

# על פתרון בעיות ועל הבנה בפיסיקה

תובנות של מורים בתכנית רוטשילד-ויצמן במהלך ההיכרות עם הפעילות

”על מה מספרת הבעיה?”

חנה ברגר, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן



## תקציר

המאמר מתאר כיצד מורים לפיסיקה בתכנית רוטשילד-ויצמן, תכנית לתואר שני למורים מצטיינים למתמטיקה ומדעים, הגיעו לתובנה שהצלחה בפתרון בעיות אינה מהווה בהכרח מדד להבנה בפיסיקה, ושניתן לקדם הבנה זו כאשר במהלך פתרון הבעיות מסיטים את המיקוד מעיסוק בנוסחאות לעיסוק במושגים וחוקים, ייצוגים מרובים וניסוחים מילוליים כולל הסברים.



חנה ברגר

## הקדמה

לאחרונה סיימו את לימודיהם בני המחזור העשירי של תכנית רוטשילד-ויצמן למורים מצטיינים בהוראת מתמטיקה ומדעים. כמי שהנחתה יחד עם דר' אסתר בגנו ובליזוי האקדמי של פרופ' בת-שבע אלון, את המורים לפיסיקה בקורס "סוגיות בהוראת הפיסיקה", ברצוני לספר על תהליך ההיכרות של המורים עם פעילות ההוראה "על מה מספרת הבעיה?" בשנת הלימודים תשע"ג. בחרתי לספר על פעילות זו כיוון שבתהליך ההיכרות של המורים עם הפעילות בתשע"ג הם הגיעו לתובנות מעניינות אודות פתרון בעיות ואודות הבנה בפיסיקה.

במאמר אתאר את הפעילות, אפרט את דרכי ההיכרות איתה, ואציג את התובנות של המורים במהלך השלבים השונים של ההיכרות איתה כפי שעלו מתוך המשובים שכתבו.

## תיאור הפעילות "על מה מספרת הבעיה?"

הפעילות "על מה מספרת הבעיה?" פותחה במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן על בסיס מחקרים העוסקים בפתרון בעיות בפיסיקה על-ידי תלמידים, מתוך כוונה להסיט את המיקוד של התלמידים מעיסוק בנוסחאות אל עבר חשיבה פיסיקאלית עמוקה יותר הממוקדת בעקרונות הפיסיקליים המצויים בליבה של הבעיה. לתלמידים מוצגת בעיה<sup>1</sup> (ראו תרשים 1) והם מתבקשים, מבלי לפתור אותה, לענות על שאלות שמתמקדות בזיהוי המושגים המופיעים בבעיה (סעיף 1), בהגדרה או בתאור המושגים (סעיף 2) בקשר בין המושגים (סעיף 3), בייצוגים שונים של הנתונים המתוארים בבעיה (סעיף 4), בנייתוח ובהסבר של גרף המתואר בבעיה (סעיף 5) ובהערכה של פתרון אפשרי של הבעיה (סעיף 6).

1 את הבעיה הלקוחה מבחינת הברורות במכניקה, קיץ תשע"ב, ניתן להחליף בכל בעיה אחרת ובכל נושא

## דרכי ההיכרות של המורים עם הפעילות "על מה מספרת הבעיה?"

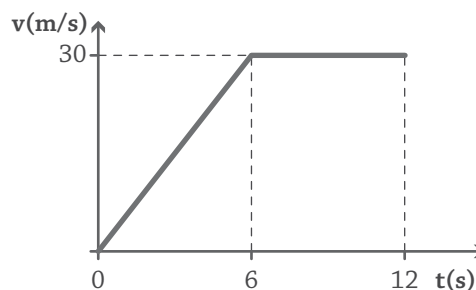
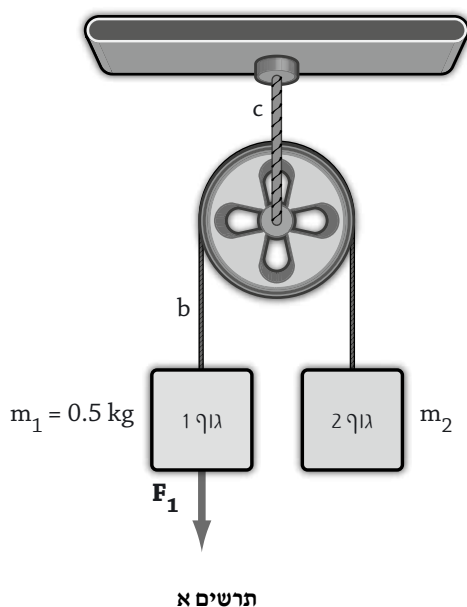
בהתאם לגישה לפיה למידה משמעותית מחייבת לומד פעיל, המורים הכירו את הפעילות על-ידי התנסות בשלושה שלבים:

- שלב א' - התנסות כלומדים. בשלב זה, בפגישת פנים-אל-פנים בקורס, המורים התנסו בפעילות כתלמידים ולאחר מכן סיכמו את התנסותם מנקודת המבט של התלמיד ומנקודת המבט של המורה.
- שלב ב' - התנסות כמורים חוקרים בכיתותיהם. בשלב זה, המורים ביצעו את הפעילות בכיתותיהם בדיוק כפי שהתנסו בה כלומדים בקורס, אספו את העבודות של תלמידיהם ("עדויות" מהכיתה) וערכו ניתוח שלהן בעזרת טופסי ניתוח שסיפקנו להם (ראו למטה). את טופסי הניתוח הממולאים שלהם (להלן, דוחו"ת ניתוח) העלו המורים לפורום ייעודי באתר המלווה את הקורס.
- שלב ג' - התנסות בחקירה שיתופית. שתי מורות - נקרא להן "תורניות" במאמר זה - ביצעו "ניתוח-על" של דיווחי המורים וסיכמו אותו במצגת. התורניות הציגו את מצגת הסיכום שלהן בפגישת פנים-אל-פנים והנחו דיון על ממצאיהן בהשתתפות כל המורים.

## שלב א' - התנסות המורים כלומדים

### נתונה הבעיה הבאה:

שני גופים, 1 ו-2, קשורים זה לזה באמצעות חוט b הכרוך סביב גלגלת, הקשורה אל התקרה באמצעות חוט c. מסת הגוף 1 היא  $m_1 = 0.5 \text{ kg}$  (ראה תרשים א). מסות החוטים, מסת הגלגלת וכן כוחות חיכוך כלשהם ניתנים להזנחה. במשך 6 שניות מפעילים על גוף 1 כוח קבוע שגודלו  $F_1$ , וכיוונו כלפי מטה.  
בתרשים ב מוצג גרף המתאר את מהירות גוף 1 (ביחס לציר מקום שכיוונו החיובי כלפי מטה) החל מרגע  $t = 0$ , הרגע שבו הכוח  $\vec{F}_1$  החל לפעול, עד הרגע  $t = 12 \text{ s}$ .



- מצא את מסת גוף 2,  $m_2$ . הסבר את תשובתך.
- חשב את גודל הכוח  $F_1$ .

איור 1. הבעיה המוצגת לתלמידים

מבלי לפתור את הבעיה ענו על השאלות הבאות

1. רשמו ארבעה מושגים מרכזיים בפיסיקה המופיעים בבעיה.
2. כתבו במילים מה מתאר כל מושג מן הרשימה שבסעיף 1. העזרו בטבלה הבאה:

| שם המושג | מה מתאר המושג? (הגדירו או תארו את המושג במילים שלכם) |
|----------|--|
| מושג א'  |  |
| מושג ב'  |  |
| מושג ג'  |  |
| מושג ד'  |  |

3. כתבו משפטים (רבים ככל שתוכלו) המתארים קשרים בין המושגים שרשמתם בסעיף 1, למשל, המשפט: כאשר גוף נע במהירות קבועה, האנרגיה הקינטית שלו לא משתנה מתאר קשר בין המושגים מהירות ואנרגיה קינטית.
4. בבעיה זו, מוצגים הנתונים בפתיח של הבעיה בעזרת גרף, הציגו את הנתונים האלה בדרך שונה מזו המתוארת בבעיה (למשל בעזרת תאור מילולי או טבלה)
5. תלמיד (נקרא לו יוסי) טוען שניתן לחשב את גודל ההעתק שעבר גוף 2 במשך 12 השניות הראשונות על ידי חישוב שטח הטרפז שבגרף. האם טענתו של יוסי נכונה? הסבירו את תשובתכם.
6. תלמידה (נקרא לה תמר) פותרת את שני סעיפי הבעיה. המשימה שלכם היא: בלי לפתור את הבעיה, להעריך אם הפתרונות של תמר יכולים להיות נכונים. הציגו רעיונות כיצד תוכלו להעריך את נכונות הפתרונות של תמר.

## שלב ב' - התנסות כמוזרים וכחוקרים בכיתות - ממצאים מהכיתות

### א. כיצד "להסתכל" על עבודות התלמידים - טופס לניתוח עבודות התלמידים

1. נתונים כלליים

הכיתה שבה הועבר השאלון:

האם זו השנה הראשונה, השנה השנייה של לימודי המכניקה או שהתלמידים נבחנו כבר בבחינת הברגות במכניקה?

מספר התלמידים בכיתה:

מספר התלמידים שביצעו את המשימה:

המקום ברצף ההוראה שבו בוצעה המשימה (למשל, בסיום הוראת תנועה מעגלית):

2. מושגים שאני כתבתי ושכיחות הופעתם הממוצעת בעבודות התלמידים

| מושג א                        | מושג ב | מושג ג | מושג ד |
|-------------------------------|--------|--------|--------|
| מושגים שכתבתי                 |        |        |        |
| שכיחות הופעה בעבודות התלמידים |        |        |        |

3. משפטים המתארים קשרים בין המושגים - מלאו את הטבלה הבאה בדוגמאות מעבודות התלמידים

| משפטים שאני כתבתי והמופיעים בשכיחות גבוהה בעבודות התלמידים | משפטים שאני כתבתי והמופיעים בשכיחות נמוכה בעבודות התלמידים | משפטים נכונים שאני לא כתבתי | דוגמאות למשפטים לא נכונים |
|--|--|-----------------------------|---------------------------|
|  |  |                             |                           |

מה אני לומד מן ההשוואה בין הטורים?

4. הצגת הנתונים בדרך שונה מזו המתוארת בבעיה

באיזו דרך העדיפו מרבית התלמידים לתאר את נתוני הבעיה? תנו דוגמה לתאור נכון של נתוני הבעיה וציינו את סוג השגיאה.

5. הסבר

כמה תלמידים כתבו שיוסי צודק? (הציגו תוצאה גם באחוזים)

תנו דוגמא להסבר נכון לטענתו של יוסי. תנו דוגמא להסבר שגוי לטענה שניתן לחשב את גודל ההעתק שעבר גוף 2 במשך 12 השניות הראשונות על-ידי חישוב שטח הטרפז שבגרף.

6. הערכת נכונות פתרונות

תנו דוגמאות לרעיונות שהציעו תלמידים להערכת הנכונות של הפתרונות

רפלקציה:

מהו הדבר החשוב ביותר שאני לומד/ת מן הממצאים?

האם הממצאים שקיבלתי ישפיעו על ההוראה שלי?

אם כן, פעולה אחת שאחדש בהוראה שלי בעקבות ה"הסתכלות" על הממצאים תהיה:

## ב. דוחו"ת ניתוח של המורים

חמישה מורים ומורות צירפו דוחו"ת ניתוח. דוחו"ת ניתוח אלה התייחסו לעבודות של 70 תלמידים סך הכל, 60 מהם נבחנו בבחינת הבגרות במכניקה בשנה הקודמת. מסקירה של הדוחו"ת מצאנו שהמורים פעלו בהתאם להנחיות בטופס הניתוח: הם כתבו תחילה את התשובות שלהם לשאלות שבמשימה ואחר כך השוו את התשובות של התלמידים לתשובותיהם. השוואה זו יצרה את מרכיב ההפתעה בפעילות כאשר המורים זיהו את הפער בין תשובותיהם לבין תשובות התלמידים.



בטבלה הבאה מובאות דוגמאות לממצאים של המורים ולמסקנות שהם הסיקו מתוכם.

**דוגמאות לממצאים של המורים ולמסקנות שהסיקו מממצאים אלה**

| הסעיף בשאלה ותוכנו  | המורים מצאו ש  | והסיקו ש   |
|---|--|--|
| 1. זיהוי מושגים שמופיעים בבעיה                            | "הרגשתי שהמושגים שנשארו עם התלמידים היו פחות ממה שלמדו"  | "תלמידים נזכרים בחומר רק לקראת מבחן"   |
| 2. הגדרה או תיאור מילולי של המושג                         | "מה שהפתיע אותי יותר מכל זה העובדה שתלמידים התבלבלו בין המושגים או שלא דייקו די הצורך לפחות בחוקי ניוטון בהם הם משתמשים בפתרון בעיות"<br><br>"תלמיד כתב כי מסה היא משקל הגוף בתנאי שלא פועלים עליו כוחות"  | "מאד קשה לתלמידים להגדיר נכונה מושגים פיזיקאליים"<br><br>"רוב התלמידים עדיין מתקשים בהבנת המושגים הבסיסיים: זמן, מסה, כוח."<br><br>"הרגשתי המון חוסר בטחון בגישה למשימה והיו המון תשובות לא ראויות"                        |
| 3. כתיבת משפטים המתארים קשרים בין המושגים                 | "היו גם משפטים שהפתיעו אותי למשל תלמיד כתב כאשר מערכת נעה בתאוצה, החוק הראשון של ניוטון לא מתקיים. תלמיד אחר כתב, כוחות גורמים לתנועת הגופים במהירות מסוימת (!), בתנאי שאחד הכוחות גדול יותר (!), מה שקובע גם את כיוון התנועה (!). במשפט זה התלמיד חוזר לדעה הנאיבית שהכוח גורם לגוף לנוע במהירות זו או אחרת.....איך ניתן עם השקפות כאלה לקבל ציון 82 בבגרות?" | "מהסעיפים הראשונים של הפעילות מצטיירת תמונה של ידע מקוטע אצל חלק גדול מהתלמידים, כאשר פיסות ידע קטנות מתחברות ביניהן בצורה כמעט מקרית"   |
| 4. ייצוג נתוני הבעיה בדרך השונה מהדרך בה הם מיוצגים בבעיה | "היו הרבה דוגמאות של תיאורים מילוליים שגויים למשל, כוח עובד על גוף 2 בכיוון למטה למשך 6 שניות ואחר כך המערכת חוזרת למצב ההתחלתי של שיווי משקל"   | "רוב התלמידים מעדיפים תיאור מילולי על כל צורה אחרת של תיאור, אבל אפשר לראות כי בכל אחד מהתיאורים המילוליים יש פגם מסוים: חסר חלק מהנתונים, התיאור לא מדויק ולפעמים גם לא נכון. דווקא תיאורים בצורות אחרות הם יותר מדויקים" |
| 5. הסבר טענה  | "התלמידים שקיבלו 100 ו 82 בבחינת הבגרות ניסו להסביר מדוע שטח הטרפז בגרף הנתון שווה בגודלו להעתק, אבל נתנו הסבר מבולבל ובעצם לא הצליחו להסביר את העובדה הזו"<br><br>"למרות שהם פתרו מאד יפה את הבעיה, מבחינת סימון הכוחות והמשוואות, ברגע שהם הגיעו לניסוח מילולי, נעתקו המילים מפיהם"  | "לתלמידים מאד קשה להתנסח מילולית"<br><br>"התלמידים ניגשים לבעיות רק כמספרים ולא כדרך חשיבה"  |
| 6. הערכת נכונות של פתרונות נתונים                         | "כמעט כולם ציינו שניתן לוודא אם הפתרון נכון על ידי ניסוי בפועל...."<br><br>"יש שאמרו שניתן לדעת אם התשובה נכונה פשוט על ידי הסתכלות בתשובות הסופיות שבסוף ספר הלימוד"  | "אף תלמיד לא הצליח להבין, בעקבות הפעילות, את הרעיון המרכזי של הבעיה ולא כתב שום דבר משמעותי בתשובה לשאלה: כיצד ניתן להעריך פתרון של התלמידה?"  |

## שלב ג' - התנסות בחקירה שיתופית - הצגת ממצאי ניתוח העל

כפי שתואר לעיל, שתי מורות - "התורניות" - ביצעו "ניתוח-על" של דיווחי המורים והציגו את ממצאיהן בפגישת פנים-אל-פנים שנערכה כשבוע מאוחר יותר. התורניות ביצעו ניתוח-על של שלושה מבין חמשת הדיווחים (שני מורים הגישו את דיווחיהם באיחור). בדברי הפתיחה שלהן אמרו התורניות שסקירה של דיווחי המורים הביאה אותן לבנות את ההצגה שלהן כ"מחקרון" הסובב סביב השאלה: "כאשר תלמידים פותרים בעיה בפיסיקה, עד כמה הם באמת מבינים מה הם עושים?". בפתיחה זו עשו התורניות הכללה: אם הדיווח של כל אחד מהמורים התייחס למשימה הספציפית, הבעיה הספציפית ותלמידים ספציפיים - הרי שהתורניות, לאחר התעמקות בדיווחים של המורים הציגו שאלה שאיננה עוסקת לא בכיתה מסויימת, לא בבעיה קונקרטית ולא במשימה מסויימת, אלא נוגעת בכלל התלמידים שפותרים בעיות בפיסיקה. להלן עיקרי הדברים שהציגו התורניות:

### א. המשימה "על מה מספרת הבעיה?" מורכבת משני חלקים

לדברי התורניות, "תוך כדי חקירת הממצאים" הן הגיעו לתובנה שהמשימה "על מה מספרת הבעיה?" מורכבת משני חלקים:

"חלק א' - הבנת המושגים" - "קודם לזהות את המושגים... אחר כך לתאר אותם באופן מילולי... ואחר כך לנסח משפטים שקושרים בין המושגים ודרך הניסוח הזה אפשר היה לבדוק אם התלמיד מבין או לא מבין את המושג".

"חלק ב' - הבנת הבעיה" - "אחרי שאנחנו יודעים על איזה מושגים מדברים בהנחה שהצלחנו להבין את המושגים מהירות, תאוצה, כוח, שקול כוחות וכו', עכשיו אנחנו רוצים לבדוק הבנת עומק של הבעיה. והיו 3 שאלות שדיברו על ניתוח עומק: הצגת הנתונים בדרך שונה, הסבר האם טענתו של יוסי נכונה... והערכת נכונות פתרונות".

### ב. קיים פער בין המורים לבין התלמידים בבניית משפטים המקשרים בין מושגים

כדי לבדוק את ההבנה של המושגים שהופיעו בבעיה, התורניות ניתחו את הדיווחים של המורים בהתייחס למשפטים המקשרים בין המושגים (שאלה 3 במשימה). הן ריכזו את ההשוואות שהמורים עשו לכדי טבלה אחת המשווה בין המשפטים שנכתבו על ידי המורים לבין המשפטים שנכתבו על ידי התלמידים. את הטבלה הבאה הן הציגו על הלוח, הסבירו את הממצאים ולבסוף סיכמו ב: "מצאנו פער בין המורים לתלמידים בבניית המשפטים המקשרים בין המושגים".

### השוואה מסכמת בין המשפטים שנכתבו על-ידי המורים לבין המשפטים שנכתבו על-ידי התלמידים

| מורים  | תלמידים  |
|--|--|
| מבט על/מושגים "גבוהים"<br>למשל, "מערכת בשיווי משקל היא מערכת ששקול הכוחות הפועלים עליה שווה לאפס"<br>"לפי החוק הראשון של ניוטון כאשר הכוח פוסק המסות נעות במהירות קבועה" | מבט על הפרטים<br>למשל, "כשיש שני גופים הקשורים לשני קצוות החבל דרך גלגלת וכוח הכובד הפועל על המסות שווה, מצב זה נקרא מצב שיווי משקל"<br>"מהירות הגופים שוות אבל כיוונם הפוך" |
|  | קשרים הגיוניים (מחיי יום-יום)<br>למשל, "אם הכוח יופסק הגופים יאטו לעצירה"  |
| הגדרות מדוייקות<br>למשל, "תאוצה היא שינוי המהירות ביחידת זמן"  | אין זהירות בשימוש במושגים נכונים<br>למשל, "מהירות היא השינוי בתנועה ליחידת זמן", "כוח הוא השפעה על גופים"  |

## ג. ייצוגי הידע וההסברים של התלמידים

ניתוח הדיווחים של המורים בהתייחס לשאלות הרביעית והחמישית של הפעילות סוכם על-ידי התורניות כלהלן: ייצוג הידע במגוון ייצוגים - "ביקשו להציג את הנתונים של הבעיה בדרך שונה מזו המוצגת בבעיה, אז רוב התלמידים תרגמו את הגרף למילים, מעט הציגו טבלה ורק שני תלמידים מתוך 54 ייצגו את הנתונים בעזרת גרף אחר זאת אומרת יצרו משהו חדש שמעיד, לדעתנו, על הבנה יותר עמוקה".

**הסבר** - "שאלה חמישית היתה האם טענתו של יוסי נכונה. יוסי טען שניתן לחשב את גודל ההעתק בעזרת השטח שמתחת לגרף. אז 86% מהתלמידים טענו שהוא צודק..... אף אחד לא יודע להסביר למה. הם יודעים לחשב את זה, הם מגיעים לחישוב נכון, לתשובה הנכונה אבל הם לא יודעים להסביר, הם לא יודעים, הם לא מבינים את זה לעומק, הם יודעים לחשב, הם יודעים לדקלם אבל הם לא יודעים להסביר למה זה נכון".

התורניות סיימו את הצגת ניתוח-העל במשפט: "שאלת המחקר שלנו היתה האם תלמידים מבינים את הבעיה למרות שפתרו בעיות דומות והתשובה היא: הם לא מבינים". המורות ביטאו מסקנה נחרצת שאינה תואמת להנחה הרווחת בקרב מורים לפיסיקה ולפיה הצלחה בפתרון בעיות בפיסיקה הינה מדד להבנה פיסיקאלית של התלמיד.

## ד. דיון על ממצאי ניתוח העל

לאחר הצגת ניתוח-העל הציגו התורניות לדיון בפני שאר המורים את השאלה הבאה: "איך אתם מסבירים את השיכחה ואת חוסר ההבנה של החומר אצל תלמידים שאך לפני שנה נבחנו בבחינת הבגרות במכניקה? למה זה קורה?" הדיון התאפיין בהשתתפות ערה של 11 המורים שהיו נוכחים במפגש ובמעברים תכופים בין הממצאים והדוגמאות שהוצגו על-ידי התורניות לבין ההכללות שעשו המורים. בטבלה הבאה מוצגות ההכללות העיקריות מלוות בדוגמאות מדברי המורים:

### ההכללות העיקריות שעלו בדיון מלוות בדוגמאות מדברי המורים

| הכללה  | דוגמאות מדברי המורים  |
|--|---|
| פתרון בעיות בדרך שאנחנו מלמדים אינו מקדם הבנה    | "תלמידים אינם מורגלים בשאלות כאלה. גם בזמן הלימודים לא שואלים אותם כאלה שאלות. הם נשאלים "חשב, חשב, חשב", הם אף פעם לא התבקשו לרשום מושגים ולכתוב משפטים שמקשרים בין מושגים."; "שוב נוכחתי לדעת, לפי תשובות תלמידים, שגם אם אנחנו חושבים שלימדנו משהו, לא בהכרח התלמידים הבינו"; "כדאי להעביר שאלון, שונה מהרגיל, ואז יותר ברור מה התלמידים לא הבינו".  |
| את מה שלא מבינים שוכחים במהירות                  | "זה שאתה לימדת, התלמיד למד, והתלמיד ידע בשנה שעברה, זה לא אומר שהוא יודע היום", "שיכחה זה לדברים שלא מבינים אותם. כי דבר שמבינים זוכרים אותו. אתה שוכח דבר שאתה לא מבין, אתה זוכר אותו בתור איזשהו בלוק, בתור איזשהו כלל אצבע, בתור סדרה של דברים לעשות ככה וככה ואחר כך אתה שוכח אותו. אתה לא כל כך הבנת, אתה לא יודע באמת מאיפה זה מגיע".   |
| פתרון נכון של בעיה אינו מעיד בהכרח על הבנה       | "אתה מבחין בין לדעת לפתור בעיה לבין להבין. התלמידים לא עושים את ההבחנה הזאת. מבחינתם הם פתרו אז זהו, אין להם יותר מה לעשות עם החומר הזה הם לא מחפשים להבין, אין להם מה להבין. הם לא יודעים מה יש להבין", "תלמיד תיכון שפותר בעיה נמצא בתוך המושגים של הבעיה, הוא עדיין לא למד מושגים נוספים ולכן אינו יכול עדיין 'להשקיף מבחוץ' על הבעיה ולקבל תמונת-על".   |
| אפשר בעזרת פתרון בעיות לקדם את ההבנה של התלמידים | "כשאנחנו נותנים שאלה לתלמידים אנחנו תמיד צריכים לשאול את התלמידים מדוע נתתי לכם את השאלה, מה רציית ללמד. זה לא חייב להיות הרבה דברים, משהו אחד או שניים שהכי קרובים לתלמיד... (למשל) לשאלה הזו יש דבר בסיסי שבשאלה הזו להשתמש בחוק הראשון של ניוטון ודווקא שם לפי הגרף ובעזרת החוק לחשב את המסה של הגוף השני, זה הדבר החשוב, לכן נתתי את השאלה הזאת. יכול להיות שבשאלה אחרת אני רוצה את הגרף. לא צריך לתת הרבה שאלות, לכל שאלה שנותנים, צריכה להיות מטרה, מה רוצים ללמד ולשאול את השאלה הזאת את התלמידים. לא תמיד אני זוכר לעשות את זה ואת זה אני לוקח מהשעור". |



"זה נורא מתסכל, חוזרים חזרה, כאילו לפני שהתחילו ללמוד פיסיקה, לא למדו חוקי שימור, לא למדו תנע, הגוף נעצר כי לא פעל עליו שום כוח. הייתי בשוק מזה, אלה תלמידים שלי, הגשתי אותם לחמש יחידות, חלקם אפילו קיבלו ציונים יפים" תאר בתיסכול אחד המורים את הרגשתו בזמן הדין.

## התובנות של המורים במהלך ההיכרות עם הפעילות

כפי שתואר לעיל, בתום כל מפגש פנים אל פנים ענו המורים על שלוש שאלות חשובות:

- מהם הדברים החשובים ביותר שלמדתי היום במפגש?
- מה עדיין לא ברור לי בהקשר לנושאים שעלו במפגש?
- מה אני לוקח מן המפגש, אם בכלל, לשעור הפיסיקה הקרוב?

המשובים שכתבו המורים במהלך ההיכרות עם הפעילות, כולל את אלה שכתבו בדוחות הניתוח שלהם, הניבו 84 משפטי משוב המתייחסים לפעילות "על מה מספרת הבעיה?" ובהם ניתן לזהות שלוש קטגוריות עיקריות: (האחוזים המצוינים בסוגריים הם מתוך 84 משפטי המשוב).

א. **כדאי לשלב את הפעילות "על מה מספרת הבעיה?" או חלקים ממנה בפרקטיקת ההוראה (42%).** לדוגמה: "אתן לתלמידי בכיתה יב לבצע את המשימה"; "לפני שפותרים בעיה, כדאי לכתוב בפינה של הלוח את כל המושגים שמופיעים בבעיה ולברר אם התלמידים מודעים למשמעות המושגים"; "אשתמש באנלוגיה כלשהי שמראה את החשיבות של ההתמקדות בנקודות החשובות בבעיה ואשתמש בזה כדי להנחות את התלמידים בדרכים לגשת אל בעיות בפיסיקה"; "אני ממליצה לחשוב על אילו מבין השאלות שהוצגו לתלמידים במשימה חשוב לנו כמורים שיענו נכון, בזמן הלימוד, שנה אחרי וגם בגיל 30. רק לגבי שאלות אלו שנבחרו, להכניס לתוכנית הלימודים לא כדף עבודה מסכם אלא כחלק מעבודת הכיתה, שיעורי בית, שאלה במבחן רגיל וכו'".

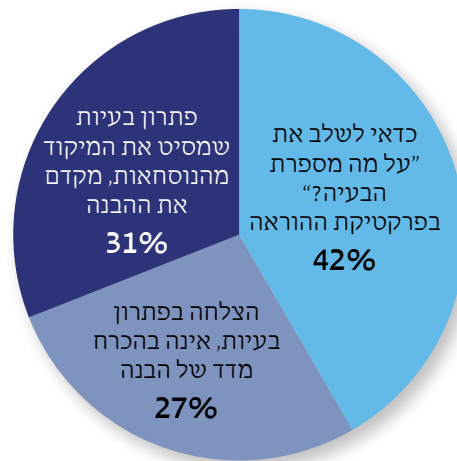
ב. **פתרון בעיות שמסיט את המיקוד של התלמיד מהנוסחאות מקדם את ההבנה הפיסיקלית של התלמיד (31%).** לדוגמה: "ניתוח הבעיה יותר חשוב מפתרון הבעיה"; "אני בטוחה שניתן להרגיל את התלמידים למושגים ועקרונות ... אז ללא שימוש בנוסחאות התלמידים יתחברו לצד המעניין של הפיסיקה ולא לצד 'הקשה' של המקצוע"; "דרך טובה להתמודד עם אי הבנות נפוצות של תלמידים היא לתת כמה שיותר אפשרויות תוך כדי לימוד לתלמידים להתבטא בעצמם ולנסח הגדרות ומושגים בעצמם"; "צריך להרגיל לחשוב על הבעיה באופן מקרוסקופי ללמד לפתור בצורה כללית יותר ולא לפנות לנוסחאות מיד... עם תרגול והקנייה של צורת פעילות זו לדעתי זה יחייב את התלמידים לחשוב פיזיקאלית".

ג. **הצלחה בפתרון בעיות אינה בהכרח מדד של הבנה בפיסיקה (27%).** לדוגמה: "תלמידים פותרים אבל לא יודעים את ההגדרה המדוייקת של מושג או את המשמעות של חוק, ואומרים שכאשר מופעל כוח על גוף אז התאוצה גדלה באופן הדרגתי"; "מסקרן אותי האם קיים קשר בין מספר הפעמים שהתלמיד פתר בעיות לבין הבנת הפיסיקה שבבעיות. נראה לי שהתשובה ברורה והסקרנות היא לגבי איך פותרים את זה"; "אחרי שהתלמידים סיימו מכניקה ונגשו לבגרות זה לא אומר שהם השתלטו באופן הרמטי על הנושא"; "תוצאות 'המחקרון' שנעשה על ידי התורניות לא הפתיעו אותי. אני מכירה אותן גם מעצמי (לא כמורה אלא כתלמידה). הרבה פעמים בלימודי התואר הראשון הרגשתי שאני לא מבינה את מה שבאמת צריך להבין ואז הגיעו הבחינות וקיבלתי ציונים טובים שכאילו השכחו את הפער בהבנה האמיתית (למרות שלא ממש שכחתי...)".

התרשים הבא מציג את ההתפלגות של משפטי המשוב המתייחסים לפתרון בעיות לפי הקטגוריות שהוזכרו לעיל:



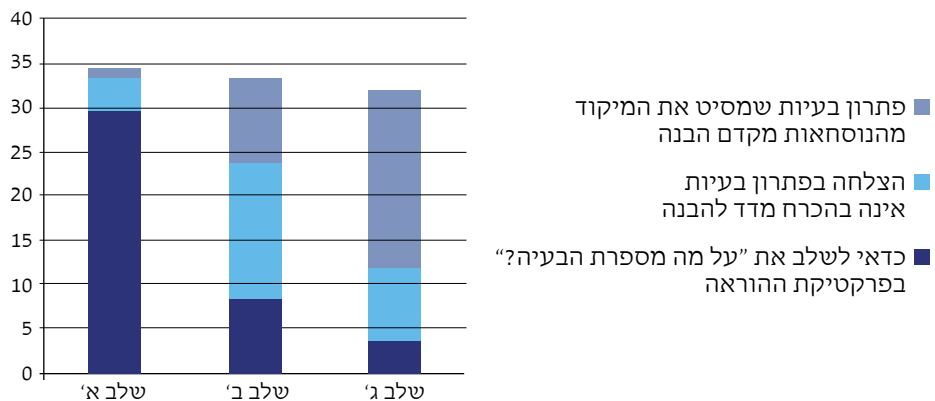
התפלגות משפטי המשוב של המורים במהלך ההיכרות עם הפעילות  
 "על מה מספרת הבעיה?" (N=84)



איור 2.

כדי לבדוק אם היה קשר כלשהו בין המשובים של המורים לבין שלבי ההיכרות של המורים עם הפעילות, נבדקה ההתפלגות של משפטי המשוב בכל אחת משלוש הקטגוריות בשלוש נקודות זמן: בתום שלב א', לאחר ההתנסות כלומדים במשימה (29 משפטי משוב); בתום שלב ב', לאחר התנסות כמורים-חוקרים, בדיווח המתקשב על הניתוח של הממצאים (28 משפטי משוב); בתום שלב ג', לאחר החקירה השיתופית (27 משפטי משוב). הממצאים מוצגים בתרשים הבא:

התפלגות הקריטריונים לאחר כל שלב באחוזים (N=84)



תרשים 3.

מתוך התרשים אפשר ללמוד שאופיין של התובנות של המורים השתנה במעבר משלב לשלב כמפורט להלן:  
**שלב א' - לאחר ההתנסות כלומדים** - כ- 85% ממשפטי המשוב בתום שלב א' היו מהקטגוריה האומרת שכדאי לשלב את הפעילות "על מה מספרת הבעיה?" או חלקים ממנה בפרקטיקת ההוראה ("אחשוב איך אפעיל את דף העבודה גם בנושאים אחרים", "את גישת דף העבודה אישים לאורך לימודי הפסיקה").  
**שלב ב' - לאחר ההתנסות כמורים וכחוקרים בכיתה** - יותר ממחצית ממשפטי המשוב בתום שלב ב' ביטאו תובנה שהצלחה בפתרון בעיות אינה מהווה בהכרח מדד להבנה ("הייתי בשוק, אף על פי שהצלחתי כל כך יפה בבחינות הבגרות, הם בעצם לא מבינים", "הממצאים גירו אותי לחשוב איך אפשר ללמד בצורה אחרת, להשפיע ולחולל שינוי").

**שלב ג' - לאחר ההתנסות בחקירה שיתופית** - יותר מ 60% ממשפטי המשוב בתום שלב זה טענו שפתרון בעיות שמסיט את המיקוד של התלמיד מהנוסחאות מקדם את ההבנה ("תלמיד מתקשה להציג בעיה בייצוגים שונים - תאור מילולי, טבלה או גרף - מאד חשוב שהמורה ינסה להציג בפני תלמידו שיטות פתרון שונות של אותה בעיה ובמהלך הלמידה התלמיד ירכוש מהמורה גם את היכולת להסביר את מהלך הפתרון וגם לקבוע את הנכונות של הפתרונות").

מן הממצאים שתוארו לעיל עולה שלכל קטגוריה היה רוב בשלב אחר: המודעות **לעוד** כלי הוראה שיכול לקדם את יכולתם של תלמידים לפתור בעיות ומחשבה להפעילו בכיתה בוטאה בעיקר בתום שלב א' (התנסות כלומדים). לעומת זאת, בתום שלב ב' (התנסות כמורים וחוקרים בכיתה) עלה בעיקר **פקפוק** בתפיסה שאומרת שפתרון בעיות מקדם הבנה ובתום שלב ג' (התנסות בחקירה שיתופית) מרבית המשובים בעצם אמרו - שאמנם ניתן לקדם הבנה באמצעות פתרון בעיות ובלבד שפתרון הבעיות יתמקד לא רק בנוסחאות.

### **ראיונות עם מורים שנתיים לאחר סיום הקורס**

ראיונות עם מורים, שנתיים לאחר סיום לימודיהם בקורס, מרמזים על שינוי שהתרחש בתפיסה ובפרקטיקה שלהם בנוגע לפתרון בעיות: "היום אני מבין שהעיקר איננו ההספק הכמותי: עדיף לפתור שלוש בעיות ולהבטיח הבנה של התלמידים מאשר להראות פתרון של 10 בעיות. אם התלמיד יבין את שלוש הבעיות, הוא יוכל לפתור הרבה בעיות נוספות"; "היום, שנתיים אחרי הלימודים, הדגש הוא לא על הספק תרגילים אלא מאמץ לבחור תרגילים איכותיים להרחיבם לשאול מה לומדים מהתרגיל, ללמד אסטרטגיות פתרון, לראות מהו הידע הנדרש או מהו הרקע התיאורטי הנדרש לבסס פתרון על חוקים ורק אחר כך לפתור תוך שימוש בנוסחה"; "היום אני מאמין בהקניית אסטרטגיות פתרון בעיות, בהקניית ידע איך ללמוד נושא ולא בפתרון בעיות לכשעצמן....."

### **סיכום**

מאמר זה הציג פעילות הוראה "על מה מספרת הבעיה?" ודרכי ההיכרות איתה על-ידי מורים לפסיקה שלמדו בתכנית רוטשילד-ויצמן למורים מצטיינים במתמטיקה ומדעים. הפעילות פותחה במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן במטרה להדגיש היבטים של הבנת פסיקה ולא של מניפולציות מתמטיות בעת פתרון בעיות. המורים הכירו את הפעילות על-ידי התנסות בה בשלושה שלבים: כתלמידים, כמורים חוקרים בכיתותיהם, ובחקירה שיתופית.

הממצאים שהוצגו במאמר מראים שלוש תובנות מרכזיות שאליהן הגיעו המורים במהלך ההיכרות עם הפעילות:

א. כדאי לשלב את הפעילות "על מה מספרת הבעיה?" או חלקים ממנה בפרקטיקת ההוראה

ב. פתרון בעיות שמסיט את המיקוד של התלמיד מהנוסחאות מקדם את ההבנה הפיזיקלית של התלמיד

ג. הצלחה בפתרון בעיות אינה בהכרח מדד של הבנה בפסיקה

יתירה מזאת, הממצאים הראו גם שכל תובנה "זכתה" לרוב בשלב אחר של ההיכרות עם הפעילות. השלב הראשון עורר את מודעותם של המורים לקיומו של כלי הוראה שיכול לעזור לתלמידים לפתור בעיות, הציע להם מודל כיצד להפעילו בכיתה ועורר את המוטיבציה לעשות זאת. המשובים שהמורים כתבו בתום שלב זה הציפו את המודעות שלהם לכך שניתן לגשת לפתרון בעיות באופן שונה מפנייה לנוסחאות ולמניפולציות מתמטיות ושגישה כזאת יכולה לעזור לתלמידים לפתור בעיות. מספר מורים אף ביטאו רצון לבצע את הפעילות בכיתה.

במהלך השלב השני, בשעה שניתחו העבודות של התלמידים שלהם, באה לביטוי האכזבה של המורים מחוסר הבנה של פסיקה שהפגינו תלמידיהם. שלב זה עורר אצל המורים קונפליקט בדבר הפער בין ציפיותיהם לבין המציאות בדבר ההבנה הפיזיקלית של תלמידים שמצליחים לפתור בעיות והוביל למסקנה שפתרון נכון של בעיות אינו מהווה בהכרח מדד להבנה פיזיקלית.

יחד עם זאת, רק בשלב השלישי שבו הוצג ניתוח העל שסיכם דיווחים על תלמידיהם של מורים שונים, נוכח כל מורה לדעת שהאכזבה היתה מנת חלקם של מורים נוספים ולא רק שלו. יתכן שתחושת התסכול המשותפת היא זו שהניעה שיח רפלקטיבי על פתרון בעיות ועל הבנה וביסס את מודעותם של המורים לחשיבות של הפעילות "על מה מספרת הבעיה?" שאיננה רק עוד כלי לגיוון הוראת פתרון בעיות אלא שזהו כלי הוראה שממנף את פתרון בעיות לטובת ההבנה הפיזיקאלית.

ממצאים אלה מחזקים את התפיסה שלנו (מובילות הקורס) בדבר החשיבות של כל אחד מהשלבים בתהליך ההיכרות של מורים עם פעילות הוראה חדשה.

כאן המקום לציין שכאשר בהקניית פעילות הוראה אחרת ויתרנו על ביצוע מלא של שלב א', בגלל מצוקת זמן, מצאנו בתום שלב זה משובים שמשדרים אי בהירות בדבר הדרך להפעיל את הפעילות בכיתה או אפילו תוהים אם כדאי בכלל להפעילה בקרב תלמידים. ואכן, רק מורה אחד מ 14 המורים בקורס ניסה להפעילה בכיתה וגם זאת ללא הצלחה יתירה.

בהזדמנות זו ברצוני להודות לכל המורים לפיסיקה, בוגרי תכנית רוטשילד-ויצמן, על שיתוף הפעולה, ההתלהבות והעבודה הקשה שלהם, לדר' אסתר בגנו ולפרופ' בת שבע אלון על האמון, התמיכה והחשיבה המשותפת. ללא כל אלה, לא ניתן היה לעבור את מסע הלמידה המופלא שחוויתי במהלך שנות השתתפותי בתכנית. תודה רבה.

## רשימת מקורות

1. Chi, M.T.H., Feltovich, P.J., & Glaser, R., (1981). Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices. *Cognitive Science* 5(2).
2. Eylon, B.S., Berger, H., Bagno, E, (2008). An Evidence-Based Continuous Professional Development Programme on Knowledge Integration in Physics: A study of teachers' collective discourse. *Int. J. of Science Education* (30).
3. Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *Am. J. Phys.* 66 (1).
4. Kim, E., & Pak, S.-J., (2002). Students do not overcome conceptual difficulties after solving 1000 traditional problems. *Am. J. Phys.* 70, 759.
5. Mason, A., & Singh, C., (2010). Helping students learn effective problem solving strategies by reflecting with peers. *Am. J. Phys.* 78, 748.
6. Van Heuvelen, A., (1991). Learning to think like a physicist: A review of research-based instructional strategies. *Am. J. Phys.* 59(10).