

קשיים של תלמידי 5 יח' פיזיקה בהבנת גרפים בקינמטיקה

טאהא מסאלחה, עיסאם זועבי, המכללה האקדמית הערבית לחינוך בישראל, חיפה

מזורים
חוקרים



מבוא

בשנת הלימודים תשע"ג התקיימה במכון ויצמן למדע השתלמות ייחודית למורי הפיזיקה המלמדים את תלמידי העתודה המדעית בחטיבות הביניים. במסגרת ההשתלמות דנו בקשיי תלמידים בהבנת גרפים בקינמטיקה ובאסטרטגיות לטיפול בקשיים. בהמשך ביקשנו לחקור קשיים של תלמידי כיתות י"א במגזר הערבי הלומדים 5 יח"ל בפיזיקה (נקרא להם "קבוצת תלמידי התיכון"), בהבנת גרפים, זמן קצר לפני שניגשו לבחינת הבגרות במכניקה בקיץ תשע"ג.

למטרה זו השתמשנו בשאלון TUG - K (Test of Understanding Graphs - Kinematics), שחובר על-ידי רוברט ביכנר (Beichner, 1994). הגרסה הסופית של השאלון תורגמה לערבית ועברה הגהה לשונית ע"י מורה מנוסה לשפה הערבית והגהה מדעית ע"י מורה מנוסה להוראת הפיזיקה בתיכון. השאלון המתורגם ניתן לצורך בדיקה ומתן הערות ל-5 מורי פיזיקה מנוסים. בנוסף לכך חולק השאלון המתורגם ל-13 פרחי הוראת הפיזיקה במכללה לצורך בדיקה נוספת. בעקבות בדיקה זו, ולאחר קבלת אישור ממורה מנוסה, הוכנסו שינויים קלים לגרסתו הסופית של השאלון המתורגם. הגרסה הסופית של השאלון בערבית תורגמה מחדש לאנגלית על-ידי מתורגמן מנוסה, ונמצא שהתרגום האנגלי היה זהה למקור השאלון כולל 12 שאלות בנושא "גרפים בקינמטיקה".

במחקר שביצענו השתתפו 368 תלמידי תיכון שהתמחו בפיזיקה מהמגזר הערבי מבתי"ס בצפון הארץ, זאת זמן קצר לפני שניגשו לבחינת הבגרות במכניקה (5 יח"ל) בקיץ 2013.

מטרת מחקר זה היא לזהות קשיים בהבנת גרפים בקינמטיקה של תלמידי כיתות י"א הלומדים 5 יח"ל בפיזיקה, ולהשוות זאת עם התוצאות שאליהן הגיע ביכנר. אולם עם התקדמות המחקר מצאנו לנכון לחקור גם את דרגת הקושי האמפירית של שאלות השאלון ולהשוותה עם דרגת הקושי שנקבעה על-ידי החוקרים. מכאן שאלות המחקר הן:

1. השוואת קשיי תלמידי תיכון בהבנת גרפים בקינמטיקה עם קשייהם של נחקרי קבוצת ביכנר;
2. השוואה של קריטריונים לקביעת דרגת הקושי של שאלה (השוואה דרגת הקושי שנקבעה על-ידי הנחת החוקרים לעומת דרגת הקושי המתקבלת בהתאם לממצאים אמפיריים).

סקירה של ספרות מקצועית

גרפים הם כלי חשוב להצגת מידע, לשחזור מידע ולהפקת מידע נוסף מעבר למידע הנראה לעין שאותו מציג הגרף. מכאן החשיבות של המיומנויות הקשורות להצגת מידע באופן גרפי ו/או לשחזור מידע מגרפים נתונים ו/או לניתוח גרפים ולהפקת מידע נוסף מגרפים נתונים. מיומנויות אלה חשובות להשכלה כללית וחיוניות לתלמידי מדעים בכלל ולתלמידי פיזיקה בפרט.

כושר הניתוח של גרפים הוא מדד היכול להבדיל בין התלמידים המבינים ובין התלמידים הלא-מבינים. לארקן (1891) מצא שתלמידי תיכון מתקשים לאתר בגרף את המשתנה הבלתי תלוי ואת המשתנה התלוי. כמו כן מצאו החוקרים מקדרמוט ואחרים (McDermott, Rosenquist, & van Zee, 1987) שקיים קושי בולט בהבנת הקשר בין יחידות הציר האנכי לבין יחידות הציר האופקי, וכן שהתלמידים מתייחסים לצורת הגרף כאל צורה המתארת את המציאות. כך למשל גרף ישר עם שיפוע אפס נתפס על ידי תלמידים רבים כמייצג תנועה על כביש ישר ואופקי; זאת בלי להתייחס למהות הגרף. בתהליך הלמידה בביה"ס לומדים על גרפים בעיקר בשיעורי המתמטיקה, אולם בשיעורי המדעים לומדים לנתח גרפים ולהפיק את המידע המסתתר בהם. גרפים חשובים במיוחד לייצוג הקשר בין שני משתנים. תלמידי פיזיקה ומורים לפיזיקה מרבים להשתמש בגרפים למטרות שונות, כגון: הצגה איכותית ו/או כמותית, לשינויים החלים במשתנים השונים שבהם אנו דנים. מכאן החשיבות המיוחדת של רכישת המיומנויות הדרושות לטיפול בגרפים השונים ולהפקת המידע הרצוי מתוך הגרף.

בבחינת הבגרות בפיזיקה נדרשים התלמידים להראות את מידת שליטתם במיומנויות אלו. בניתוח תשובותיהם של תלמידים לשאלון בחינת הבגרות משנת 6002, מצאו חנה ברגר וירון להבי (7002) שתלמידים שניגשו לבחינות הבגרות בפיזיקה (5 יח"ל), התקשו בהפקת מידע מגרף נתון, כמו מציאת נקודות חיתוך עם הצירים והמשמעות של נקודות אלה, חישוב שיפוע גרף ותיאור המשמעות של השיפוע; כמו כן התקשו התלמידים בייצוג מידע באמצעות גרף, למשל, בקביעת המשתנה התלוי והמשתנה הבלתי תלוי או בבחירת קנה מידה מתאים לצירים. קושי כזה נמצא גם בבחינת הבגרות בכימיה, שבה התלמידים מתקשים בהבנת גרפים (בר-דב, 4002).

על פי הספרות המחקרית (Beichner, 1994; McDermott, Rosenquist, & van Zee, 1987), גם הסטודנטים באוניברסיטאות ברחבי העולם מתקשים בניתוח גרפים ובהפקת מידע מהם.

רמת הקושי של השאלות בשאלון TUG-K

את רמת הקושי של השאלות בשאלון קבענו בשתי דרכים שונות:

א. דירוג קושי אמפירי;

ב. דירוג קושי לפי הנחת החוקרים.

דירוג קושי אמפירי - על-פי ראמ"ה, הרשות הארצית למדידה והערכה בחינוך, ניתן לקבוע את רמת הקושי של שאלה על בסיס אחוז התלמידים שהשיבו נכון על השאלה מתוך כלל התלמידים שנבחנו¹. ככל שאחוז המשיבים נכונה גבוה יותר, השאלה נחשבת קלה יותר ולהפך. חישוב דירוג רמת קושי השאלות לפי ראמ"ה הוא כדלקמן: אם 58% אחוז ומעלה

1 קיימים דירוגים אחרים לרמת קושי של שאלה. הטקסונומיה של בלום (Bloom et.al., 1956), נתנה דירוג בהתאם לרמה הקוגניטיבית של השאלה, זאת בתנאי שהלומד לא התמודד (לא ראה) עם שאלה זו קודם. למשל, ניתן לספור: א' כמה מושגים בשאלה ומהי מידת הקישור ביניהם, ב' מספר העקרונות עליהם נשענת השאלה, ג' כמות הנתונים של השאלה, ד' כמה שלבים, על הלומד לפתור ע"מ להגיע לפתרון השאלה הסופי.

משיבים נכון על שאלה ומעלה - השאלה קלה מאוד; אם אחוז המשיבים נכונה על שאלה נע בין 65% לבין 84% - אז השאלה קלה; אם האחוז נע בין 40% לבין 64% - אז השאלה קשה במידה בינונית; אם האחוז נע בין 20% לבין 39% - אז השאלה קשה, ואם אחוז המשיבים נכון הוא 19% ומטה - אזי השאלה קשה מאוד. השתמשנו בגישה זו כדי למיין את רמות הקושי האמפיריות של השאלות בשאלון ולחלקן לשלוש קטגוריות מרכזיות (לוח 1). דירוג זה כונה "דרגת קושי אמפירית של השאלה".

לוח 1: קטגוריות רמות הקושי האמפיריות

דרגת הקושי	רמת קושי אמפירית לפי אחוז ההצלחה של התלמידים
קלה	70% ומעלה
בינוני	מ-35% עד 69%
קשה	34% ומטה

דירוג קושי לפי הנחת החוקרים - קביעת רמת הקושי של כל שאלה, לפי הנחת החוקרים ובהסתמך על ניסיונם והאינטואיציות שלהם.

לוח 2: דירוג הקושי של שאלות השאלון לפי הנחת החוקרים.

מאפייני השאלה	מספר השאלה	דרגת קושי לפי הנחת החוקרים
שאלה זו מיישמת באופן ישיר ידע שרכשו התלמידים: שיפוע גרף מהירות כנגד זמן מתאר את התאוצה.	2	קלה
שאלה זו מיישמת באופן ישיר מיומנות שרכשו התלמידים: חישוב שיפוע גרף העתק - זמן.	5	
שאלה זו מיישמת באופן ישיר ידע שרכשו התלמידים: קריאת גרף העתק - זמן. בדרך כלל התלמידים אינם מתקשים בטיפול בתנועה מסוג זה.	8	
שאלה זו מיישמת באופן ישיר ידע שרכשו התלמידים: חישוב שטח מתחת לקטע לינארי של גרף תאוצה נגד זמן.	16	
שאלה זו מיישמת ידע שרכשו התלמידים באופן ישיר: חישוב מהירות במקטע לינארי, זאת ע"י חישוב שיפוע הגרף הנתון.	17	
בשאלה זו התלמידים מתבקשים לחשב את ההעתק במרווח זמן מסוים, זאת ע"י חישוב השטח הכלוא בין הגרף הנתון לבין ציר הזמן.	18	
התלמידים מתבקשים בשאלה זו לבחור את הגרף המתאר תנועה במהירות קבועה שונה מאפס.	19	
כאן המיומנות הנדרשת היא חישוב שטח מתחת גרף לקטע לינארי של גרף מהירות נגד זמן.	20	

מאפייני השאלה	מספר השאלה	דרגת קושי לפי הנחת החוקרים
בשאלה זו נתון גרף העתק נגד זמן. התלמידים מתבקשים לתאר פיזיקלית את התנועה. היות שהגרף הנתון בשאלה זו מתאר יחס ישיר, הרי המהירות קבועה.	3	בינונית
השאלה מיישמת באופן ישיר ידע שהם רכשו: העתק המעלית הוא השטח הכלוא בין הגרף לבין ציר הזמן. אולם מכיוון שיש נתונים מיותרים, הדבר גורם לבלבול.	4	
התלמידים מתבקשים בשאלה זו לחשב את תאוצת המכונית: חישוב שיפוע בקטע שבו הגרף לינארי. גם כאן יש נתונים מיותרים.	6	
בשאלה זו התלמידים מתבקשים לבחור את הגרף המתאים ביותר לתיאור תנועתו של גוף המתחיל בתאוצה ולאחר מכן ממשיך בתנועה במהירות קבועה.	9	
שאלה זו מיישמת מיומנות שרכשו התלמידים: מציאת השינוי במהירות הגדולה ביותר. כאן דרושה השוואת שטחים המתקבלים מחמישה גרפים.	10	
שאלה זו דנה בגרפים שונים, התלמידים מתבקשים: לסמן את הגרף המתאר תנועה במהירות קבועה.	12	
שאלה זו דנה במושג מהירות הרגעית. התלמידים מתבקשים לבחור את הגרף בעל המהירות הרגעית הגדולה ביותר.	13	
בשאלה זו התלמידים מתבקשים לחשב את המהירות בקטעי התנועה השונים ע"י חישוב השטח הכלוא בין גרף התאוצה לבין ציר הזמן.	15	
בשאלה זו נתונים גרפים המתארים את התאוצה כפונקציה של הזמן. התלמידים מתבקשים להפיק ממנו מידע אודות השינוי הגדול ביותר במהירות.	1	
שאלה זו דורשת חישוב שיפוע בקטע שבו הגרף אינו לינארי. חישוב כזה דורש מיומנות מיוחדת ומהווה קושי במקרים רבים בקרב התלמידים.	7	
שאלה זו מיישמת מיומנויות שרכשו התלמידים: חישוב שיפועים של גרף העתק - זמן בפרקי זמן שונים והתאמת התוצאה המתקבלת לאחד מהגרפים של מהירות - זמן.	11	
שאלה זו מיישמת הבנה של ידע שהתלמידים רכשו: חישוב שיפוע של גרף מהירות - זמן והתאמתו לגרף תאוצה - זמן.	14	
בשאלה זו המהירות קטנה באופן קבוע. התלמידים מתבקשים לתאר מילולית את תנועת הגוף.	21	

הליך ביצוע המחקר

לאחר תרגום השאלון לערבית ותיקופו ע"י חמישה מורים לפיזיקה בחטיבה התיכונית, יצרנו קשר עם מורים לפיזיקה מהמגזר הערבי המלמדים מכניקה (5 יח"ל) בכיתות י"א, ושתלמידיהם עמדו לגשת לבחינת הבגרות במכניקה בקיץ תשע"ג.

בביצוע המחקר נעזרנו בפרחי הוראת הפיזיקה במכללה האקדמית הערבית לחינוך (שנה ג')², זאת במסגרת עבודה סמינריונית שלהם בהוראת הפיזיקה. הסטודנטיות השתתפו באופן פעיל בכל שלבי המחקר, החל מקריאת מאמריו של ביכנר ותרגום השאלון לערבית עד ביצוע המחקר בפועל. לכך קיבלו פרחי ההוראה הדרכה מתאימה לביצוע שלביו השונים של המחקר. פרחי ההוראה השתתפו בחלוקת שאלונים ובקיום ראיונות עם המורים ועם התלמידים. תוצאות הראיונות הללו אינן נכללות בממצאי המחקר. ניתוח תשובות התלמידים לשאלון התקיים בשיתוף פרחי הוראת הפיזיקה, זאת במטרה להדריך אותם בביצוע עבודות חקר בכיתותיהם בעתיד.

2 קבוצת פרחי הוראת הפיזיקה שלקחו חלק פעיל במחקר זה, קטנה יחסית - 13 במספר. אנו מתכננים להמשיך מחקר זה עם קבוצה נוספת של פרחי הוראת הפיזיקה בשנה הבאה.

בשתי העמודות הראשונות שבלוח 3 מוצג סיכום התשובות של אוכלוסיית המחקר, המונה 368 תלמידי כיתות י"א המתמחות בפיזיקה ("קבוצת תלמידי התיכון"). בשתי העמודות הבאות מוצג סיכום התשובות של 524 הסטודנטים שהיוו את אוכלוסיית המחקר של ביכנר (Beichner, 1994), שתיקרא "קבוצת ביכנר". קבוצת ביכנר כללה תלמידי תיכון ותלמידי קולג'ים מרחבי ארה"ב, אשר מוריהם התנדבו לשתף פעולה עם החוקר במתן שאלון זה לתלמידיהם (Beichner, 1994). בעמודה האחרונה בלוח מוצגת דרגת הקושי של כל שאלה לפי הנחת החוקרים.

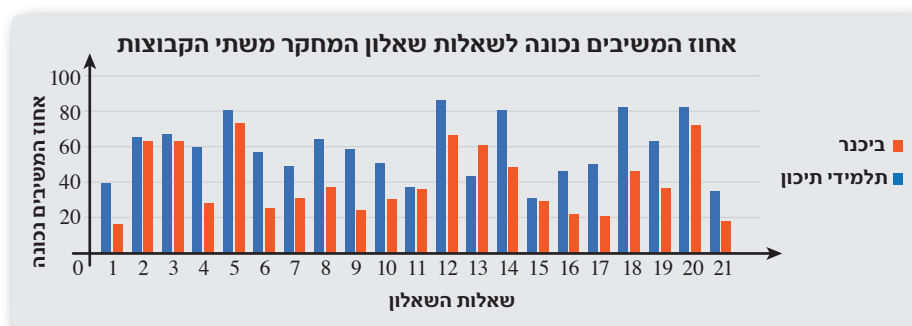
לוח 3: לוח השוואתי באחוזים בין התשובות הנכונות של "קבוצת תלמידי התיכון" לבין תשובות סטודנטים ב"קבוצת ביכנר", עם דרגת הקושי האמפירי של כל שאלה עבור כל קבוצת מחקר. בעמודה האחרונה בלוח מופיעה דרגת הקושי של השאלה לפי הנחת החוקרים.

דרגת קושי לפי הנחת החוקרים	קבוצת ביכנר N=524		קבוצת תלמידי התיכון N=368		מס' שאלה
	דרגת קושי אמפירית	אחוז התשובות הנכונות	דרגת קושי אמפירית	אחוז התשובות הנכונות	
קשה	בינונית	62	בינונית	67	1
בינונית	קשה	28	בינונית	60	2
קשה	קשה	25	בינונית	57	3
קלה	בינונית	37	בינונית	64	4
קלה	קשה	24	בינונית	58	5
קשה	בינונית	36	בינונית	37	6
קלה	בינונית	67	קלה	86	7
בינונית	בינונית	61	בינונית	43	8
בינונית	קשה	29	קשה	31	9
קלה	קשה	22	בינונית	46	10
בינונית	בינונית	63	בינונית	65	11
קלה	קלה	73	קלה	80	12
בינונית	בינונית	41	בינונית	50	13
קשה	בינונית	46	קלה	82	14
בינונית	בינונית	37	בינונית	63	15
בינונית	קלה	72	קלה	82	16
קלה	קשה	16	בינונית	39	17
קלה	קשה	31	בינונית	49	18
קלה	קשה	30	בינונית	51	19
בינונית	קלה	72	קלה	81	20
קשה	קשה	18	קשה	34	21

התבוננות בלוח 3 מראה לנו שב-6 שאלות בלבד תאמה דרגת הקושי - לפי הנחת החוקרים - את דרגת הקושי האמפירית של שתי הקבוצות (השורות המסומנות בכחול); ב-6 שאלות אחרות מצאנו שקיימת התאמה בין דרגת הקושי האמפירית של שתי אוכלוסיות המחקר, אך דרגת קושי זאת אינה תואמת את דרגת הקושי לפי הנחות החוקרים (השורות המסומנות בוורוד); ב-5 שאלות אחרות דרגת הקושי האמפירית של קבוצת תלמידי התיכון היא בינונית ודרגת הקושי האמפירית של קבוצת ביכנר היא קשה, בעוד שדרגת הקושי לפי הנחת החוקרים היא קלה! (השורות המסומנות בצהוב); מכאן אנו סבורים שעל המורים להיזהר ולא להסתמך על אינטואיציה בלבד בהערכת רמת הקושי של שאלות בפיזיקה. בשאר השאלות לא תאמה דרגת הקושי האמפירית בקבוצת תלמידי התיכון את דרגת הקושי האמפירית בקבוצת ביכנר, ואלה לא תאמו את דרגת הקושי לפי הנחת החוקרים! תוצאות אלה מצריכות חשיבה מחודשת בקרב החוקרים בקביעת דרגת קושי של שאלה כלשהי! ההבדלים בדרגות הקושי האמפיריות מצביעים על רמת ידע והבנה שונה בשתי הקבוצות בנוגע לשאלות אלו ואחרות. ואכן, גרף 1 תומך במסקנה זו.

ניתוח ודין בתוצאות המחקר

גרף 1 מראה לנו ויזואלית את מידת השוני הקיים בין אחוז המשיבים נכונה על שאלות השאלון, בשתי הקבוצות. הגרף מצביע על רמת ידע שונה ועל הבנה שונה של שאלות השאלון בקרב שתי קבוצות המחקר.



גרף 1: אחוז המשיבים נכונה לשאלות המחקר משתי הקבוצות.

התבוננות בגרף 1 מראה שאחוז התשובות הנכונות של קבוצת ביכנר נמוך בממוצע בכ-20% מהתשובות הנכונות של תלמידי התיכון, מלבד בשאלה 13. בשאלה 13 התבקשו הנחקרים לסמן את הגוף בעל המהירות הרגעית הגדולה ביותר בגרף של מקום-זמן. בקבוצת "ביכנר" ענו נכון על שאלה זו יותר מ-60% מהמשיבים, בעוד שבקבוצת תלמידי התיכון ענו נכון פחות מ-45% מהמשיבים. אפשר לייחס זאת לעובדה שתלמידי התיכון עדיין לא הפנימו את המשמעות של "המהירות הרגעית הגדולה ביותר", בעוד שקבוצת "ביכנר" הייתה בוגרת יותר, בהיותה מורכבת מסטודנטים בקולג'ים בארה"ב. הלומדים כבר למדו והפנימו את המשמעות של "המהירות הרגעית הגדולה ביותר".

ניתן לראות גם שאחוז תלמידי התיכון שהשיבו נכונה על 13 שאלות נוספות, הוא כמעט כפול מאחוז המשיבים נכונה מקבוצת "ביכנר"; ואחוז המשיבים נכונה משתי הקבוצות על 7 השאלות הנותרות כמעט שווה.

את השיפור המשמעותי באחוז תלמידי התיכון שהשיבו נכונה לעומת קבוצת "ביכנר", אנו מייחסים למספר גורמים: השאלון חולק לתלמידי כיתות י"א חודש ימים לפני בחינת הבגרות בפיזיקה בהיקף 5 יח"ל, בעיצומן של ההכנות לבחינת הבגרות בפיזיקה.

השימוש המוגבר שעושים מורי הפיזיקה בארץ במעבדה ובסימולציות מחשב.

השאלון ניתן לקבוצת "ביכנר" בשנים 1994-1996, בעוד שלקבוצת תלמידי כיתות י"א ניתן השאלון בשנת 2013. ככל הנראה חל בתקופה זו שיפור משמעותי בדרכי הוראת הגרפים בפיזיקה, שיפור שניתן לזקוף במידה רבה ללקחים שהופקו מהמחקר של ביכנר (Beichner, 1994).

דרגות קושי אמפיריות של שאלות השאלון לעומת הנחת החוקרים

א. אם מתייחסים לדרגת הקושי האמפירית של השאלות, ניתן לראות בלוח 3 ששאלה 21 הדנה במהירות ההולכת וקטנה עם הזמן, נמצאה בדרגת קושי גבוהה עבור שתי הקבוצות. תוצאה זו גם תאמה את הנחת החוקרים. לעומת זאת, דרגת הקושי של שאלה 12 הדנה בתנועה גוף במהירות קבועה, היא קלה עבור שתי הקבוצות. גם תוצאה זו תאמה את הנחת החוקרים.

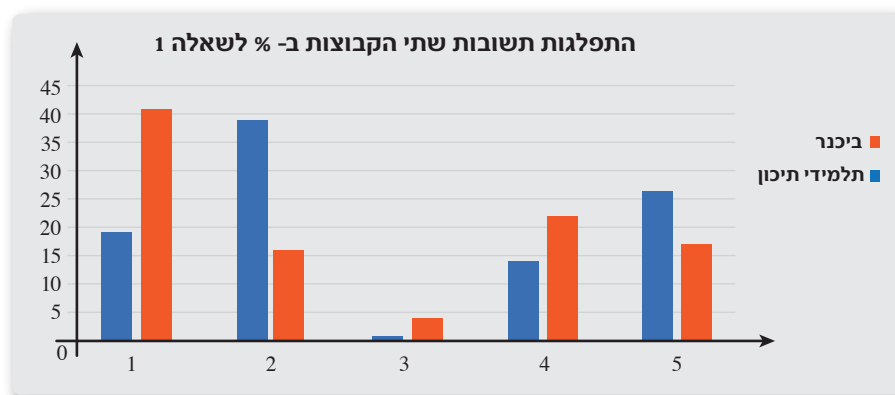
ב. כאשר משווים בין שתי השאלות 20 ו-21, רואים ששתי השאלות דורשות התבוננות בגרף מהירות כנגד זמן: אבל בעוד ששאלה 20 היא כמותית - התלמידים מתבקשים לחשב את המרחק שעבר הגוף בפרק זמן שבו הגוף נע במהירות קבועה, הרי ששאלה 21 היא איכותית ובה התלמידים מתבקשים להתאים תיאור מילולי לגרף נתון שבו המהירות הולכת וקטנה. אם דרגת הקושי האמפירית של שאלה 21 בשתי הקבוצות תאמה את הנחת החוקרים (קשה), הרי שדרגת הקושי האמפירית של שאלה 20 לא תאמה את הנחת החוקרים (קלה לעומת בינונית בהתאמה). השאלות שלנו, כמורים וכחוקרים, המתעוררות בהקשר לכך הן: האם דרגת הקושי של השאלות האיכותיות גבוהה יותר מדרגת הקושי של השאלות הכמותיות? האם דרגת קושי של השאלה תלוי בקשיי התלמידים בהבנת הנקרא? האם שאלות איכותיות קשות להבנה, ואילו שאלות חישוביות קשות פחות להבנה? החוקרים -

(Beichner, 1994; McDermott, Rosenquist, & van Zee, 1987)

מצאו שיש קשר ישיר בין הבנת הנקרא להבנת השאלה. תשובות לשאלות אלה הן נושא מעניין למחקר הבא:

ג. מאפיינים של שאלות בדרגות קושי אמפיריות שונות

שאלה 1 - בגרף 2 אנו מציגים התפלגות של תשובות הנחקרים משתי הקבוצות לשאלה 1. שאלה זו נמצאה בינונית בדירוג קושי אמפירי על ידי שתי הקבוצות, אולם החוקרים דירגו אותה בדרגת קושי גבוהה (לוח 3).



גרף 2: התפלגות תשובות שתי הקבוצות לשאלה 1.

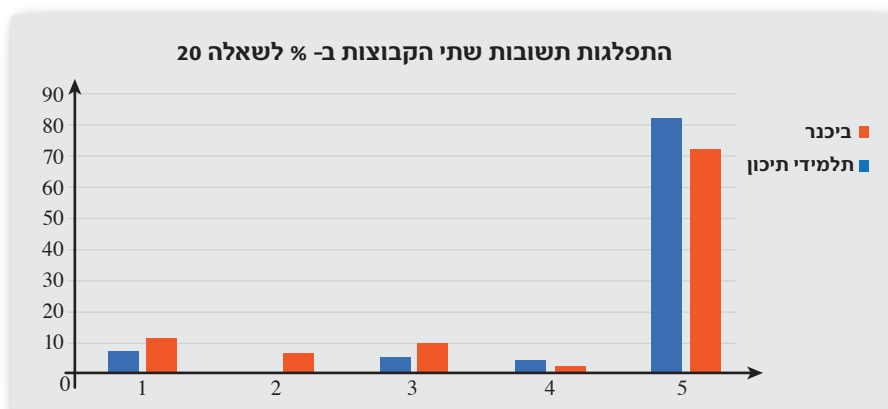
גרף 2 מראה שכמעט כל תלמידי שתי הקבוצות פסלו את אפשרות שלוש האומרת שהתאוצה קטנה באופן ליניארי, אולם אחוזים ניכרים בחרו באפשרויות האחרות, דבר המעיד על קושי בבחירת התשובה הנכונה. לדעתנו, הבעיה העיקרית בשאלה זו היא בתפיסת מהות נתוני השאלה הן במלל "במהירותו של איזה גוף חל השינוי הגדול ביותר" והן בסוג הגרף

(תאוצה - זמן). מכאן הקושי המיוחד הטמון בשאלה זו. אולם אם הנחקרים כבר תרגלו שאלות מסוג זה, דרגת הקושי קטנה, ואולי זו הסיבה לדרגת קושי אמפירית בינונית שהתקבלה. בהתבוננות בגרף 3, המתאר את התפלגות תשובותיהן של שתי הקבוצות לשאלה 21, שגם היא מסווגת כשאלה קשה, אנו רואים ששתי הקבוצות פסלו את אפשרות שלוש, ארבע וחמשה! לדעת החוקרים, הקושי העיקרי בשאלה זו הוא בהבנת השאלה!



גרף 3: התפלגות תשובות שתי הקבוצות לשאלה.

התפלגות תשובות הנחקרים לשאלה 02 נתונה בגרף 4. הדבר הבולט בגרף זה הוא זיהוי התשובה הנכונה בקרב הנחקרים משתי הקבוצות. יותר מ-80% מהנחקרים מקבוצת תלמידי התיכון ויותר מ-70% מקבוצת ביכנר, בחרו בתשובה הנכונה (אפשרות 5); דבר שהופך שאלה זו לקלה אמפירית בשתי קבוצות המחקר. בעוד שדרגת קושי של שאלה זו, לפי הנחת החוקרים, היא בינונית! תופעה זו שבה קיים שוני בין דרגת הקושי האמפירית בקרב שתי הקבוצות הנחקרות לבין דרגת הקושי לפי הנחת החוקרים, דורשת מאתנו דיון מחודש בקריטריונים לקביעת דרגת קושי השאלות.



גרף 4: התפלגות תשובות שתי הקבוצות לשאלה 02.

גרף 4 מציג דוגמה להתפלגות תשובות שתי הקבוצות לשאלה קלה (שאלה 20 לדוגמה). שאלה זו היא שאלה חישובית. כ-75% מתלמידי שתי הקבוצות בחרו בתשובה הנכונה! תמונה זו קיימת במרבית השאלות הקלות.

במחקר זה בחנו שתי גישות של ניתוח דרגת קושי של שאלה: האחת אינה תלויה בממצאי המחקר אלא בהנחת החוקרים, והאחרת אמפירית - משקפת את הצלחת הנחקרים במתן תשובה נכונה לשאלות השאלון. השוואת דרגת קושי לפי הנחת החוקרים עם דרגת קושי אמפירית מעוררת שאלות, בהתייחסותנו כמורים לדרגת קושי של שאלה. דוגמה בולטת בשוני שמצאנו היא בדרגת הקושי של השאלות 5, 10, 17, 18 ו-19. החוקרים הניחו שהן בדרגת קושי "קלה", בעוד שקבוצת תלמידי התיכון מצאו ששאלות אלו הן בדרגת קושי אמפירית "בינונית", ואילו הסטודנטים בקבוצת ביכור מצאו שהן בדרגת קושי "קשה".

השוואת ביצועי שתי הקבוצות בפתרון שאלות שאלון הקינמטיקה (גרף 1 ולוח 3), מראה ביצועים טובים יותר של תלמידי התיכון לעומת קבוצת ביכור.

פרחי הוראת הפיזיקה במכללה היו מעורבים בכל התהליך המחקרי ובעיבוד התוצאות. מעורבות זו גרמה להם להתנסות, הלכה למעשה, בדרכי ביצוע מחקר פעולה בכיתותיהם בפועל, כדבריה של אחת מהן "אני למדתי כיצד ליהנות מכל רגע בביה"ס, זאת דרך של הפעלה פעילה, שנותנת לי כמורה תמונת מצב עדכנית ובזמן אמת של מידת ההבנה של תלמידיי". משתתפת אחרת כתבה "אני בדעה שיש צורך לשנות את דרכי ההוראה המסורתיות, לפחות בשיעורי הפיזיקה, זאת במטרה להתמודד בהצלחה עם קשיי הבנת שאלות בכלל והבנת שאלות עם גרפים בפרט". סטודנטית שלישית כתבה "זה לא סתם שאלון כמו שאלוני 'מצב הרוח הכיתתי'; זה שאלון שגם אותי הוא מאתגר מאוד. השאלון מדד את מידת הבנת קינמטיקה בכלל וגרפים של העתק - זמן, מהירות - זמן ותאוצה - זמן".

מחקר זה פתח מספר השלכות לעתיד, הן מבחינת הבנת גרפים והן מבחינת השימוש בהם. המחקר הזה בוצע בקרב תלמידי תיכון מהמגזר הערבי; מסקן לבדוק מהו המצב בקרב תלמידי פיזיקה במגזר היהודי.

אנן מודים לחנה זרלר ואירון אהזי על הערבותם העניינית ומאירת העיניים.

1. בר-דב, ז., (2004). "ניתוח תשובות התלמידים בבחינות הבגרות - כלי עזר לשיפור הוראה", על כימיה - עלון מורי הכימיה, גיליון 6 (5-12).
2. ברג, ח. ולהבי, י., (2009). "ממצאים עיקריים העולים מניתוח תשובותיהם של תלמידים לשאלון הבגרות תשס"ז", תהודה - עלון מורי הפיזיקה, גיליון 27 (2), 50-51.
3. בגנו, א., ויסמן, א., ברג, ח., ולהבי, י. ואריאלי, ה., (2007). "הפקת מידע מגרפים", המרכז הארצי למורי הפיזיקה, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע.
4. ראמ"ה - הרשות הארצית למדידה והערכה בחינוך, משרד החינוך; הנמצא באתר משרד החינוך להלן:
5. http://cms.education.gov.il/NR/rdonlyres/11AE272A-7E7A-423E-A0C3-14EE6CCC4B49/113950/Heb_8_B.pdf
6. Baker, D., & Leary, R. (1995). Letting girls speak out about science. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 3-27.
7. Beichner, R. (1994). "Testing student interpretation of kinematics graphs". *American Journal of physics*, pp. 750-762.
8. Bloom, B. S.; Engelhart, M. D.; Furst, E. J.; Hill, W. H.; Krathwohl, D. R. (1956). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook I: Cognitive domain*. New York: David McKay Company.
9. Leonard, B. (2000). The difficulty of interpreting simple motion graphs. *The Physics Teacher*, pp. 68-71.
10. Larkin, J. (1981). Understanding and problem solving in physics. In J. Robinson, *Research in Science Education* (pp. 115-130). Center for Educational Research and Evaluation.
11. McDermott, L., Rosenquist, M., & van Zee, E. (1987). Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics*, pp. 503-513.