

# פיתוח מיומנות הנמקה בלמידת "אנרגיה בקצב הכימיה"

דר' אדית וייסלברג\* ופרופ' יהודית דורי\*\*

ונגד. כמו בוויכוח בין אנשים בחיי היום-יום, גם במדע קיימות תאוריות מתחרות, ויש צורך בהעלאת טיעונים שתומכים בתאוריה מסוימת ומפריכים את האחרת.

טענה היא אמירה שניתן להתווכח על תקפותה. יש הגדרות שונות להנמקה, שכוללות הבעת עמדה או מסקנה, ציון הסיבות או הסימוכין שהובילו לכך. למיומנות ההנמקה יש חשיבות גם מחוץ לשיעורי המדעים. היכולות להעריך אם מידע הוא תקף ואמין או לא, להבדיל בין מצב שבו הנתונים מהווים סיבה, לבין מצב שבו הם קשורים באופן מקרי לעניין המוצג, ולאמוד את מידת הסיכון שבהחלטות – הן יכולות המאפשרות לאדם להכיר את נקודות החוזק ואת מגבלות הטיעונים המובאים לפניו. על ידי כך אנשים מקבלים כלים להתמודד עם הדילמות החברתיות שהעולם המודרני, עתיר המדע והטכנולוגיה, מזמן בפניהם.

מחקרים הראו שילדים ומבוגרים רבים מתקשים בכתבת נימוקים וביצירת קשרים בין הנתונים שברשותם לבין התאוריה שבה הם מחזיקים. מחקרים נוספים הראו כי ההנמקה היא מיומנות חשיבה אשר ניתנת לפיתוח בשיעורי מדע באמצעות התנסות ואימון במשימות הדורשות הנמקה (Kuhn, 1993; Zohar & Nemet, 2002; Osborne, Erduran & Simon, 2004).

ההנחה כי יכולת ההנמקה של התלמידים עשויה להיות מושפעת מהוראה באמצעות יחידת לימוד חדשה המעודדת פיתוח מיומנות חשיבה זו, עמדה בבסיס מחקר זה ונבדקה על-ידו.

## רמות הבנה בכימיה

הבנה מעמיקה של תהליך כימי הינה מורכבת, וניתן להבחין שיש בה ארבעה רבדים:

ברמת התופעה – המאקרוסקופית, מתייחסים לשינויים המתגלים באמצעות החושים: ראייה, שמיעה, מישוש, ריח, או בסיוע מכשיר כדוגמת מד טמפרטורה.

ברמת החלקיקים – המיקרוסקופית, מתייחסים לשינויים שחלים בהיערכות החלקיקים המרכיבים את החומרים: אטומים, מולקולות, יונים וכדומה. שינויים אלה מאפשרים מתן הסבר לשינויים הניכרים ברמת התופעה.

ברמת הסמל – סמלים מוסכמים המייצגים באופן חזותי את מרבית השינויים המתרחשים.

ברמת התהליך – מתייחסים לתופעה או לתהליך כמכלול,

שינויים שהתרחשו בהוראת המדעים, לוו בעשור האחרון בתמורות חשובות בתכנית הלימודים בכימיה לבית-ספר תיכון בישראל. אחת ממטרותיה של תכנית הלימודים החדשה היא יצירת קשר בין העקרונות הנלמדים בכיתה לבין תופעות מחיי היום-יום, ומטרה נוספת היא לפתח מיומנויות חשיבה ברמה גבוהה לצד פיתוח ידע תוכן. בהתאם למטרות אלה פותחו יחידות לימוד חדשות.

היחידה "אנרגיה בקצב הכימיה" הינה אחת מיחידות הלימוד אשר פותחו בטכניון במסגרת תכנית הלימודים החדשה, והיא מהווה את הבסיס למחקר אשר חלקו מוצג כאן ומתמקד בלמידת אנרגיה ודינמיקה בתהליכים כימיים.

מטרת המחקר הייתה לבחון את הלמידה המתרחשת בנושאי אנרגיה ודינמיקה בקרב תלמידי תיכון הלומדים את יחידת הלימוד החדשה, ובקרב תלמידי הלומדים לפי תכניות אשר היו קיימות בשני העשורים האחרונים.

מאמר זה מתמקד בחלקו של המחקר הדרן בפיתוח מיומנות ההנמקה, ועוסק בשאלות הבאות:

כיצד תופסים המורים לכימיה את הדרישה להנמקה ביחידת הלימוד, בהיבטים של תרומות וקשיים?

האם וכיצד לימוד של יחידה משולבת מגוון ייצוגים בנושא אנרגיה ודינמיקה בתהליכים כימיים, משפיע על פיתוח מיומנות הנמקה, בהשוואה ללמידת אותם הנושאים על פי תכנית הלימודים המסורתית?

באיזה אופן באות לידי ביטוי רמות ההבנה בכימיה בפתרון משימות הדורשות הנמקה?

## רקע תאורטי

להלן סקירה ספרותית קצרה העוסקת בשלושה נושאים עיקריים שעליהם מבוסס המחקר: מיומנות הנמקה, רמות הבנה בכימיה ומגוון ייצוגים.

## מיומנות הנמקה

תהליך צבירת הידע המדעי הנו תהליך דינמי של משא ומתן שבו המדענים נדרשים לשכנע את עמיתיהם. הטמעת פעילויות למידה הדורשות מהתלמידים לטעון טענה ולנמקה, תורמת להבנת אופיו ומהותו של המדע. החשיבה המדעית הינה פיתוח של החשיבה הטבעית שאתה נולדים, ואחד ממרכיביה החשובים הוא המיומנות של העלאת טיעונים בעד

\*דר' אדית וייסלברג – רכות כימיה בעירוני א' ומורה בעירוני ד', תל-אביב. המחקר המוצג הנו חלק ממחקר דוקטורט שנערך בטכניון בהנחיית פרופ' יהודית דורי.  
\*\*פרופ' יהודית דורי – ראש קבוצת הכימיה במחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים ודיקנית היחידה ללימודי המשך וחוזן בטכניון, חיפה.

אגב אזכור של לפחות אחת מהרמות האחרות לעיל, בתוספת היבט שמהווה את המניע לשינויים שתוארו.

(Johnstone, 1991; Dori & Hameiri, 2003)

דוגמהות של התייחסויות לתופעות כימיות ברמות ההבנה השונות ניתן למצוא [באתר של המחלקה להוראת המדעים והטכנולוגיה בטכניון](#).

הכימאים עוסקים בקשר שקיים בין ההיבט המיקרוסקופי – חלקיקי החומר, אשר לא נראים לעין, לבין ההיבט המאקרוסקופי – הניכר בעזרת חושינו. במחקרים נמצא שתלמידים מעטים מאחדים בתפיסותיהם את שני ההיבטים האלה, וייתכן שזהו אחד ממקורות הקשיים בלימוד נושא האנרגיה (Liu, Ebenezer & Fraser, 2002).

מחקרים שונים הראו כי אזכור מפורש של המתרחש ברמה החלקיקית של החומר, הבהרת ההבדל בין רמות ההבנה השונות והדגשתן, הובילו לפיתוח הבנה מושגית מעמיקה בכימיה (Bunce & Gabel, 2002; Dori & Hameiri, 2003; Treagust et al., 2003). בנוסף, מחקרים מאוחרים יותר הראו כי פיתוח יכולת מטהקוגניטיבית של התלמידים לבחינת מספר רמות ההבנה בתשובתם, הוביל לפיתוח מיומנות של שאלת שאלות מורכבות ולפיתוח מיומנות של העברה מכימיה לתחומי ידע נוספים (Kaberman & Dori, 2009; Sasson & Dori, 2008).

### מגוון ייצוגים

ייצוג חזותי הנו ביטוי סמלי, או הדמיה, או אובייקט מוחשי אשר ניתן לראות – על נייר, או כגוף תלת-ממדי, או על מסך מחשב. הייצוג החזותי הוא של תופעה, או תהליך, או היבט של תופעה, או גוף שלא ניתן לראותו. ייצוגים חזותיים מאפשרים להצביע על ההבדלים הקיימים במבנה של מולקולות, או על אופן התרחשותם של תהליכים שונים, והם מהווים ביטוי מוחשי למודלים מחשבתיים. לכן ייצוגים חזותיים מהווים אמצעי חשיבה המסייעים בהבנת מושגים ותהליכים, אמצעי להמחשת מושגים מופשטים ואמצעי תקשורת, להצגת מידע בפני עמיתים. יתרון היוזואליזציה על פני ייצוג מילולי כתוב או מושמע, הוא בכך שתמונה מספקת בבת אחת מכלול שלם של פרטי מידע, שכולל כבר את ההקשרים שקיימים ביניהם.

בכימיה העיסוק בחומרים אשר מורכבים ממולקולות או מחלקיקים אחרים, שהם קטנים מאוד ולכן בלתי נראים לעין, יצר צורך בשימוש בייצוגים חזותיים כביטוי מוחשי למודלים מחשבתיים. באמצעות הייצוגים החזותיים ניתן להצביע על ההבדלים הקיימים במבנה של מולקולות, או על אופן התרחשותם של תהליכים שונים. השימוש בשילוב ייצוגים חזותיים שונים מאפשר התייחסות לרמות ההבנה השונות בכימיה: מודלים נייחים של מולקולות והצגת התנועה שלהן, למשל באנימציה ממחשבת, מאפשרים להתייחס לקנה המידה

הקטן של המולקולות; ייצוגים גרפיים של תכונות החומרים, או צילומים של ניסויים אמתיים, מאפשרים להתייחס לתכונות החומרים ולשינויים שמתרחשים בהם – כלומר לנראה לעין. לכן מיומנות חזותית מפותחת היא חלק ממקצועיותם של כימאים (Mathewson, 1999; Russel & Kozma, 2005).

תאוריית החשיבה של Mayer (2002) לגבי למידה אנושית מניחה כי קיימים שני ערוצי ייצוג וטיפול בידע: ערוץ חזותי וערוץ מילולי. בערוץ החזותי – הלומדים משתמשים בייצוגים החזותיים כדי להרכיב מכלול ידע במוחם, ובערוץ המילולי – הלומדים יוצרים מכלול בעל משמעות מהמילים שהם שומעים או קוראים. לכל אחד מערוצים אלה יש יכולת מוגבלת להכיל מידע. לכן למידה משמעותית מתרחשת כאשר האדם בוחר את פרטי המידע הרלוונטיים המתקבלים משני הערוצים גם יחד, מארגן ומשלב אותם בידע הקודם שהיה לו.

בתחום הוראת הכימיה נמצא כי השימוש בייצוגים חזותיים כמודלים מסוגים שונים ובתוכנות המאפשרות הדמיה של מודלים, משפר את תפיסות התלמידים, את הבנת המבנה המרחבי של המולקולות ואת התאמת השימוש בחומרים השונים למטרות שונות. כמו כן נמצא כי השימוש במגוון צורות ייצוג בלמידה מגדיל את יכולתם של הלומדים לבצע מעברים בין הייצוגים השונים ובין רמות ההבנה השונות, יכולת אשר תורמת לפיתוח הבנה מעמיקה בכימיה (Barnea & Dori, 2000; Kozma, Chin, Russel & Marx, 2000; Kaberman & Dori, 2008). במחקר המוצג כאן נבדקה השפעת השימוש בייצוגים חזותיים, במשולב עם ייצוגים מילוליים וכמותיים, בהוראת נושאים מופשטים ומורכבים בכימיה.

### הסביבה הלימודית - סביבת המחקר

יחידת הלימוד "אנרגיה בקצב הכימיה" (כרמי, וייסלברג ודורי, 2007) נכתבה במחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים בטכניון ונמנית בין יחידות הלימוד שנכתבו במסגרת תכנית הלימודים החדשה בכימיה לתלמידי תיכון. היחידה עוסקת בנושאי אנרגיה ודינמיקה של תהליכים כימיים, שהנם נושאי חובה בתכנית הלימודים. היחידה מלווה באתר אינטרנט, שבו מופיעים הרחבות, מדריך למורה, מצגות וניסויים נוספים.

### מטרות ההוראה

היחידה פותחה בהתאם למטרת העל של התכנית החדשה – הכרת הכימיה בחיי היום-יום והדגשת הקשר שלה למציאות ובכך הפיכת הכימיה לרלוונטית ללומדים, מתוך מודעות לפיתוח מיומנויות חשיבה ברמה גבוהה בקרב התלמידים. פירוט על מטרות התכנית מצוי באתר [משדר החינוך, האגף לפיתוח תכניות לימודים](#).

מטרה נוספת של היחידה הינה השגת הבנה מושגית עמוקה של תכניה, על מנת לאפשר לתלמידים יישום רחב של הידע שנרכש ביחידה לתחומים נוספים.

## האמצעים להשגת מטרת ההוראה

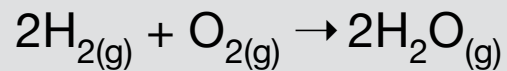
א. דיון בתופעות כימיות מחיי היום-יום

על מנת להדגיש את רלוונטיות הכימיה בחיי היום-יום של התלמידים, מוצגות ביחידה תופעות המופיעות בחיי התלמידים – תופעות אוטנטיות, כגון: הדלקה ובערה של זיקוק יום הולדת המהווה הזדמנות לדון בהיבטי האנרגיה והקינטיקה של תהליכים, הזרזים שנוכחים בממיר קטליטי במכונות המהווים מוקד לנושא זרזי תגובות וכן בקבוקי משקאות תוססים המעוררים דיון בהיבטים של שיווי משקל כימי.

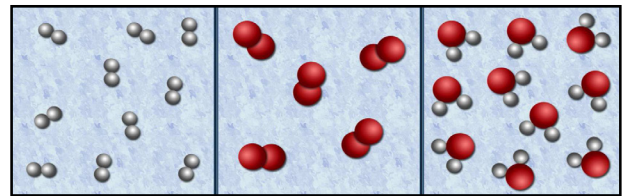
ב. הדגשת רמות ההבנה בכימיה במטרה להשיג הבנה מושגית מעמיקה בתוכני היחידה

הבנה בארבע הרמות נדרשת לכל אורך היחידה בהקשר לניסויים, לקטעי מידע שמובאים ולביצוע משימות שונות. לדוגמה, בעקבות ביצוע שלב ב' בניסוי 2, עמוד 54, מופיעה השאלה: "מה התרחש במבחנה 3? התייחסו לארבע רמות ההבנה." דוגמאות נוספות מופיעות באיור 1.

הגזים מימן וחמצן שבכלי מגיבים והופכים למים לאחר שהועבר בכלי ניצוץ חשמלי ונשמע קול נפץ. (רמה מאקרוסקופית של התגובה). נתון ניסוח התגובה שהתרחשה (רמת הסמל):



ביאור אנו רואים תיאור מיקרוסקופי של החומרים המשתתפים בתגובה



איור 1 | הדגשת רמות ההבנה בכימיה ביחידת הלימוד "אנרגיה בקצב הכימיה"

ג. שילוב מגוון ייצוגים – חזותיים, מילוליים וכמותיים ביחידה זו שולבו לצד הייצוגים המילוליים – טקסטים והכמותיים – חישובים, המקובלים בספרי לימוד, מגוון רב יותר של דרכי ייצוג חזותיות לעומת המקובל בתכניות הלימוד הקודמות – כגון איורים, מודלים מצוירים או מצולמים, טבלאות, ניסויים מצולמים ומגוון רחב של גרפים.

ד. משימות מגוונות שבהן מופיעה דרישה להנמקה במשימות ההערכה המגוונות והמותאמות למאפייני ההוראה השזורים ביחידה לכל אורכה, מופיעות שאלות שבוחנות הבנה, שאלות לתרגול בעיות כמותיות, משימות המשלבות ייצוגים שונים ודורשות מגוון מיומנויות. בנוסף, במשימות אלה התלמידים נדרשים לנמק את תשובותיהם ולהשתמש בארבע רמות ההבנה בכימיה.

## משתתפים וכלי מחקר

משתתפי המחקר כללו 19 מורים שלימדו את תלמידי הניסוי

וההשוואה, 140 תלמידים אשר למדו על פי היחידה החדשה "אנרגיה בקצב הכימיה" והיוו את קבוצת הניסוי, ו-50 תלמידים אשר למדו על-פי תכנית הלימודים הקודמת והיוו קבוצת השוואה במחקר.

נתונים על מיומנות ההנמקה נאספו באמצעות שאלונים שבהם פתרו התלמידים משימות שדרשו שימוש במיומנות זו. השאלונים הועברו לפני ואחרי למידת הנושאים אנרגיה ודינמיקה של תגובות. המשימות בשאלון המקדים היו בנושא קשרים בתוך החומר, נושא אשר נלמד לפני אנרגיה ודינמיקה, ואילו בשאלון המסכם הייתה משימה אחת בנושא אנרגיה ומשימה שנייה בנושא שיווי משקל כימי.

מיומנות ההנמקה נמדדה על ידי התאמת הכלים המוכרים בספרות (Toulmin, 1958; Zohar & Nemet, 2002; Osborne, 2006; Erduran and Simon, 2004; Tal & Kedmi, 2006) אגב שימת דגש על הקשר בין הנימוקים לתוכן הכימי. התאמה זו כללה תוספת של קריטריון הסוקר ביטויים לרמות ההבנה האופייניות לתחום הכימיה.

נתונים על תפיסות המורים ביחס למיומנות ההנמקה נאספו בעזרת שאלונים למורים וריאיונות עם מדגם של מורים.

## ממצאים

### 1. תפיסות מורים ביחס לדרישה להנמקה

המורים שלימדו את היחידה "אנרגיה בקצב הכימיה" התייחסו לשילוב מיומנות ההנמקה הן בהיבט של התלמידים והן בהיבט של המורים. בהיבט של התלמידים, ציינו המורים את היתרונות והקשיים שנובעים מדרישת ההנמקה שמופיעה ביחידה. בקטגוריית היתרונות לתלמידים עלה כי למורים גישה חיובית לפיתוח מיומנות ההנמקה, מפני שההנמקה מהווה אמצעי לשיפור ההבנה של הנושא הנלמד ומאפשרת את הצגת הידע שנרכש (ראו ציטטות בטבלה 1). עם זאת המורים מציינים כי לתלמידים קיים קושי להתבטא ולנסח תשובות בהרחבה.

בהיבט המורים נמצא כי המורים סוברים שנימוק משקף את מידת ההבנה של הלומדים, ולכן מהווה כלי הערכה עבור המורים. המורים סברו כי באמצעות התייחסות המורים לנימוקים ניתן לעצב את ההוראה, בשאיפה להשיג למידה משמעותית. מורים מביעים את הזדהותם עם הצורך לפתח מיומנות הנמקה בקרב תלמידים ומציינים כי מיומנות זו תסייע בידי התלמידים הן בכימיה והן בתחומי תוכן נוספים.

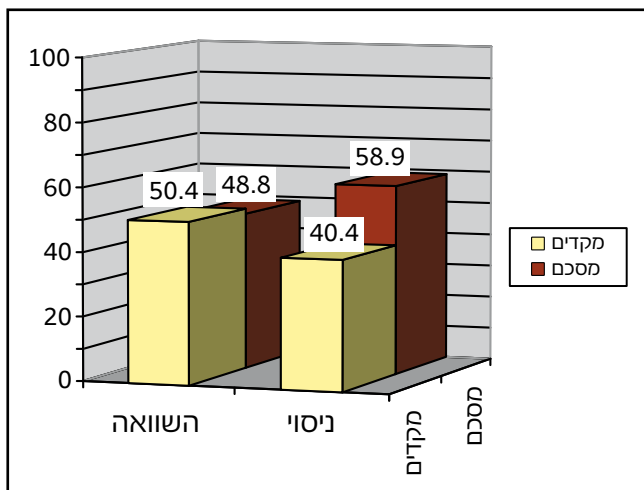
### 2. מיומנות הנמקה בקרב תלמידים

מיומנות ההנמקה של התלמידים נבדקה באמצעות שתי משימות, הן בשאלון המקדים והן בשאלון המסכם. נושא המשימות בשאלון המקדים היה קישור כימי, ואילו בשאלון המסכם התמקדה משימה אחת בנושא אנרגיה, והשנייה – בנושא שיווי משקל כימי.

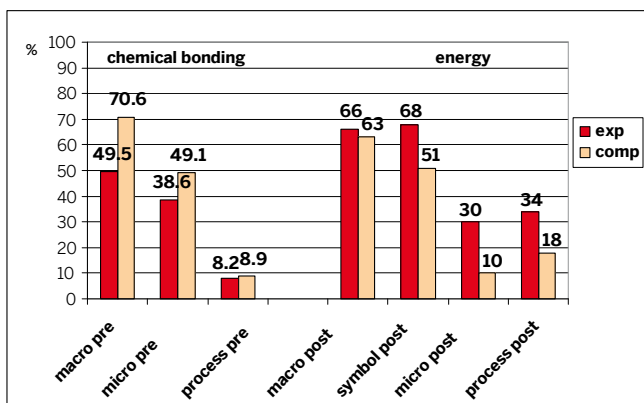
הערכת מיומנות ההנמקה בשאלון המקדים והמסכם התקבלה

קריטריונים בהיבט התלמידים		דוגמות מריאיונות עם המורים
יתרונות לתלמידים	פיתוח מיומנות במהלך התנסות	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ [התלמידים] היו חייבים ללמוד להתבטא באופן מילולי בכימיה (ד).</li> <li>■ הם למדו להשתמש במילים, למדו להשתמש במונחים, והגעת אתם למצב שהממוצע הכיתתי היה 80 ומשהו, שזה יפה (ד1).</li> <li>[הדרישה להנמקה] אילצה את התלמידים לנסות לנסח את התשובה שלהם [התלמידים] ברמות הנדרשות [רמות הבנה בכימיה] ולהשתמש במושגים שרכשו (ס).</li> </ul>
	העמקת הבנה בכלל ובכימיה בפרט	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ כתיבה מעידה על הבנה, ההבנה באה לידי ביטוי בנימוק (ג).</li> <li>■ נימוק משלים את ההבנה, הנימוק הוא חלק מהלמידה (א).</li> </ul>
קושי לתלמידים		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ההנמקה שנדרשת מתלמידים, זה לא קל להם לכתוב, יש כאלה ש[הם] מאוד ורבליים, אז קל להם, אבל רובם כותבים משפטים קצרצרים, ולפעמים אין קשר בין משפט למשפט (ד1).</li> <li>■ זה שכותבים זה קושי. מאוד קשה להם [לתלמידים], למשל במבחן האחרון זה היה עמודים של כתיבה (א).</li> </ul>

טבלה 1 | עמדות מורים כלפי דרישת ההנמקה ביחידה – התייחסות לתלמידים



איור 2 | ציוני מיומנות ההנמקה בשאלון המקדים ובשאלון המסכם בקרב שתי קבוצות המחקר



איור 3 | שכיחות רמות ההבנה בכימיה בתשובות למשימת הנמקה 1 בקרב תלמידי קבוצות ניסוי והשוואה

מניתוח תשובות התלמידים לשתי המשימות במשקל שווה לכל אחת.

נערכה השוואה בין הציון הממוצע עבור מיומנות הנמקה בשאלון המקדים ובשאלון המסכם, בקרב תלמידי קבוצת הניסוי ובקרב תלמידי קבוצת השוואה.

מחד, הציון הממוצע במבחן המקדים של תלמידי הניסוי נמצא נמוך באופן מובהק מהציון הממוצע עבור מיומנות זו בקרב תלמידי קבוצת השוואה ( $t=-3.0, p<0.005$ ). מאידך, הציון הממוצע עבור מיומנות ההנמקה בשאלון המסכם נמצא גבוה באופן מובהק בקרב קבוצת הניסוי בהשוואה לציון הממוצע עבור מיומנות זו בקרב תלמידי קבוצת השוואה ( $t=-3.0, p<0.005$ ). הממצאים הללו מוצגים באיור 2.

באיור 2 ניתן לראות את השיפור שחל במיומנות ההנמקה הכוללת בקרב תלמידי קבוצת הניסוי, ואת העובדה שלא חל שיפור בקרב תלמידי קבוצת השוואה, וזאת למרות הציון הגבוה יותר שהשיגו תלמידי קבוצת השוואה בשאלון המקדים.

### 3. ביטויים לרמות ההבנה בכימיה במשימות ההנמקה

סך כל הביטויים לרמות ההבנה השונות בתשובות למשימות ההנמקה חושבו באחוזים, ביחס לכלל מספר התלמידים בקבוצת המחקר הרלוונטית. כל התלמידים יכלו להתבטא ברמת הבנה אחת או יותר כך שתשובתם יכלה לכלול מספר רמות הבנה.

בשאלון המסכם היה נושא משימת ההנמקה 1 – אנרגיה, ונושא משימת ההנמקה 2 היה שיווי משקל כימי, ואילו בשאלון המקדים עסקו שתי משימות ההנמקה בקישור כימי. במטרה לחקור את הביטוי לרמות הבנה כימיות בנושאים השונים, ביצענו פעולת מיצוע בין ממצאי התשובות לשתי

משימות ההנמקה בנושא קישור כימי, בשאלון המקדים. באיור 3 מתוארת השוואה בין הביטויים של רמות ההבנה בכימיה, כפי שבאו לידי ביטוי בתשובות התלמידים בנושא אנרגיה – בשאלון המסכם, לעומת נושא הקישור הכימי – בשאלון המקדים. הן בשאלון המקדים והן בשאלון המסכם קיים מדרג בהופעת הרמות השונות: מספר גדול של ביטויים לרמות המאקרו – תופעה וסמל\*, לעומת מספר קטן יותר של ביטויים לרמות המיקרו (חלקיקית) ולרמת התהליך, וזאת בשתי קבוצות המחקר. הממצאים מראים כי למרות שבשאלון המקדים היה מספר כולל גדול יותר של ביטויים לרמות ההבנה השונות בקרב תלמידי קבוצת ההשוואה לעומת תלמידי קבוצת הניסוי, הרי בשאלון המסכם השתנה מצב זה לטובת תלמידי הניסוי. כמו כן, הפער בין תלמידי הניסוי ובין תלמידי ההשוואה מודגש במיוחד בסך מגוון הביטויים ברמה החלקיקית וברמת התהליך. פער זה גדול יותר בקרב תלמידי הניסוי בשאלון המסכם. שתי רמות הבנה אלו הן מורכבות, ולכן שיפור בהן מעיד על העמקת רמת הידע והחשיבה של התלמידים.

\*רמת הסמל אינה מופיעה במשימות ההנמקה בשאלון המקדים, מפני שהשאלות לא זימנו את האפשרות לביטוי ברמה זו.

## דיון והמלצות

הדרישה להנמקה בארבע רמות ההבנה בכימיה הופיעה לכל אורך היחידה, כסיוע להעמקת ההבנה המושגית בקרב התלמידים. חלק מן המורים הביעו אהדה לדרישת ההנמקה והעריכו כי היא טומנת בחובה יתרונות. אולם מורי הניסוי דיווחו גם על קושי של תלמידים בכתיבת ההנמקות.

למרות שהמורים הצביעו על הקשיים שחוו התלמידים, ממצאי המחקר מראים כי לאחר לימוד "אנרגיה בקצב הכימיה", חל שיפור מובהק במיומנות ההנמקה בקרב תלמידי קבוצת הניסוי. קביעה זו מתבססת על כך שממוצע הציונים של תלמידי הניסוי בשאלון המסכם היה גבוה באופן מובהק מממוצע הציונים של עמיתיהם בקבוצת ההשוואה, אשר נשאר כמעט ללא שינוי (כלומר, דומה לממוצע הציונים בשאלון המקדים), הן בנושא אנרגיה והן בנושא שיווי משקל כימי. ניתן להניח כי הסביבה הלימודית של היחידה "אנרגיה בקצב הכימיה" תורמת לשיפור מיומנות ההנמקה במיוחד באמצעות השילוב והדגש על הסברים המשלבים את ארבע רמות ההבנה בכימיה אגב חשיפה למגוון ייצוגים. שילוב זה אפשר מתן הזדמנות לחשיבה מעמיקה על התכנים וליצירת ארגון ידע באופן שמוביל לשיפור יכולת ההנמקה.

השיפור שחל במיומנות ההנמקה בקרב תלמידי קבוצת הניסוי כתוצאה מלימוד היחידה מרשים בשני היבטים. בהיבט התוכני, שיפור המיומנות חל בנושאי אנרגיה ודינמיקה, שהנם נושאים מורכבים בכימיה. בהיבט של יכולות התלמידים, השיפור התרחש בקרב תלמידים בעלי יכולת הנמקה נמוכה

– ציוני התלמידים בקבוצת הניסוי היו נמוכים באופן מובהק מציוני התלמידים בקבוצת ההשוואה בשאלון המקדים, כלומר, לפני לימוד היחידה.

כמו כן ממצאי המחקר מצביעים על עלייה משמעותית במספר הכולל ובאיכות הביטויים לרמות הבנה במשימות הנמקה בקרב קבוצת הניסוי. הדבר בולט לחיוב, הן על רקע מחקרים קודמים שדיווחו על קשיי תלמידים בנייתוח תופעות מחיי יום-יום על פי רמות הבנה בכימיה, והן על רקע קשיי המורים והתלמידים שעליהם דיווחו המורים במחקר זה.

המחקר בוצע בשנה הראשונה לניסוי בהוראת היחידה "אנרגיה בקצב הכימיה". עובדה זו השפיעה על המחקר מן ההיבטים האלה: א. היחידה הייתה במהדורת ניסוי לא צבוענית, והדבר עלול לפגוע בתרומתם של הייצוגים החזותיים; ב. מורי הניסוי לא היו מנוסים במאפיינים החדשים של יחידת הלימוד ועדיין הושפעו מהתכנית הקודמת; ג. המחקר התבצע בשנה הראשונה להפעלת תכנית הלימודים החדשה בכללותה, בעומס של תכנים ומיומנויות חדשות אשר השפיעו, ללא ספק, על ההוראה והלמידה בכל היחידות החדשות. עם זאת, המורים שהתנדבו ללמד את התכנית החדשה היו מורים השואפים להתקדם ולעבור תהליכי שינוי, ולכן נכונותם ליישם שיטות הוראה והערכה חדשות הייתה גבוהה.

מאחר שתחום הכימיה מופשט, עשוי להיווצר קושי בקרב תלמידים בנייתוח התופעות ברמות ההבנה השונות. לכן יש חשיבות מכרעת לתיוכם של המורים בתהליך הלמידה שעוברים התלמידים.

ניתן לשער כי מחקר נוסף שיבחן את השפעות הסביבה הלימודית של היחידה "אנרגיה בקצב הכימיה" על סביבות למידה דומות ללא המגבלות שחלו במחקר זה ותוארו לעיל, עשוי להוביל לתוצאות חיוביות אף יותר מאלה שנמצאו במחקר זה.

חשיבותו של המחקר הינה בפיתוח גישת הוראה והערכה המשלבת אימון במיומנויות חשיבה ברמה גבוהה והעמקה של ההבנה הכימית בקרב תלמידים הלומדים את הנושאים התאורטיים אנרגיה ודינמיקה בתגובות כימיות. הלמידה בגישת הוראה זו יוצרת זיקה הדדית בין פיתוח רמה גבוהה של מיומנויות חשיבה כגון ההנמקה, לבין למידת תכנים התואמים את התפיסות העדכניות בקהליה המדעית.

## תודות

מחקר זה מומן בחלקו על ידי מל"מ – המרכז הארצי להוראת המדעים והאגף לתכניות לימודים ובחלקו על ידי בית הספר ללימודי מוסמכים בטכניון.

תודה לדר' מרים כרמי – ראש צוות הפיתוח של "אנרגיה בקצב הכימיה", על שיתוף הפעולה בכתיבת היחידה.

## מקורות

כרמי, מ., וייסלברג, א. ודורי, י. (2007). אנרגיה בקצב הכימיה. המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים, הטכניון, חיפה. הוצאת יסוד, חולון.

Bunce, D. M. & Gabel, D. (2002). Differential effects on the achievement of males and females of teaching the particulate nature of chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 39 (10), 911-927.

Barnea, N. & Dori, Y.J. (2000). Computerized molecular modeling – the new technology for enhancing model perception among chemical educators and learners. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*. 1 (1), 109-120.

Dori, Y.J. & Hameiri, M. (2003). Multidimensional analysis system for quantitative journal of research in science teaching chemistry problems: symbol, macro, micro and process aspects. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(3), 278-302.

Johnstone, A.H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75 – 83.

Kaberman, Z. & Dori, Y.J. (2009). Question posing, inquiry, and modeling skills of chemistry students in the case based computerized laboratory environment. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 597- 625.

Kozma, R., Chin, E., Russel, J. & Marx, N. (2000). The role of representations and tools in the chemistry laboratory and their implications for chemistry learning. *Journal of Learning Sciences*, 9(3), 105-144.

Kuhn, D. (1993). Science as argument: implications for teaching and learning scientific thinking. *Science Education*, 77 (3), 319-337

Liu, X., Ebenezer, J. & Fraser, D.M. (2002). Structural characteristics of university engineering students' conceptions of energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 39 (5), 423-441

Mathewson, J.H. (1999). Visual-spatial thinking: an aspect of science overlooked by educators. *Science Education*, 83, 33-54

Mayer, R.E. (2002). Cognitive theory and the design of multimedia instruction: an example of the two-way street between cognition and instruction. *New Directions for Teaching and Learning*, 89, 55-71.

Osborne, J., Erduran, S. & Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41 (10), 994-1020.

Russel, J.W., & Kozma, R. (2005). Visualizations in chemical education. In J.K. Gilbert (Ed.). *Visualization in Science Education*. Springer, Dordrecht, The Netherlands.

Sasson, I. & Dori, Y. (2008). Near vs. far transfer skills in chemistry education, in press.

Tal, T., & Kedmi, Y. (2006). Teaching socioscientific issues: Classroom culture and students' performances. *Cultural Studies of Science Education*, 1, 4, 615-644

Toulmin, S.E. (1958). *The uses of argument*. Cambridge, England: Cambridge University Press

Treagust, D.F., Chittleborough, G. & Mamiala, T.L. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25 (11), 1353-1368.

Zohar, A. & Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39 (1), 35-62.