

**על למידה משמעותית והוראה משמעותית
של מושגים מדעיים**

תמר יחיאלי

On Meaningful Learning and Teaching of Scientific Concepts
Tamar Yechieli

תמר יחיאלי, מכללה ירושלים

הוצאת הספרים של מכון מופ"ת

עורך ראשי: דודו רוטמן

עורכות אקדמיות: בלה יעבץ, יהודית שטיימן

עורכת טקסט ולשון: תמי בורשטיין

עורכת לשון אחראית: מירב כהן-דר

עורכת גרפית ומעצבת העטיפה: מאיה זמר-סמבול

צייר הקריקטורות: עמוס אלנבוגן

חברי הוועדה האקדמית של הוצאת הספרים:

פרימה אלבז-לוביש, אילנה אלקד-להמן, חנוך בן-פזי, יעל דר, יורם הרפז,

נצה מובשוביץ-הדר, אייל נווה, דורון נידרלנד, יעל פישר, שי פרוגל

מסת"ב: 978-965-530-180-9

© כל הזכויות שמורות למכון מופ"ת, תש"ף/2020

טל': 03-6901406 <http://www.mofet.macam.ac.il>

עשינו כמיטב יכולתנו לאתר את בעלי הזכויות של כל חומר ששולב בספר ממקורות חיצוניים. אנו מתנצלים על כל השמטה או טעות. אם יובאו אלה לידיעתנו, נפעל לתקן במהירות הבאות.

דפוס: אופסט טל בע"מ

תוכן העניינים

מבוא 7

שער ראשון: על למידה משמעותית והוראה משמעותית

פרק ראשון - מהי המשמעות של למידה משמעותית? האם הוראה פרונטלית יכולה להיות משמעותית? 17

פרק שני - "מטרת השיעור היא שהתלמיד ילמד ולא שהמורה ילמד" - על הקונסטרוקטיביזם והשלכותיו על הלמידה וההוראה 46

פרק שלישי - פרדיגמת בוני הכלים (the toolmakers paradigm) לעומת מטפורת הצינור (the conduit metaphor) 66

שער שני: היבטים לשוניים ופסיכולוגיים המהווים אתגר להוראה המשמעותית

פרק רביעי - על מילים ומונחים בשפת היומיום ובשפה הדיסציפלינרית 89

פרק חמישי - חיבורו של דני, או: האם צריך לדבר בשפת ה-SC? 104

פרק שישי - על האגוצנטריות של מורים ומרצים ועל דרכים להתמודד איתה 116

שער שלישי: הוראה המכוונת ללמידה משמעותית

פרק שביעי - המודל לשינוי תפיסתי של פוזנר ועמיתיו: "לא די בכך שהתלמידים יבינו את הנושא - הוא צריך גם להתקבל על דעתם" 137

פרק שמיני - "המשא ומתן הכיתתי" כשיטת הוראה קונסטרוקטיביסטית - מהי ולשם מה? 159

פרק תשיעי - מפת מושגים ככלי ללמידה משמעותית ולהוראה משמעותית 174

פרק עשירי - מוזיאון מדע כסביבה המאפשרת ומעודדת למידה משמעותית והוראה משמעותית של מושגים מדעיים 198

שער רביעי: היבטים פילוסופיים של למידת מושגים מדעיים

פרק אחד-עשר - האם גילה ניוטון את כוח המשיכה או המציא אותו? על ההבחנה בין עובדות ובין תאוריות, בין תגליות ובין המצאות, ועל המעמד האפיסטמולוגי של מושגים מדעיים 219

פרק שנים-עשר - דיאלוג על אודות תפוח אדמה, או: על הסברים מכניסטיים וטלאולוגיים בביולוגיה.....	251
שער חמישי: למידה משמעותית והוראה משמעותית של מושגים מדעיים ספציפיים	
פרק שלושה-עשר - למידה משמעותית והוראה משמעותית של מודל החלקיקים של החומר.....	267
פרק ארבעה-עשר - על הוראה משמעותית של המושג "מסה" ועל אופן הצגת המושגים "מסה" ו"משקל" בתוכניות הלימודים במדע וטכנולוגיה לכיתות א'-ט' ובספרי הלימוד במדע וטכנולוגיה לכיתה ז'.....	291
פרק חמישה-עשר - "הקיר לא מפעיל עליו כוח - הוא סתם שם" - על הוראה משמעותית ולמידה משמעותית של החוק השלישי של ניוטון.....	324
פרק שישה-עשר - כוח החיכוך: כוח מוזר ומפתיע - לפעמים עוזר ולפעמים מפריע.....	353
פרק שבעה-עשר - הבנת מושגים באנרגיה באמצעות מפת מושגים.....	370
אחרית דבר - מחשבות על העתיד.....	391
תקציר באנגלית.....	395

מוקדש באהבה ובגעגוע
להורי היקרים
ראובן (רוברט) וחנה שרלו ז"ל,
שנטעו בי את חדות הדעת

מבוא

בשנת הלימודים תשע"ד (2013-2014) השיק שר החינוך הרב שי פירון תוכנית ושמה ישראל עולה כיתה - עוברים ללמידה משמעותית. אומנם בשנת תשע"ה (2014-2015) חדל הרב פירון לשמש שר החינוך, אבל הביטוי למידה משמעותית נעשה מאז חלק מהשיח החינוכי, והוא מופיע בהקשרים שונים. נראה שביטוי זה הפך לביטוי מזמזם (בדומה למילות מזמזמות - buzzwords), ואנשים משתמשים בו באופנים שונים ובמשמעויות שונות, לעיתים קרובות ללא בסיס תאורטי, עובדה היוצרת אי-בהירות ובלבול במערכת החינוך. בחודש מאי 2018 פורסם דוח מבקר המדינה ובו ביקורת על היבטים שונים של רפורמת הלמידה המשמעותית. המבקר מצא בין היתר שאין בהירות באשר למושגי היסוד המנחים את הרפורמה.

הספר הנוכחי נכתב כדי להציג עמדה ברורה, עקבית ומבוססת באשר למשמעות הביטויים למידה משמעותית והוראה משמעותית. הספר עוסק בלמידה משמעותית ובהוראה משמעותית של מושגים והיגדים, בעיקר מושגים והיגדים מדעיים הנלמדים בחטיבת הביניים. במונח מושג הכוונה לייצוג של תכונות משותפות או מכנה משותף של קבוצת אירועים או עצמים (כגון מסה, משקל, חום, טמפרטורה). במונח היגד הכוונה להצהרה המקשרת בין מושגים (כגון אם גוף א' מפעיל כוח F על גוף ב', אז גוף ב' מפעיל כוח על גוף א' השווה ל-F בגודל ומנוגד לו בכיוון או החומר בנוי מחלקיקים וביניהם ריק). כדי שלא לסרב את הכתיבה יתר על המידה, הרי בכל פעם שמופיעה בספר התייחסות ללמידה ולהוראה של מושג, הכוונה היא גם ללמידה ולהוראה של היגד. הספר מתבסס על הגדרה זו של המושג למידה משמעותית: למידה שבמהלכה הלומד בונה לו משמעות אישית של החומר הנלמד באמצעות תבניות וידע שכבר קיימים בהכרתו. הגדרה זו נשענת על התאוריה של הפסיכולוג החינוכי דייוויד אוזובל (Ausubel, 1968), שטבע את הביטוי למידה משמעותית כבר בשנות השישים של המאה הקודמת, ועל תאוריית הלמידה הקונסטרוקטיביסטית. בבסיס ההמלצות הדידקטיות המשולבות בספר מצוי המודל לשינוי תפיסתי שפיתחו פוזנר ועמיתיו (Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982).

הספר הוא במידת-מה המשכו של הספר תפיסות שגויות ושינוי תפיסתי בהוראת המדעים, שכתבתי עם פרופ' יוסי נוסבוים (נוסבוים ויחיאל, 1995). אחדים מהפרקים בספר שלפניכם פורסמו במהלך השנים בממות שונות

כמאמרים. רוב המאמרים עובדו לגרסאות חדשות יותר, ונוספו להם מקורות עדכניים. חלק מהפרקים הם אקדמיים, ומופיעה בהם רשימה ביבליוגרפית נרחבת, ואילו שאר הפרקים הם דידקטיים ופופולריים יותר באופיים, והרשימה הביבליוגרפית בהם מצומצמת.

הספר מיועד לעוסקים בהוראת המדעים; בראש ובראשונה למורים (בעיקר למורי חטיבת הביניים) ולמכשירי מורים להוראת המדעים. גם מרצים במכללות ובאוניברסיטאות וסטודנטים להוראת המדעים עשויים למצוא בו עניין. פרקי הספר עשויים לשמש גם בסיס לדיונים של קהילות מקצועיות לומדות, בעיקר בתחום הוראת מדעי הטבע.

למרצים רבים ממוסדות אקדמיים שונים שימשו מאמרים אלו במהלך השנים קטעי קריאה בקורסים, וכדי שמגמה מבורכת זו תימשך ומרצים יוכלו להפנות את הסטודנטים למאמרים נפרדים - הם הושארו בספר כפרקים נפרדים, והספר לא נכתב כמקשה אחת.

מאמרים אלו שימשו אותי בהוראה במסגרות שונות ובעיקר במכללה ירושלים. במרוצת השנים הצטברו אצלי תגובות של סטודנטיות לחלק מהמאמרים. מקצת מהתגובות מופיעות בסופם של כמה מהפרקים, ואני תקווה שיש בהן כדי להעשיר את הקריאה.

מאמרים רבים בספרות החינוכית עוסקים בתפקידו של ההומור בחינוך ובהוראה (אינגלס, 2010; ינקו-חדד, 2007 ועוד). בספר הזה שולבו קריקטורות של המאייר עמוס אלנבוגן. חלקן מתכתבות עם רעיון המופיע בספר זה, הרעיון שלאותו מונח יכולות להיות משמעויות שונות בהקשרים שונים. מרצה המשתמש בפרק זה או אחר בקורסים שלו, יכול לעסוק עם הסטודנטים במדרש תמונה לקריקטורות המלוות את הטקסט הכתוב.

בספר שולבו איורים ותמונות כדי להמחיש ולהרחיב את הכתוב. כל התמונות צולמו על ידי אלא אם כן צוין אחרת.

אחת האסטרטגיות לארגון ידע התורמת ללמידה משמעותית ולהוראה משמעותית היא **מפת מושגים**. שני פרקים בספר זה מוקדשים לאסטרטגיה זו, אך מפות מושגים משולבות גם בפרקים אחרים בספר, כדי לעזור בהצגה גרפית של הרעיונות העיקריים המובעים בהם. מפות המושגים הוכנו על ידי אלא אם כן צוין אחרת.

בספר חמישה שערים:

השער הראשון - על למידה משמעותית והוראה משמעותית

בשער זה כלולים פרקים העוסקים בהיבטים גנריים של למידה משמעותית והוראה משמעותית.

בפרק הראשון - "מהי המשמעות של למידה משמעותית? האם הוראה פרונטלית יכולה להיות משמעותית?" - נדונה משמעות המושג **למידה משמעותית** לפי אתר משרד החינוך ולפי התאוריה של הפסיכולוג החינוכי דייוויד אוזובל ומוצגות השלכותיו הדידקטיות.

בפרק השני - "מטרת השיעור היא שהתלמיד ילמד ולא שהמורה ילמד" - על הקונסטרוקטיביזם והשלכותיו על הלמידה וההוראה" - מזוהה המושג **למידה משמעותית** עם המושג **למידה קונסטרוקטיביסטית**. פרק זה עוסק בקונסטרוקטיביזם כתאוריית למידה ובהשלכותיו על הלמידה ועל ההוראה.

הפרק השלישי - "פרדיגמת בוני הכלים (the toolmakers paradigm) לעומת מטפורת הצינור (the conduit metaphor)" - הוא עיבוד מאמרו של הבלשן מיכאל רדי (Reddy, 1979). מאמר זה מנהיר את ההבדל בין התפיסה המסורתית של תהליך התקשורת בין בני אדם לבין התפיסה הקונסטרוקטיביסטית של תהליך זה באמצעות מטפורה מקורית ומעניינת. מאמר זה רלוונטי מאוד לבחינת הלמידה המשמעותית וההוראה המשמעותית, שכן תהליך ההוראה הוא ביסודו תהליך של תקשורת בין בני אדם. בסוף הפרק מוצג יישומה של **פרדיגמת בוני הכלים** ללמידה ולהוראה של מושגים.

השער השני - היבטים לשוניים ופסיכולוגיים המהווים אתגר להוראה המשמעותית

בפרק הרביעי - "על מילים ומונחים בשפת היומיום ובשפה הדיסציפלינרית" - מוצגים כמה הבדלים בין השפות המקצועיות (הדיסציפלינריות) לבין שפת היומיום וכן הקושי הנובע מכך שלעיתים משמעותם המקצועית (הדיסציפלינרית) של מונחים שונה ממשמעותם היומיומית. נושא זה קריטי ללמידה משמעותית ולהוראה משמעותית, שכן אם המורה מדבר בשפה דיסציפלינרית והתלמידים שומעים אותו באוזניים יומיומיות - הרי הדבר עלול להיות מקור לתפיסות שגויות ומכשול ללמידה משמעותית של הנושא הנלמד. בפרק זה מוצע כיצד להתמודד עם קושי זה בהוראת הדיסציפלינות במערכת החינוך.

הפרק החמישי - "חיבורו של דני, או: האם צריך לדבר בשפת ה-SC?" - מתאר בדרך היתולית ומוגזמת מה קורה כאשר מתקשים להשתמש באופן גורף בשפה המדעית בהקשרים יומיומיים.

הפרק השישי - "על האגוצנטריות של מורים ומרצים ועל דרכים להתמודד איתה" - דן בקושי של אדם בעל ידע דיסציפלינרי מסוים להבין את נקודת המבט של מי שאינו בעל ידע זה. קושי זה עלול לגרום לכך שההוראה של המורה לא תניב למידה משמעותית אצל תלמידיו. הפרק נכתב בעקבות מאמר של קרל ויימן (Wieman, 2007), המכנה את התופעה **קללת הידע**. בפרק זה מוצע לתלות את אי-היכולת של המורה לדעת ולהבין את נקודת המבט של תלמידיו במאפיין בסיסי של כל אדם - האגוצנטריות. מתוארים ומודגמים בו מרכיביה של האגוצנטריות ומועלות הצעות כיצד להתגבר עליה ולשפר את המשמעותיות של ההוראה והלמידה.

השער השלישי - הוראה המכוונת ללמידה משמעותית

הפרקים שבשער זה עוסקים בהיבטים שונים של ההוראה המכוונת ללמידה משמעותית.

בפרק השביעי - "המודל לשינוי תפיסתי של פוזנר ועמיתיו: לא די בכך שהתלמידים יבינו את הנושא - הוא צריך גם להתקבל על דעתם" - מוצג אחד המודלים בעלי ההשפעה הגדולה ביותר על הוראה משמעותית של מושגים מדעיים - **המודל של פוזנר ועמיתיו** (Posner et al., 1982). מודל זה מצטיין בפשטותו ומדגיש היבטים שלא תמיד מודגשים בהוראה, ומהווה בסיס לחלק מהטענות ומההצעות הדידקטיות שבפרקי ספר זה.

בפרק השמיני - "המשא ומתן הכיתתי כשיטת הוראה קונסטרוקטיביסטית - מהי ולשם מה?" מוצגת שיטת הוראה פרונטלית המכוונת ללמידה משמעותית. **בפרק התשיעי - "מפות מושגים ככלי ללמידה משמעותית והוראה משמעותית"** - מוצגת **מפת המושגים** ככלי ללמידה משמעותית ולהוראה משמעותית, וכן מוצגות הדרכים שבהן אפשר להשתמש בכלי זה להגברת המשמעותיות של הלמידה וההוראה.

בפרק העשירי - "מוזיאון מדע כסביבה ללמידה משמעותית ולהוראה משמעותית של מושגים מדעיים" - מוצגות אפשרויות ללמידה משמעותית ולהוראה משמעותית של מושגים מדעיים במוזיאוני מדע.

השער הרביעי - היבטים פילוסופיים של למידת מושגים מדעיים

שני הפרקים הכלולים בשער זה עוסקים בהיבטים מתחום הפילוסופיה של המדע הרלוונטיים ללמידה משמעותית ולהוראה משמעותית של מושגים מדעיים.

הפרק האחד-עשר - "האם גילה ניוטון את כוח המשיכה או המציא אותו?
על ההבחנה בין עובדות ובין תאוריות, בין תגליות ובין המצאות, ועל המעמד האפיסטמולוגי של מושגים מדעיים" - עוסק בהבחנה בין עובדות ובין תאוריות, בין תגליות ובין המצאות. הבחנות אלו והשלכותיהן הדידקטיות חשובות מאוד ללמידה ולהוראה של מושגים מדעיים.

הפרק השנים-עשר - "דיאלוג על אודות תפוח אדמה, או: על הסברים מכניסטיים וטלאולוגיים בביולוגיה" - מוקדש להסברים מכניסטיים וטלאולוגיים בביולוגיה, ובעיקר למושג אוסמוזה. פרק זה הוא תולדה של התכתבות ביני לבין מורה לביולוגיה בנושא זה.

השער החמישי - למידה משמעותית והוראה משמעותית של מושגים מדעיים ספציפיים
הפרקים בשער זה עוסקים בלמידה משמעותית ובהוראה משמעותית של מושגים מדעיים ספציפיים. רוב המושגים הללו נלמדים בתוכנית הלימודים במדע וטכנולוגיה בחטיבת הביניים. התכנים והרעיונות המופיעים בשער זה אמורים להיות חלק מהידע התוכני-הפדגוגי (PCK על פי Shulman, 1986) של המורים למדעי הטבע.

הפרק השלושה-עשר - "למידה משמעותית והוראה משמעותית של מודל החלקיקים של החומר" - עוסק במודל החלקיקים של החומר, שהוא המודל התאורטי הראשון הנלמד בשיעורי מדע וטכנולוגיה. מצד אחד מודל זה מהווה בסיס לחלק גדול מהמושגים המדעיים הנלמדים בהמשך, ומצד אחר הלמידה שלו כרוכה בקשיים רבים ובהתמודדות עם תפיסות שגויות.

הפרק הארבעה-עשר - "על הוראה משמעותית של המושג מסה" - עוסק במושגים מסה ומשקל. חלקו הראשון של הפרק בוחן מה צריך להתרחש כדי שמושגים אלו יילמדו בצורה משמעותית, וחלקו השני סוקר את אופן הצגת המושגים האלו בתוכנית הלימודים במדע וטכנולוגיה לכיתה ז', בארבעה ספרי לימוד לכיתה ז' ובילקוט הדיגיטלי של מטח.

הפרק החמישה-עשר - "הקיר לא מפעיל עליי כוח - הוא סתם שם" - על הוראה ולמידה משמעותית של החוק השלישי של ניוטון" - נכתב בעקבות הכללת הנושא אינטראקציה וכוחות בתוכנית הלימודים במדע וטכנולוגיה לכיתה ח' ובשל הקשיים שמורים ותלמידים נתקלים בהם בלמידה ובהוראה של נושא זה. **הפרק השישה-עשר - "כוח החיכוך: כוח מוזר ומפתיע"** - לפעמים עוזר ולפעמים מפריע" - עוסק אף הוא בנושא מתחום האינטראקציה והכוחות -

חיכוך. הפרק מבהיר היבטים מדעיים וטכנולוגיים של מושג זה, סוקר את התפיסות השגויות הנפוצות בהקשרו ומציע דרכים להתמודד איתן.

הפרק השבעה-עשר - "הבנת מושגים באנרגיה באמצעות מפת מושגים" - עוסק במושג אנרגיה ומציג היבטים מסוימים של מושג זה באמצעות מפות מושגים.

הספר נחתם באחרית דבר - מחשבות על העתיד, ובו מחשבות לגבי הרלוונטיות של הדברים שנכתבו בספר ללמידה עתידית ולהוראה עתידית.

חובה נעימה היא לי להודות לכל מי ששימש השראה לכתבת הספר וסייע במודע או שלא במודע להתגבשותו. פרופ' גדעון כרמי ז"ל חשף בפניי את אופן החשיבה השונה של ילדים. תודה מקרב לב גם לפרופ' יוסי נוסבוים, ייבדל לחיים ארוכים, מראשוני החוקרים של הנושא תפיסות שגויות בארץ ובעולם. העבודה המשותפת עם יוסי במשך שנים רבות היא בסיס עיקרי לרעיונות המוצגים בספר זה.

"ומתלמידיי - יותר מכולם". הרעיונות המוצגים בספר זה התגבשו במהלך השנים בעקבות אינטראקציה מתמדת עם סטודנטיות להוראת מדעי הטבע במכללה ירושלים, סטודנטים באוניברסיטה העברית ומורים למדעי הטבע בחטיבות הביניים שפגשתי בהשתלמויות רבות ברחבי הארץ.

חובה נעימה היא להודות לכל אלו שתרמו ליציאתו של הספר לאור בצורה מיטבית. תודה לצוות המקצועי והמסור של מכון מופ"ת: לעורכת הראשית וראש הוצאת הספרים לשעבר ד"ר יהודית שטיימן ולראש ההוצאה הנוכחי ד"ר דודו רוטמן על הנכונות להוציא את הספר לאור; לד"ר בלה יעבץ, העורכת המדעית של הספר, על הערותיה והארותיה המחכימות והמקצועיות; לרכזת ההוצאה חני שושתרי על תשומת הלב והמסירות; לעורכת הלשון של הספר תמי בורשטיין, אשר תרמה רבות לשיפורו; לעורכת הלשון האחראית מירב כהן-דר על דיוק הספר; ולעורכת הגרפית מאיה זמר-סמבול על העימוד והעיצוב.

תודה מקרב לב לעמוס אלנבוגן, המאייר המוכשר, על הקריקטורות החינניות. הספר מוקדש לבני משפחתי היקרים: להוריי ראובן (רוברט) וחנה שרלו ז"ל ולבעלי ישעיהו (שאף ערך לשונית את הגרסה המוקדמת של הספר), לילדינו, לבני ולבנות זוגם, לנכדתינו ולנכדינו החביבים, שהם מקור תמידי של שמחה ונחת.

רשימת המקורות

אינגלס, ו' (תש"ע 2010). יצירת הומור בהוראה - בחינה מחודשת של התיאוריה הרב ממדית ליצירת הומור. חיבור לשם קבלת התואר "דוקטור לפילוסופיה", אוניברסיטת בר אילן רמת גן.

ינקו-חדד, ד' (2007). לימודים זה לא צחוק: שילוב הומור וצחוק בבית הספר. קשר עין - ירחון ארגון המורים בבתי הספר העל יסודיים, 170, 16-17.

נוסבוים, י' ויחיאלי, ת' (1995). תפיסות שגויות ושינוי תפיסתי בהוראת המדעים. תל אביב: מכון מופ"ת.

Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart & Winston.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211–227.

Reddy, M. (1979). The conduit metaphor. In A. Ortony (Ed.), *Metaphor and thought*. Cambridge: Cambridge University Press.

Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15, 4–14.

Wieman, C. (2007). The "Curse of knowledge", or why intuition about teaching often fails. *APS NEWS*, 16, 10.