

גליון 5, תשמ"ז

איתור וניתוח גורמים נבחרים בהוראת הפיסיקה ובלמידת להערכה מעצבת של חומר לימודי

מנחם פיינגולד, מרים ריינר

1. מבוא

המאמר המוגש כאן עניינו במחקר הערכה של תכניות לימודים. אחד הגורמים המכריעים בבחירת שיטת הערכה של תכנית לימודים הוא מידת התאמתו של מבנה ההערכה לאפיוניה של תכנית הלימודים, לאוכלוסייה הנבדקת ולסביבה הלימודית. התאמת ההערכה לאפיוניה של תכנית הלימודים מקורה בהשוואה בין הנדרש מהתלמיד לבין ההתנהגויות שהתלמיד מבצע הלכה למעשה.

נציג גישה לאיתור גורמי למידה הקשורים –

- א. הסביבה הלימודית ומיקומה של אוכלוסיית היעד בסביבה זאת;
- ב. באפיוני תכנית הלימודים, בדברים שתוכנית הלימודים דורשת מהתלמיד לבצע;
- ג. באפיוני התלמיד: עיוותי למידה כגון קשיים בתיאור, קשריים באיתור משתנים, סילופי מושגים.

השוואה בין אפיוני התלמיד לאפיוני תכנית הלימודים מאפשרת לבדוק את מידת ההתאמה בין התלמיד לתכנית הלימודים, ובכך מתקבל קריטריון המאפשר הערכה של תכנית הלימודים.

זהו, בקיצור רב ובהשמטות רבות, תוכן המאמר המובא כאן. ואשר לשיטת המחקר: מהלך המחקר מתבסס על שילוב של שתי פרדיגמות המחקר העיקריות המקובלות בחינוך כפי שהוגדרו על ידי פאואר (1) הפרדיגמה הנורמטיבית-המדעית והפרדיגמה האתנוגרפית-האינטרפרטיבית.

המחקר מתחלק לשני חלקים: בחלקו הראשון של המחקר מאותרים ומנותחים אותם גורמים הקשורים בסביבת הלימודים של התלמיד, הגורמים "החיצוניים" לו והקשורים בהקצבת שעות הוראה, בתכניות לימודים, בהכשרת מורים, ובמטרות הוראה ובמיקום אוכלוסיית היעד בתוך המבנה החברתי של בית הספר. בחלקו השני של המחקר, שהוא החלק העיקרי, מאותרות ומנותחות פעולות הגומלין בין החומר הלימודי לבין התלמיד. פעולות אלה ותוצריהן מנותחים בשלושה מצבים: תוך כדי למידה בכיתה, בקבוצה קטנה ובלמידה יחידנית.

2. החומר הלימודי המוערך

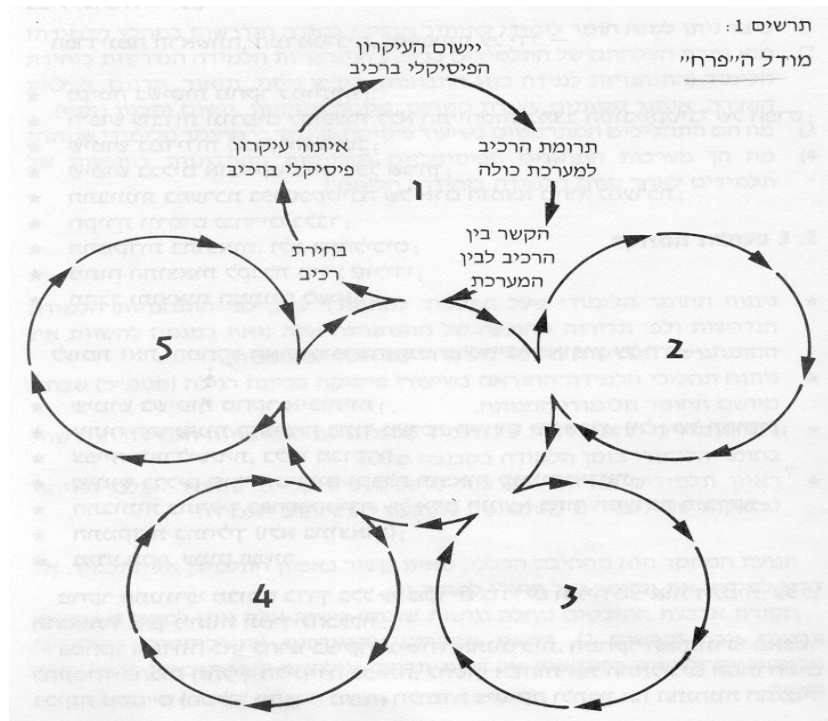
במסגרת פרויקט המתקיים בטכניון פותחו יחידות לימוד מודולריות בפיסיקה. יחידות הלימוד מכוונות בעיקר לתלמידים מעוטי מוטיבציה בנתיב המקצועי, בחטיבה העליונה. תלמידים אלה מרוכזים לרוב במסלול מסמ"ם (מסלול מקצועי מעשי), ומיעוטם לומדים במסמ"ר (מסלול מקצועי רגיל).

כל יחידת לימוד עוסקת בפיסיקה של מערכת טכנולוגית המוכרת היטב לתלמיד מחיי היום-יום או מהטכנולוגיה. יחידות הלימוד שכבר פותחו עוסקות בנושאים כגון הפיסיקה של דוד השמש, של מנוע המכונית, של החשמל בבית, של שעונים, של הטלפון ועוד.

הצגת התכנים בפיסיקה ביחידות הלימוד נעשית תוך הדגשת קשר הגומלין בין הפיסיקה הנלמדת לבין יישומיה בחיי יום-יום בטכנולוגיה. על ידי כך העקרונות וההתהליכים הפיסיקליים נלמדים כשהם מעוגנים בתוך המציאות המוכרת לתלמיד. בכל פרק של יחידת הלימוד נבחר מרכיב של המערכת הטכנולוגית (כמו האוזנייה ביחידה של הטלפון). במרכיב זה מאתרים את העיקרון הפיסיקלי, מדגימים אותו בניסוי, ואחר כך מיישמים אותו שוב במרכיב הטכנולוגי. החלק האחרון של הפרק עוסק בתרומתו של המרכיב המטופל למערכת כולה. מבנה טיפוסי של יחידת לימוד מתואר באמצעות תרשים 1 (שמשום צורתו כונה "מודל הפרח").

תרשים 1:

מודל ה"פרח"



- ואלה כמה מהאפיונים של כל יחידת לימוד :
1. משך הוראה הוא כ-12 שיעורים.
 2. כל יחידה היא בלתי תלויה ביחידות אחרות.
 3. כל יחידה יוצרת שלמות מאוזנת של הנושא בגבול יכולתו של התלמיד.
 4. כל יחידה דורשת מגוון פעילויות המשתנות תדירות : ביצוע ניסויים, דיונים, עבודה בקבוצות ועבודה יחידנית.

3. מבנה המחקר

נהוג לחלק את המינים האפשריים של מחקרי הערכה לשניים : אלו הבנויים על פי עקרונות פרדיגמת המחקר הנורמטיבית-המדעית ואלו הבנויים על פי עקרונות פרדיגמת המחקר האתנוגרפית-רהאינטרפרטיבית. (זאת על פי הגדרותיו של פאואר ; ראה ביבליוגרפיה – 1.)

הפרדיגמה הראשונה, הנורמטיבית, מאופיינת על ידי –

- ☐ נקיטה בשיטות מחקר כמותיות ;
- ☐ חיפוש עובדות וגורמים לתופעות ללא התייחסות למצב הסובייקטיבי של הפרט ;
- ☐ שימוש במדידות מבוקרות היטב ;
- ☐ שימוש בכלים אובייקטיביים ככל שניתן ;
- ☐ התבוננות במערכת בפרספקטיבה של אדם הנמצא מחוץ למערכת ;
- ☐ חקירת גורמים נבחרים בלבד ;
- ☐ התמקדות בתוצאות, ולא בתהליכים ;
- ☐ ניתוח התוצאות לקבלת מידע סולידי ;
- ☐ מהלך ותוצאות הניתנים לשחזור.

לעומת זאת, המחקר האתנוגרפי-רהאינטרפרטיבי מאופיין על ידי –

- ☐ שימוש בשיטות מחקר איכותיות ;
 - ☐ ניתוח ההתנהגות האנושית בתוך מערכת הייחוס של הפרט (ולא של החוקר) ;
 - ☐ צפייה נטורליסטית, בלתי מבוקרת ;
 - ☐ שימוש בכלים סובייקטיביים וקבלת תוצאות סובייקטיביות ;
 - ☐ התבוננות בתהליך בפרספקטיבה של אדם הנמצא בתוך המערכת הנבדקת ;
 - ☐ התמקדות בתהליך (ולא בתוצאות) ;
 - ☐ מידע תקף, עמוק ועשיר.
- מחקר אתנוגרפי מבוסס בדרך כלל על מקרים בודדים ומניח מציאות דינמית. על כן תוצאותיו אינן ניתנות תמיד להכללה.

במחקר המדווח כאן בחרנו בעיקר בגישה האתנוגרפית. המחקר האתנוגרפי מאפשר להתמקד בהבנת תהליך הלמידה בכיתה, לחשוף ולזהות את התהליכים המתרחשים בכיתה מסמ"ם (מסלול מקצועי מעשי) הלומדת פסיקה ולהבין את התנהגות התלמיד והמורה בתוך מערכת הייחוס שהם נתונים בה. המחקר התנהל ללא הגבלה מראש של המשתתפים הנבדקים, מתוך הנחת מציאות משתנה בכיתה, וכל זאת כראיה כוללת של התהליך בקונטקסט בו הוא התרחש.

3.1. מהלך המחקר

החומר הלימודי הוערך מארבעה כיוונים שונים: ההתנהגויות הנדרשות מהתלמיד תוך כדי למידה, ההתנהגויות המבוצעות בכיתה תוך כדי למידה, ההתנהגויות המבוצעות בקבוצה קטנה תוך כדי למידה והמושגים הפיסיקליים כפי שהם נתפסו על ידי התלמיד.

לחקירת ארבעת הכיוונים הוצבו השאלות האלה:

- (1) כיצד ניתן לנתח חומר לימודי לאיתור תבניות למידה הנדרשות במהלך הלמידה?
- (2) מהי מידת הצלחתם של התלמידים בביצוע התנהגויות הלמידה הנדרשות ביחידת הלימוד (התנהגויות למידה כגון התבוננות, ביצוע ניסוי, תיאור, תרגום, העלאת השערה, איתור משתנים, יצירת קשרים, הסקת מסקנות, יישום ותכנון ניסוי).
- (3) מה הם התהליכים המתרחשים בשיעור פסיקה שנלמד בו החומר הלימודי שנותח?
- (4) מה הן מערכות המושגים הפיסיקליים וטכניקות ההתבוננות בתופעות של תלמידים לאחר סיום הלמידה ביחידות הלימוד?

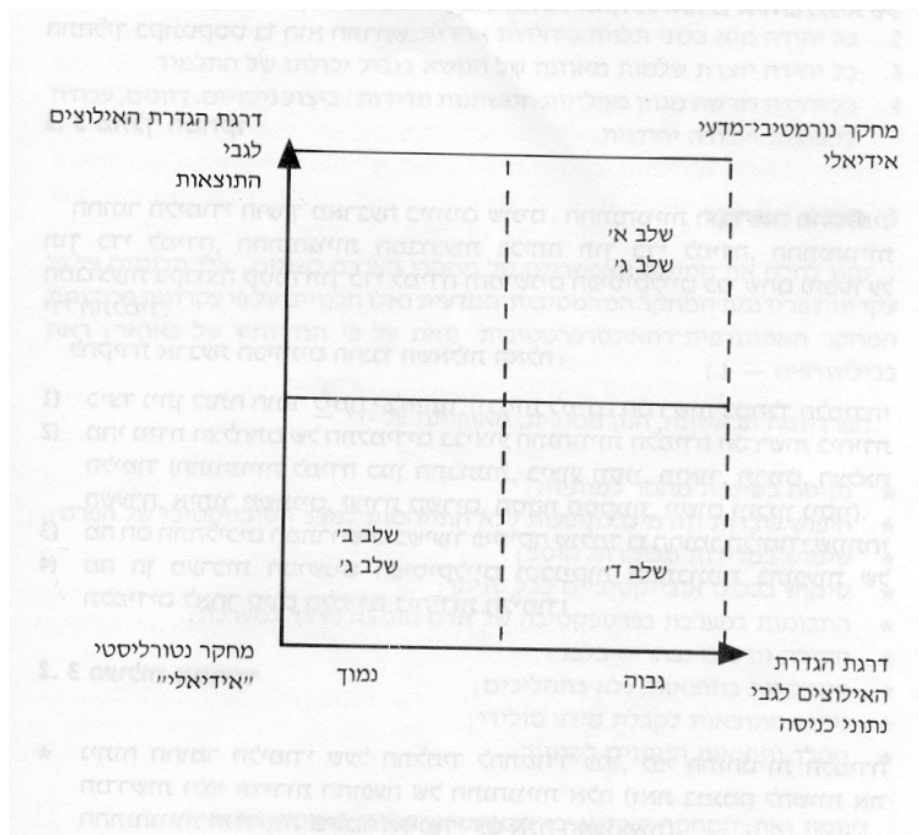
3.2 פעולות המחקר

- ☐ ניתוח החומר הלימודי שעל התלמיד להתמודד עמו, לפי התנהגויות הלמידה הנדרשות ולפי תדירות ההופעה של התנהגויות אלה (זאת במגמה להשוות את ההתנהגויות הנדרשות בחומר הלימודי עם אלה המבוצעות).
- ☐ ניתוח תהליכי הלמידה-ההוראה בשיעורי פסיקה בכיתה רגילה (מסכ"מ) שבהם מיושם החומר הלימודי המנותח.
- ☐ ניתוח תהליכי ההתמודדות של תלמיד מסמ"ם עם התנהגויות הלמידה הנדרשות בחומר הלימודי בזמן הלמידה בקבוצה קטנה.
- ☐ ראיון תלמידים לאיתור מערכות מושגים פיסיקליים שנוצרו אצלם ולזיהוי טכניקות של תלמידים להתבוננות בתופעה לאחר תום הלמידה.

תנועת המחקר היא מההיבט הכללי, שאינו קשור באפיון התלמיד, אל התלמיד, אל דרכי למידתו את החומר ואל תוצרי למידה זו.

חקירת ארבעת ההיבטים נוהלה בגישות שונות. גישות אלה ניתן למקם באמצעות תרשים גובה (תרשים 2), המציג מחקרים אתנוגרפים (נטורליסטים) ומחקרים נורמטיביים-מדעיים כפונקציה של דרגת תביעת אילוצים לגבי תוצאות ולגבי נתוני כניסה.

תרשים 2: סוג המחקר על פי דרג הגדרתה של אילוצי כניסה ויציאה



המחקרים הנורמטיביים-המדעים הנחשבים לניסויים אידיאליים מצויים בריבוע הגבוה הימני. האילוצים המוטלים על התנאים ההתחלתיים ועל התוצאות האפשריות מוגדרים היטב. החוקר מחליט מראש על המשתנים הבלתי תלויים וכיצד יטופל בהם. כן עליו להחליט על אופי התוצאות האפשריות (מספריות, מילוליות, דיכוטומיות או אחרות).

המחקר הנטורליסטי, המעוגן בפרדיגמה האתנוגרפית, מצוי במשבצת השמאלית הנמוכה. במשבצת זאת אין החלטה מראש לגבי המשתנים התלויים או לגבי המשתנים הבלתי תלויים. שלבי המחקר המדווח כאן ממוקמים בתאים בתוך התרשים (ראה תרשים 2):

- ☐ שלב א', שעוסקים בו בניתוח חומר לימודי, מקומו במשבצת הימנית הגבוהה, שכן דרך הניתוח קבעה מראש את סוג התוצאות האפשריות.
- ☐ בשלב ב', שניצפו ונותחו בו תהליכים בשיעורי פסיקה, לא נקבעו אילוצים לגבי תנאי ההתחלה או לגבי התוצאות. על כן שלב זה הוא נטורליסטי אידיאלי.
- ☐ שלב ג' עוסק בהתמודדות של התלמיד עם דרישות החומר הלימודי. בחלקו האחד נערך ניסוי שנבדק בו (מספרית) אילו התנהגויות ביצע התלמיד. על כן הניסוי וניתוחו ממוקמים במשבצת הימנית העליונה. בחלקו הנטורליסטי של שלב ב' נבדק כיצד מתנהלים השיעור והדיונים בקבוצת למידה קטנה.
- ☐ בשלב הרביעי של המחקר נקבעו מראש נושאי הריאיון, אך לא נקבעו התוצאות האפשריות שלו. על כן שלב זה ממוקם במשבצת הימנית התחתונה.

4. ניתוח חומר לימודי באמצעות התנהגויות למידה

עד עתה הוצגו באופן כללי השלבים השונים של המחקר. בהמשך נטפל בכל אחד משלבי המחקר, בתוצאותיו ובניתוח התוצאות והמסקנות המשתמעות. עניינו של מחקר זה, בין השאר, בתגובתו של התלמיד לחומר הלימודי בתחום הפסיקה של מערכות טכנולוגיות. על כן מצעד ראשון בדקנו אילו פעולות החומר הלימודי דורש מהתלמיד תוך כדי למידה.

"פעולות" הן התנהגויות למידה קוגניטיביות כגון הסקת מסקנות, איתור משתנים והתבוננות או התנהגויות מוטוריות, כגון ביצוע ניסוי. על כן השלב הראשון מתוך ארבעת שלבי המחקר עוסק בניתוח חומר לימודי. כהשראה לניתוח החומר הלימודי שישמה סדרת ההערכה של התכנית "Me and My Environment" של B.S.C.S, המיועדת לתלמידים מעוטי יכולת (3).

ואלה שאלות המחקר ששלב זה עוסק בהן:

- (1) כיצד ניתן לנתח חומר לימודי כדי לאתר התנהגויות למידה נדרשות?
- (2) מהי שכיחות הדרישה של כל התנהגות למידה?

3) האם קיימת תבנית למידה קבועה שהתלמיד נדרש לבצע בתום כל ניסוי תוך למידה?

4) אם קיימת תבנית למידה קבועה, מהי? אם תבנית כזו אינה קיימת, מה הן התבניות הלא קבועות, ומה מאפיין אותן?

כבסיס לניתוח החומר הלימודי נבנתה על ידי חמישה "שופטים" רשימה המורכבת מאיחוד התנהגויות הלמידה בכל יחידות הלימוד. לצורך ניתוח יחידות הלימוד זוהתה כל פעילות הנדרשת ביחידה בהתנהגות כלשהי. מאחר שהרשימה נבנתה מאיתור של ההתנהגויות בכל היחידות, ברור שלא נוצר מצב שבו לפעילות כלשהי לא הותאמה התנהגות. גם ניתוח זה תוקף על ידי "שופטים". בין חמשת השופטים התקבל אחוז ההסכמה גבוה מאוד (97%).

כאמור שימשו תוצאות הניתוח נקודת מוצא להשוואה עם ביצועי התלמידים. כפי שנצפה, התקבל משוב גם לגבי המבנה הלוגי של היחידות. להלן תוצאות הניתוח של יחידת הלימוד "פיסיקה של מערכות טכנולוגיות"; 'מנוע ומכונית', ואחריהן מסקנות מספר המשתקפות בטבלה:

טבלה 1

שכיחות ההופעה של התנהגויות למידה לפי פרקים ביחידה "מנוע המכונית"

פרקים ביחידה	חלקי המנוע	יניקה	דחיסה	שרטו	פליטה	קרבורטור	גל ארכוב	גלגל תנופה	העברת תנועה	העברת תנועה	העברת תנועה	ב"מ	סה"כ
Chapters in the Unit	ע			סה	טה	טור	ה		א'	א'	ב'	ה	
התנהגויות למידה	part of the engine	intake	compression	co	exhaust	carburetor	crankshaft	wheel	transfer of motion A.	transfer of motion B.	braking	to take motion	
Learning behavior													
1. ניסוי experiment work	2	7	2	2		1	1	1	6			4	25
2. התבוננות observing	16	6	5	3	2	14	14	27	4	4		97	
3. תיאור וזיהוי Describing and Identifying	5	2	1	2	4	2		1					23

6				1	5					4. זכירה Remembering	
10		3		2		1		4		5. תרגום Translating	
30	18	2		1	1	5	3	9	3	6. העלאת השערות Hypothesizing	
5			5							7. איתור משתנים Identifying Variables	
16				7	1	1		4	2	8. יצירת קשרים creating relationships	
5	2						1	1	1	9. הסקנת מסקנות Inferring	
13	4	3					4	1	2	10. יישום ידע קודם Applying former Knowledge	
25	11					2	4	2	1	5	11. יישום לטכני וליום יום Applying to technology and every day life
											12. הצעה לבדיקת השערות על ידי תכנון הניסוי planning on experiment to examine a Hyptheses

ניתוח הטבלה, מספק, כאמור, משוב מידי לצורכי השכתוב בטרם הנסוי בפועל בכיתות. על כן יעיל מאוד לבצע שלב זה של הניתוח לפני ביצוע הניסוי בכיתות.

להלן דוגמאות מספר למסקנות המשתקפות בטבלה: בטבלה בולט מספרן הגדול של התנהגויות למידה הנדרשות מהתלמיד בתחום של התבוננות וזיהוי. בדרך כלל נדרש מהתלמיד, בכל ניסוי להתבונן בתופעה ולזהות מרכיבים לפחות פעם אחת (97 פעמים נדרש מהתלמיד להתבונן). לעומת זאת, הצבעה על **קשרים בין משתנים** נדרשת מהתלמיד רק 16 פעמים.

פירושו של דבר, שהתלמיד מתבקש לאתר משתנים ולקשר קשרים לכל היות 16- ניסויים. בכל שאר הניסויים אין דרישה כזאת. על כן ייתכן מצב שבו התלמיד מבצע ניסוי, אך הניתוח אינו מכוון אותו ליצירת קשרים ולאיתור משתנים. ספק אם התלמיד מסוגל לאתר את המשתנים ללא הכוונה, מה גם שלדעתם של חלק מהמורים, ולדעת חוקרים מסוימים העוסקים באוכלוסיות דומות, התלמידים מתקשים בהבחנה בין משתנים רלוונטיים ובין משתנים לא רלוונטיים.

בטבלה בולט גם חוסר האיזון בין מספר **ההשערות** ובין מספר **המסקנות** הנדרשות ביחידת הלימוד. התלמיד מתבקש להעלות 30 השערות, בעוד שמספר המסקנות שהוא מתבקש להסיק מגיע לכדי 4 בלבד. עלול להיווצר מצב שבו תלמיד נותר עם ההשערות שהעלה, פראיות ככל שתהיינה, בלי שיקבל משוב עליהן, לחיוב או לשלילה. על כן חשוב לאתר את ההשערות ולאושש אותן. תלמידי האוכלוסיה הנדונה אינם מבחינים לעתים בין השערה לבין מסקנה. על כן ייתכן מצב שבו תלמיד מעלה השערה, ומאחר שאין אישוש או שלילה, לאותה השערה, הוא ממשיך להאמין בה גם אם אינה נכונה. מנגנוני הביקורת של תלמידי מסמ"ם (שרובם טעוני טיפוח) פגומים לדעת רבים, ומכאן נובע הצורך לטפל בתהליכי משוב להשערות התלמידים, שישווצו בחומר הלימודי עצמו. התבוננות בתוכני הדרישות ההתנהגותיות ביחידת הלימוד מראה, שחלק מההשערות מחייבות מחאת התלמיד להעלות הסבר לתופעה. גם כאן אין בשום מקום ביחידה הלימוד אישור, הכחשה או תיקון להסבר שהעלה התלמיד.

חלק מההשערות הנדרשות מהתלמיד דורשות ידע מוקדם, שתלמידי מסמ"ם בדרך כלל חסרים אותו. הדרישה להעלאת השערות ללא הספקת מידע מציבה לתלמיד אתגר שהוא אינו מסוגל להתמודד אתו. ואתגר זה אף אינו מועיל ישירות ללמידת הנושא. התלמידים עלולים לעמוד בפני מצב מתסכל, בעיקר בהתחשב בחלק מאפיוניהם של תלמידי מסמ"ם: אי עמידה במבחני הישגים וכישלון בהתמודדות עם אתגרים לימודיים שהוצבו בפניהם בבית הספר. אחד הקריטריונים להוראה טובה לפי אביטל (5) הוא "להציג לתלמיד אתגר שיוכל לעמוד בו". ביחידת הלימוד הנדונה בוודאי לא התחשבו בקריטריון זה.

בספר המנותח מופיעים 25 ניסויים, מהם 13 ניסויים שהתלמיד מבצע 121- ניסויים הם הדגמות שהמורה מבצע, בעצמו או בעזרת התלמידים.

על בסיס 25 ניסויים אלה יש 97 פעילויות התבוננות, שחלקן פעילויות התבוננות בניסויים וחלקן פעילויות התבוננות בסביבתו הקרובה של התלמיד, בחיי היום-יום או בסדנת הטכנולוגיה. על בסיס פעילויות התבוננות התלמיד נדרש לבצע 23 פעילויות תיאור. נראה כאילו התלמיד נדרש לתאר כ-1/4 מכל מה שראה. אחד הקשיים של תלמידי מסמ"ם הוא התבטאות. ייתכן שקשייו של התלמיד לתאר ניסוי נובעים מיכולתו המוגבלת להתבטא, ולא דווקא מחוסר הבחנה תוך התבוננות, ולכן הדרישה שהתלמיד יתאר תופעות אינה תורמת בהכרח לתהליך הלמידה.

מספר המסקנות שהתלמיד מתבקש להסיק על בסיס אותם 25 ניסויים הוא רק 4 **מסקנות**. ביחידת הלימוד לא מנוצלים כל הניסויים כדי לכוון את התלמיד לפעילות של

הסקת מסקנות. יתרה מזאת, הוא נדרש לישם בלי להסיק מסקנות, כלומר, הניסויים "מבוזבזים" במונחים של הסקת מסקנות. לעתים קרובות הניסוי מנוצל רק לצורך התבוננות או זיהוי. חוסר התיאום בין הפעילויות ובין אי ניצול האפשרויות הטמונות בניסויים הצביע על הצורך לבדוק **כיצד הניסוי מנוצל כדי להפעיל את התלמיד**. זאת מתוך מגמה לבדוק את השימוש בניסוי המבוצע על ידי התלמיד ללמידה של הנושא. בניתוח הנוכחי הוחלט לבדוק מה הן התנהגויות הלמידה ובאיזה סדר הן נדרשות מהתלמיד בכל ניסוי ביחידה. ניתוח זה נוסף על הניתוח הקודם, המשתרע על כל הפעילויות בפרק, והוא נועד לאתר את תבניות הלמידה המתחילות בביצוע ניסוי והמסתיימות עם תום ניתוח הניסוי. התוצאות שהתקבלו מתוארות בהמשך.

טבלה 2

תבנית התנהגויות הלמידה שהתלמיד נדרש לבצע בביצוע הניסויים

ניסוי מס'	עמ'	תבנית הלמידה
1	7	2<-1
2	7	2<-2<-2<-2<-2<-2<-2<-5<-1
3	16	6<-2<-
4	16	6<-1
5	17	6<-6<-2<-2<-1
6	18	9<-1
7	18	8<-1
8	19	3<-2<-1
9	19	6<-1
10	25	2<-1
11	26	9<-3<-6<-2<-1
12	32	10<-9<-2<-1
13	33	12<-10<-10<-6<-3<-1
14	44	11<-3<-1
15	52	2<-2<-1
16	57	8<-2<-1
17	62	5<-1
18	63	2<-2<-1
19	64	2<-2<-1
20	66	2<-1
21	66	3<-7<-7<-2<-8<-7<-2<-2<-1
22	67	2<-2<-1
23	82	9<-6<-2<-6<-1
24	82	10<-9<-2<-1
25	85	11<-2<-1

טבלה 2 מספקת משוב לגבי הלוגיקה של ניתוח ניסוי.

להלן מסקנות מספר המשתקפות בטבלה :

- א. אין קביעות בתבנית ההתנהגויות הלמידה הנדרשות מהתלמיד בתום כל ניסוי, הן בסוג ההתנהגויות הנדרש והן בסדר ההתנהגויות הנדרש בתבנית.
- ב. מתוך 25 ניסויים התלמיד נדרש להתבונן רק ב-18 ניסויים, ומתוך אלו הוא נדרש להסיק מסקנות רק ב-4 ניסויים.
- ג. לעתים נדרשות מהתלמיד התנהגויות למידה הנחשבות קשות לאחר שהוא ביצוע את ההתנהגויות הנחשבות קלות. דוגמה לכך נראה בניסוי 21: לאחר שהתלמיד תרגם, הוא נדרש להתבונן. לאחר שהתלמיד העלה השערה, הוא נדרש לתאר מהלך ניסוי.
- ד. התלמיד נדרש לישים את מסקנות הניסוי בלי שיידרש להסיק מסקנה מתוך הניסוי. למשל: בניסוי 13 הוא נדרש להעלות השערה, ואין אישור או שלילה של ההשערה שהעלה, ולמרות זאת הוא נדרש לישים.
- ה. כמעט שאין יישום בניסויים השונים, מלבד בניסויים 12, 13, 14 ו-24, וכמעט כל היישומים נדרשים בשאלות שאינן קשורות לניתוח ניסוי.
- ו. גם ניתוח של תבנית הלמידה מצביע על אי ניצול האפשרויות הטמונות בניסוי, הן מבחינת הפעלת התלמידים בפעילויות הקשורות בהתנהגויות הלמידה השונות והן מבחינת מיצוי הידע הטמון בניסוי שניתן להקנותו לתלמיד על-ידי הכוונתו לקשירת קשרים, להסקת מסקנות ועוד.

5. איתור וניתוח תהליכים ואירועים בשיעורי פיסיקה בכיתה

ניתוח החומר הלימודי בפרק הקודם אפשר לאתר את הפעולות ההתנהגותיות הנדרשות מהתלמידים. ולכן בשלב זה, שהוא השלב השני, תיבדק תגובת התלמיד לדרישות היחידה. מטרת שלב זה של המחקר היא לנתח את התהליכים המתרחשים כתוצאה מהאינטראקציה בין החומר הלימודי לבין התלמיד בשיעור המנוהל על ידי המורה.

להשגת המטרה יידונו בסעיף זה השאלות האלה:

- 1) מהי דרך ההוראה הנקוטה בכיתה?
- 2) מהי רמת היישום של החומר הלימודי?
- 3) מה הם סוגי הדיונים המתקיימים בכיתה?
- 4) מה הקשר בין דרך ההוראה ובין רמת היישום וסוגי הדיונים בכיתה?
- 5) מה הן התנהגויות הלמידה המבוצעות על ידי התלמידים בדיון וההתנהגויות המקבילות להלן, המבוצעות על ידי המורים בדיון?
- 6) מה היחס בין כמות התנהגויות הלמידה שמבצע התלמיד בדיון ובין כמות ההתנהגויות המקבילות שמבצע המורה בדיון?

לביצוע סעיף זה התלבטנו בבחירת שיטת הצפייה המתאימה למטרות שהוצבו. נעזרנו במאמרו של Power (1), שנסקרו בו שתי הפרדיגמות המחקריות המקובלות ויישומן לדרכי איסוף אינפורמציה בכיתה.

להלן סקירה קצרה על יישום פרדיגמות המחקר לצפייה בשיעורים :

הפרדיגמה הנורמטיבית-מדעית ביישומה לצפייה בכיתה מבססת שני רעיונות :

- א. האינטראקציה בכיתה נשלטת בהכרח על ידי חוקים מסוימים שניתנים לגילוי.
- ב. ההסבר לאינטראקציות אלו לקוח מתוך דרכי ההסבר הדדוקטיביות המקובלות במדעי הטבע.

אם כיתה מסוימת מקבלת "טיפול", הרי הגורמים הקשורים לטיפול ישתנו בהתאם לקשר הקיים בין התהליך לטיפול ולתוצר. הקשר בין התהליך לתוצר (Process-product) ניתן להסבר באמצעות דרכי הסבר הדדוקטיביות במדעי הטבע. בקיצוניותה טוענת הפרדיגמה הנורמטיבית-מדעית למחקר בעל אופי אובייקטיבי אמפירי מובנה היטב ונומוטטיבי (נשלט על-ידי חוקים מוגדרים היטב). מהגדרת פרדיגמת מחקר זו נובע, מהגורם המניע מחקרים מסוג זה הוא הרצון להצביע על **נכונות או על אי-נכונות תיאוריה קיימת, המציעה מראש קשרים הנבדקים במחקר.**

בסיכום הסקירה תולה פאואר את התוצאות המאכזבות, לדעתו, של המחקרים שבוצעו בגורמים אלה :

- ☐ מכשירי צפייה מובנים בתחום צר של המדידה
- ☐ אי-הרגישות ואי-ההתאמה של מכשירי צפייה לתנאים המסוימים של הניסוי
- ☐ דרכי הניתוח הסטטיסטיות לקבלת מסקנות.

מכשירי מדידה מקובלים (כדוגמת אלה ב-8, Mirrors of Behavior) הם בעלי טווח צר, והם בלתי רגישים לאותם תהליכים המתרחשים בכיתה שאינם מקודדים במכשיר. בניגוד לפרדיגמה הנורמטיבית-מדעית מציע פאואר את פרדיגמת המחקר **האתנוגרפית-האינטרפרטיבית**. כזכור, הנחת היסוד של פרדיגמה זאת היא, שיחסי גומלין בכיתה הם תהליך אינטרפרטיבי, שבו משמעותו של תהליך בכיתה איננה מוחלטת, אלא היא תלויה בהקשר שבו התרחש התהליך ובפרטים שנטלו בו חלק. על ההוראה והלמידה להיתפס על ידי החוקר במונחים של ערכי המשתתפים בתהליך ההוראה-הלמידה, וכן של מטרותיהם ותפיסותיהם, ולא במונחים של מבנים מובנים מראש, הנגזרים ממכשיר או מתיאוריה פסיכולוגית.

מאחר שמטרת המחקר המדווח היא כאמור לחשוף תהליכים המתרחשים בכיתה, הגישה המאומצת לאיסוף אינפורמציה בכיתה נעוצה בפרדיגמה האתנוגרפית. תוצאות סעיף זה במחקר נתונות אחת לאחת, בהתאם לשאלות על חלק זה של המחקר (ראה עמוד 12).

5.1 דרכי הוראה

אותרו ארבע דרכי הוראה שהמורים נקטו בהן, אף על פי שכוונות הכותבים ביחס לשיטת ההוראה הוגדרו היטב בפני המורים במשך ההשתלמויות. שיטת ההוראה והתפלגותן בין המורים הנסאיים נתונות בתרשים זה:

תרשים 3: התפלגות המורים על פי שיטת ההוראה של החומר הלימודי

הממצאים שבתרשים 3 מצביעים על הצורך להכשיר מורים גם בתחום המתודי, ולא רק בתחום התוכן. נמצא שמורים נאמנים להרגליהם הישנים ומיישמים חומר לימודי המחייב גישות חדשות על פי גישות ישנות שהורגלו אליהן. חיזוק לתוצאה זאת נמצא גם בעצם איתור של 4 רמות יישום של החומר הלימודי שפותח.

5.2 רמות יישום

במחקר זה נתייחס לרמת יישום כאל מידת נאמנות הוראה היחידה בכיתה לכוונות הכותבים:

רמות היישום אותרו על ידי הצופה בכיתה בהתאם להנחיות מוגדרות היטב. התקוף נעשה על ידי השוואה בין שני צופים שונים, או על-ידי שופטים, שקבעו על בסיס הפרוטוקולים את רמות היישום. בכל השיעורים שנצפו לא היו ניגודי דעות כלל.

אותרו ארבע רמות יישום:

- 1) יישום התוכן בלבד: היצמדות לתוכן, ולא לשיטת ההוראה המשתמעת ממבנה החומר הלימודי.
- 2) יישום שגרתי: היצמדות לתוכן ולשיטת ההוראה המשתמעת ממבנה יחידת הלימוד. המורה "נכנס" לשגרה של בניית השיעור בדיוק על פי היחידה.
- 3) יישום תוך התאמה: התאמת היחידה לצורכי המורה (על פי דעת המורה). היחידה שונתה באופן שתתאים לתנאים המיוחדים של הכיתה.
- 4) אי-יישום: יחידת הלימוד שונתה הן בתוכנה והן בדרך הוראתה באופן שניתן להתייחס לחומר הלימודי כאל חומר שפותח על-ידי צוות הכותבים.

תרשים 4: התפלגות המורים על פי רמת היישום של החומר הלימודי

על פי כוונות הכותבים ועל פי המסר שהועבר בהשתלמויות התבקשו המורים ללמד את היחידה לפי עקרונות הפרויקט. אם זאת, האוכלוסייה בכיתות מסמ"ם הטרוגנית מאוד, ולכן חשובה ערנותו של המורה לצורך בשינויים, כגון הסבר נוסף, תוספת ניסויים או ביטול נושא המוכר לתלמידים מתחום אחר. אף על פי כן, נראה שהמסר לא הועבר בצורה די "חזקה", שכן רק חלק קטן של המורים לימדו על פי כוונות הכותבים. לא ברור אם ניתן להעביר מסר מעין זה למורים וכיצד ניתן לעשות זאת, שכן מדובר כאן בשינוי הרגלים שייתכן שהשתרשו במשך שנות ההוראה. עם זאת ברור הצורך בהכשרה שונה להקניית המתודיקה של הפרויקט למורים.

5.3 דיונים

החומר הלימודי נכתב באופן שהלומד יהיה מעורב בפעילות המוטורית ובפעילות הקוגניטיבית המתנהלת בין השאר תוך דיונים. מאחר שאותרו רמות יישום שונות של החומר הלימודי, הוחלט לבדוק את סוג הדיונים המתנהל בכיתה. הדיונים הוערכו באופן בלתי תלוי ברמת היישום. בכל שיעור נרשם פרוטוקול. בתוך הפרוטוקולים אותרו דיונים, וכל קבוצה של יותר מ-4 חילופי משפטים בין המורה לתלמיד נקראה דיון. נתוח של 150- דיונים נצביעה על שלושת סוגי דיון עיקריים:

א. דיון קונקרטי: דיון זה עסק בנושאים מוחשיים, כמו שיחה אודות הוראות ביצוע הניסוי, התייחסות לפרטים טכניים-חיצוניים של הפריט הטכנולוגי הנלמד והתייחסות למערכת הניסוי או לתוצאות הניסוי, ללא הרחבת התוצאה למסקנות, הסברים או יישומים. בקטגוריה זו היו גם דיונים, שבהם הורה המורה נושא חדש באמצעות שאלות שהכילו אינפורמציה, והתשובה עליהן דרשה מהתלמיד מעט מאוד חשיבה עצמאית.

ב. דיון אנליטי: דיון זה עוסק בתהליך, בתופעה או בתוצאות של ניסוי. הדיון התייחס לנושאים או לאירועים שלא נצפו בתהליך הניסוי אבל מתבססים על תוצאתו. דיון כזה אינו מסתפק בתיאור החלק הנראה לעין, המוחשי בניסוי, בתופעה או בפריט הטכנולוגי הנלמד, אלא בקשרים בין כל אלה, כמו למשל בקשר בין התופעה הפיסיקלית הנלמדת ובין הפריט הטכנולוגי הנלמד. הסבר הניסוי, יצירת הקשרים בין משתני הניסוי, העלאת השערות והסקת מסקנות, שכן כל אלה שייכים לדיונים מסוג זה.

ג. דיון מכליל: בדיון זה מכלילים את החומר שנלמד למצבים נוספים. בדיון מסוג זה גלשו המורים והתלמידים מהתחום של הפריט הנלמד ויישמו למצבים חדשים את הידע שרכשו, את המסקנות, את החוקים ואת הרעיונות הפיסיקליים. נמצא שקיים קשר בין רמת היישום שנקט בה המורה ובין סוגי הדיונים שהתנהלו בכיתה. התוצאות נתונות בתרשים שלהלן:

תרשים 5 : התפלגות סוגי הדיונים לפי המורים המלמדים ברמות יישום שונות

הערות ומסקנות ביחס לקשר בין רמת היישום ובין סוגי הדיונים

לא נמצאו הבדלים משמעותיים במספר הדיונים הקונקרטיים הקיימים בשיעורים בין שלוש רמות היישום. נראה שכל המורים השתמשו בדיונים קונקרטיים באותה מידה. ייתכן שתוצאה זו קשורה באופי האוכלוסייה. כל המורים מוצאים שיש צורך לערוך מספר גדול יחסית של דיונים קונקרטיים.

עם זאת נמצא הבדל משמעותי במספר הדיונים האנליטיים בין הנוקטים רמות יישום שונות. בקבוצת יישום ג' (של המתאימים את החומר הלימודי לאוכלוסייה) התקיימו רוב הדיונים האנליטיים. פחות דיונים אנליטיים, אך עדיין יותר מאשר בקבוצת יישום א' היו בקבוצה ב', של המיישמים את היחידה ללא שינויים.

באשר לדיונים מכלילים, אלה אופייניים בעיקר לקבוצת יישום ג' (התאמה לכיתה), והם חסרים כמעט לגמרי בקבוצת השיעורים שבהם יושם רק תוכן יחידת הלימוד. כלומר: **בקבוצה שיושמה בה יחידת הלימוד תוך התאמה לאוכלוסיית הכיתה, היו יותר דיונים אנליטיים ויותר דיונים מכלילים.**

מאחר שדיונים אנליטיים ומכלילים אופייניים רק לאותן קבוצות שיישמו את החומר הלימודי (בשגרה או תוך התאמה לאוכלוסייה), ניתן להסיק שדיונים אנליטיים

ומכלילים אופייניים לכיתות הלומדות לפי החומר הלימודי של הפרויקט. מכאן שרמת יישום גבוהה של החומר הלימודי שפותח ב"פיסיקה" של מערכות טכנולוגיות מביאה לקיום יותר דיונים אנליטיים ומכלילים מאשר שימוש חלקי בחומר לימודי זה. בנושא זה, קיימת התאמה בין כוונות כותבי החומר, ובין המתרחש בכיתה. ניתוח התוצאות מצביע על דיוני ניתוח תופעות שנצפו בניסוי, תוך הכללתם לחיי היום-יום ולמקצועות הטכנולוגיים.

לצורך ניתוח נוסף של הדיונים זוהה כל היגד בפרוטוקולים של השיעורים כהתנהגות מסוימת. מידע נוסף שנבדק בדיונים מתייחס למבנה הדיון ולתפקידם של המורה ושל התלמיד בתוך הדיון. לקבלת מידע זה זוהה כל היגד בדיון כהתנהגות מסוימת. במגמה לראות – ויזואלית – את מבנה הדיון תוארה הדינמיקה של הדיון באמצעות תרשים 6. אין התרשים מראה תלות בין שני משתנים. מגמתו לתאר, איזו התנהגות בוצעה, ועל ידי מי היא בוצעה (מורה או תלמיד).

קל מאוד להבחין בתרשים שכל ההתנהגויות "הגבוהות", מיצירת קשרים ומעלה, בוצעו בעיקרו על ידי המורה, עוד שהתלמיד מצוי ברמת ביצוע של התנהגויות קונקרטיות בעיקר.

תרשים 6: תרשים זרימה של דיון אנליטי בכיתה.

בהמשך ניתוח הדיונים נבדקו ההתנהגויות העיקריות המבוצעות על-ידי התלמידים. לצורך זה תואר אותו דיון בתרשים נוסף, המורכב משני ישרים. על הישר האחד התנהגויות המבוצעות על ידי המורה ועל הישר השני התנהגויות המבוצעות על ידי התלמיד. והקווים שבין שני הישרים מתארים את מסלול הדיון, את מעבר הדיבור מהמורה לתלמיד. ייצוג זה מדגיש את ההבדל בין התנהגויות המבוצעות על ידי תלמידים להתנהגויות המבוצעות על ידי מורים. הייצוג הקודם מדגיש את תהליך המעבר מדובר לדובר.

תרשים 7 : מסלול דיון אנליטי לדוגמה : מעברים בין תלמיד לבין המורה

מהלך הדיון המתואר בתרשים 7 מראה, שעיקר הפעילות, שביצע התלמיד היה **תרגום דברי המורה**. בתרשים ניתן לראות התנקזות של פעולות המורה בפעולות התרגום של התלמיד. פעולת התרגום משמשת בתרשים מעין מוקד, וממנו יוצאות פעולות המורה. המורה הוא מעלה ההשערות, מסיק המסקנות, יוצר הקשרים, מציע היישומים ומבצע הניסויים לבדיקת ההשערות, התלמיד מעלה השערה אחת בלבד, ורק במקרה אחד הוא יישם את הידע שרכש בעבר. בכל שאר המקרים הוא תרגם את דברי המורה למלים שלו. לכאורה שותפו התלמידים בדיון אנליטי, ולמידתם היתה אקטיבית, אך למעשה היתה פעולתם פסיבית, שכן הם רק תרגמו סיבה אפשרית להיווצרות מצב זה היא שרמת הכיתה נמוכה מאוד או שהמורה מאמין כך.

בצורה דומה לניתוח דיון זה נותחו כל הדיונים, וחלק גדול מהתוצאות שהתקבלו דומה לתוצאות ניתוח זה. נוצר צורך לדרג בצורה אמינה את נטייתם של מורים לבצע פעילויות ברמת הפשטה גבוהה, בשעה שהתלמידים נדרשו לבצע פעילויות ברמת הפשטה נמוכה לכן חיפשנו את היחס בין מספר הפעילויות מקבוצה 1, שהמורה מבצע, ובין מספר הפעילויות מקבוצה 2, שהתלמיד מבצע.

להלן חלוקת התנהגויות לפי קבוצות:

א. רמת הפשטה נמוכה

ביצוע ניסוי
התבוננות
זיהוי ותיאור
זכירה
תרגום

ב. רמת הפשטה גבוהה

איתור משתנים
יצירת קשרים
העלאת השערות
הסקת מסקנות
יישום
תכנון ניסוי

נמצא שסך כל מספר הדיונים שבהם תלמידים מבצעים יותר ממחצית התנהגויות הלמידה מקבוצה 2 הוא 11, בעוד שסך הכל מספר הדיונים שבהם התלמידים מבצעים פחות ממחצית התנהגויות הלמידה מקבוצה 2 הוא 40. כלומר: 40- מתוך 51 דיונים המורה מבצע את רוב ההתנהגויות ברמה גבוהה.

ניתוח דיונים בהתאם להתנהגויות למידה מבוצעות מצביע בבירור, שבדיונים המתנהלים בכיתות מסמ"ם אין התלמידים מופעלים בביצוע התנהגויות הדורשות רמת

הפשטה גבוהה. במחקר נמצאו מורים שהסבירו תוצאה זו ביכולתם הנמוכה של התלמידים לבצע התנהגויות הנדרשות ביחידת הלימוד. טיעון זה סותר את התוצאות שהתקבלו בבדיקת יכולת התלמידים לבצע התנהגויות למידה נדרשות. נמצא (כפי שידווח בהמשך), שהתלמידים מצליחים להתמודד בהצלחה באתגרים הדורשים התנהגויות למידה מקבוצה זו. על פי תוצאות ניתוח הדיונים, פעולת המורים בדיון אינה מאפשרת לתלמידים לנצל את כל הפוטנציאל שלהם. יתר על כן, רוב המורים שרואיינו לאחר השיעור אינם מודעים לכך שהציבו בפני התלמידים בעיקר פעילויות מקבוצה א'. לתוצאות אלה חשיבות מיוחדת בהכשרת מורים ליישום יחידות הלימוד. כדי לשנות את תמונת המצב שהתקבלה אומצה תכנית הכשרת מורים המדגישה את דרך ההוראה, את רמת היישום ואת דרך ניהול הדיונים בכיתה על פי כוונות הכותבים.

6. איתור התנהגויות למידה המבוצעות על ידי תלמידים תוך למידה עצמאית בקבוצה קטנה

עקב מורכבות הפעילות בכיתה לא התקבל מידע אודות התמודדות התלמיד הבודד עם החומר הנלמד. נצפו קבוצות של 7 תלמידים הלומדים ביחידות הלימוד באופן עצמאי. תוצאות הצפייה מצביעות על מידת הצלחתו של התלמיד בהתמודדותו עם כל התנהגויות הלמידה הנדרשות ביחידת הלימוד. אחוזי הביצוע של התנהגויות הלמידה השונות מתוארות בהיסטוגרמה הבאה. השטח המקווקו מייצג את החלק היחסי של ההתנהגויות שבוצעו על ידי תלמידים על פי דרישת היחידה. התנהגויות אלה נבדקו תוך בחינת תשובות התלמיד על השאלות שביחידת הלימוד.

תרשים 8 :

בהיסטוגרמה בולט אחוז הביצוע הגבוה של מרבית התנהגויות הלמידה. יוצאות מכלל זה הן השאלות הדורשות השערות. תוצאה אחת נחזתה בפרק על ניתוח החומר הלימודי: על סמך תוצאות הניתוח נמצא, שיחידת הלימוד אינה מספקת לתלמידים אמצעים כדי להעלות את ההשערות הנדרשות ביחידה. טענה זאת חוזקה על ידי תוצאות סעיף זה. אחוז המענה הנכון על שאלות הדורשות העלאת השערה היה הנמוך מבין כל אחוזי הביצוע של התנהגויות אחרות. כדי לבדוק אם התלמיד מסוגל להתמודד עם תבנית קבוצה של התנהגויות למידה הנדרשות בתוך כל ניסוי רואיין כל תלמיד לאחר ביצוע הניסוי. הריאיון כולל שאלות הדורשות מהתלמיד לבצע אוסף התנהגויות למידה הנתון בתבנית קבועה. אחוזי הביצוע של ההתנהגויות הלמידה נתונים להלן:

תרשים 9: התפלגות התלמידים שבצעו בהצלחה את התנהגויות הלמידה הנדרשות באחוזים.

השוואה בין תרשים 8 לתרשים 9 מצביעה על הבדל גדול באחוז הביצוע של מרבית התנהגויות הלמידה. הבדל זה נובע מכך שמספר ההתנהגויות שנדרש התלמיד לבצע בכתב קטן מזה שהוא נדרש לבצע בריאיון. על כן התוצאות שהתקבלו בריאיון מהימנות יותר מהתוצאות שהתקבלו מניתוח ההתנהגויות שבוצעו בכתב ביחידת הלימוד.

התוצאות שהתקבלו (ראה תרשים מס. 9) שימשו קווים מנחים לדרישות לביצוע התנהגויות לימודיות שהוצבו בפני התלמיד במהדורה המתוקנת של יחידת הלימוד.

7. איתור וניתוח מערכות מושגים של תלמידים בתום הלמידה ביחידת הלימוד

בשלב המחקר הקודמים נאסף מידע אודות התהליכים בשיעור פסיקה בכיתה, בקבוצה קטנה. עם זאת לא ידוע מה המטען שהתלמיד נותר עמו לאחר שסיים את הלמידה בחוברת. על כן מטרת חלק זה של המחקר היא לאתר את מערכות המושגים, וכן טכניקות התבוננות וניתוח תופעות של התלמיד לאחר סיום הלמידה.

להשגת המטרה הוצבו שאלות מחקר:

- 1) מהי תפסיתו של התלמיד את המושגים הפיסיקליים ואת טכניקות ההתבוננות בתופעות אשר למד?
- 2) מהם הקשיים העיקריים שהתלמיד נתקל בהם, קשיים המבוטאים בתפיסת המושגים הפיסיקליים שהוא אוחז בהם?

המונח "מושג" אינו מכוון רק לערכים פיסיקליים כגון לחץ, כוח, תנע, אנרגיה, קרינה. מונח זה מכוון גם לרעיונות כלליים, כגון דרכי התבוננות בתופעה וניתוחה. על כן איתור תפיסת התלמיד את המושגים הפיסיקליים מתייחס גם לאיתור "טכניקות" של התבוננות בתופעה וניתוחה. בדיקת טכניקות אלה נעשית על ידי שאילת שאלות המכוונות להתנהגויות הלמידה שהתלמיד נדרש לבצע כאשר הוא התבונן בניסויים שערך בכיתה.

מערכות המושגים של תלמידים אותרו באמצעות רעיונות חצי מובנים בדומה לדרך הראיון של פיאז'ה. הראיונות נערכו לאחר תום הלמידה. המראיון החזיק באוסף ראשי פרקים, במין שלד של שאלון (ששימש גם לראיון קבוצה קטנה הלומדת ללא מורה). לשם הכוונת הראיון כשיחה זורמת, שלא נשאה אופי של בחינה.

את מערכות המושגים ניסינו לאתר בשני מישורים:

- א. ניסינו לאתר תכנים של מושגי התלמידים וטכניקות התבוננות שלהם בתופעות טבע.
- ב. ניסינו לקשור את מושגי התלמידים להתנהגות הלמידה שביצעו כאשר למדו את הנושא שנשאלו עליו בשאלון.

נערכו 43 ראיונים, והשתתפו בהם 104 תלמידים. הראיונים נערכו על ידי אותו אדם, כשלושה שבועות לאחר סיום הלמידה. ההפסקה בין תוך הלמידה ובין הראיון נועדה לבטל את האפשרות שהתלמיד יחזור על דברי המורה רק מתוך הזכרון.

לפניכם שלד של הראיון :

תוכן השאלות בריאיון

לרשות התלמידים עמד כל חומר לימודי שביקשו, כגון יחידות הלימוד והציוד. כל ריאיון ארך כחצי שעה, והשתתפו בו 2-3 תלמידים. הוחלט לא לקיים ראיונות אישיים עקב קשיי ההתבטאות שנוצרו כשהילדים היו בודדים ועקב קשיים שנבעו מהזמן המוגבל שהקציב בית הספר לראיון התלמידים.

אחד היתרונות של ראיון יותר מתלמיד אחד הוא האפשרות לעקוב (לעתים) אחר דיונים בין התלמידים. בדיונים אלה, כפי שידווח בהמשך, העמידו שני תלמידים או יותר פרדיגמות קדם מדעיות שונות, והם נדרשו להגן על דעותיהם ותוך כדי כך העלו הסברים ונימוקים שנרשמו על ידי המראיין. ניתוחם של הסברים ונימוקים אלה הצביע על מערכות המושגים ועל הדרכים שרכשו התלמידים כדי להגן על דעותיהם.

כל קבוצת תלמידים נשאלה אודות שלושה ניסויים לא עוקבים. תשובות הקבוצות נרשמו, והתשובות שהתקבלו בראיונים מויינו בהתאם:

- 1) להתנהגות הלימודית הנדרשת בשאלה;
- 2) לסוג סילוף המושג על ידי התלמידים.

להלן מובאת דוגמה למיון תוצאות הראיון ולניתוחם. המיון והניתוח מתייחסים לתשובות שהתקבלו על השאלה "תאר את מהלך הניסוי".

הערות	דוגמאות לסוג הסילוף המצוין (מספרי העמודים מתייחסים ליחידת הלימוד "מנוע המכונית")	סוג הסילוף (בסוגריים – אחוז התשובות מהסוג המצוין)
	<p>ניסוי שאיבת המים (עמ' 18)</p> <p>"הרטבנו את הבוכנה. אחר-כך הכנסנו אותה למשאבה ושאבנו מים בעזרת הבוכנה. כדור א' עלה, ונכנסו מים לצינור. אחר כך הורדנו את הבוכנה. כדור א' סגר את היציאה, והמים הרימו את כדור ב' ויצאו החוצה."</p>	<p>1. תיאור נכון, מלא ומושלם בפרטיו (75%)</p>

סוג הסילוף	דוגמאות	הערות
2. תיאור חלקי, תוך התעלמות מחלק משלבי הניסוי (10%)	ניסוי שאיבת המים (עמ' 18 ; ציור במשבצת הקודמת) "מים עברו מכוס אחת לשנייה."	התלמיד תיאר את תחילת הניסוי ואת סופו בלבד, והתעלם משלבי הביניים. התלמיד תיאר רק את תוצאת הניסוי.
	ניסוי חוק פסקל (עמ' 19) תשובה א: "המים עלו בצניורות." תשובה ב: כשהבוכנה יורדת, יש דחיסה של אוויר. האוויר חייב למצוא לעצמו מקום אחר, ולכן הוא דוחף את המים בצניורות."	התלמידים התעלמו מהעובדה שהמים עלו במידה שווה בכל הצניורות, ותוצאה זאת היא החלק החשוב של הניסוי, שכן היא מצביעה על חוק פסקל.
	ניסוי הפחית המתקמטת (עמ' 21) "מרתחים מים בקופסת פח פתוחה. אחרי שסוגרים אותה, היא מתקמטת."	התלמיד התעלם ממועד הסגירה ההכרחי להצלחת הניסוי. כן לא הזכיר את קירור הקופסה.
3. תיאור מעוות של מהלך הניסוי (15%) א: תיאור מעוות של הפעולה שבוצעה בניסוי	ניסוי ההתזה (עמ' 44) "נשפנו לתוך הכוס והתזנו מים."	התלמיד נדרש לנשוף אופקית, ולא אנכית, לתוך הכוס.
ב: תיאור מעוות של סדר הפעילויות שנעשו בניסוי.	ניסוי ההצתה (עמ' 32) "העברנו ניצוץ ב'פלג'. אחר כך הכנסנו בנזין. הניצוץ הפך ללהבה. כפי שקורה כשמוסיפים שמן למדורה. אחר כך היתה התפוצצות, והבוכנה עפה."	לדעת התלמיד הניצוץ גדל עם הוספת הבנזין, כנראה בדומה לאש המדורה המתעצמת עם הוספת חומר בעירה. התלמיד רואה את סדר הניסוי בהתאם להיגיון שלו.
ג. תיאור שלבים נוספים, שלא התבצעו בניסוי.	ניסוי הפחית המתקמטת (עמ' 21) "הדלקנו אש, פתחנו את הפקק, ואחרי שהאדים יצאו, סגרנו. המשכנו לחמם עד שלא היו מים. אחר-כך כיבינו את האש..."	"המשכנו לחמם..." זוהי פעולה שהתלמיד לא נדרש לבצע הלכה למעשה בניסוי. נראה שהתלמיד חשב שכל המים בפחית חייבים להתאדות לצורך ההתקמטות.

סוג הסילוף	דוגמאות	הערות
ד. מתן הסבר לתופעה ותיאור מהלך הניסוי באופן שיתאים להסבר.	ניסוי גלגל התנופה (עמ' 57). התלמיד מסביר: "ככל שהגלגל כבד יותר, הוא מסתובב לאט יותר, כמו בתיבת החיכוך." תיאור הניסוי מקביל להסבר: "הזמן קטן כאשר מעמיסים משקלות על הגלגל."	התלמיד מחליף עם חכוך המופיע בפרק מאוחר: ככל שהחכוך גדול יותר, הסיבוב איטי יותר. תלמיד נתן תשובה הפוכה לזאת שהיתה רשומה בספרו, אף שהספר היה פתוח לפניו.

רוב התיאורים שהתקבלו מהתלמידים היו נכונים. לגבי התשובות הלא-מלאות. כאשר תלמיד העלה תיאור חלקי, ניסה המראיין להבהיר את המניע לתיאור החלקי, ולכן ביקש מהתלמיד להשלים עוד פרטים בניסוי בלי לרמוז על תוכנם. אם השלים התלמיד את תשובתו, הוכנסה התשובה לקטגוריית המתאימה – תשובה מלאה או תשובה מסולפת. אם לא השלים התלמיד את תשובתו, נותרה התשובה בקטגוריית של תשובות לא מלאות. ייתכן שהסיבה לתיאור חלקי של כ-10% מהמרוואיינים נעוצה בראייה לא כוללת של התופעה. נראה שהתלמיד מבחין בפרטי מהלך הניסוי כפרטים נפרדים זה מזה, ולכן בתארו את הניסוי הוא דולה את הפרט או את הפרטים הקליטים ביותר במשך ביצוע הניסוי ומציג אותם כמהלך הניסוי. תלמידים מסוימים ראו בתוצאה את מהלך הניסוי, ואחרים ראו זאת בחלק ממהלכו. והיו תלמידים שהתעלמו מחלק מהתוצאה ולא ראו בה חשיבות כלשהי. סיבה אפשרית נוספת לתיאור חלקי היא שהתלמידים אינם יודעים על מה להסתכל, ולכן הם משמיטים פרטים שנראים להם חסרי חשיבות.

אשר לעיוות מהלך הניסוי, מעניינת במיוחד תשובתו של התלמיד המתאר את מהלך הניסוי של גלגל התנופה: תוצאת ניסוי גלגל התנופה הפוכה לזאת שציין התלמיד. הזמן גדל ככל שמעמיסים על הגלגל מספר גדול יותר של משקלות וכלל שמרחקן של אותן משקלות מהמרכז גדול יותר. התוצאות המספריות הנכונות של הניסוי היו רשומות בספר, והספר היה פתוח לפני התלמיד, ולמרות זאת היה התלמיד בטוח ששגה במשך ביצוע הניסוי או ברישום התוצאות, שכן לא היה לו ספק שהזמן חייב לקטון כאשר מעמיסים יותר משקלות. **התלמיד "אילץ" את תוצאות הניסוי להתאים למערכת המושגים המוטעית שהחזיק בה, ואשר לא השתנתה למרות מה שלמד בכיתה.**

באשר לשאר התשובות, גם הן מצביעות על מערכת מושגים מוטעית שרכש התלמיד בעבר ואשר מתוך היצמדות אליה הוא מעוות את מהלך הניסוי באופן שיתאים למושגים שהוא מאמין בהם. ממצא זה מתאים לממצאיו של בולדט⁷. בולדט ניסה להעמיד תלמידים בעימוד בין הפרדיגמה הקדם מדעית שהחזיקו בה ובין תוצאותיו של ניסוי שנגדו פרדיגמה זאת. כל זה תוך חקירת תנועת המטוטלת. למשל: התלמידים טענו שהמסה משפיעה על זמן התנודה, בעוד שהניסוי מראה שאין קשר בין המסה לזמן המחזור. למרות זאת "הכריחה" תלמידה את המטוטלת להתנהג בהתאם לפרדיגמה שלה. תוצאות מחקרו של בולדט מוכיחות, שהתלמידים לא רק שלא הפנימו את הידע החדש, אלא הם התעלמו מכל מה שלא התאים לפרדיגמה שלהם. תשובות על שאלות הדורשות תיאור לא חשפו בהכרח מערכות מושגים חבויות, אך בצביעו על קשיים שתלמידים עשויים להיתקל בהם תוך ביצועו והבנתו השלמה של ניסוי פיסיקלי. בצורה דומה נותחו תשובות התלמידים על כל שאלות המראיין. מפאת הצמצום במקום לא הובאו הניתוחים לשאלות האחרות, אך התוצאות והמסקנות מניתוח תשובות התלמידים על כל השאלות מוצגות בהמשך.

בחלק זה, שהוא החלק האחרון של המחקר, נמצא שתלמידים מחזיקים בטכניקות התבוננות מסולפות, התורמות לעיוות מושגים וליצירת מערכת מושגים פסיקליים שאינה תואמת את אשר התכוון המורה להקנות. ולכן נקודה נוספת שיש להתייחס אליה בשכתוב ובתכנון הכרת מורים היא הקניית קווים מנחים להוראה מונעת, שמטרתה למנוע היווצרות מושגים וטכניקות מסולפים על ידי "פגישתם" מראש בשיעור בכיתה. כן רצוי להקנות למורים כלים לאיתור מערכות מושגים של תלמידים כדי לאפשר להם לבסס את ההוראה על תכנים שהתלמיד כבר יודע, אם "נכונים" ואם לאו.

בניתוח תוצאות ראיוני התלמידים אותרו סילופים של מושגים וטכניקות התבוננו שגויות, שכותבי יחידות הלימוד והמורים חייבים להיות ערים להם כשהם מתכננים את מערך הוראת הפיסיקה בכיתות מסמ"ם.

להלן מושגים מסולפים וטכניקות שגויות שאותרו במחקר זה :

- יש תלמידים שאינם מפנימים את התופעה בשלמות אלא כאוסף של פרטים, שרק הבולטים שבהם נקלטים על ידם. לכן על המורה להקפיד שתלמידים "יראו" את כל שלבי התופעה, ואסור לו לצאת מתוך הנחה שהסתכלות מבטיחה גם התבוננות.
- תלמידים נוהגים "לאלץ" את התופעה הנצפית בניסוי להתנהג לפי מערכת המושגים הקדם מדעית שהם מחזיקים בה. על כל מורה להיות ער למצב מעין זה ולתקוף תופעה זו בשיעור.
- תלמידים רואים את מטרת הניסוי בתוצאתו ולא במסקנה המשתמעת מהתוצאה. יש להקפיד אפוא להצביע בכיתה על מטרת הניסוי ועל המסקנה שהוסקה ממנה, ועל ההבחנה בין מטרה לתוצאה.

- כך יש להצביע על המשתנים הרלוונטיים לתוצאה ולמסקנה לעומת המשתנים שהם בלתי רלוונטיים לתוצאה, אך שהם יכולים להשפיע עליה.
- אחד ממצאי המחקר הוא שיש תלמידים שאינם יוצרים קשר רצוף בין המשתנים, אלא בנקודות קיצון של התופעה. בניתוח הניסוי בכיתה יש להדגיש את רציפותו של הקשר.
- תלמידים מעלים הסברים לתופעות גם אם הם אינם נדרשים לכך. לכן הוראת הפיסיקה בכיתה מסמ"ם תוך הדגשת רמת ה"ראייה" בלבד עלולה להותיר את התלמידים עם מערכת מושגים מוטעית, הלקוחה מתוך מערכת המושגים הקדם מדעית הקיימת אצלם. תואנות של מורים כאילו רמת התלמידים אינה מאפשרת העלאת השערות, הסקת מסקנות, יצירת קשרים ויישום נראות תלושות מהמציאות לנוכח תוצאות מחקר זה (ראה ביצועי התנהגויות הלמידה הנדרשות מהתלמיד). יש להקפיד להציג את ההסבר הנכון תוך התאמתו לרמת התלמיד ולרקע שלו. תלמידים מחליפים מסקנות בתוצאות. הצעד המחשבתי הדורש מתלמיד מסמ"ם לעבור משלב של תוצאות הניסוי אל המסקנה המשתמעת מהן קשה בשבילו, ולכן יש לדון בכיתה במסקנות המתאימות ולא להתעלם מהן (בתואנה שרמת התלמיד נמוכה מכדי להסיק מסקנות), שכן בכך רק יודגש החסך של התלמיד בהסקת מסקנות.
- נראה שהמסלול המוביל להסקת מסקנות בנוי מההתנהגויות האלה: תיאור, יצירת קשרים בין משתנים, שינוי תוצאה עם שינוי תנאי הניסוי והסקת מסקנות. מסלול זה (המתואר בתרשים למטה) מצביע על הצורך בהדגשת התנהגויות אלה בכיתה כהתנהגויות המובילות לקראת הסקת מסקנות.

סיכום

במחקר זה הוצגה שיטת הערכה המתמקדת בתלמיד. כך הוצגה דרך השימוש בשיטת הערכה זאת בפרויקט פיתוח תכניות לימודים לפיסיקה למסמ"ם. בשלב ראשון נותח חומר לימודי במונחים של התנהגויות למידה ותכניות למידה הנדרשות מהתלמיד. ניתוח זה הצביע על כך שיחידת הלימוד המנותחת לעתים אינה מציבה תנאים מספיקים לתלמיד כדי שיוכל להתמודד עם דרישות היחידה. כן נמצא שתכנית הלמידה ביחידת הלימוד אינה קבועה ואף נוגדת את הגישה המקובלת של ההתקדמות מהקל

אל הכבד. תכניות הלמידה שאותרו ביחידת הלימוד המנותחת מצביעות על חוסר ניצול של הניסויים השונים לגרות את התלמיד לבצע התנהגויות למידה ברמות הפשטה שונות. לאחר שהתקבל מידע אודות הנדרש מהתלמיד, נוצר צורך לבדוק את יכולתו להתמודד עם דרישות אלה. התמודדות זאת נבדקה על-ידי ניתוח תהליכים בכיתה ובקבוצת למידה קטנה. ניתוח התהליכים שנצפו בכיתה הצביע על רמות יישום שונות של יחידות הלימוד – יישום תוכן בלבד, יישום שגיתי, יישום תוך התאמה ואי יישום – וכן על שלושה סוגי דיונים: דיונים קונקרטיים, דיונים אנליטיים ודיונים מכלילים.

כן התקבל מידע על תפקודם של המורה והתלמיד בדיונים השונים שנערכו בכיתה. לקבלת מידע ישיר על התמודדות התלמיד עם דרישות יחידות הלימוד נצפו התהליכים המתרחשים בקבוצת למידה קטנה. ניתוח תוצרי הצפייה הצביע על התאמה בין דרישות יחידות הלימוד לבין יכולתם של תלמידי הקבוצה להתמודד עם ההתנהגויות הנדרשות.

בסעיף האחרון נותחו המושגים הפיסיקליים של התלמיד ודרכי התבוננותו בתופעות פיסיקליות – כל זאת לאחר סיום הלמידה. בסעיף זה נמצא מערך של סילופים הן בהפנמת המושגים והן בדרכי ניתוח תופעות וניסויים פיסיקליים.

– מסקנות ממחקר זה, שתוארו לעיל יוצרות בסיס המעוגן במציאות לכתיבת חומר לימודי חדש בפיסיקה למסלול מסמ"ם ולהכשרת מורים. תוארו הממצאים הקשורים לכתיבת חומר חדש והובאו הלקחים המשתמעים מממצאים אלא לגבי הכתיבה והשכתוב של יחידות הלימוד בפיסיקה למסמ"ם. כן הוסקו לקחים הקשורים להכשרת מורים: הוצגו קווים מנחים לבניית מערכת להכשרת מורים להוראת הפיסיקה למסמ"ם, המתבססת על אירועים בשיעורים בכיתה.

ביבליוגרפיה

1. אביטל שמואל, **הוראה טובה מהי? המחלקה להכשרת מורים, הטכניון חיפה 1977.**
2. Power C.: **A Critical Review of Science Classroom Interaction Studies.** Studies in Science Education 4, 1977 pp 1–30.
3. Guba E.G.: **Towards A Methodology of Naturalistic Inquiry in Educational Evaluation,** Center for the Study of Evaluation ucla – Los Angeles US, 1978.
4. Steele J.M.: Arranging Field Tests: Characteristics of Sites and Sudents. **Me and My Environment – Formative Evaluation** Report 1. Boulder, Colorado, BSCS, June 1973.
5. Assessing Student Abilities and Performance Year 1. **Me and My Environment – Formative Evaluation** Report 2. Boulder, Colorado, BSCS December 1973.
6. Design and Revision, Data Collection and Portrayal. **Me and My Environment – Formative Evaluation** Report 3. Boulder, Colorado, BSCS, September 1974.
7. Boaltdt W. “Application of Tomas S. Kuhn Wiew of Science to Science Teaching” a paper Presented at the Forty Second Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching. Dassadena California, 1969.