
5	4	3	2	1	2. לימודי הפיזיקה תורמים לי להבין את החשיבות של חיסכון באנרגיה.
5	4	3	2	1	3. לימודי הפיזיקה תורמים להבנה טובה יותר של תופעות בחיי היום-יום.
5	4	3	2	1	4. ניתן לוותר על שיעורי פיזיקה לטובת מקצועות אחרים.
5	4	3	2	1	5. לימודי הפיזיקה חשובים להתפתחות החברה והטכנולוגיה.
5	4	3	2	1	6. הודות ללימודי הפיזיקה תהיה יותר מודעות לשימוש במקורות אנרגיה מתחדשים.
5	4	3	2	1	7. הידע שרכשתי בלימודי הפיזיקה יסייע לי להתנהל כאזרח בעתיד לבוא.
5	4	3	2	1	8. אני חושב שאמשיך בלימודי הפיזיקה בתיכון.
5	4	3	2	1	9. אני מחפש ליצור קשר בין מה שאני לומד מחיי מחוץ לכיתה לבין שיעורי פיזיקה.

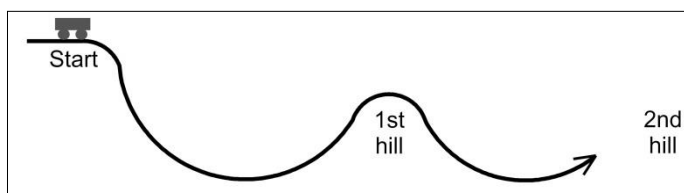
לכיתה ט

שם התלמיד/ה: _____ כיתה: ט' _____ יושב/ת ליד: _____
בהצלחה, צוות מדעים

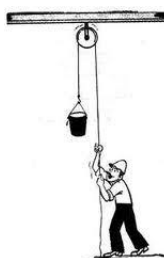
מבחן בפיסיקה: המרות אנרגיה, חוק שימור האנרגיה – טור א'

קראו את השאלות שלפניכם, וענו עליהן כנדרש. שימו לב לכל חלקי השאלה ולכל ההנחיות. הקפידו על שמירת כללי התנהגות נאותים בשעת מבחן, בעיקרם שקט ויושר אישי.

1. מהנדס בונה מסלול לרכבת הרים ומעוניין שקרון הרכבת יעבור מעל שתי גבעות. בכדי שקרון הרכבת יעבור דרך שתי גבעות, האם הגבעה הראשונה צריכה להיות גבוהה או נמוכה מהגבעה השנייה?



- א. הגבעה הראשונה צריכה להיות גבוהה יותר מהגבעה השנייה כי קרון הרכבת יאבד אנרגיה בזמן שיתגלגל לאורך המסילה, כך שלא יוכל לעבור את הגבעה השנייה שגבוהה כמו הגבעה הראשונה.
- ב. הגבעה הראשונה יכולה להיות נמוכה מהגבעה השנייה כי קרון הרכבת יוכל להשיג מספיק אנרגיה בזמן שיתגלגל לאורך המסילה בכדי לעבור את הגבעה השנייה שגבוהה מהגבעה הראשונה.
- ג. אין זה משנה איזו גבעה גבוהה יותר כל עוד שתיהן נמוכות מנקודת ההתחלה, כי אין איבוד אנרגיה בזמן שקרון הרכבת מתגלגל לאורך המסילה, כך שהוא יכול לעבור כל גבעה שהיא נמוכה מנקודת ההתחלה.
- ד. זה לא משנה איזו גבעה גבוהה יותר כי על אף הכמות הכללית של האנרגיה שיש לקרון הרכבת, היא תקטן במעלה הגבעה, ותגדל מספיק בירידה במדרון, כדי לעבור כל גובה של גבעה.



2. התרשים הבא מתאר פועל המרים דלי כבד באמצעות גלגלת.

- א. איזה משפט הוא נכון?
 1. הפועל משקיע אנרגיה, הדלי מקבל אנרגיה.
 2. הפועל מקבל אנרגיה, הדלי מפסיד אנרגיה.
 3. הפועל והדלי מקבלים אנרגיה.

4. הפועל והדלי אינם מקבלים אנרגיה אלא כוח.

ב. תארו את המרות האנרגיה בתרשים זרימה ("תרשים מלבנים"). ציינו לפחות 3 המרות/מעברי אנרגיה:

3. א. תלמיד מתכופף קרוב לרצפה ומעיף כדור כלפי מעלה. בעת תנועת הכדור כלפי מעלה:

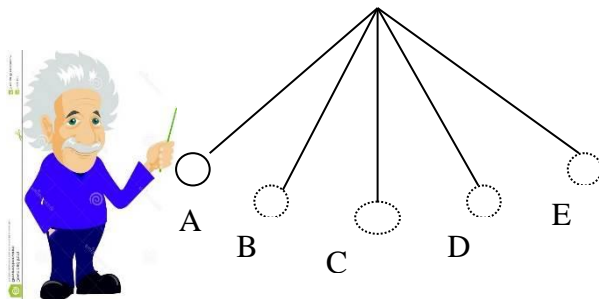
1. אנרגיית התנועה שלו קטנה ואנרגיית הגובה שלו גדלה.
2. אנרגיית התנועה שלו גדלה ואנרגיית הגובה שלו קטנה.
3. אנרגיית התנועה שלו קטנה ואנרגיית הגובה שלו קטנה.
4. אנרגיית התנועה שלו גדלה ואנרגיית הגובה שלו גדלה.

ב. הכדור מגיע לשיא גובהו ונופל למטה. מה ניתן לטעון לגבי כמות אנרגיית התנועה של הכדור לפני נגיעתו ברצפה יחסית לאנרגיית הגובה כשהיה בשיא גובהו?
בחרו בתשובה הנכונה והסבירו. (לא יתקבל ניקוד ללא הסבר):

1. שוות בדיוק.
2. גדולה יותר.
3. קטנה יותר.

הסבר:

4. מורה ותלמידיו ביקרו במוזיאון המדע. המורה הרים כדור הרס לנקודה A, שמט את הכדור (בלי תנופה). המורה נשאר במקומו והכדור נע בתנועת מטוטלת מנקודה A לנקודה E.
א. באיזה מצב או מצבים יש למטוטלת אנרגיית תנועה מרבית (מקסימלית)? (הזניחו חיכוך).



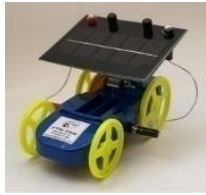
1. A ו- E
2. B ו- D
3. C
4. אף אחד מהמצבים.

ב. לאחר מספר מחזורי תנועה, הכדור עוצר. מה הסיבה לכך?

5. יעל מטפס על הר.



- א. ציינו את הגופים המשתתפים בתופעה זו:
- ב. תארו במילים שלכם את הפעולות המתרחשות בתופעה זו:
- ג. תארו בתרשים זרימה את המרות האנרגיה המתרחשות בתופעה זו:



6. תא שמש הוא מתקן הממיר אנרגיית אור לאנרגיה חשמלית. חיברו את תא שמש למכונת צעצוע קטנה. תארו בתרשים את המרות האנרגיה במערכת זו: _____

7. לפניכם תרשימי המרות אנרגיה. לכל תרשים תארו במילים תופעה פיזיקלית לבחירתכם.



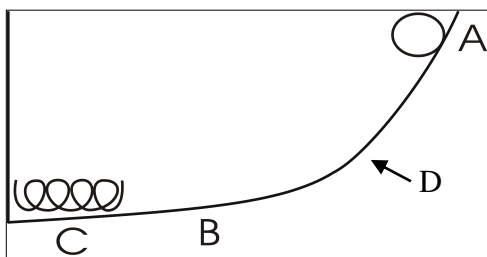
8. לפניכם מספר תופעות.

א. סמנו את המקרים אשר אינם יכולים להתרחש:

1. שלט הטלוויזיה פועל, גם לאחר שהסוללות שלו התרוקנו.
2. כדורסל נופל מגובה 10 מטר, פוגע בחול ועולה שוב לגובה 0.5 מטר.
3. כדורגלן בועט בכדור ממרחק 11 מטר, הכדורגל פוגע ברשת וחוזר למרחק 18 מטר.
4. טיל נורה לאוויר ועולה לגובה 300 מטר.

ב. הסבירו במילים שלכם, מדוע מקרים אלו אינם יכולים להתקיים? _____

9. כדור משתחרר מנקודה A מתגלגל דרך נקודה B עד שהוא נעצר לרגע על ידי קפיץ בנקודה C.



הכדור עולה חזרה והתהליך ממשיך מספר פעמים.

א. תארו בתרשים את המרות האנרגיה שהתרחשו

במקרה זה: _____

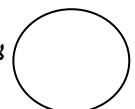
ב. האם תהליך זה יימשך לתמיד? _____

נמקו תשובתכם תוך התייחסות לחוק שימור האנרגיה: _____

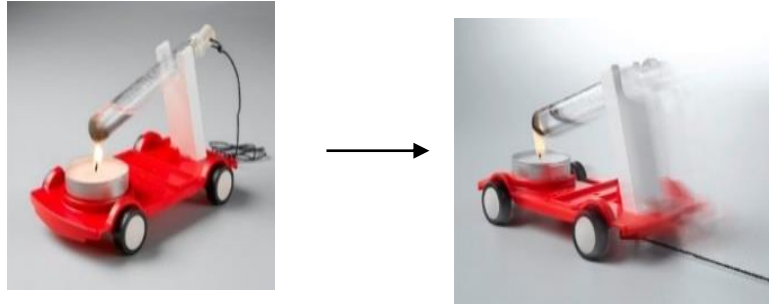
ג. הכדור עולה מנקודה C, חולף על פני נקודה D וממשיך בעלייתו. השלימו בתרשים העוגה את מאזן

האנרגיות של הכדור בנקודה D. בחרו צבעים שונים של סוגי האנרגיות לפי בחירתכם.

ציינו את מקרא הצבעים לצורות האנרגיה: _____



10. תלמידים תכננו ובנו "תותח אדים". תותח האדים בנוי מצינור המכיל מים ומהודק לעגלה. הצינור אָטום משני צדדיו: צד אחד באמצעות פקק גומי, וצדו השני של הצינור מעל נר. כאשר התלמידים הדליקו את הנר, המים שבצינור התחממו. כתוצאה מהיווצרות אדים - הלחץ בתוך הצינור עלה, ופקק הגומי השתחרר בכוח מפתח הצינור והעגלה זזה.




בחרו באפשרות המציגה באופן נכון את המרות האנרגיה שהתרחשו בתהליך המתואר לעיל.

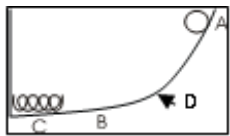
1. אנרגיה תרמית (חום) ← אנרגיה כימית ← אנרגיית תנועה.
2. אנרגיה כימית ← אנרגיה תרמית (חום) ← אנרגיית תנועה.
3. אנרגיית תנועה ← אנרגיה כימית ← אנרגיה תרמית (חום).
4. אנרגיה תרמית (חום) ← אנרגיית תנועה ← אנרגיה כימית.


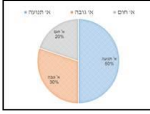
נספח ד: מחוון מחקרי לשאלות 3, 5, 8, 9 מתוך שאלון הידע

מיומנויות חשיבה מסדר גבוה		מיומנויות חשיבה מסדר נמוך		מושגים והסברים נדרשים	שאלה 3 ב' + ג': (גרסה אחת של תשובה נכונה)
אפשרויות ניקוד 0, 1, 2	הסבר לניקוד שניתן	אפשרויות ניקוד 0, 1, 2	הסבר שניתן לניקוד	א. אזכור חוק שימור האנרגיה. ב. השינוי בכמות אנרגיית הגובה שווה לשינוי בכמות אנרגיית התנועה. ג. נימוק: החיכוך במערכת זניח.	ב. הכדור מגיע לשיא גובהו ונופל למטה. מה ניתן לטעון לגבי כמות אנרגיית התנועה של הכדור לפני נגיעתו ברצפה יחסית לאנרגיית הגובה כשהיה בשיא גובהו? בחרו בתשובה הנכונה והסבירו. (לא יתקבל ניקוד ללא הסבר): 1. שוות בדיוק. 2. גדולה יותר. 3. קטנה יותר. ג. הסבר:
דוגמאות לתשובות תלמידים ללא הגהה, בליווי הניקוד שניתן וההסבר לכך.					
2	הסבר מובן מדוע השינויים באנרגיית הגובה ובאנרגיית התנועה הם שווים: יש קישור לחוק שימור האנרגיה.	2	תיאור נכון של המרות האנרגיה. אם אין חיכוך – חלה המרה מאנרגיית גובה לאנרגיית תנועה. אין המרה חלקית מאנרגיית תנועה לאנרגיית חום.		1. אם מזניחים את החיכוך של הכדור עם האוויר (שזה אנרגיית תנועה הופכת לאנרגיית חום) אז אנרגיית התנועה לפני הפגיעה ברצפה שווה לאנרגיית הגובה כשהכדור היה בשיא הגובה. לפי חוק שימור האנרגיה האנרגיות לא נעלמות ובמקרה הזה אנרגיית גובה הומרה רק לאנרגיית תנועה של הכדור.
0	אין אזכור: כל עוד אין חיכוך עם האוויר השינויים מאנרגיית גובה לתנועה הם שווים.	1	תיאור נכון של השינויים באנרגיות, אך לא מצוין שהחיכוך זניח.		2. הן שוות משום שלפני נגיעתו ברצפה כמות אני הגובה שלו מאוד נמוכה וכמות אנרגיית התנועה גבוהה, לעומת זאת שהוא בשיא גובהו, אני הגובה גבוהה ואני התנועה נמוכה.
מיומנויות חשיבה מסדר גבוה		מיומנויות חשיבה מסדר נמוך		מושגים והסברים נדרשים	שאלה 3 ב' + ג': (גרסה שנייה של תשובה נכונה)
אפשרויות ניקוד 0, 1, 2	הסבר לניקוד שניתן	אפשרויות ניקוד 0, 1, 2	הסבר שניתן לניקוד	א. אזכור חוק שימור האנרגיה. ב. השינוי בכמות אנרגיית התנועה קטנה מהשינוי בכמות אנרגיית הגובה. ג. נימוק: קיים חיכוך בין הכדור לאוויר.	ב. הכדור מגיע לשיא גובהו ונופל למטה. מה ניתן לטעון לגבי כמות אנרגיית התנועה של הכדור לפני נגיעתו ברצפה יחסית לאנרגיית הגובה כשהיה בשיא גובהו? בחרו בתשובה הנכונה והסבירו. (לא יתקבל ניקוד ללא הסבר): 1. שוות בדיוק. 2. גדולה יותר. 3. קטנה יותר. ג. הסבר:
2	יש קישור בין התופעה לחוק שימור האנרגיה. יש קישור בין התופעה לחוק שימור האנרגיה. התייחסות להמרה חלקית של אנרגיית תנועה לאנרגיית חום.	2	שימוש בשפת האנרגיה		
דוגמה לתשובות תלמידים ללא הגהה, בליווי הניקוד שניתן וההסבר לכך.					
0	אין קישור בשינוי מאנרגיית גובה לתנועה. אין אזכור: עקב החיכוך עם האוויר השינוי באנרגיית הגובה גדול יותר מהשינוי באנרגיית התנועה, כי חלה המרה של חלק מאנרגיית התנועה לחום.	1	התייחסות חלקית להמרות אנרגיה, אך ההסבר אינו מלא. יש אזכור של אנרגיית חום אך לא בהקשר הנכון ולא קשור לתשובה שנבחרה (כוונתו – המרת אנרגיית תנועה לאנרגיית חום בעת הפגיעה ברצפה).		1. כאשר הכדור מגיע לשיא גובהו אנרגיית התנועה שלו מומרת באנרגיית גובה כאשר הכדור לפני נגיעתו ברצפה רוב אנרגיית התנועה מומרת לאנרגיית חום, אך ישנה אנרגיית תנועה, מכיוון שהכדור עוד לא מונח על הרצפה לגמרי.

מיומנויות חשיבה מסדר גבוה		מיומנויות חשיבה מסדר נמוך		מושגים והסברים נדרשים	שאלה 5 :
אפשרויות ניקוד 0, 1, 2	הסבר שניתן לניקוד	אפשרויות ניקוד 0, 1, 2	הסבר שניתן לניקוד	סיפור התופעה: היעל מפעיל את שריריו, הוא מתחיל ללכת, נע ועולה במעלה ההר. אפשר לקבל גם הפקת חום עקב החיכוך בין הרגליים לקרקע.	 <p>יעל מטפס על הר.</p> <p>א. ציינו את הגופים המשתתפים בתופעה זו.</p> <p>ב. תארו במילים שלכם את הפעולות המתרחשות בתופעה זו.</p>
2	התייחסות לכל הגופים והפעולות, על אף שמדובר בשינויי אנרגיות בגוף אחד – יעל.	2	התייחסות לגוף ולפעולה		
דוגמאות לתשובות תלמידים ללא הגהה, בליווי הניקוד שניתן וההסבר לכך.					
2	קיים קשר בין הפעולות: תוך הפעלת שרירי הרגליים היעל עולה במעלה ההר.	2	מוזכרים הגופים והפעולות: יעל והקרקע. הפעלת שרירי היעל, שינוי בגובה היעל.		1. יעל מפעיל כוח בשרירים שלו לוחץ עם הרגליים שלו את האדמה ועולה במעלה ההר.
1	אין תיאור רציף של הפעולות.	1	מוזכר רק יעל ושינוי כלפי מעלה.		2. יעל מפעיל כוח ועולה מעלה.
מיומנויות חשיבה מסדר גבוה		מיומנויות חשיבה מסדר נמוך		מושגים והסברים נדרשים	ג. תארו בתרשים זרימה את המרות האנרגיה המתרחשות בתופעה זו:
אפשרויות ניקוד 0, 1, 2	הסבר שניתן לניקוד	אפשרויות ניקוד 0, 1, 2	הסבר שניתן לניקוד	תיאור באמצעות תרשימי זרימה: אנרגיה כימית בשרירי רגליו של היעל <- אנרגיית תנועת היעל (+אנרגיית חום המופק בשרירים) <- אנרגיית גובה של היעל (+אנרגיית חום בגלל החיכוך עם הקרקע והאוויר)	
2	כתיבת המרות האנרגיה על פי סדר הפעולות	2	התייחסות לכל סוגי האנרגיה		
דוגמאות לתשובות תלמידים ללא הגהה, בליווי הניקוד שניתן וההסבר לכך.					
1	התייחסות להמרת אנרגיה התחלה וסוף	1	מוזכרים שני סוגי אנרגיה		1. אנרגיה כימית <- אנרגיית גובה
1	התייחסות להמרת אנרגיה התחלה וסוף, אך יש שגיאה בניסוח אנרגיית תנועה.	1	מוזכרים שני סוגי אנרגיה		2. אנרגיה כימית - <אנרגיית מהירות <- אנרגיית גובה

מיומנויות חשיבה מסדר גבוה		מיומנויות חשיבה מסדר נמוך		מושגים והסברים נדרשים	שאלה 8: לפניכם מספר תופעות. א. סמנו את המקרים אשר אינם יכולים להתרחש: 1. שלט הטלויזיה פועל, גם לאחר שהסוללות שלו התרוקנו. 2. כדורסל נופל מגובה 10 מטר, פוגע בחול ועולה שוב לגובה 0.5 מטר. 3. כדורגלן בועט בכדור ממרחק 11 מטר, הכדורגל פוגע ברשת וחוזר למרחק 18 מטר. 4. טיל נורה לאוויר ועולה לגובה 300 מטר. ב. הסבירו במילים שלכם, מדוע מקרים אלו אינם יכולים להתקיים? דוגמאות לתשובות תלמידים ללא הגהה, בליווי הניקוד שניתן וההסבר לכך.
אפשרויות ניקוד 0, 1, 2	הסבר לניקוד שניתן	אפשרויות ניקוד 0, 1, 2	הסבר לניקוד שניתן	חוק שימור האנרגיה: אנרגיה לא יכולה להיעלם ולא להיווצר מאפס. ציון המרות אנרגיה בתופעה.	
2	יש קישור בין התופעה לחוק שימור האנרגיה.	2	- שימוש בשפת האנרגיה - התייחסות לגוף ולפעולה - התייחסות להמרות האנרגיה על פי סדר הפעולות		
2	ניתן הסבר מדוע תופעות אלו לא יכולות להתרחש על סמך חוק שימור האנרגיה.	2	ההסבר ניתן בשפת האנרגיה. מתוארות שרשראות אנרגיה של כל תופעה.		1. א. בסוללה שהתרוקנה – אין כבר המרת אנרגיה כימית לאנרגיה חשמלית. לכן, מכשיר חשמלי לא יפעל ללא מקור אנרגיה. על פי חוק שימור האנרגיה – אנרגיה לא יכולה להיווצר מאפס. ב. על פי חוק שימור האנרגיה אנרגיה שווה בכמותה במערכת. אמנם הכדור קיבל תנופה (אנרגיית תנועה) אך רובה הומרה לאנרגיית חום בגלל החיכוך עם הרשת. הכדור לא יכול לחזור ולנוע למרחק גדול יותר אם רוב אנרגיית התנועה שלו הומרה לאנרגיית חום.
0	אין הסבר הולם לחוק שימור האנרגיה. השימוש במושג "יחס האנרגיה" לא מובן (בין מי למי?), ולא מובן מדוע הוא גדול יותר לאחר הבעיטה.	0	אין תיאור של המרות אנרגיה.		2. מכיוון שכאשר אין חשמל בשעון הוא לא יכול לעבוד, והכדורגל יחס האנרגיה לאחר הבעיטה גדול יותר וזה לא יכול להיות.
1	יש הסבר כללי מדוע לא מתרחשת תנועה, אך אין ביסוס מספיק לפי חוק שימור האנרגיה.	1	אין תיאור מלא של המרות אנרגיה.		3. מקרים אלו לא יכולים לקרות כי אנרגיית התנועה שלהם הומרה לאנרגיה אחרת (שהיא לא תנועה) ובמקרה עם הכדורגל היה גורם שעצר את התנועה של הכדור – הרשת.
1	יש התייחסות לחוק שימור האנרגיה בשני ההסברים. יש הסבר לנחיצות מקור אנרגיה עבור השלט. לגבי הכדור יש טענה טובה אך אינה מוסברת. אם במקום רשת היה קיר והמשטח היה חלק (פחות חיכוך), סביר להניח שהכדור היה חוזר למרחק גדול יותר, תלוי באנרגיית התנועה ההתחלתית שלו.	1	ההסבר בשפת האנרגיות. אין תיאור מלא של המרות אנרגיה. לא מוזכרת אפילו אנרגיית תנועה.		4. כדי ששלט יפעל הוא זקוק לאנרגיה חשמלית/מקור חשמלי ללא סוללות אין לו את המקור הזה לכן הוא לא יכול לפעול. כדור לא יכול לחזור למרחק גדול יותר האנרגיה לא הוספה לו (חוק שימור האנרגיה).

מיומנויות חשיבה מסדר גבוה		מיומנויות חשיבה מסדר נמוך		מושגים והסברים נדרשים:	שאלה 9:
אפשרויות ניקוד 0, 1, 2	הסבר לניקוד שניתן	אפשרויות ניקוד 0, 1, 2	הסבר לניקוד שניתן		<p>כדור משתחרר מנקודה A מתגלגל דרך נקודה B עד שהוא נעצר לרגע על ידי קפיץ בנקודה C. הכדור עולה חזרה והתהליך ממשיך מספר פעמים.</p> <p>א. תארו בתרשים את המרות האנרגיה שהתרחשו במקרה זה:</p> 
2	יש קישור בין התופעה לחוק שימור האנרגיה. תתקבל התייחסות להמרה חלקית של אנרגיית תנועה לאנרגיית חום ולאנרגיית קול.	2	תיאור המרות האנרגיה באמצעות תרשימי זרימה		
1	התייחסות להמרות האנרגיה רק בירידה. אין חזור.	1	דילוג על יותר צורות אנרגיה ושילוב של אנרגיית חום, אבל שמומרת לאנרגיית מכנית כלשהי. או: שלב בשרשרת ההמרות - נוצר חיכוך והוא מומר לצורת אנרגיה כלשהי, כמו א' תנועה.		
דוגמאות לתשובות תלמידים ללא הגהה, בליווי הניקוד שניתן וההסבר לכך:					
2	התייחסות לכל האנרגיות בירידה ובעלייה. לעת עתה, ניתן לקבל את התוספת "וחוזר חלילה" או שרטוט של חץ לתחילת שרשרת המרות האנרגיה.	2		<p>אנרגיית גובה -> אנרגיית תנועה -> אנרגיה (אנרגיית חום) קפיצית/אלסטית -> אנרגיית תנועה -> אנרגיית גובה (אנרגיית חום) וחוזר חלילה (+אנרגיית חום במהלך תנועת הכדור לאורך המסלול ובמגע עם הקפיץ).</p>	<p>1. אנרגיית גובה -> אנרגיית תנועה -> אנרגיה (אנרגיית חום) קפיצית/אלסטית -> אנרגיית תנועה -> אנרגיית גובה (אנרגיית חום) וחוזר חלילה (כולל הוספת אנרגיית חום במהלך תנועת הכדור ואנרגיית קול במגע עם הקפיץ).</p>
1	רצף צורות האנרגיה לקוי ברובו. אנרגיית חום ואנרגיית קול אינן מומרות לאנרגיה פנימית במערכת.	1	ציון כל צורות האנרגיות המופיעות בתופעה. אין התייחסות לחזרת הכדור מעלה.		<p>2. אנרגיית גובה -> אנרגיית חום -> אנרגיית תנועה -> אנרגיית קול -> אנרגיה אלסטית</p>
0	יש תיאור כלשהו של שינויים לגבי תנועה וגובה, אך אין קישור ביניהם. הניסוח "מקבל אנרגיה" לקוי.	0	אין תיאור בתרשים.		<p>3. הכדור משתחרר הוא מקבל אנרגיית תנועה כל הזמן מהרגע שהוא נופל והאנרגיית גובה שלו משתנה.</p>
0	הרצף נכון, אך כאמור הוא חלקי ואין אזכור של צורות האנרגיה ואופן שילובן כאנרגיות שאינם מומרות לאנרגיה מכנית.	1	תיאור חלקי של המרות אנרגיה בתופעה. אין התייחסות לאנרגיות חום וקול.		<p>4. אנרגיית גובה -> אנרגיית תנועה -> אנרגיה אלסטית</p>

מיומנויות חשיבה מסדר גבוה		מיומנויות חשיבה מסדר נמוך		מושגים והסברים נדרשים:	ב. האם תהליך זה ימשך לתמיד? ____ . נמקו תשובתכם תוך התייחסות לחוק שימור האנרגיה.
2	יש קישור לחוק שימור האנרגיה, השינוי באנרגיית החום שווה לשינוי באנרגיית התנועה.	2	תיאור המרת אנרגיית תנועה לאנרגיית חום עקב החיכוך.	לא. הכדור ייעצר. באופן הדרגתי יש המרת אנרגיית תנועה לחום.	
דוגמאות לתשובות תלמידים ללא הגהה, בליווי הניקוד שניתן וההסבר לכך:					
1	יש התייחסות להפחתה באנרגיות המכניות אך אין קישור שהשינויים שווים.	2	יש התייחסות להמרה מאנרגיית תנועה לחום (עם שגיאה - לא עם חיכוך אלא בגלל החיכוך).		1. לא. בתוך כמות האנרגיה שהופעלה בהתחלה היא מומרת לחום (ולחיכוך) וכך מאבדת גובה ומהירות עד שהכדור יעצור.
1	יש הישענות חלקית על חוק שימור האנרגיה, אך היא כללית. אין הסבר מהם השינויים של האנרגיות במקרה זה, מלבד ציון אנרגיית חום.	1	אין תיאור מלא של המרות האנרגיה.		2. לא! אנרגיה לא נעלמת זה נכון אבל היא מועברת ובמקרה הזה אחרי כמה פעמים האנרגיה תועבר לאנרגיה אחרת. (אני חום).
0	יש הסתמכות על חוק שימור האנרגיה שהוא כביכול קובע כי פעולות נשמרות לעד ("שימור"). אין הבנה שהחוק מתייחס לשימור כמויות השינויים של צורות האנרגיה ולא שימור אותה צורת אנרגיה.	0	יש תיאור פעולות ולא המרות אנרגיה (ניחא שהתיאור חלקי ולא בשפת האנרגיות).		3. כן. מכיוון שכאשר הכדור כל פעם חוזר על אותה פעולה והקפיץ כל פעם מרים אותו למעלה אז חוק שימור האנרגיה תמיד פועל.
מיומנויות חשיבה מסדר גבוה		מיומנויות חשיבה מסדר נמוך		מושגים והסברים נדרשים:	ג. הכדור עולה מנקודה C, חולף על פני נקודה D וממשיך בעלייתו. השלימו בתרשים העוגה את מאזן האנרגיות של הכדור בנקודה D. בחרו צבעים שונים של סוגי האנרגיות לפי בחירתכם. ציינו את מקרא הצבעים לצורות האנרגיה: 
אפשרויות ניקוד 0, 1, 2	הסבר שניתן לניקוד	אפשרויות ניקוד 0, 1, 2	הסבר לניקוד שניתן		
2	התייחסות לכל האנרגיות: תנועה, גובה וחום. האחוז היחסי של כל צורת אנרגיה פחות חשוב. כל שכן, ניכרת חשיבות בהתייחסות לאנרגיית חום כחלק מהשינויים במערכת, על אף שאינה מומרת לאנרגיה מכנית.	2	חלוקת העיגול לפחות ל-2 גזרות: גובה, תנועה.		
דוגמאות לתשובות תלמידים ללא הגהה, בליווי הניקוד שניתן וההסבר לכך:					
2	התייחסות לעיקר.	1	הוספת אנרגיה אלסטית / קפיצית. (לא ייתכן כי הרי הכדור כבר במעלה השיפוע)		1. חלוקת העיגול ל-4 גזרות: גובה, תנועה, אלסטית, חום.
1	אין התייחסות לאנרגיית חום.	2	מוצגות שתי אנרגיות מכניות.		2. אנרגיית גובה + אנרגיית תנועה

נספח ה: הנחיות לעבודת הסיכום לבדיקת מיומנויות ידע, חשיבה, מידול והעברה

עבודה להגשה (הערכה חלופית) - פסיקה ט': "מתעדים המרות אנרגיה"

המשימה: מצגת – "מצלמים המרות אנרגיה" / דגם - "יוצרים המרות אנרגיה"

(עבודה נושאת ציון על פי רשימת קריטריונים*).

להלן הנחיות לעריכת המצגת.

1. כל קבוצה בוחרת לצלם תופעה בה מתרחשות המרות אנרגיה, בצילום וידאו או בצילום תמונות רצף במצלמה (סדרת תמונות בודדות היוצרות יחד רצף התופעה).
לבחור 5-8 תמונות המייצגות מצבים שונים.
2. לצד כל תמונה יש להוסיף:
 - א. כיתוב המתאר את התופעה, הגופים והפעולות
 - ב. ניתוח המרות אנרגיה בתרשים מלבנים
 - ג. ניתוח המרות אנרגיה בתרשים עוגההתופעה חייבת לכלול לפחות 3 המרות אנרגיה.
3. לציין את הגורם המשפיע, הגורם המושפע והגורמים הקבועים במערכת.
4. לשנות את אחד הגורמים ולהסיק כיצד השתנו התוצאות.
5. להסביר את התוצאות כסיכום/טבלה/גרף וכיצד חוק שימור האנרגיה מתקיים בתופעה הנבחרת.
6. את העבודה יש להגיש בפורמט של מצגת, תוך ציון שמות חברי הקבוצה. המצגת תכלול עד 10 שקופיות. יש לצרף למצגת גם את הסרטון עצמו.
7. לערוך את העבודה כך שתכלול את תיאור התופעה, הגופים והפעולות, מהלך הניסוי ומסקנות. יש לשמור על החוק, צנעת הפרט, כבוד לזולת, כללי בטיחות.

דף הקריטריונים להערכת העבודה. (נא לשים לב למשקל של כל קריטריון)

נושא העבודה: _____ חברי הקבוצה: _____

<u>ציון</u>	<u>משקל</u>	<u>הערות</u>	<u>קריטריונים</u>
	10%		1. עריכת המצגת / הדגם היא אסתטית
	35%		2. הנושא המרכזי מוצג בצורה ברורה, תיאור נכון של המרות האנרגיה, קיים קשר בין ההסבר המילולי לתמונות/מרכיבי הדגם- תוך שימוש בתרשימי מלבנים ובתרשימי עוגה, שילוב מושגים מתאימים לנושא
	25%		3. ישנה התייחסות לחוק שימור האנרגיה תוך שינוי אחד הגורמים המשפיעים
	5%		4. הגשת העבודה בזמן
	5%		5. הפגנת יצירתיות, העצמה קבוצתית
	10%		6. עמוד סיכום מתומצת וברור
	10%		7. רפלקציה אישית
	100%		<u>סך הכול</u>

דוגמה להצגת ניתוח תופעה פיזיקלית, כולל תיאור התופעה, הגופים והפעולות. מצורפת הצעה לחקר, כולל פירוט גורם משפיע, גורם מושפע וגורמים קבועים במערכת:

סיני מצגת:
"המרות אנרגיה"
1....
אקשן

להלן 4 השקופיות הראשונות מתוך רצף השקופיות של ניתוח התופעה על פי מודל הפירמידה:

2	1
4 – רעיון כניסוי חקר, בשינוי משתנה משפיע אחד	3

נספח ו: מחוון מחקרי לעבודת הסיכום למתקף

שם העבודה:		מספר סידורי של העבודה:		
אפשרויות הניקוד	פירוט אפשרויות הניקוד	מושגים, הסברים נדרשים ודוגמאות	רמת החשיבה	קריטריון
3, 2, 1, 0	<p>3= מוזכרים כל הגופים המעורבים בתופעה</p> <p>2= מוזכרים רוב מהגופים המעורבים בתופעה</p> <p>1= מוזכרים מחצית ופחות מהגופים המעורבים בתופעה</p> <p>0=לא מוזכרים גופים המעורבים בתופעה</p>	<p>התייחסות לגופים המשתתפים בתופעה, לדוגמה: יד, חץ, אופניים, כדור, רצפה.</p>	<p>רמת חשיבה נמוכה: ידע (זיהוי גופים)</p>	<p>1.1 תיאור התופעה במילים - גופים</p>
3, 2, 1, 0	<p>3=מוזכרות כל הפעולות המתרחשות בתופעה</p> <p>2= מוזכרות רוב פעולות המעורבים בתופעה</p> <p>1=מוזכרות חלק מהפעולות המתרחשות בתופעה</p> <p>0=לא מוזכרות פעולות כלל</p>	<p>כתיבת הפעולות המתרחשות, לדוגמה: הפעלת שרירי יד, נפילת כדור, קפיץ נמתח, כדור עולה מעלה.</p>	<p>1. רמת חשיבה נמוכה: ידע (זיהוי פעולות)</p>	<p>1.2 תיאור התופעה במילים - פעולות</p>
2, 1, 0	<p>2= תיאור מלא של כל השינויים ומגמות השינוי של כל שלב בתופעה.</p> <p>1= תיאור חלקי של השינויים ומגמות השינוי, לגבי חלק מהשלבים בתופעה.</p> <p>0= אין התייחסות לשינויים בעת המרות האנרגיה.</p>	<p>מעבר משינוי לשינוי, ותיאור ברור של השינויים לפי סדרם, לדוגמה:</p> <p>א. הרכבת מניעה רגליה, האופניים נעים קדימה ועולים במעלה הגבעה.</p> <p>ב. מיתר הקשת השתחרר ממתחתו והחץ נורה קדימה.</p> <p>ג. הכדור נפל, גובהו קטן מהירותו הלכה וגברה, בפוגעו ברצפה נשמעה חבטה.</p>	<p>2. רמת חשיבה נמוכה: ידע (סדר פעולות)</p>	
3, 2, 1, 0	<p>3= פירוט כל צורות האנרגיה המעורבות בתופעה.</p> <p>2= תיאור רוב צורות האנרגיה המעורבות בתופעה.</p> <p>1= תיאור מחצית ומטה של צורות האנרגיה המעורבות בתופעה.</p> <p>0= לא מתוארות המרות אנרגיה.</p>	<p>תיאור השינויים בשפת האנרגיה. לדוגמה: אנרגיית גובה של הכדור, אנרגיית תנועת החץ, אנרגיה כימית בשרירים.</p>	<p>1. רמת חשיבה נמוכה: הבנה (תרגום מתיאור מילולי לשפת האנרגיה)</p>	<p>2. תיאור המרות אנרגיה במילים</p>
2, 1, 0	<p>2= יש קישור בין תיאור השינויים בתופעה לשיום המצבים בשפת האנרגיה בסדר הנכון.</p> <p>1= קישור חלקי בין השינויים לשפת האנרגיה, או, סדר חלקי של תיאור המרות האנרגיה.</p> <p>0= אין שימוש בשפת האנרגיה.</p>	<p>סדר נכון של תיאור השינויים בשפת האנרגיה, לדוגמה: מאנרגיה כימית בשרירים לאנרגיית תנועת האופניים.</p>	<p>2. רמת חשיבה גבוהה: סינתזה (חיבור בין צורות האנרגיה בסדר נכון)</p>	

<p>0, 1, 2, 3, 4, 5</p>	<p>5 = כתיבה נכונה של כל צורות האנרגיה והגופים לגביהם חלים השינויים, לפי סדרם (שרשרת לפחות של 3 המרות). 4 = כתיבה נכונה של צורות האנרגיה והגופים, לפי סדרם בשרשרת של 2 המרות. 3 = כתיבה נכונה של כל צורות האנרגיה ללא ציון הגופים, ב-3 המרות. 2 = סדר נכון של צורות האנרגיה אך בשילוב אנרגיית חום (כתוצאה מחיכוך) המומרת לאנרגיה אחרת (שזו טעות). 1 = כתיבה חלקית של צורות האנרגיה, או / גם כתיבת אנרגיית חיכוך (כתיבה שגויה), כחלק משרשרת ההמרות. 0 = אין תרשים המרות אנרגיה.</p>	<p>כתיבה נכונה של שרשרת המרות האנרגיה בתרשים זרימה תוך כתיבת צורת האנרגיה והגוף לגביו חל השינוי, לדוגמה: א. <u>רכיבה באופניים במעלה גבעה</u>: אנרגיה כימית בשרירים -> אנרגיית תנועת הרגליים -> אנרגיית תנועת האופניים -> אנרגיית גובה + אנרגיית חום. ב. <u>יריית חץ מקשת</u>: אנרגיה כימית בשרירים -> אנרגיית תנועת היד -> אנרגיה אלסטית של מיתר הקשת -> אנרגיית תנועת החץ -> אנרגיית חום. ג. <u>הקפצת דסקית בלונה פארק שפוגעת בפעמון</u>: אנרגיה כימית בשרירים -> אנרגיית תנועת הפטיש -> אנרגיה קפיצית -> אנרגיית תנועת הדסקית -> אנרגיית גובה הדסקית -> אנרגיית קול + אנרגיית חום</p>	<p>רמת הבנה גבוהה: אנליזה</p>	<p>3. תיאור המרות אנרגיה בתרשים זרימה</p>
<p>0, 1, 2, 3</p>	<p>לפי סדר הופעתם: תרשים א 3 = שיום כל צורות האנרגיה בתרשים עוגה/גרף. 2 = התייחסות לחלק מצורות האנרגיה בתרשים עוגה/גרף. 1 = התייחסות למצב אחד. 0 = אין תרשים עוגה/גרף.</p>	<p>תיאור שלושה מצבים מסוימים (לבחירת התלמידים), המוצגים בתרשים עוגה / גרף. כתיבת צורות האנרגיות הקיימות בשלבים שנבחרו. אין צורך לדייק בכמויות או באחוזים.</p>	<p>1. רמת הבנה גבוהה: אנליזה (הצגה גרפית)</p>	<p>4. חוק שימור האנרגיה בתרשים עוגה / גרף</p>
<p>0, 1, 2, 3</p>	<p>תרשים ב 3 = שיום כל צורות האנרגיה בתרשים עוגה/גרף. 2 = התייחסות לחלק מצורות האנרגיה בתרשים עוגה/גרף. 1 = התייחסות למצב אחד 0 = אין תרשימי עוגה/גרף.</p>			
<p>0, 1, 2, 3</p>	<p>תרשים ג 3 = שיום כל צורות האנרגיה בתרשים עוגה 2 = התייחסות לחלק מצורות האנרגיה בתרשים עוגה 1 = התייחסות למצב אחד 0 = אין תרשימי עוגה</p>			
<p>0, 1, 2, 3</p>	<p>3 = יש עקביות בשינויי כמויות האנרגיה במעבר בין המצבים. 2 = יש עקביות חלקית בשינויי כמויות האנרגיה במעבר בין המצבים. 1 = אין עקביות בשינויים כמויות האנרגיה במעבר בין המצבים. 0 = התייחסות לסוג אנרגיה אחד בתופעה.</p>	<p>במעבר מתרשים לתרשים נשמר יחס נכון של השינויים בכמויות האנרגיה המומרות בתופעה.</p>	<p>2. רמת הבנה גבוהה: סינתזה (צירוף נכון של מידע)</p>	
<p>0, 1, 2</p>	<p>2 = ניסוח שימור האנרגיה בתופעה 1 = ניסוח חלקי של שימור האנרגיה בתופעה 0 = אין ניסוח של שימור האנרגיה בתופעה</p>	<p>ניסוח חוק שימור האנרגיה בתופעה שנבחרה</p>	<p>רמת חשיבה נמוכה: הבנה</p>	<p>5.1 חוק שימור האנרגיה ניסוח במילים</p>

	ניסוח נכון של הגורמים :	תיאור ברור של מספר גורמים בתופעה : משתנה בלתי תלוי, משתנה תלוי וגורמים קבועים.	1. רמת חשיבה גבוהה : אנליזה	5.2 חוק שימור האנרגיה ניסוח במילים – גורמים המעורבים בתופעה
2,1,0	כתיבת גורם משפיע, לדוגמה : כמות האנרגיה הכימית בשרירים שהושקעה.			
2,1,0	כתיבת גורם מושפע, לדוגמה : הגובה אליו הגיעה רוכבת האופניים.			
2,1,0	כתיבת 2 גורמים קבועים, לדוגמה : משטח הנסיעה, סוג האופניים.			
2,1,0	2 = ניסוח נכון של הקשר בין הגורם המשפיע לגורם המושפע. 1 = ניסוח חלקי של הקשר בין הגורמים. 0 = אין תיאור קשר בין הגורמים.	תיאור שינוי כלשהו של המשתנה המשפיע ותוצאת השפעתו על המשתנה המושפע. <u>לדוגמה</u> : האנרגיה הכימית שהושקעה בתחילת הנסיעה השפיעה על הגובה אליו הגיעה הרוכבת. כאשר הושקעה אנרגיה כימית בשרירים רבה יותר – הרוכבת הגיעה לגובה רב יותר.	2. רמת חשיבה גבוהה : סינתזה	
2,1,0	2 = יכולת ניתוח תופעה חדשה שלא נידונה בכיתה. 1 = שינוי/חידוש כלשהו בתופעה על פי התופעות שנידונו בכיתה. 0 = גוף כלשהו שנופל, ירי חץ מקשת, רכיבה על אופניים, דומינו ספרים.	מידת היצירתיות שהופגנה. לא חיקוי של דוגמאות שנערכו בכיתה או בדוגמה לעבודה, כגון : כדור נופל, ירי חץ מקשת, רכיבה באופניים, דומינו ספרים.	רמת חשיבה יישום (העברה)	6. סיווג התופעה


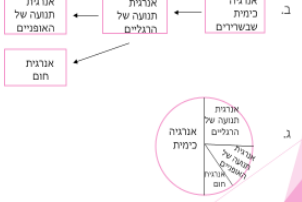
נספח ז: ניתוח עבודת סיכום לפי המחון המחקרי

עבודה 1: רכיבה על אופניים במעלה מדרון

רכיבת אופניים נוסעת בשיפוע מעלה

תיאור תופעה מספר 1:

א. הרכיבת נוסעת במצב סטטי. ללא תנועה.
 ב. יש 0 אנרגיה שמופעלת.
 ג. אין אנרגיה שמופעלת.

רכיבת אופניים נוסעת בשיפוע מעלה

תיאור תופעה מספר 2:

א. הרכיבת מפעילה כוח על דוושות האופניים. תנועה זאת מומרת לתנועה קדימה. האנרגיה מופעלת על האופניים.

ב. אנרגיה כימית שבשרירים → אנרגיה תנועה של הגלגלים → אנרגיה תנועה של האופניים → אנרגיה חום




רכיבת אופניים נוסעת בשיפוע מעלה

תיאור תופעה מספר 3:

א. הרכיבת ממשיכה בתנועתה. עם התגברות השיפוע, יש מאמץ יותר גדול מצדה. האנרגיה מופעלת על האופניים.

ב. אנרגיה כימית שבשרירים → אנרגיה תנועה של הגלגלים → אנרגיה תנועה של האופניים → אנרגיה חום

ג. אנרגיה כימית שבשרירים → אנרגיה תנועה של הגלגלים → אנרגיה תנועה של האופניים → אנרגיה חום




שינוי אחד הגורמים בתופעה

שינוי המסה הכוללת:

השינוי הוא שיש פחות צורך בהשקעת אנרגיה כימית שבשרירים כדי להגיע לאותו גובה. האנרגיה ההתחלתית שווה בכמותה לאנרגיה הסופית, אך המסות שונות.



רכיבת אופניים נוסעת בשיפוע מעלה

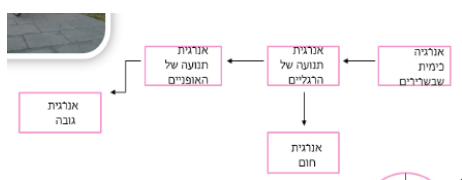

- הגורם המשפיע בתופעה: כמות האנרגיה הכימית בשרירים שהושקעה.
- הגורם המושפע בתופעה: הגובה אליו הגיעה הרכיבת עם האופניים.
- הגורם הקבוע בתופעה: המשטח שעליו נוסעים האופניים.

סיכום

מאחר והחלטנו לצורך הדוגמה שתנועת האופניים תהיה במעלה הרה, כל האנרגיות והכוחות הפועלים התגברו תוך כדי הפיקת אנרגיה גובה. בתופעה זו ניתן לראות כיצד האנרגיה נשמרת בעוד שהיא משנה את צורתה מסוג אנרגיה אחד לאחר.



טבלת תיקון

קריטריון	רמת החשיבה	אפשרויות הניקוד	הסבר לניקוד שניתן לקריטריון זה	ציון
1.1 תיאור התופעה במילים - גופים	רמת חשיבה נמוכה: ידע (זיהוי גופים)	3, 2, 1, 0	רוכבת, אופניים, מדרון, אם כי חסר אוויר (כי בהמשך יש התייחסות לחיכוך)	3
1.2 תיאור התופעה במילים - פעולות	1. רמת חשיבה נמוכה: ידע (זיהוי פעולות)	3, 2, 1, 0	הפעלת שרירי רגליים, תנועת האופניים. חסר העלייה בגובה.	2
	2. רמת חשיבה נמוכה: ידע (סדר פעולות)	2, 1, 0	יש פירוט של הפעולות, ומה ההמשך שלהן. לדוגמה: הפעלת כוח על דוושות האופניים יוצרת תנועה, שמומרת לתנועה קדימה. (אם כי המינוח הנכון להתנסח הפעלת שרירי הרגליים ולא כוח)	2
2. תיאור המרות אנרגיה במילים	1. רמת חשיבה נמוכה: הבנה (תרגום מתיאור מילולי לשפת האנרגיות)	3, 2, 1, 0	בתיאור המילולי: אין שיום של כל צורות האנרגיה במילים.	2
	2. רמת חשיבה גבוהה: סינתזה (חיבור בין צורות האנרגיה בסדר נכון)	2, 1, 0	קישור חלקי. המשפטים יש ערבוב של פעולות עם אנרגיות.	1
3. תיאור המרות אנרגיה בתרשים זרימה	רמת הבנה גבוהה: אנליזה	5, 4, 3, 2, 1, 0	יש פירוט של תרשימי אנרגיה לכל מצב מ-3 המצבים שנבחרו. מספיק התרשים המסכם, שהוא נכון: 	5
4. חוק שימור האנרגיה בתרשים עוגה / גרף	1. רמת הבנה גבוהה: אנליזה (הצגה גרפית)		קיימים 3 תרשימי עוגה ל-3 מצבים שנבחרו. התרשימים נכונים. לדוגמה: 	3
	תרשים א	3, 2, 1, 0		
	תרשים ב	3, 2, 1, 0		
	תרשים ג	3, 2, 1, 0		
	2. רמת הבנה גבוהה: סינתזה (צירוף נכון של מידע)	3, 2, 1, 0	יש חלוקה עקבית בשינויי כמויות האנרגיה במעבר מתרשים לתרשים. כגון: בעוד שאנרגיית התנועה פוחתת - אנרגיית הגובה גדלה.	3
5.1 חוק שימור האנרגיה ניסוח במילים	רמת חשיבה נמוכה: הבנה	2, 1, 0	יש ניסוח לא ממוקד: האנרגיה ההתחלתית שווה בכמותה לאנרגיה הסופית. *אלו אנרגיות? ומשפטי הסיכום: כל האנרגיות והכוחות (לא קשור לניתוח) התגברו תוך כדי הפקת אנרגיית גובה. האנרגיה נשמרת... משנה צורתה... (שוב: אלו אנרגיות?) וגם, מה הקשר למסה (!)	1

2	כמות אנרגיה כימית שהושקעה	2, 1, 0	כתיבת גורם משפיע	1. רמת חשיבה גבוהה : אנליזה	5.2 חוק שימור האנרגיה ניסוח במילים – גורמים המעורבים בתופעה
2	הגובה אליו הגיעה הרוכבת	2, 1, 0	כתיבת גורם מושפע		
1	גורם אחד : משטח	2, 1, 0	כתיבת 2 גורמים קבועים	2. רמת חשיבה גבוהה : סינתזה	
1	יש תיאור חלקי בצורך בהשקעת אנרגיה כימית כדי להגיע לגובה, אך הקשר לא ממוקד, יש התייחסות תמוהה לשינוי המסה.	2, 1, 0	תיאור שינוי המשתנה המשפיע על המשתנה המושפע		
1	אמנם העבודה עוסקת ברכיבה באופניים, אך בשילוב עלייה.		2, 1, 0	רמת חשיבה : יישום (העברה)	6. סיווג התופעה

שאלות לראיון תלמידים

בריאיון תלמידות – הנוסח בלשון נקבה.

1. האם לדעתך חשוב שכל תלמידי כיתה ט' ילמדו פיזיקה?
 2. האם אתה מבין טוב יותר את תופעות היום-יום בזכות לימודי הפיזיקה?
 3. באילו קשיים נתקלת בעת לימוד נושא המרות אנרגיה?
 4. מה עזר לך להתמודד עם הקשיים שהתעוררו בעת לימוד נושא המרות אנרגיה?
 5. האם אתה חושב להמשיך ללמוד פיזיקה בתיכון או במסגרת לימודית אחרת?
 6. אילו גיוונים ניתן לערוך בשיעורים לעניין יותר את התלמידים?
 7. כיצד ידעת איך לנסח שרשרת המרות אנרגיה לתופעות חדשות שלא נידונו בכיתה?
 8. מה היו המניעים שלך בעת בחירת הנושא לעבודה המצולמת?
 9. במה נעזרת כאשר תיארת את התופעה וניסחת את חוק שימור האנרגיה?
 10. הגדר מהי אנרגיה.
 11. האם יש הבדלים בין ההתייחסות לאנרגיה כפי שנלמדת בכיתה להתייחסות לאנרגיה בתופעות בחיי היום יום?
 12. האם אתה נהנה ללמוד פיזיקה? האם אתה לומד פיזיקה כי זה חשוב או כי זה מעניין?
- דוגמאות לשאלות נוספות שעלו במהלך הראיון, להבנה ברורה של דברי המרואיינים:
- האם יש צורך ללמד את מקצוע הפיזיקה ביתר הרחבה בכיתות נמוכות יותר?
 - האם מה שאתה לומד בשיעורי פיזיקה עוזרים לך באופן כללי בחיים מחוץ לכיתה, נניח בבית או פעילות בשעות הפנאי?
 - כיצד נושא המרות אנרגיה סייעו לך בהבנת תופעות ביום-יום?
 - האם הדרך בה למדת את נושא המרות אנרגיה היה מובן?
 - אילו המלצות יש לך כדי לחבב / לעניין את מקצוע הפיזיקה בקרב תלמידים?
 - אילו המלצות יש לך להגביר סקרנות של תלמידים ללמוד פיזיקה?
 - באילו אסטרטגיות חשיבה (דרך החשיבה) נעזרת כאשר ניתחת שרשרת המרות אנרגיה?
 - האם לדעתך ניתוח שרשרת המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה סייעו לך כשלמדת בצורה מורחבת, כוללת חישובים, את נושא האנרגיות גובה תנועה חום?
 - כיצד אתה מתייחס למושג אנרגיה בכיתה וכיצד מחוץ לכיתה?
 - מדוע פיזיקה זה חשוב / לא חשוב? או: מה מעניין / לא מעניין במקצוע זה?

נספח ט: כתב הסכמה של ההורה

לכבוד

חני סולימנופול

(שם החוקרת)

א"נ/ג"נ

הנדון: כתב הסכמה לאיסוף נתונים מזוהים

הואיל ואת עורכת מחקר בנושא "המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה" והואיל וביקשת את הסכמתי לכך שתאספי במסגרת המחקר נתונים מזוהים על אודות בני/בתי _____ (נא לרשום את שם הבן/הבת).

לפיכך הריני מצהיר/ה בזאת כדלקמן:

- א. כי הסברת לי את מטרות המחקר ואת הנושאים ואת הסוגיות שייבדקו במסגרתו;
- ב. כי הסברת לי את כל הפעולות, על תוכנן, שמתוכנן כי בני/בתי ישתתף/תשתתף בהן במסגרת מחקר זה;
- ג. כי ציינת בפניי את המועד האחרון שבו יושמט הזיהוי מהנתונים שייאספו;
- ד. כי ציינת בפניי שתנקוט את כל האמצעים הדרושים כדי להבטיח את סודיות הנתונים המזוהים עד אשר יושמט זיהויים;
- ה. כי מסרת לי שפרסום הנתונים לא יתבצע באופן שיאפשר את זיהוי בני/בתי.

לאחר שהבנתי את כל האמור לעיל, הריני נותן/ת בזה את הסכמתי לאיסוף הנתונים הנ"ל על ידך.

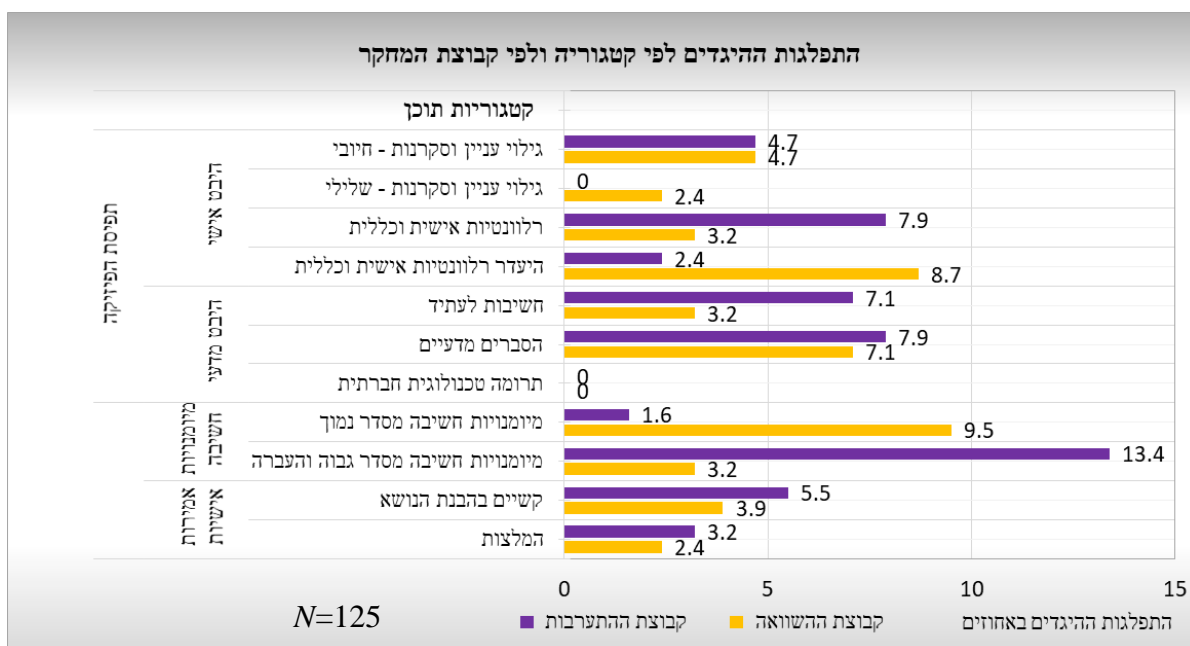
ולראיה באתי על החתום

_____	_____	_____
חתימה	שם פרטי ומשפחה של האב/האם	תאריך

נספח י: ממצאים שהתקבלו מניתוח הראיונות

שאלת המחקר הראשונה נועדה לבדוק האם וכיצד אופן הכוונה פדגוגית מטה-קוגניטיבית גורמת לשינוי בתפיסותיהם של התלמידים ביחס ללימודי הפיזיקה. על מנת לתמוך בממצאים הכמותניים שהתקבלו באמצעות שאלון תפיסת הפיזיקה, נערכו גם ראיונות חצי מובנים. השאלות שהופנו לששת המרואיינים התבססו על הקריטריונים של תפיסת הפיזיקה מההיבט האישי ומההיבט המדעי, כאשר מתוך הראיונות עלו טיעונים וכוונות, המסבירים קטגוריות אלו. בנוסף, התלמידים המרואיינים העלו טיעונים, שניתן לשייכם כדרכי חשיבה שהפעילו במהלך לימוד הנושא. בראיונות הוצפו מעט מהקשיים אשר חוו התלמידים בתקופת לימוד הנושא, ואופני ההתמודדות איתם. ההיגדים מוינו לפי הקטגוריות ונספרו תוך הפרדה בין מרואייני קבוצת ההתערבות לקבוצת ההשוואה.

בתרשים 8 מוצגת התפלגות ההיגדים (באחוזים) שעלו בראיונות, בקרב תלמידי קבוצת ההתערבות וקבוצת ההשוואה. חישוב האחוזים נערך מתוך סך כל ההיגדים משתי קבוצות המחקר יחדיו ($N = 125$).



תרשים 8. התפלגות ההיגדים (באחוזים) בראיונות לפי קטגוריה ולפי קבוצת המחקר

מעיון בתרשים 33 עולה כי בתמת תפיסת הפיזיקה בנושא ההיבט האישי יש ייצוג כמעט שווה של היגדים בקבוצת ההתערבות (22.1%) ובקבוצת ההשוואה (22.2%). בפילוח לפי קטגוריות תוכן בשתי הקבוצות ישנה התייחסות שווה לקטגוריית גילוי עניין וסקרנות באופן חיובי למקצוע הפיזיקה (4.7%) ורק בקבוצת ההשוואה היו התבטאויות של חוסר גילוי עניין וסקרנות (2.4%). בקטגוריית רלוונטיות אישית וכללית של מקצוע הפיזיקה בקבוצת ההתערבות היה ייצוג גדול יותר של היגדים חיוביים (7.9%) ובקבוצת ההשוואה ייצוג נמוך יותר של היגדים בקטגוריה זו (3.2%). לעומת זאת, שיעור ההיגדים של קטגוריית חוסר

רלוונטיות אישית וכללית של מקצוע הפיזיקה נמוך יותר בקבוצת ההתערבות (2.4%) לעומת קבוצת ההשוואה (8.7%). לבסוף, בנושא ההיבט האישי, שיעור קטגוריית חשיבות מקצוע הפיזיקה לעתיד גבוה יותר בקבוצת ההתערבות (7.1%) לעומת קבוצת ההשוואה (3.2%).

בתמת תפיסת הפיזיקה בנושא ההיבט המדעי בשתי הקבוצות יש ייצוג כמעט שווה של היגדים בקטגוריית מתן הסברים מדעיים בקבוצת ההתערבות (7.9%) ובקבוצת ההשוואה (7.1%). בשתי הקבוצות 0% היגדים המתמייחסים לתרומת הפיזיקה בתחום הטכנולוגי והחברתי.

בתמת מיומנויות חשיבה יש יותר ייצוג של היגדים בקבוצת ההתערבות (15%) מאשר בקבוצת ההשוואה (12.7%). בקטגוריית מיומנויות חשיבה מסדר נמוך נראה ייצוג נמוך מאוד של היגדים בקבוצת ההתערבות (1.6%) מאשר בקבוצת ההשוואה (9.5%). לעומת זאת, בקטגוריית מיומנויות חשיבה מסדר גבוה ומיומנות העברה נראה ייצוג גבוה הרבה יותר בקבוצת ההתערבות (13.4%) מאשר בקבוצת ההשוואה (3.2%).

לבסוף, בנושא אמירות אישיות קיים ייצוג מעט גבוה של היגדים בקבוצת ההתערבות מאשר בקבוצת ההשוואה. בקטגוריית קשיים במקצוע הפיזיקה יש יותר ייצוג בקבוצת ההתערבות (5.5%) מאשר בקבוצת ההשוואה (3.9%), משום שמרואייני קבוצת ההתערבות העלו יותר דרכים להתמודדות שלהם עם הקשיים. לבסוף, בקטגוריית המלצות הועלו מעט יותר המלצות בקרב מרואייני קבוצת ההתערבות (3.2%) מאשר בקבוצת ההשוואה (2.4%).

להלן מובאים ציטוטי המרואיינים, תוך שהם ערוכים על פי קטגוריות התוכן ומקובצים באותו הקשר לאותו מרואיין/ת. השמות (הבדויים) של המרואיינים עם מספר קוד המשיך לקבוצת המחקר: דניאל, יוליה ועומר מקבוצת ההתערבות (1), נגה, ליאל ולינוי מקבוצת ההשוואה (2). ציטוטי המרואיינים מובאים בין "מירכאות כפולות". לעתים משובצות שאלות המראיינת בין 'מירכאות בודדות' להבנת ההקשר של הנאמר מפי המרואיינים.

קטגוריות בתמה תפיסת הפיזיקה

תמת תפיסת הפיזיקה עוסקת בעמדות התלמידים כלפי מדע הפיזיקה משתי נקודות ראות: היבט אישי והיבט מדעי.

היבט אישי

היבט אישי (Individual), מהווה את הקשר הנוצר הודות לניסיון האישי אותו חווה הלומד עם העולם הפיזי, מעבר לספרי הלימוד או על ידי תיווך המורה (Roth & Roychoudhury, 1994).

מבחינת תפיסת עולמם האישי של המרואיינים עלו עמדות, אשר סווגו לפי: א. גילוי עניין וסקרנות, ב. רלוונטיות אישית וכללית, ג. חשיבות לעתיד.

א. גילוי עניין וסקרנות

קטגוריית גילוי עניין משלבת תחושות, מחשבות ופעילויות, על פני אחרות, אשר מושכות את תשומת לב ומהוות גורם הנעה להמשך עיסוק בנושא יותר (Gardner & Tamir, 1989a, in Trumper, 2006).

להלן היגדים שעלו בראיונות בקטגוריית גילוי עניין וסקרנות.

דברי המרואיינים בנושא גילוי עניין וסקרנות בנימה חיובית

דניאל (1): "אני נהנית ללמוד פיזיקה, אני חושבת שזה נורא מעשיר, מפתח את יכולת החשיבה". לשאלה 'האם מקצוע הפיזיקה מעניין או כי זה חשוב?', היא השיבה: "הייתי אומרת גם וגם. כי זה נורא מעניין לראות תופעות ופשוט לנתח אותן, לראות מה גורם להן, אלו שינויים קורים בתהליך הזה". לינוי (2) השיבה: "כן, אני נהנית מהמקצוע. זה כאילו גם קל לי ואני מבינה את החומר יותר בפיזיקה ואני אוהבת ללמוד את זה". ובהמשך: "לא כולם (אוהבים ללמוד פיזיקה), לא נראה לי בכיתה שכאילו שזה מקצוע כול כך אהוד. אבל אני ספציפית אוהבת". נגה (2) לא הרחיבה בתשובתה: "זה כן מעניין, אני יודעת שאותי זה מעניין ועוד חברה שלי זה מעניין...".

דברי המרואיינים בנושא גילוי עניין וסקרנות בנימה לא החלטית

ליאל (2) הפגין ניטרליות באומרו: "זה עוזר... אם זה חשוב? זה מועיל? לא יודע, יש כאלה שזה מעניין אותם יש כאלה שמעניין אותם מאוד". ואחר הביע חוסר החלטיות: "אני ספציפית לא כל כך מתחבר למקצוע הזה, לא יודע" והוסיף: "זה לא משעמם אותי, זה מעניין, אבל קשה לי. לומד מכיוון שזה מעניין מרגיש שזה חשוב ללמוד פיזיקה". יוליה (1) סתרה את עצמה, בהתחלה אמרה: "די כף" ובהמשך: "זה פחות מעניין אותי".

ב. רלוונטיות אישית וכללית

Lijnse (1990) מבחין בין רלוונטיות מעשית-תכליתית (Pragmatic Relevance), הכרוכה בידע ובמיומנויות המועילים ישירות לפעולה במצבים בעולם החיים, לבין רלוונטיות תיאורטית (Theoretical Relevance), המכוונת להבנה עמוקה ועקבית בעולם בו אנו חיים.

להלן אמירות המיוחסות לקטגוריית הרלוונטיות.

דברי המרואיינים בנושא רלוונטיות הפיזיקה בהיבט כללי

דניאל (1): "בכללי פיזיקה זה מקצוע שהוא נורא חשוב, שהוא בסיסי לחיי היום-יום" והוסיפה בהמשך: "לומדים בשיעור כל מיני חישובים של אנרגיות מסוימות: אנרגיית גובה, אנרגיית תנועה, גם משהו שעוזר מחוץ לשיעור. זה ממש להבין את הבפנים, של כל העניין" והרחיבה: "אני חושבת שיש בזה משהו משותף, כי אנחנו מדברים נורא בכלליות על דברים שקורים בחוץ ואיך זה יכול להתבטא בחיים היום-יום בחוץ. אני חושבת שיש לזה משהו משותף כי זה נלמד בסיס שככה אפשר ללכת בחיי היום-יום ולהתמצא, כאילו

להבין כול פעולה ואת האנרגיה שנדרשת לפעולה הזאת, אז כן יש משהו משותף". לינוי (2) ניסתה להסביר את ההקשר של המושג אנרגיה הנלמד בכיתה לבין המיוחס לו מחוץ לכיתה: "האנרגיה בכיתה, כאילו, זה אנרגיה של גופים, וכאילו לרוב אנו משתמשים כאילו ביום-יום באנרגיה בנושא של ספורט וכאלו, שאנו מקבלים אנרגיה לגוף וכול מיני כאלו". 'אז יש הבדל? "כן. יש". בהמשך אמרה: "לא. כאילו. זה אותו דבר. אבל כאילו הניסוח בחוץ הוא שונה. כאילו משתמשים ב... נגיד שאומרים אם תאכלי כאילו כל מיני ויטמינים תקבלי אנרגיה. 'ובכיתה?' "זה גם, אבל... זה כאילו אנרגיה של גופים של כל מיני חפצים".

דברי המרואיינים בנושא רלוונטיות הפיזיקה ברמה האישית

דניאל (1) הסבירה תוך מתן דוגמה: "זה, סתם דוגמה, תהליכים שקורים, מה קורה בעצם מתחת לכל הדבר הזה, אם יש דברים הכי בסיסיים (תהתה לגבי המשך תשובתה ונתקלה בפוסטר מצבי צבירה על קיר המעבדה): קרח שהופך למים, אז נורא מעניין מה גורם לזה, איך זה יכול להשפיע, מה אני יכולה לעשות עם זה, אז זה דברים שיכולים מאוד מאוד לעניין ולסקרן" והעידה על עצמה בקשר ללימודי הפיזיקה: "אני חושבת שנורא חשוב, ואותי אישית זה נורא מעשיר". בדבר עבודת הסיכום דניאל (1) טענה: "אמרתי שאני אשתמש בכמה שיותר תנועה, משהו שנגיד תלמידים אחרים יכולים להזדהות אתו. זה בעיקר מה שהשתמשתי". יוליה (1) טענה כי לימודי הפיזיקה עוזרים לה בחיים מחוץ לכיתה: "כן, לפעמים יוצא לי", והסבירה: "כי חלק מהדברים שהיו ביום-יום היו בדוגמאות שניתנו בכיתה". ניסתה לתת דוגמה: "אני לא זוכרת עם מה זה היה, אני לא זוכרת כול כך, אני זוכרת שחשבתי 'אה אני למדתי את זה בפיזיקה', כאילו משהו שקשור לכוח המשיכה, נראה לי, לא יודעת, או שלא כול כך. אני לא זוכרת למה זה היה קשור, אבל אני זוכרת שזה היה קשור לפיזיקה". תשובתה לקשר בין המושג אנרגיה הנלמד בכיתה לבין הקשרו מחוץ לכיתה ענתה: "אני לא חושבת שיש הבדל", אבל לא ציינה דוגמאות. לינוי (2) השיבה כי לימודי הפיזיקה עוזרים לה בחיים מחוץ לכיתה: "זה כל מיני תופעות, נגיד על כול האנרגיות וזה". היא נתנה דוגמה: "אני לא בטוחה שזה היה בפיזיקה השנה או שנה שעברה, אבל נראה לי על החשמל. אז זה היה על החשמל והקצר וכול העומס יתר וזה, ושנפל החשמל, כאילו הצלחתי להבין ולדבר על זה עם ההורים שלי". עומר (1) הביע דעתו אם שיעורי הפיזיקה מסייעים לו בחיי היום יום באומרו: "כן בערך. בקושי. אבל אפשר איכשהו. לא יודע... נגיד כאילו כל הדברים האלה עם החום, דברים כאלה, שיודעים על זה, אז זה כאילו... אם יודעים על זה אז זה קצת יותר קל" 'להתנהל ביום-יום?' "כן" והמשיך: "נגיד שאני מחמם משהו, אני רואה שכאילו יש קשר למה שלמדתי. למדתי שצריך להגיע לחום מסוים כדי לחמם דברים, מים נגיד, אז אני מבין את הקשר כאילו, למה שלמדתי".

חוסר החלטיות בדברי המרואיינים בנושא רלוונטיות הפיזיקה בהיבט כללי והיבט אישי

נגה (2) נשאלה: 'האם את חושבת מה שלמדתי בשיעורי פיזיקה עוזרים לך באופן כללי בחיים מחוץ לכיתה?' תשובתה: "לא". 'בבית? פעילות בשעות הפנאי?' "לא נראה לי". 'כלומר, פיזיקה מבחינתך זה מה

שקורה פה, בשיעורים, בתוך הכיתה... "כן". בנוגע לקשר בין לימודי הפיזיקה להבנת תופעות פיזיקליות, נגה (2) השיבה: "יש קשר מסוים, זה לא תמיד עוזר, אבל, לפעמים". מאוחר יותר הסבירה: "זה לא שיש הפרדה, זה פשוט שאם אני אראה משהו בחוץ אני לא בהכרח ישר אקשר אז למה שלמדתי בשיעור פיזיקה. זה פשוט לא..." ומיד לאחר מכן: "לרוב לא. אין חיבור". גם ליאל (2) לא רואה חיבור בין הנלמד לחיים מחוץ לכיתה: "לא. בשעות הפנאי לא". וחזר על כך פעמים נוספות. בהמשך טען לפתע: "יש קשר. יש קשר גדול" והסביר בחטף: "לפי כל מה שמתרחש בחוץ". ובכל זאת התקשה להסביר כיצד מתבטא הקשר: "יש קשר, אבל זה לא ממש אותו דבר". 'אתה אומר יש קשר אבל אתה לא יודע להצביע על הקשר' "כן, אבל לא - יש קשר, ברור".

ג. חשיבות לעתיד

לשאלה 'האם חשוב שכול תלמידי ט' ילמדו פיזיקה?' השיבה דניאל (1): "אני חושבת שזה מקצוע שיכול ממש להועיל בעתיד, גם מבחינה של מישהו שרוצה להתקדם וממש להתמקד במקצוע הזה אז טוב שיהיה לו רקע. ואני חושבת שכדאי שכל תלמידי כיתה ט' אמורים ללמוד את המקצוע הזה כי הוא מקצוע שהוא ממש יכול להועיל בעתיד". בהמשך הוסיפה: "משהו ש... סתם דוגמה, יכול ממש לעניין אנשים שמאוד רוצים להמשיך בפיזיקה. חשוב לעתיד כי דברים שנראה ביום-יום, דברים שאני אצטרך להתעסק בהם וזה חשוב שיהיה מקור, שיהיה בסיס לידע בחיי היום-יום". לשאלה 'האם את תעסקי בזה בעתיד?' היא השיבה: "אני חושבת שכן". יוליה (1) גם סבורה שלימוד פיזיקה חשוב לעתיד: "לפי דעתי כן, כי עכשיו אנחנו אולי לא יודעים מה אנחנו נרצה להיות, אבל אולי פתאום אנחנו נרצה להיות משהו שזה קשור לפיזיקה, ואנחנו לא נדע אפילו את הבסיס. אני חושבת, לפי דעתי". בהמשך שוב הביעה: "כי זה חשוב, זה ידע כללי, כאילו". לינוי (2) הצטרפה לדעה על חשיבות המקצוע לעתיד: "זה מקצוע חשוב. זה מקצוע כזה מדעי. גם כול ה... מהתיכון, וכול המקצועות החשובים". עומר גם בדעה זו: "כי יכולים להמשיך עם זה אחרי זה. מקצוע שאפשר להמשיך אתו. הוא יכול לעזור. יש מקצועות שאם רוצים ללמוד אותם דורשים פיזיקה. פיזיקה ברמה גבוהה". בעניין זה, נגה (2) הביעה הסכמה: "אני חושבת שזה לא מזיק, זה מקצוע שהוא חשוב כמו רוב המקצועות האחרים. כן חשוב" אך לאחר מכן הסתייגה: "כי אני לא באמת חושבת שזה באמת עוזר בחיים האמתיים, כי... אלא אם כן את באמת הולכת לומדת את זה אחר כך". ליאל (2) השיב: "זה עוזר... אם זה חשוב? זה מועיל? לא יודע". בהמשך לא הייתה התייחסות מצדו לחשיבות הפיזיקה בעתיד עבור הלומדים מקצוע זה ובכלל.

היבט מדעי

היבט מדעי, הנו מסגרת של עובדות, מושגים ותפיסות, כפי שמוצגת בספרי הלימוד או הנוצרת בתיווך המורה. לצורך מחקר זה ההיבט המדעי משקף את עמדות התלמידים באשר לחשיבות הפיזיקה במספר

תחומים בחיי היום-יום, הקניית מושגים בהקשר של אנרגיה וחשיבה לשימוש הגיוני באנרגיה בעקבות הוראת הפיזיקה בשיעורים (Lijnse, 1990).

מבחינת תפיסת עולמם בהיבט המדעי של המרואיינים עלו עמדות, אשר סווגו על פי: א. הסברים מדעיים. ב. שאלון התפיסות התבסס על קטגוריה נוספת: תרומה טכנולוגית וחברתית.

א. הסברים מדעיים

להלן אמירות המרואיינים בעת התייחסותם בעת מתן הסברים מדעיים למושגים תופעה פיזיקלית ואנרגיה, וחלקם לחוק שימור האנרגיה.

לשאלה: 'מהי תופעה פיזיקלית?' דניאל (1) ענתה בהיסוס: "מעבר, אולי, של אנרגיה"? נגה (2) השיבה: "כל דבר בערך הוא תופעה פיזיקלית, לא? כאילו... אהממ... לא יודעת, משהו נראה לי קשור. לא יודעת". ליאל (2) לא הבין את השאלה: "מה זאת אומרת, תופעות? לא יודע". כשהובהר לו: 'דברים שקורים בחוץ, אתה יכול לבוא ולתאר אותם, ולהסביר אותם בזכות לימודי הפיזיקה?' תשובתו: "כן זה עוזר, כן" כשהתבקש לתת דוגמה ליאל (2) ענה: "דוגמה למה"? לאחר מספר ניסיונות לקבל מענה הוא ענה: "עציץ נופל מחלון... קודם יש אנרגיית גובה, ואז אנרגיית תנועה, אם הוא נופל" משהתבקש לתת תופעה שלא נותחה בכיתה: "אהממ... אולי מטוס ממריא... מאנרגיית תנועה לאנרגיית גובה?" עוד ניסיון נוסף לקבל דוגמה: "מכונת נוסעת...". עומר (1) הסביר כיצד יודע לזהות אם מדובר בתופעה פיזיקלית: "כי, כי כאילו יש בה תנועה וזה ברור כזה, לא יודע". לשאלה מהי תופעה פיזיקלית יוליה (1) השיבה: "לא יודעת...". לגבי השאלה: 'איך את יודעת שזה קשור לפיזיקה?' השיבה: "כי... לא יודעת. לא יודעת". לשאלה: 'מהי אנרגיה?' דניאל (1) ענתה: "אנרגיה? חושבת שזה... העברת... אולי, חומר? צורת ההעברה יכול להיות. צורת ההעברה זה כאילו מן כללי כזה, כלליות... אני חושבת שזה יכול להיות מובן לכול אחד, השאלה אם נכנסים לזה בצורה יותר מעמיקה אז זה יכול לפרט ואפשר... צריך לפרט יותר כדי שאנשים יבינו מה זה הבסיס". לינוי (2) נשאלה 'מהי אנרגיה?' היא ענתה: "אנרגיה היא כוח כאילו שמניע את הגוף ויכולה כאילו לעבור מגוף לגוף". תשובתה של נגה (2): "(צחוק) אהמ... כוח מסוים שעובר בין גוף לגוף". כשיוליה (1) התבקשה להגדיר מהי אנרגיה, תשובתה הייתה: "הגדרה? אני לא זוכרת. אהה, אם יגידו לי כאילו כמה מילים ראשונות אני אזכר, אבל ככה אני לא זוכרת". ליאל (2) ענה נחרצות: "לא יודע להגדיר לך את זה". לשאלה 'כיצד את יודעת לזהות שרשרת המרות אנרגיה?' דניאל (1) השיבה: "העברה מאנרגיה לאנרגיה". ימה עזר לך בניסוח חוק שימור האנרגיה בתופעה שבחרת בעבודת הסיכום? היא ענתה: "בתופעה שלי זה... זה היה כאילו רכיבה על אופניים וכמות הכוח. אני ידעתי שחוק שימור האנרגיה זה כמות הכוח שהיא התחלתית תהיה שווה לסופית". שאלה שהופנתה לנגה (2): 'ואלו המרות אנרגיה היו?' היא השיבה:

"היה כאילו מאנרגיית גובה ל..." משהיססה נשאלה: 'סתם נופל ופוגע ברצפה?' אמרה: "כן, זה לא היה אמור להיות משהו מאוד אה..." (ולא סיימה תשובתה).

קטגוריות בתמה מיומנויות חשיבה

בתמה זו דברי המרואיינים סווגו לפי: א. מיומנויות חשיבה מסדר נמוך. ב. מיומנויות חשיבה מסדר גבוה ומיומנות העברה.

א. מיומנויות חשיבה מסדר נמוך

קטגוריה זו מסכמת אמירות המרואיינים המאופיינות כרמות קוגניטיביות נמוכות: זכירה, הבנה. תשובות המביעות הסכמה לנאמר, ללא הסבר, שויכו גם הן לקטגוריה זו.

דברי המרואיינים המסווגים כמיומנויות חשיבה מסדר נמוך

עומר (1) התבקש לספר על השיטה בה נעזר בנושא המרות אנרגיה: "איך ניהלתי את החשיבה שלי? לפי היגיון כאילו... אני לא כול כך זוכר את הנושא הזה... כאילו אני מדמיין את הסיטואציה בראש ולפי זה אני כותב זה מה ש..."

נגה (2): "שיטה טובה. אני הבנתי". משלא פירטה נעשה ניסיון לקבל הסברים: 'האם היא (השיטה) עזרה לך להבין את הנושא?' "כן", 'האם יכולת לפרש תופעות אחרות שלא נלמדו בכיתה?' "אני חושבת שכן", לגבי קשיים בנושא של המרות אנרגיה תשובתה: "המרות אנרגיה? לא", 'יחוקק שימור האנרגיה?' "גם לא". כך בהזדמנויות נוספות. בסדרה נוספת של שאלות העוסקות בתיאור התופעה וניסוח חוק שימור האנרגיה השיבה: "השתמשנו במה שצילמנו, כאילו הסתכלנו... אני לא יודעת הכול היה מאוד ברור, הכול היה מאוד פשוט זה לא היה מסובך", 'לפי מה שלמדתם בכיתה?' "כן", 'כלומר, העתק-הדבק?' "כן. משהו כזה".

ליאל (2) התבקש לתאר את אופן החשיבה שלו בעת ניתוח המרות אנרגיה והשיב: "יש תהליך. לתת דוגמה לתהליך? מה שאמרתי, עציץ נופל" 'איך ידעת מהם השלבים?' תשובתו: "זה בשיעור, שהמורה הסביר לנו, הוא היה נותן דוגמאות, אז אני נעזרתי בדוגמאות" ולגבי תופעה שלא ניתנה בכיתה ענה: "עדיין" 'איך ידעת לנתח?' ענה: "נעזרתי בכול האנרגיות שיש. אנרגיית תנועה, אנרגיית גובה, נגיד. חיכוך, אור. כל מיני" כדי לרדת לסוף דעתו נאמר לו 'כלומר, הרצת את כול סוגי האנרגיה בראש...', השיב: "כן", 'וראית איך זה מתלבש בדוגמה שלך?' שוב ענה: "כן".

יוליה (1) לא ידעה להסביר איזו שיטה סייעה לה בהבנת נושא המרות אנרגיה: "אני לא זוכרת את זה". ודוגמאות להתמודדות עם תופעות אחרות: "אהמ...", לא יודעת, אני חושבת שכן. אם יהיה משהו אז אני אדע. אני חושבת. נראה לי" ועל אופן ניסוח חוק שימור האנרגיה בעבודה ענתה באיחור מה: "תיארתי את הסיטואציה פשוט".

לגבי ניסוח חוק שימור האנרגיה לינוי (2) טענה: "לפי ההמרות, לפי הדוגמאות, כאילו הבנתי שאנרגיה לא נעלמת, כאילו עוברת מגוף לגוף". היא התייחסה לאופן בחירת הנושא לעבודת הסיכום: "דנו בזה ביחד. נעזרנו כאילו, דווקא בנושא שאנחנו בחרנו, כאילו, אז קרה כזה שבאנו וניסינו לחשוב, אז ראינו את התופעה והתחלנו לרשום עליה. דנו עליה ביחד. (הנושא) אני חושבת שזה היה כדור שנבעט. עשינו את העבודה בבית הספר וראינו ילדים משחקים כדורגל, אז התחלנו לרשום על התופעה הזאת". עומר (1) סיפר על אופן בחירת נושא לעבודה: "חץ וקשת... הדבר הראשון שהיה לי בבית שהיה נראה מגניב כזה לצלם, אז צילמתי. הזמנתי אותם מ-eBay ואז אמרתי זה יהיה מגניב לעשות על זה". על אופן ניסוח חוק שמור האנרגיה תיאר: "גם ככה, לפי ההיגיון, לפי איך שאתה חושב על זה. נגיד כאילו איך האנרגיה עוברת שנגמרה בכרית (החץ נורה ופוגע בכרית)".

נגה (2) נשאלה: 'מה היו הסיבות לבחירת נושא העבודה?' תשובתה: "אני חושבת שלקחתי את מה שאני חושבת, שחשבתי שהבנתי הכי טוב, שכאילו היה לי הכי ברור. צריכים לצלם המרת אנרגיה כלשהי, אז זה היה בקבוצות, אז אנחנו לקחנו פשוט כדור ופשוט כאילו הפלנו אותו". לשאלה: 'למה לא הלכתם על משהו מורכב יותר?' ענתה: "זה היה נראה כאילו, זה היה נראה יותר קל, יותר פשוט להבין", 'לסיים את העבודה?' "כן" 'בשביל לקבל 100' "כן", 'קיבלתם 100?' "אני חושבת שקיבלנו ציון טוב".

ב. מיומנויות חשיבה מסדר גבוה ומיומנות העברה

קטגוריה זו מסכמת אמירות המרואיינים המאופיינות כרמות קוגניטיביות גבוהות: הקשה, אנליזה, העברה.

דברי המרואיינים המסווגים כמיומנויות חשיבה מסדר גבוה

דניאל (1) התבקשה להסביר על הקשיים שנתקלה בהם במהלך לימוד הנושא המרות אנרגיה והיא הסבירה: "הקושי היחידי שאני חושבת שנתקלתי בו זה, סתם לדוגמה, בתופעה של שרשרת המרות אנרגיה, היה לי קושי כי אני חשבתי בכלליות. סתם דוגמה, מאנרגיית גובה לאנרגיית תנועה. אבל היה לי קשה מאוד להכניס באמצע, סתם דוגמה, אם יש אנרגיה כימית או של השרירים או של דלק למשל. אני עבדתי נורא בכלליות וכשהיה צריך ממש לפרט כל שלב ושלב זה היה קצת יותר בעייתי". הפתרון שהציעה להתגבר על הקושי: "אני חושבת שקודם כול לקרוא את השאלה ולהבין אותה לעומקי עומקים. הדבר הראשון שאני רואה, האנרגיה הראשונה שאני רואה, וכדי שאני אעבור לשלב הבא אני כאילו חושבת מה יכול לצאת מהאנרגיה הראשונה. מה אני יכולה לקבל, סתם לדוגמה, מאנרגיית גובה? מה יכול להיות השלב הבא? השלב האמצעי שיוביל אותי לשלב הנוסף... אני חושבת שכן יש לי בסיס, רקע, שאני יכולה לעבוד אתו, ואני חושבת שכן".

לשאלה האם קיבלה כלים להבנת תופעות פיזיקליות אמרה לינוי (2): "אה, כן. למדנו את כול החישובים... עם כול התרשימים... וזה כאילו הועיל לי, כאילו להבין את התופעה לפני שאנחנו מתחילים לחשב, כאילו איך כאילו תופעה פיזיקלית כאילו מומרת לאנרגיות". לאותה שאלה עומר (1) התייחס בתשובתו לשיטת התרשימים: "דווקא טוב. הריבועים האלה, המלבנים, שכותבים בהם עם החיצים, לא? השיטה, היא דווקא הייתה טובה". לאופן בו זיהה תופעה פיזיקלית סיפר: "אם מטילים כאילו בגיו-גייטסו על הרצפה צריך להרים אותו ומנצלים את האנרגיה שלו מהגובה וגורמים לו ליפול. משהו ששמתי לב".

קטגוריות בתמה התנהלות שיעורי הפיזיקה

קטגוריה זו מסכמת דברי המרואיינים אודות קשיים והתרשמויות, שחוו בשיעורים עצמם.

א. קשיים בהבנת הנושא

לגבי קשיים בנושא המרות אנרגיה לינוי (2) ענתה: "כן, קצת. היה לי קצת קשה להבין את החומר, אבל כאילו אחרי זה באמצע השנה כזה התחיל להיקלט. (בנושא המרות אנרגיה): "לא, לא היה קשה לי". עומר (1) ענה: "קשיים? לא היו קשיים, באמת. אולי טיפה בלספר את הסיפור בעל פה או משהו כזה. לא יותר מזה. 'מה לגבי התמודדות עם הקשיים עם נושא המרות אנרגיה?' ענה: "שעשינו את העבודה, בגלל שהיה צריך להשקיע בזה, אז כאילו למדתי את זה על הדרך". אחר כך חזר על כך שהעבודה עזרה לו.

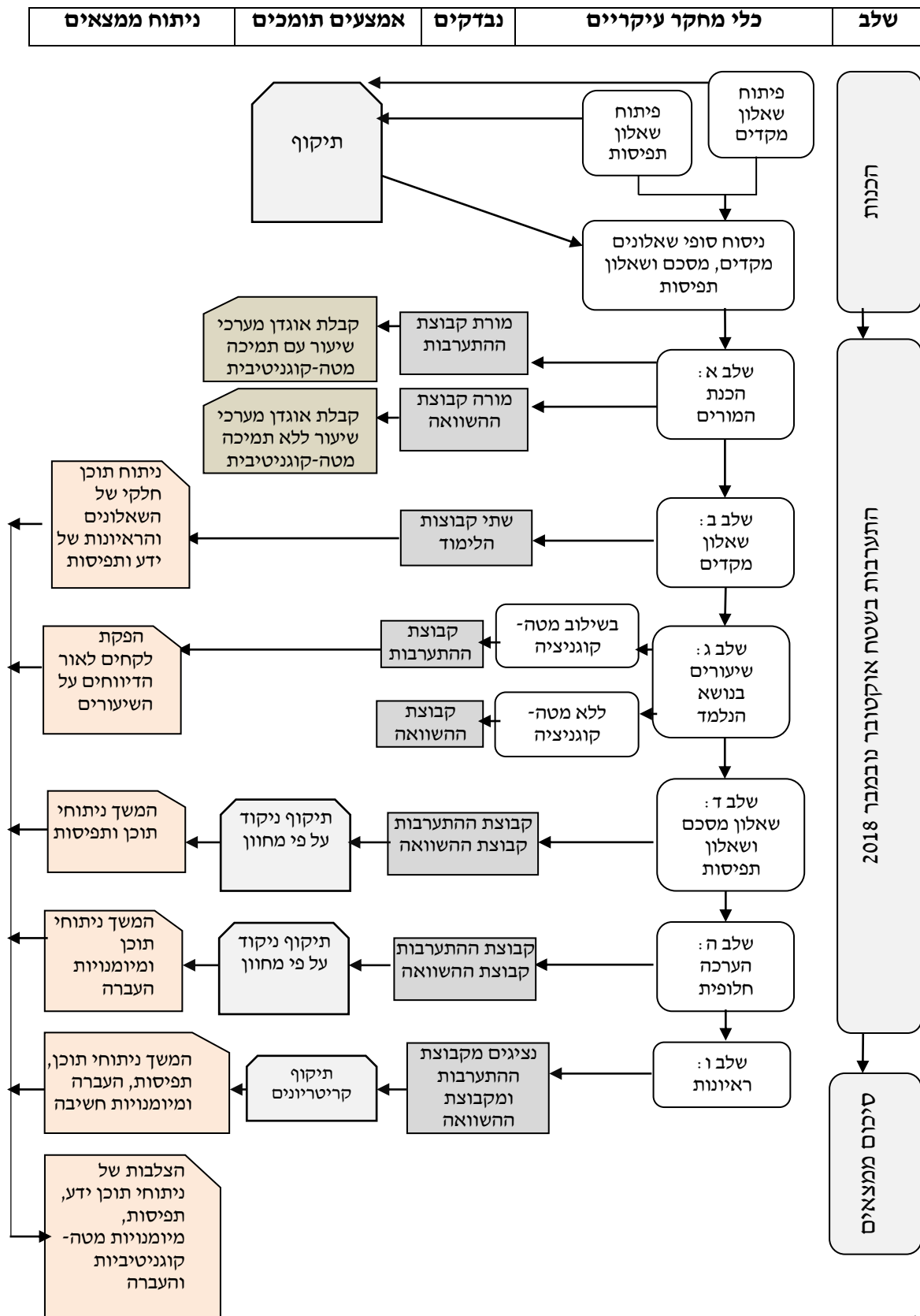
נגה (2) טענה, תחילה, שלא נתקלה בקשיים בנושא המרות אנרגיה וחוק שימור האנרגיה, אך בהמשך אמרה: "זה לא תמיד היה קל, או לא תמיד היה...". (ולא סיימה משפטה). מאוחר יותר הודתה כי רוב תלמידי הכיתה לא למדו והוסיפה "פשוט לא הקשיבו, אני לא חושבת שהרבה למדו מתוך עניין, אולי כמה... היו המון כאלה שפשוט לא הקשיבו. זה מה שהפך את זה (פיזיקה) ליותר קשה". היא נשאלה האם זה נובע מקשיים במתמטיקה היא ענתה: "אני לא חושבת, כי החישובים הם לא באמת כאלה קשים, פשוט צריך לדעת מה להציב ואיפה". היא סיכמה שהקושי זה הפיזיקה ולא המתמטיקה.

ליאל (2) שיתף חלק מקשייו: "הוא (המורה) תמיד גם היה כותב על הלוח ולא הייתי מבין מה הוא רושם על הלוח. לשאלה אם ניסה לשאול ענה: "בטח שאלתי, הוא אמר לי לבוא קדימה בכיתה. הייתי שואל. כל שיעור הייתי שואל". בהמשך התקשה בניסוח קשייו ובאופן מקוטע אמר: "החומר עצמו קשה היה, המקצוע עצמו...". "איך שהוא כתב על הלוח", ומשהמשיך להתקשות בניסוח הסכים לאמירות 'איך שהציג את התופעה' ו'ישר זרק המרות אנרגיה'.

יוליה (1) נשאלה על שיטת לימוד נושא המרות אנרגיה וענתה: "אני לא זוכרת את זה". על נושא המרות אנרגיה: "בזה דווקא לא היו קשיים". לגבי אם החומר היה מובן ענתה: "יחסית, נראה לי, כן". 'מי סייע לך להתמודד כשהיו קשיים?' השיבה: "חברות ואבא שלי". גם לגבי כתיבת העבודה השיבה: "אבא שלי עזר לי. כאילו, לא יודעת". ובכלל על שיעורי פיזיקה סיכמה: "הכול היה טוב, כאילו".

ב. המלצות לניהול שיעור

לשאלה אם יש היא רוצה להוסיף אמירה אישית משלה, דניאל (1) ציינה: "שיעורים בכללי, שיעורי פיזיקה, אמורים להיות בנויים בהדרגתיות. כי משהו בפיזיקה זה הכול נבנה על הכול, אז כן לבנות את זה... שיעורים אמורים להיות בנויים בהדרגתיות של אנרגיות, של נושאים מסוימים. כמובן שבהתחלה אמור להיות רקע בסיסי של הכללה מה זה פיזיקה, מה זו אנרגיה ובעצם מה זה פיזיקה, מה עושים עם זה ואיך זה עוזר לי להשתמש בחיי היום-יום, ואז אני ממשיכה לכל מיני נושאים אחרים שהתחלה בעצם תעזור לי להמשיך, היא בונה את כול השלבים האחרים. וזהו". נגה (2) הציעה: "ממש לשים לב מי מקשיב ומי שלא מקשיב, כי זה היה מאוד קשה בחלק מהשיעורים, חלק מהנושאים, להבין משהו כשיותר מחצי כיתה מדברת". לאור קשייו של ליאל (2) הוא מעיד שיש מקום לשיפור, כמו: "אולי לשתף את התלמידים בשיעור. איך אני אסביר לך את זה? נגיד יש איור על הלוח אז לקרוא לילד שיצייר או ש... (שייגש ללוח והוא זה שיכתוב את המרות האנרגיה!) כן, בדיוק. ככה זה יותר יעניין אותו וככה הוא ילמד".



איור 4: סיכום מערך המחקר

3. In accordance with the hypothesis for the third research question there was a significant difference in favor of the intervention group in modeling skills. The metacognitive guidance improved the visual representation skill of the physical phenomena in flow charts and pie charts, but difficulties were still evident regarding these skills in this area. No significant difference was obtained regarding the transfer skill. In both research groups there is a huge difficulty in identifying physical phenomena, although this is a similar context in the same field.

In conclusion

The results of the present study showed that metacognitive guidance on energy conversion and energy conservation law improves conceptual understanding and thinking skills. However, there is a need to change teaching methods and adapt them to 21st century skills, to arouse sympathy and curiosity towards the physics profession, to encourage the use of low-order and high-order thinking skills, to develop modeling skills and to apply transfer skills.

3. Metacognitive support will improve modeling skills (visual representations) and transfer skills to new situations among students to a greater extent, compared to those who did not receive metacognitive support. The students who get pedagogical intervention will be able to analyze phenomena using flow charts and pie charts for the phenomena, according to the set of meta-cognitive tools they acquired, during the study of the subject.

The study involved ninth graders ($N = 123$), studying in heterogeneous classes at a public school in the center of the country, who were divided into two research groups: an intervention group ($n = 63$) with metacognitive guidance and a comparison group ($n = 60$) without metacognitive guidance. The quantitative research tools were the physics perception questionnaire, the knowledge and thinking skills questionnaire, summary work and interview as a qualitative research tool. Quantitative research tools have been used to test conceptual understanding of study content and low and higher order thinking skills. The summary work also served as a means of testing the students' transfer skills. The interviews were mainly a clarification of the physics perception findings.

The research findings

1. Contrary to the hypothesis of the first research question there was a decrease in the physics perception among the intervention group, both on the personal aspect and on the scientific aspect. One explanation for these findings is an increase in judgment and personal criticism among the students of the intervention group due to the metacognitive guidance.

2. In according with the hypothesis of the second research question, there were significant differences in favor of the intervention group, which were expressed on several aspects: conceptual understanding according to the three criteria in the pyramid model, and low-order and high-order thinking skills. The metacognitive guidance had a positive effect on learning, although difficulties of understanding and misconceptions were evident when analyzing physical phenomena and the energy conservation law.

of students' comprehension difficulties and suggest alternative teaching methods for the development and promotion of meaningful learning, instead of traditional teaching.

To this study, a pedagogical intervention program was built, which is based on an elaborate pyramid-like pedagogical model, which combines the four elements of the study unit, as follows: identifying a physical phenomenon in the context of energies, a narrative explanation of the physical phenomenon in physics language, describing energy conversions using flow charts and meta-cognition, as a tool that connects the pyramid components. The meta-cognitive support was carried out in practice with the explicit intention of providing scaffolding and implicit questions, to foster a meaningful understanding of the physical phenomenon components.

Research questions

1. How does metacognitive pedagogical guidance cause a change in students' perceptions of physics studies?
2. How does metacognitive pedagogical guidance during instruction help students develop a meaningful understanding of energy conversion and the energy conservation law?
3. How does metacognitive support, during teaching the subject of energy conversion, affect modeling and transfer skills among students?

Hypotheses

1. Meta-cognitive support will improve students' attitudes towards the physics profession, they will develop sympathy for the profession and will want to learn this profession in the future.
2. Metacognitive guidance will improve conceptual understanding (at the level of knowledge) and cognitive skills (low-order and high-order thinking skills) among students, to a greater extent, compared to those who will not receive meta-cognitive support.

Abstract

This study deals with the effect of metacognitive guidance on students' physics perception and on conceptual understanding and cognitive thinking skills among ninth graders in heterogeneous grades.

Metacognition is a super-skill in which the individual processes the information, supervises his own thought processes and criticizes the products of thought. Many researchers have concluded that metacognitive guidance has a positive effect on cognitive learning outcomes in science studies and knowledge construction design. This study deals with the effect of metacognitive guidance on the students' physics perception and on conceptual understanding and cognitive thinking skills regarding energy conversion and the energy conservation law among ninth graders in heterogeneous grades.

Physics is valued as a prestigious scientific profession and serves as a step towards higher education. The number of engineers and scientists, the distribution' rate of scientific research and the technological prowess of the country reflect the strength of the country, the quality of life in it and its economic capacity. As for students, physics is considered an important profession in its social and technological contribution, nevertheless, it is perceived as difficult to learn, less interesting than the other scientific subjects and relevant only to those who intend it in the future.

The world of physics relies on several major study topics, including energy. The concept of energy is crowned as one of the core concepts in the scientific disciplines and is taught as a spiral concept in K-12 grades, in many contexts. In middle school, the concept of energy is integrated into science studies in grades 7-9, including the subject of energy conversions and the energy conservation law. Students experience quite a few comprehension difficulties when analyzing physical phenomena, the meaning of the energy conservation law and analyzing their new situations (transfer). Researchers cite several factors that are a source

**This work was carried out under the supervision of Dr. Shirly Avargil,
from the Faculty of Science and Technology Education, Technion, Haifa.**

BAR-ILAN UNIVERSITY

**Metacognitive Support-Based Teaching of Energy Conversions
and Energy Conservation Law –
its Influence on Students' Cognitive Aspects and Perceptions**

Hanny Solimanfor

Submitted in partial fulfillment of requirements for the Master's Degree in
School of Education, Bar-Ilan University

Ramat-Gan, Israel

2021