



מִן הַנְעֻשָׁה
זְכָתָה

שאלונים דיאגנוסטיים ככלי הוראה בכיתה

שורצבורד קובי, המרכז ללימודים קדם אקדמיים, הטכניון, ומרכז
חינוך "ליאו באק", חיפה

מבוא

במאמר זה אתרכז בשאלונים דיאגנוסטיים ככלי להוראה בכיתה.

בהיותי סטודנט ב"תכנית חטשילד-ויצמן" למצוינות בהוראת המדעים, נחשפתי למספר אסטרטגיות הוראה העושות שימוש בשאלונים דיאגנוסטיים, ולאחר התנסות עמן בכיתות הלימוד שלי השתכנעתי בעילותן ובהשפעתן הרבה על התלמידים.

במאמר זה אסקור בקצרה שלושה שאלונים דיאגנוסטיים מרכזיים, אתרכז באופן השימוש שעשיתי בהם בכיתה ואציג ממצאים שקיבלתי.

שאלון דיאגנוסטי מהו, ומהי מטרתו בתהליך ההוראה?

שאלונים דיאגנוסטיים הם שאלונים אשר פותחו כחלק ממחקר העוסק בקשיי תלמידים בנושא ספציפי. שאלונים אלו נבדקו עם מספר רב של תלמידים, והם תקפים ומהימנים. השאלונים הדיאגנוסטיים מורכבים משאלות רב-בִּרְרִיתוּת, והמסיחים שלהם נמצאו במחקרים כתפיסות נאיביות האופייניות לתלמידים. לכן על פי הספרות המחקרית, שאלונים דיאגנוסטיים מהווים כלי יעיל להערכת הידע של התלמידים.

שאלונים דיאגנוסטיים מרכזיים

השאלון הדיאגנוסטי המוכר ביותר בנושא הפיזיקה הוא FCI (Force Concept Inventory), אשר פותח על ידי חוד הסטנס בשנת 1992 (ובגרסה שונה במקצת בשנת 1995) ומתמקד בעיקר בנושא הכוחות אבל כולל כמה שאלות גם בקינמטיקה^[1]. השאלון כולל 30 שאלות רב-בִּרְרִיתוּת, ללא דרישת נימוק, ואמור לבדוק את ההבנה של המכניקה הניוטונית.

מהי תפיסה נאיבית?

את המונח תפיסה נאיבית, הנקראת לעתים תפיסה שגויה או תפיסה אלטרנטיבית, מגדירים **כתפיסה של התלמיד אשר מפיקה תבנית סיסטמטית של טעויות**^[1] או **כידע ספונטני הנובע מניסיון הפרט, אשר לא מתאים לידע המדעי המקובל**^[2].

תפיסות נאיביות משותפות לקבוצות גדולות של תלמידים, בגילאים שונים ובתרבויות שונות, הן רוחות בקרב תלמידים שלא למדו ואף בקרב אלה שלמדו פיזיקה. הן קוהרנטיות, היגיוניות, יציבות, עקשניות וקשות לשינוי^[3].

מכניקה ניוטונית	תפיסות נאיביות
אם שקול הכוחות הוא אפס, הגוף במנוחה או בתנועה קצובה.	גוף נע רק אם פועל עליו כוח בכיוון התנועה.
מבחינת שקול הכוחות אין הבדל בין מנוחה לבין תנועה קצובה.	גוף במנוחה אינו דורש הסבר לגבי כוחות; תנועה קצובה - כן.
גוף מקטין את מהירותו אם פועל עליו כוח בכיוון מנוגד לתנועתו.	גוף מקטין את מהירותו אם הכוח שפועל בכיוון התנועה הולך וקטן.
גוף ייעצר אם פועל עליו כוח בכיוון מנוגד לתנועתו.	גוף ייעצר לאחר שתנפתו התפוגגה.
כוח קבוע גורם לתאוצה קבועה.	כוח קבוע גורם למהירות קבועה.
קיים יחס ישר בין שקול הכוחות לתאוצה.	קיים יחס ישר בין שקול הכוחות למהירות.
כוח מודד אינטראקציה.	כוח הוא מאפיין של הגוף.

טבלה מספר 1: תפיסות הנאיביות הבאות לידי ביטוי בשאלון FCI [4]

שאלון דיאגנוסטי נוסף הוא TUG-K (Test of Understanding Graphs in Kinematics), אשר פותח על ידי רוברט בייכנר בשנת 1992 [5]. השאלון כולל 21 שאלות רב-בִּרְרָה, ללא דרישת נימוק, ואמור לבדוק הבנה ופירוש של תלמידים לגרפים בקינמטיקה. בטבלה מספר 2 מתוארים קשיי התלמידים [5].

הגרף כתמונה שגויה	הגרף נחשב לצילום של המצב. הוא לא נראה כהצגה מתמטית מופשטת, אלא יותר העתק ממשי של התנועה.
בלבול בין שיפוע וגובה	תלמידים קוראים לעתים קרובות את ערך המשתנה התלוי מהציר האנכי של הגרף ומייחסים זאת לשיפוע הגרף.
בלבול בין המשתנים	התלמידים אינם מבחינים בין מיקום, מהירות ותאוצה. הם מחליפים בין הערכים הקינמטיים בציר האנכי של הגרף, בלי להבין שבעקבות פעולה זו גם משמעותו של הגרף משתנה.
שגיאות בחישוב שיפוע בגרפים שאינם עוברים דרך ראשית הצירים	התלמידים מצליחים למצוא את השיפוע של גרפים העוברים דרך ראשית הצירים, אך מתקשים בקביעת השיפוע של ישר (או המשיק לגרף) שאינו עובר דרך הראשית.
קושי בהבנת משמעות השטח בגרפים קינמטיים	התלמידים אינם מזהים את משמעות השטחים הכלואים בגרפים הקינמטיים.
בלבול בין שטח, שיפוע וגובה	תלמידים מחשבים לעתים קרובות את השיפוע או משתמשים בצורה לא נכונה בשיעורי הנקודות כאשר נדרש חישוב השטח מתחת לגרף.

טבלה מספר 2: קשיי תלמידים בשאלון TUG-K [5]

בנושא מעגלי זרם ישר קיים שאלון דיאגנוסטי אשר פותח על ידי כהן, ה, בת שבע, א. וגניאל, א. בשנת 1983 [6]. השאלון כולל 10 שאלות רב-בִּרְרָתיות, ללא דרישת נימוק, ומטרתו לבדוק את ההבנה של תלמידים לגבי הקשרים בין המשתנים במעגל חשמלי. בטבלה מספר 3 מתוארות התפיסות הנאיביות העיקריות שהשאלות עוסקות בהן [6].

התפיסה השגויה העיקרית שהשאלון מגלה

התייחסות לזרם החשמלי כמונח מרכזי במקום ל"הפרש הפוטנציאלים", וכך נוצר בלבול בין סיבה ובין תוצאה.

התייחסות למונח ההספק החשמלי כ"משהו" זמין במעגל, וככל שלנגד יש התנגדות גדולה יותר - כך הוא ישתמש בו יותר.

הסוללה היא מקור זרם ולא מקור מתח.

שינוי מקומי במעגל אינו משפיע על שאר המעגל.

התעלמות מקיומה של התנגדות פנימית בסוללה (משום כך התלמידים שוגים בחישוב של מתח ההדקים בסוללה).

טבלה מספר 3: התפיסות הנאיביות העיקריות בשאלון מעגלי זרם ישר^[6]

העברת השאלונים הדיאגנוסטיים בכיתתי - שיטת הפעלה

המאמרים המתארים את השאלונים הדיאגנוסטיים מתמקדים בעיקר בתפיסות הנאיביות שהם חושפים. בחלק זה של המאמר אתאר את אופן השימוש שעשיתי בהם בכיתתי:

לפני העברת השאלונים, פתרתי כל שאלה ובדקתי אילו תפיסות אלטרנטיביות מייצגים המסיחים שלה. את הפעילות בכיתה ביצעתי בארבעה שלבים:

1. **מענה אישי** על השאלון ובו כל התלמידים ענו בעצמם על כל השאלות. בשלב זה התלמידים חושפים את הידע שרכשו וכך מכריזים על דעתם. הכרזה זו מהווה בסיס לדיון, והתלמידים חשים בעלות על התשובה.
 2. **התלמידים עובדים בקבוצות קטנות** (2-4 תלמידים), דנים בתשובותיהם ומשנים אותן לפי הצורך. בחלק זה התלמידים נחשפים לרעיונות נוספים המוצגים על ידי חבריהם לכיתה.
 3. **דיון כיתתי** ובו כל קבוצה מציגה את תשובותיה ואת חילוקי הדעות שהתעוררו, אם בכלל. בסיום הדיון על שאלה ספציפית הכיתה מגיעה למסקנה בדבר התשובה הנכונה. בדומה לשלב השני, התלמידים נחשפים לרעיונות המוצגים על ידי שאר הקבוצות.
 4. כל התלמידים ממלאים **משוב אישי** שבו הם מתייחסים לתרומת הפעילות בשלביה השונים ולקשיים שעדיין קיימים מבחינתו. בשלב זה התלמידים נותנים לעצמם דין וחשבון על מה שלמדו וכיצד למדו. משובים אלו יכולים להישאר אצל התלמידים או יכולים להיאסף על ידי המורה. בקריאת משובים אלו המורה יכול לקבל תמונה על הבנת התלמידים את הנושא, מה עדיין לא מובן לתלמידים ומהי מידת שביעות רצונם מהפעילות עצמה.
- באמצעות פעילות מסוג זה התלמידים בוחנים את הידע שלהם, מעדכנים, מארגנים ומקשרים את הידע החדש שנחשפו אליו עם הידע ההתחלתי שלהם.

ממצאים מהפעילויות שביצעתי בכיתתי

אתאר כעת שלושה ממצאים שהתקבלו בהעברת השאלונים הדיאגנוסטיים המרכזיים בכיתתי:

1. את שאלון FCI^[4] העברתי באופן מלא (כל 30 השאלות) כפעילות סיכום לפני בחינה בכוחות ותנועה. בשאלונים אלו נותחו תשובות התלמידים וההערות שרשמו במשוב האישי. סה"כ 76 שאלונים.
2. משאלון TUG-K^[5] העברתי 12 שאלות מתוך 21 כפעילות סיכום לאחר שהתלמידים למדו תנועה חד-ממדית שוות תאוצה. בשאלונים אלו נותחו תשובות התלמידים בכיתה אחת, ובשאר הכיתות נותחו ההערות שרשמו במשוב האישי. סה"כ 98

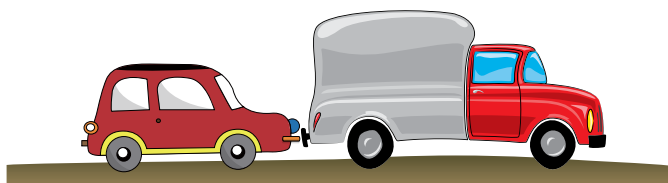
3. את השאלון במעגלי זרם^[6] העברתי לאחר סיום ההוראה בנושא "מעגלי זרם ישר". בשאלונים נותרו תשובות התלמידים בשלב היחידני בלבד. סה"כ 32 שאלונים.

התפיסות האלטרנטיביות שאותרו בשלב היחידני

כאשר התלמידים פותרים את השאלות באופן אישי, הם למעשה חושפים את הידע שלהם בנושא הנשאל. תשובות התלמידים אפשרו לי, כמורה, לגלות את התפיסות השגויות של כל אחד מתלמידי.

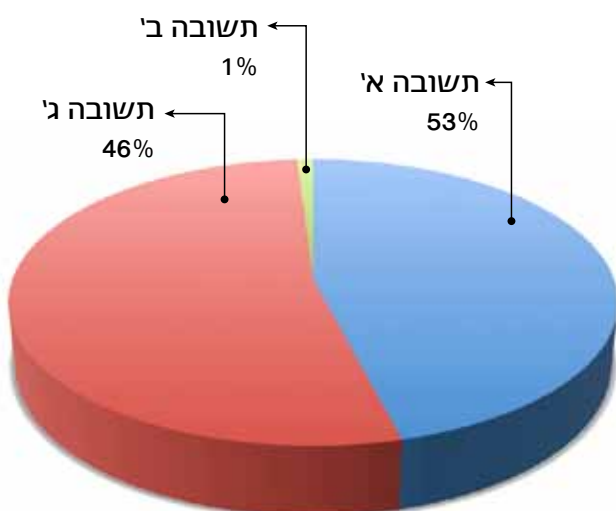
לדוגמה, השאלה הבאה עוסקת בחוק השלישי של ניוטון: בשאלון FCI^[4] התלמידים נשאלים בדבר הכוח הפועל בין משאית ובין מכונת, כאשר האחרונה דוחפת את המשאית שנתקעה בדרכה.

תשובה ג' מייצגת את התפיסה השגויה שלפיה המכונת דוחפת את המשאית, ולכן היא חייבת להפעיל כוח גדול יותר בהשוואה לכוח שהמשאית מפעילה עליה. כמחצית מ-76 התלמידים שלי ענו לפי תפיסה שגויה זו בשלב העבודה היחידנית.



איור 1

התפלגות תשובות התלמידים בחלק היחידני



משאית גדולה התקלקלה באמצע הדרך. היא מגיעה באמצעות מכונת קטנה הדוחפת אותה מאחור. בשעה שהמכונת, תוך כדי דחיפת המשאית, מגבירה את מהירותה כדי להגיע למהירות סופית קבועה (איור 1)

א. גודל הכוח שבו המכונת דוחפת את המשאית שווה לגודל הכוח שבו המשאית דוחפת את המכונת בחזרה.

ב. גודל הכוח שבו המכונת דוחפת את המשאית קטן מגודל הכוח שבו המשאית דוחפת את המכונת בחזרה.

ג. גודל הכוח שבו המכונת דוחפת את המשאית גדול מגודל הכוח שבו המשאית דוחפת את המכונת בחזרה.

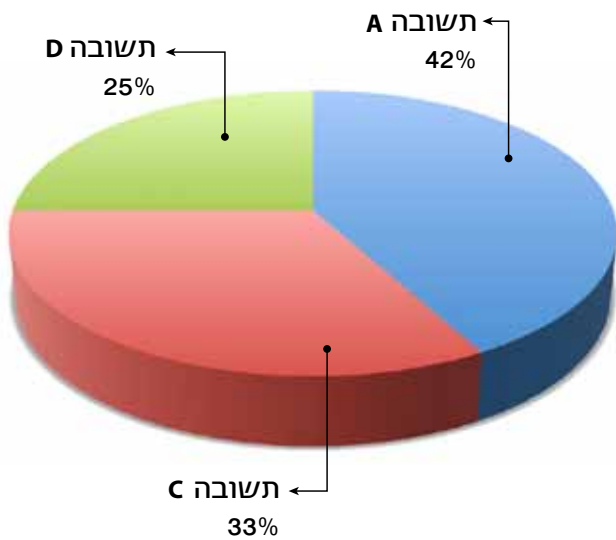
ד. מנוע המכונת פועל כך שהמכונת דוחפת את המשאית, אבל מנוע המשאית אינו פועל, ולכן המשאית אינה יכולה לדחוף את המכונת בחזרה. המשאית נדחפת קדימה בגלל שהיא בדרכה של המכונת.

ה. לא המכונת ולא המשאית מפעילות כוחות זו על זו. המשאית נדחפת קדימה פשוט בגלל שהיא בדרכה של המכונת.

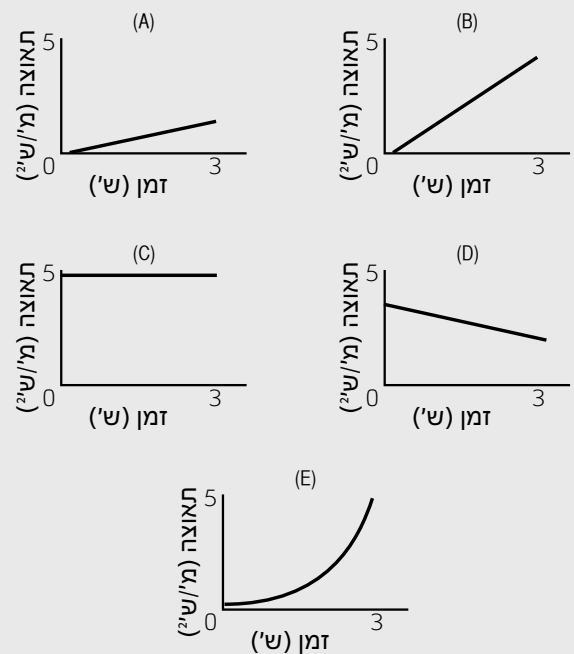
דוגמה נוספת היא השאלה הבאה העוסקת בחישוב שינוי מהירותו של גוף בהינתן גרף תאוצה כתלות בזמן של תנועתו בשאלון TUG-K^[5].

גרף C מייצג את התפיסה השגויה השכיחה שלפיה התאוצה קבועה, ולכן שיפוע הישר הוא אפס. כ-58% מ-98 מהתלמידים שלי ענו כי הגרפים C ו-D מייצגים את התשובה הנכונה (תשובה D מייצגת את התפיסה השגויה שאומרת ששיפוע הגרף שלילי ולכן השינוי במהירות במקרה זה הוא הקטן ביותר). במחקר של כתב השאלון (Beichner, R. 1994) מצוין כי חישוב שטחים על מנת לקבוע את השינוי במהירות מגרף תאוצה-זמן היה היעד הקשה ביותר במחקר עמו נכון על שאלה זו 3% בלבד מהמשיבים, בעוד ש-73% בחרו את המסוּח השכיח - גרף המייצג תאוצה קבועה כתלות בזמן.

התפלגות תשובות התלמידים שלי בחלק היחידני



גרפי תאוצה-זמן שלפניכם מתארים את תנועתם של חמישה גופים שונים. השינוי במהירותו של איזה מן הגופים הוא הקטן ביותר בפרק הזמן של 3 שניות?



דוגמה אחרונה היא שאלה העוסקת בשינוי הזרם החשמלי במעגל כתוצאה מהוספת סוללה, והיא לקוחה מתוך השאלון במעגלי זרם ישר^[6]. התשובה הנכונה בשאלה זו היא ג' והתשובות השגויות השכיחות הן א' או ד'. שאלה זו מציגה את התפיסה שהסוללה מספקת זרם קבוע, גם אם מתבצע שינוי במעגל החשמלי החיצוני המחובר לה. מדיווחי החוקרים אשר חיברו את השאלון וחקרו את ממצאיו^[3], 40% ענו אחת מהתשובות א' או ד' ואילו כ-30% ענו את התשובה הנכונה ג'. בכיתה שלי רק 19% מהתלמידים ענו נכון, ואילו 60% מהתלמידים ענו א' או ד'.

שאלה מספר 6

האמפרמטר שבתרשים מורה על זרם מסוים. הסוללה חסרת התנגדות פנימית. מחברים במקביל סוללה שנייה, זהה לראשונה, כמתואר בתרשים. כתוצאה מכך:



- הזרם באמפרמטר יגדל. (תשובה שגויה עיקרית).
- הפרש הפוטנציאלים בין קצות הנגד יגדל.
- הזרם העובר דרך הסוללה הראשונה יקטן. (תשובה נכונה).
- הזרם העובר דרך הסוללה הראשונה לא ישתנה. (תשובה שגויה עיקרית).

תרומתו של הדין הקבוצתי בפעילות

ניתוח תשובות התלמידים לאחר כל שלב בפעילות גילה כי התרחש שינוי באחוז התלמידים שענו נכון בשלב היחידני בהשוואה לאחוז התלמידים שענו נכון בשלב הקבוצתי. למשל, בשאלון FCI גיליתי כי לאחר השלב הקבוצתי מספרם של אלה שענו נכון על שאלה עלה בממוצע ב-14% מהשלב היחידני.

תרשים 1 מתאר את אחוז העונים נכון על השאלה העוסקת בחוק השלישי של ניוטון שהוצגה קודם לכן, וזאת בשלב היחידני ובשלב הקבוצתי.

הן בעבודה בקבוצות והן בדיון הכיתתי התפתח שיח פיזיקלי בין התלמידים בדבר נכונות התשובות. הדיון הכיתתי הסתיים בסיכום שלי

מהי התשובה הנכונה. יש לציין כי לאחר הדיון הכיתתי עלה מספר העונים נכון על השאלה ל-98.6%. המשוב שעליו ענו התלמידים בסיום הפעילות מראה שהתלמידים היו מודעים לתהליך הלמידה שעברו.

מסקנות עיקריות שעלו מהמשובים האישיים של התלמידים

המשוב שממלאים התלמידים בחלקה האחרון של הפעילות, מהווה רפלקציה אישית על הפעילות. בעזרתו התלמידים משווים את תשובתם בשלב היחידני לתשובות הנכונות של השאלון ובכך מתעמתים עם רמת הבנתם שקדמה לפעילות.

המשוב מחולק לארבע שאלות. להלן השאלות ומספר ממצאים.

1. "האם פעילות זו תרמה לך? אם כן, פרט"

הן בשאלון הגרפים TUG-K והן בשאלון הכוחות FCI כ-97% מתוך 174 מהתלמידים ציינו כי הפעילות תרמה להם. הנקודות העיקריות שהתלמידים העלו מתוארות בטבלה מספר 4.

שאלון כוחות FCI	שאלון גרפים TUG-K
קריאת השאלות של השאלון צריכה להתבצע ביתר הקפדה (46.4%). הבנה כללית טובה יותר של הנושא (14.3%). הבנה טובה יותר של חוק שלישי של ניוטון (21.4%). הבנה טובה יותר לתנאי ההתמדה של גופים ומסלולי תנועתם (10.7%).	חזרה על החומר והבנה טובה יותר בקשרים בין הייצוגים הגרפים ובין המונחים הקינמטיים (76.5%) הענקת תחושת ביטחון אישי בידע ובבקיאות בחומר והתייחסות להתמודדות עם שאלות הבנה ללא לחץ של בחינה (13.2%).

טבלה מספר 4: הנקודות שרשמו התלמידים בתשובתם לשאלה "האם פעילות זו תרמה לך?"

בהתייחס לממצא הראשון בשאלון הכוחות, טענו התלמידים כי קריאה מדוקדקת יותר של השאלות הייתה עשויה לגרום להם לא לטעות בשאלה, שכן הם היו מבינים בצורה ברורה יותר מה נתון בשאלה ומה מבקשים מהם לחשב.

תלמידים בודדים התייחסו לסוג זה של פעילות כשבירת שגרה ואף התייחסו להיבט החברתי שלה - בעזרת פעילות זו הם הכירו טוב יותר את חבריהם לכיתה.

2. "האם היו נושאים שהובהרו לך בעקבות שיחה עם חבריך בקבוצה? אם כן, מהם?"



תלמידים בזמן הפעילות

מתוך המשוב עולה כי קיימת תמימות דעים בתרומת הדיון הקבוצתי הן עבור התלמידים ששינו את תשובתם במעבר מן השלב היחידי לשלב הקבוצתי, והן בקרב אלו שרשמו מלכתחילה תשובה נכונה. אלה הדעות השונות שצינו התלמידים:

- חשיפה לרעיונות נוספים ולנקודות מבט אחרות שהעלו חברי הקבוצה (37.5%).
- הבנת הטעות שביצעו בחלק היחידי (26.8%).
- לאחר ביצוע הפעילות, תלמידים מרגישים כי הבנתם בנושא השתפרה (19.6%).

3. "האם היו נושאים שהובהרו לך בעקבות הדיון הכיתתי? אם כן, מהם?"

אמנם 21.4% טענו כי הדיון הכיתתי לא תרם להם, אך שאר התלמידים ציינו כי הוא תרם במספר מישורים:

- חידוד ההבנה בנושא (42.8%).
- חיזוק הביטחון האישי ושיקוף מקומם ביחס לשאר תלמידי הכיתה (9%).
- פתרון המחלוקות הקבוצתיות שהתעוררו בדיון הקבוצתי (9%).

לפי ממצאים אלו נראה כי כמעט מחצית מהתלמידים חשים שהדיון הפיזיקלי בקבוצה סייע להם להבין טוב יותר את הנושא של השאלון תודות להסברים של חבריהם לקבוצה. שתי הנקודות האחרונות מתארות, לדעתנו, מספר מצמצם של תלמידים בקבוצה אשר אינם מרגישים בטוחים, הן מקצועית והן חברתית, ופעילות זו מחזקת את הביטחון העצמי שלהם. לדעתנו, תחושה זו של תלמידים עשויה לסלול את הדרך להצלחתם במקצוע ולאפשר להם לגלות שהדבר אפשרי ונמצא בהישג ידם.

4. "מה עדיין לא ברור לך?"

חבם המוחלט של התלמידים כתבו "הכול ברור", וחלקם הסתייגו ורשמו כי "הכול ברור בנושאי הפעילות". מעטים כתבו כי אינם מבינים עדיין את התשובה של שאלה זו או אחרת או הציגו נושא לימוד אחר שאינם מבינים. במבט לאחור, אני סבור ששאלה זו אינה מכוונת מספיק את התלמידים ולפיכך אין הם יכולים לענות עליה באופן שמסייע למורים לנתח את תשובתם. נראה כי ניתן לנסח את השאלה באופן הבא: "בהתייחס למושגים הרלוונטיים לשאלון שזה עתה פתרת, האם קיים מושג או תהליך שטרם ברור לך? אם כן, פרט."



תלמידים בזמן הפעילות

סיכום

אחד מהכלים לבדיקת הבנתם של התלמידים בנושא מסוים הוא שאלון דיאגנוסטי. השאלון מורכב משאלות רב-ברריות, שהמסויים שלו מבטאים תפיסות נאיביות שכיחות של תלמידים. במאמר זה הצגתי כיצד עשיתי שימוש בשאלונים דיאגנוסטיים הן ככלי הערכה והן ככלים לטיפול בתפיסות נאיביות של תלמידים: מענה אישי על השאלון, עבודה בקבוצות קטנות, דיון כיתתי ורפלקציה אישית על התהליך.

הממצאים שקיבלתי מצביעים על מספר נקודות:

- השלב האישי גרם לתלמידים לחשוף תפיסות נאיביות, והשלבים האחרים זימנו לו אפשרות לבצע התאמה בין התפיסה הנאיבית לתפיסה הנכונה.
 - הדיון הקבוצתי והכיתתי מזמנים דיון פיזיקלי מעשי, שמאפשר לשמוע ולבחון רעיונות שונים מחברי הקבוצה וממורה הכיתה.
 - משובי התלמידים מצביעים על התרחמה של הפעילות לחידוד ולהבנת הנשא, לחזרה על החומר ולחיזוק הביטחון האישי.
- בנימה אישית, יש לתת את הדעת למספר נקודות עיקריות:

1. חשוב לדעתי לא לאפשר לתלמידים לפתור את השאלון בבית ובכך לסיים את העיסוק בו. עלינו לבצע פעילות בכיתה בעזרת השאלון על מנת להשיג את המטרה שהשאלון משרת: כמורה - בדיקת ההבנה של התלמידים, וכתלמידים - חיידוד ההבנה וארגון ידע.

2. **לדעתי, אין להעריך את ציון התלמידים לפי התוצאות של השאלון הדיאגנוסטי.** מטרת השאלון לבדוק את הבנת התלמידים, וברגע שהתלמידים יעבדו בלחץ של זמן וידעו שיינתן ציון על תשובותיהם - לא נשיג מטרה זו.

כיום אני מעביר את השאלונים באופן תדיר בכיתה, ואני מרגיש את ההשפעה הרבה ואת השיפור בהבנתם של התלמידים בעקבות פעילויות אלו. אני ממליץ לכל מורה לנסות לפחות להעביר שאלון אחד או חלק משאלון בצורת ההפעלה שתיארתי במאמר זה. בחר שטיפול בשאלון מלא כפי שתואר לעיל דורש זמן הוראה, שהוא ממילא מצרך חסר. על מנת שלא נתייאש ונאמר "אין לנו זמן לכך", אפשר להעביר בכל פעם שאלה אחת או מספר מצומצם של שאלות. בצורה כזו הפעילות לא תגזול זמן רב, ונוכל לטפל בתפיסה נאיבית אחת או יותר מבין אלו שהשאלות באות לטפל בהן.

ביבליוגרפיה

1. D. Hestence, M. Wells and G. Swackhamer (1992), "Force Concept Inventory", Phys. Teach. 30, 141 – 158.
2. Lawson, A. E., & Thompson, L. D. (1988). Formal reasoning ability and misconceptions concerning genetics and natural selection. Journal of Research in Science Teaching, 25(9), 733-746.
3. נוסבים, י., ויחיאל, ת. (1999). תפיסות שגויות ושינוי תפיסתי בהוראת המדעים, בהוצאת מכון מופ"ת.
4. D. Hestence, M. Wells and G. Swackhamer (1992), "Force Concept Inventory", Phys. Teach. 30, 141 – 158.
5. R. J. Beichner (1994), "Testing student interpretation of kinematics graphs", Am. J. Phys. 62, 750 – 762.
6. Choen, R. , Eylon, B. , Ganiel, U. (1983), "Potential difference and current in simple electric circuit: A study of students' concepts", Am J. Phys. 51 (5).