

למידת כימיה בדרך החקר

אבי הופשטיין*, רלי שור, מירה קיפניס ותמי לוי נחום

קבוצת הכימיה
המחלקה להוראת המדעים
מכון ויצמן למדע, רחובות

פברואר 2003

*Avi.Hofstein@weizmann.ac.il

למידת כימיה בדרך החקר

רקע כללי

בעשור האחרון, שבים וטוענים אנשי חינוך בכלל ואנשי הוראת המדעים בפרט, כי תפיסת המדע כחקר מהווה תשתית קוגניטיבית הכרחית לצורך הקניית אוריינות מדעית. מכאן שדיסציפלינת הוראת המדעים מחויבת לפיתוח תוכניות לימודים לצורך הארת השיטה המדעית הן במישור התיאורטי, כלומר לימוד המדע כחקר, והן במישור המעשי, באמצעות חקר.

בשנות התשעים, הציגו אנשי החינוך מטרות חדשות להוראת המדעים, המבוססות על הגישה הקונסטרוקטיביסטית. מטרת ההוראה אינה עוד העברת ידע, אלא פיתוח 'לומד חושב' בעל הכוונה עצמית. הדגש בלמידה אינו מושם עוד על שינון החומר, אלא על חקירה, שימוש בידע ובניית משמעות (בירנבוים, 1997). על מנת להגיע ללמידה משמעותית, אשר הנה מטרתה של גישה זו, צריך המורה להוביל את התלמיד לשותפות פעילה בתהליך הלמידה. המורה הופך ממקור של ידע למתווך בין התלמיד לידע, מכוון ומנחה אותו בתהליך הלמידה.

בתחילת המאה העשרים ואחת אנו בעיצומה של רפורמה בהוראת המדעים. הן התכנים והן דרכי למידת המדעים והוראתם עוברים עיון מחודש ונקבעים סטנדרטים חדשים לעיצובו של החינוך המדעי (NRC, 1996). סטנדרטים אלו חוזרים ומאששים את הגישה הגורסת כי החקר הוא נדבך מרכזי בדרך להשגת אוריינות מדעית. הלמידה על פי גישה זו, מבוססת על סביבה פעילה, וביצוע מטלות, כגון: פעילויות חקר, עבודה במעבדה, למידה עצמית, עבודה בקבוצות קטנות, ודיונים כיתתיים. נראה כי הוראה במעבדה, תוך ביצוע ניסויי חקר בקבוצות קטנות, הנה אסטרטגיית הוראה המבוססת על גישה זו. בדרך זו, בה התלמיד חוקר במעבדה, הוא הופך לשותף פעיל בתהליך הלמידה, מפתח ומשפר את יכולתו לשאול שאלות, לתכנן ניסוי, לחשוב באופן ביקורתי ולוגי לגבי התצפיות וההסבר המוצע להן ולנסח טענה מדעית אפשרית.

Bybee (1997), בהתייחסו לסטנדרטים שנקבעו (NRC, 1996), טוען כי הדגש בלימוד המדע, הן כחקר והן באמצעות חקר, הוא על היכולות הקוגניטיביות ולכן ההתמקדות צריכה להיות ביכולות חשיבה. מצבים בהם על התלמיד לחקור, מאפשרים פיתוח ושיפור מיומנויות ברמות חשיבה גבוהות. על פי סטנדרטים אלו, ההתייחסות לחקר היא בשני מובנים:

(1) חקר כהבנת התוכן, שבו ניתנת לתלמידים אפשרות לבנות מושגים ומודלים ולהעניק משמעות לרעיון כלשהו כדי להסביר תופעות בהן הם צופים ;
(2) חקר במובן של כישורים ומיומנויות (Bybee, 2000).

בקטגוריה של כישורים ומיומנויות, כולל Bybee את המיומנויות הבאות: שאלת שאלות, ניסוח השערות, תכנון וביצוע ניסוי מדעי, ניסוחם של הסברים ונימוקים מדעיים. רבים מן הכישורים הללו עולים בקנה אחד עם המיומנויות הנדרשות במהלך ביצוע ניסויי החקר. גישה זו, מציבה אתגרים לתלמידים ולמורים כאחד (Krajcik, Mamlok & Hug, 2001). פעילויות במעבדה ממלאות, מזה שנים רבות, תפקיד מרכזי בלימודי המדעים, ואנשי הוראת המדעים גורסים כי התלמידים מפיקים תועלת רבה מן המעורבות בפעילויות אלה (Hofstien & Lunetta, 1982 ; Lunetta, 1998; Garnett, Garnett, & Hackling 1995; Tobin, 1990; Hofstein & Lunetta,(2003) In Press.

באורח ספציפי, הם סבורים שבמעבדות החקר יש פוטנציאל לקידום למידה משמעותית בקרב התלמידים, להעמקת הבנתם את המושגים המדעיים ולהבנת אופיו של המדע. ניסויים במעבדה בדרך החקר יעילים במיוחד כשהם משתלבים עם מושגים הנלמדים בכיתה ועל ידי כך מבהירים ומעמיקים את הבנת מושגים אלו.

מחקרים על אפקטיביות הלמידה במעבדות

עבודות מחקר רבות יוחדו לבדיקת יעילותה החינוכית של העבודה במעבדה בחינוך המדעי מבחינת קידומן והשגתן של המטרות הקוגניטיביות, האפקטיביות והפסיכומוטוריות (Bryce & 1985; Hofstien & Lunetta, 1982; Blosser, 1983; Hodson, 1990; Robertson, 1994; Lazarowitz & Tamir, 1994; Hofstien & Lunetta, (2003) In Press). מסקירת מחקרים אלו עולה, כי על אף שלמעבדה תפקיד מוגדר ומרכזי בחינוך המדעי, על פי רוב, לא עלה בידי החוקרים, להוכיח את קיומו של יחס ישר בין התנסויות במעבדה ובין הישגי התלמידים. Hodson (1990), מותח ביקורת על העבודה במעבדה וטוען שהיא לרוב בלתי אפקטיבית ומבלבלת, מאחר שתכופות נעשה בה שימוש לא מושכל, ללא הצגת מטרה ברורה, וללא התמקדות מספקת בפעילויות האמיתיות אותן מבצעים התלמידים במעבדה. Tobin (1990), גורס, כי למידה משמעותית במעבדה אפשרית אם ניתנות לתלמידים הזדמנויות להשתמש בציוד ובחומרים באופן שיאפשר להם להבנות ולגבש את הידע שלהם על התופעות

הנדונות ועל המושגים המדעיים הנלווים אליהן. ואולם לפי טענתו, בדרך כלל, לא עלה בידי המחקר להביא ראיות לכך שהזדמנויות כאלה אכן ניתנות לתלמידים. Gunstone (1991), סבור כי עבודה במעבדה עשויה לאפשר לתלמידים לבנות ולגבש לעצמם את הידע; עם זאת הוא גם מבין שדעה זו היא נאיבית. ואכן התמונה הנוגעת לעבודה המעשית במעבדה, כפי שעולה מן התיאוריה הקונסטרוקטיביסטית, היא הרבה יותר סבוכה ממה שמקובל לחשוב. Gunstone & Champagne (1990), העלו גם את הסברה כי למידה אפקטיבית במעבדה תתרחש אם לתלמידים יינתנו די זמן והזדמנויות לאינטראקציה ולחשיבה כדי ליזום דיון. על פי Gunstone (1991), לא נעשה די שימוש בגישה זו, מאחר שהתלמידים במעבדה עוסקים בדרך כלל בפעולות טכניות ובפרוצדורות הנדרשות בניסוי ולא ניתנות להם הזדמנויות רבות לחקור, לחשוב ולהציג את פירושיהם ואת דעותיהם על פעילות זו או אחרת. כשהמעבדה מתוכננת כראוי, היא עשויה למלא תפקיד חשוב בהשגת מיומנויות קוגניטיביות כגון חשיבה מדעית, מיומנויות חקר והבנת התהליך המדעי. ניסיון לחקור את בניית המשמעות ברמה האישית בעבודה במעבדה נעשה על-ידי Keys, Hand, Vaughn, & Collins (1999). במחקרם, שנעשה בקרב תלמידי כיתה ח', הם מצאו ראיות לכך, כי שיטת למידה היוריסטית עזרה לתלמידים להפיק משמעות מנתונים ניסויים, לקשור קשרים בין תופעות, ראיות וטיעונים. גישה זו הניבה למידה משמעותית.

מחקרים בתחום זה, מצביעים על כך שאחת הבעיות המרכזיות בהערכת אפקטיביות הלמידה במעבדות, הנה העדר כלי הערכה שימושיים, תקיפים ומהימנים. המעבדה הוגדרה על-ידי Kelly & Lister (1969), ועל-ידי Tamir (1972, 1990), כאופנות למידה והוראה ייחודית ומובהקת השונה מצורות הוראה אחרות הנהוגות במדע. משום כך נדרשות עבודה גם שיטות הערכה ייחודיות. בדרך כלל, בשל אילוצים לוגיסטיים, וחוסר ניסיון בשיטות ודרכי הערכה חלופיות, נרתעים המורים למדעים מליישם כלי הערכה מעשיים (גם אם הם קיימים) במעבדות שבכיתותיהם. לאחרונה הציג Yung (2001), על סמך מחקר שנערך בהונג קונג, נתונים המצביעים על המורכבות שבביצוע הערכה במעבדות למדעי הטבע שבבתי-הספר. Yung טוען שהמורים צריכים להיות מודעים לפוטנציאל הטמון בהערכת תלמידיהם בכל הנוגע לשיפור ההוראה והלמידה. למרבה הצער, במקרים רבים, הערכת התלמידים מתבססת על מבחנים בכתב, שבדרך כלל אינם כוללים רבים מן המרכיבים החשובים של ביצועי התלמידים במעבדות בכלל, ובמעבדות המנוהלות בדרך החקר בפרט.

גם אווירת הלימודים בכיתה ובמעבדה, בשיעורי המדע, נחקרה בצורה נרחבת בשלושים השנים האחרונות, כדי לקבוע את היחס בינה לבין אסטרטגיות ההוראה ולעמוד על האינטראקציות החברתיות בין המורה לתלמידים, בין תלמידים לתלמידים, ובין תלמידים לחומר ההוראה תוך כדי תהליך ההוראה. מחקרים אלה מתומצתים בכמה סקירות שפורסמו, האחרונה שבהן היא זו של Fraser (1998). המטרה הכוללת היא ליצור סביבת למידה המאפשרת לתלמיד לקיים אינטראקציה מעשית ומנטאלית, (hands-on & minds-on) עם חומרי למידה באמצעות התנסות מעשית ופעילות חקר מושכלת (Tobin, Capie & , 1988) Bettencourt). כל אלה מסתכמים במטרה לגוון את שיטות ההוראה הנהוגות במקצועות המדע, גיוון שיביא לשיפור האווירה הלימודית בכיתה ובמעבדה. המעבדה תופסת מקום מרכזי במאמצים לבנות סביבה לימודית שבה התלמידים בונים את בסיס הידע שלהם ואת הבנתם בתחום המושגים המדעיים, בצד מיומנויות הקשורות בתהליך המדעי.

ההוראה במעבדה הנה אסטרטגיה ייחודית, המספקת אווירה לימודית ייחודית. Hofstien & Lunetta (2003) וכן Lazarowitz & Tamir (1994), סבורים כי לפעילויות במעבדה יש פוטנציאל לקידום של אינטראקציות קונסרק יחסים חברתיים קונסטרוקטיביים, וכן עמדות חיוביות כלפי המדע והתפתחות קוגניטיבית. פעילויות במעבדה דורשות עבודת צוות ושיתוף פעולה. האווירה הפחות פורמלית (בהשוואה לכיתה) וההזדמנויות לאינטראקציה רבה יותר בין התלמידים למורה ובין התלמידים לבין עצמם, יש בהן פוטנציאל לטיפוח אינטראקציה חברתית חיובית, ועל-ידי כך ליצירת אווירה לימודית חיובית ובונה (Lazarowitz, 1991; Tobin, 1990)

(Lazarowitz, Baird, Hertz-Lazarowitz & Jeninks 1985).

בנושא האווירה הלימודית במעבדה כתבו Lazarowitz & Tamir (1994), כי
"ההזדמנות לעבודה בקבוצות יש בה כדי להבהיר כיצד תלמידים משתפים פעולה
ועוזרים זה לזה. פעילויות למידה חברתיות אלה הן חיוניות לשליטה במושגים
מדעיים ובמיומנויות חקר, מאחר שהעבודה בקבוצה מחקה את צוותי המדענים
העובדים יחד על מחקר."

בנוסף לכל האמור לעיל, קיימות גם בעיות מתודולוגיות המקשות על קהיליית המחקר להציג תמונה ברורה בכל הנוגע לאפקטיביות הלמידה במעבדה כסביבה

המסייעת לתלמידים לפתח מיומנויות קוגניטיביות בכלל ומיומנויות חקר בפרט. עם הקשיים הללו נמנים :

- חוסר שליטה בסוג הפעילויות שבהן מעורבים התלמידים (Hofstien & Lunetta, 1982 ; Lunetta, 2002).
- לא ניתנת כמעט ללומדים הזדמנות להציג שאלות ביחס לתופעה נתונה, לערוך חקר מעשי, להוכיח ולבחון רעיונות שונים. במילים אחרות, במעבדה ניתנות לתלמידים הזדמנויות מעטות מאוד לשלוט בלמידתם ולפתח מיומנויות קוגניטיביות (Roth, 2001, Keys et al 1999, Baird, 1990, 1998).
- בהרבה מן ההתנסויות המעבדתיות, בהן מעורבים התלמידים, קיימת אי התאמה בין מטרות המורים בעבודה המעשית ובין ציפיות התלמידים בנדון (Wilkenson & Ward, 1997, Chang & Lederman, 1994).
- קיים מחסור בולט בכלים תקפים ושימושיים להערכת הישגיהם והתקדמותם של התלמידים במעבדות המופעלות בדרך החקר (Lazarowitz & Tamir, 1994). בנוסף לכך, מורים אינם רגילים להעריך על פי שיטות הערכה חלופיות ולכן מתקשים להעריך את תלמידיהם בעבודת המעבדה. כתוצאה מכך, ציוניהם הסופיים של התלמידים אינם כוללים את הישגיהם במעבדה. לפיכך, ייתכן מאוד שהתלמידים אינם תופסים את עבודת המעבדה כמרכיב חשוב ובלתי נפרד מלימודי מדעים בכלל, ובלמודי הכימיה בפרט.
- חוסר התפתחות מקצועית נאותה של המורים למדע שתכשיר אותם ללמד במעבדות החקר המתמקדות בתלמיד ולשמש כמסייעים ומנחים ולא רק כספקי מידע וידע מדעי (Gardiner & Farragher, 1997 ; Tamir, 1989).

התוכנית: "כימיה בגישה חוקרת"

בשנים האחרונות, פותחה בישראל, במסגרת לימודי הכימיה, תוכנית חדשה: "כימיה בגישה חוקרת" והיא מופעלת כיום בבתי הספר, בתשעים כיתות, על ידי כשמונים מורים. כדי לשלב ניסויי חקר בלימודי הכימיה בבתי הספר התיכוניים בישראל, עלה הצורך לפתח תוכנית לימודים ייחודית, הכוללת ניסויים בדרגות חקר שונות ובמקביל לפתח כלי הערכה מתאימים, ליישם אותה בכיתות ולהעריך את האפקטיביות החינוכית של הפעלת ניסויי חקר אלו. במהלך הפיתוח נעשו מאמצים רבים למזער ככל האפשר את הקשיים שצוינו בחלק הקודם. ההנחה היתה

שהשליטה בגורמים אלה, מאפשרת ליצור תנאים שבהם יינתנו לתלמידים הזדמנויות לבנות את הידע הדרוש להם, ליטול אחריות ולהשיג שליטה על תהליך למידתם. באופן מפורט יותר, המטרות היו:

- לפתח ניסויים בכימיה בדרך החקר, בהם התלמידים מעורבים באורח פעיל בשלבים השונים, וכן לתת לתלמידים הזדמנויות ייחודיות לחוות למידה ולבנות לעצמם ידע בדרך ישירה;
- לפתח כלי הערכה תקפים, מהימנים ונוחים לשימוש, לצורך הערכת הישגיהם והתקדמותם של התלמידים בניסויים כאלה. כלים אלו פותחו בהתאם לעקרונות ההערכה החלופית;
- לפתח תוכנית לקידום התפתחותם המקצועית של מורי הכימיה כדי לאפשר להם להפעיל את ניסויי החקר באופן יעיל ומשמעותי ולהעריך את תלמידיהם באופן מושכל;
- לחקור את השפעת המעבדה על למידת הכימיה בכלל ועל הקניית מיומנויות חקר בפרט.
- ליצור אווירת לימודים אפקטיבית ותומכת במעבדה על-ידי עריכת ניסויים בדרך החקר;

שלבי פיתוח התוכנית ויישומה

פיתוחה ויישומה של התוכנית כללו שלושה מרכיבים עיקריים, והם: פיתוח ניסויים בדרגות חקר שונות, פיתוח כלי הערכה מתאימים, וקידום התפתחותם המקצועית של המורים.

פיתוח ניסויים בדרך החקר

השלב הראשון של המחקר יוחד לפיתוח סידרה של כ- 50 ניסויים האמורים להשתלב בתכנית הלימודים הרגילה של מקצוע הכימיה בכיתות י"א ו י"ב בישראל. כיום כולל המאגר כמאה ניסויים, כאשר רוב הניסויים שולבו במסגרת הנושאים הבסיסיים הנלמדים במקצוע הכימיה, כגון חומצות-בסיסים, סטוכיומטריה, חימצון-חיזור, קישור, אנרגיה, שיווי-משקל כימי, מהירות תגובה ותרמודינמיקה. ניסויים אלו מרוכזים באתר האינטרנט: "כימיה בגישה חוקרת"*. שנבנה לצורך התוכנית. ניסויי החקר שפותחו כוללים מגוון של דרגות חקר, החל מניסויי חקר "פתוחים" לחלוטין, וכלה באלה שבהם נדרש התלמיד לחקור באופן חלקי בלבד. בניסויים בהם ניתנת לתלמיד שאלת החקר וההשערה, נדרש התלמיד

לעסוק בעיצוב ובתכנון ניסוי מתאים וכן בפירוש התוצאות ובהסקת המסקנות המדעיות; בניסויים אחרים נדרש התלמיד להעלות השערה מדעית ולהציג שאלות רלוונטיות. למורים ניתנת האופציה להתמקד במיומנויות מסוימות בהתאם למטרות ההוראה שלהם ולכישורים הקוגניטיביים של התלמידים. יצוין, שתלמידים הלומדים כימיה בשיטה שאינה כוללת ניסויי חקר עורכים ניסויים הנושאים בעיקר אופי של אישור הידע. על פי רוב הם עוקבים אחר ההנחיות לניסוי, המנוסחות בסגנון של "ספר בישול", ומבצעים אותן. לתלמידים אלה ניתנות הזדמנויות מעטות בלבד לפתח מיומנויות חקר.

בטבלה 1 מפורטים השלבים שעוברים התלמידים בביצוע ניסוי חקר מייצג, המכונה "ניסוי בצמד מבחנות". ניסוי זה ניתן לערוך כניסוי-מבוא בהקשר של לימוד הנושא העוסק בשינויי אנרגיה בריאקציות כימיות (לפרטים נוספים על הניסוי ראו נספח 1). יצוין שהתלמידים אינם מקבלים, בדרך כלל, מידע באשר לחומרים ולתגובה המתרחשת. דבר זה מבטיח שהתלמידים יתמקדו במשימה ויחקרו את התופעות בהן צפו, ללא הסחות דעת מיותרות.

להכניס טבלה 1 כאן

פיתוח ויישום כלי ההערכה

במסגרת פיתוחה של התוכנית, פותחו שני כלי הערכה בהם עושים המורים שימוש (לוי נחום, 2000). המורים משתמשים באופן רצוף בכלים אלה לצורך הערכת יכולות התלמידים והתקדמותם במהלך ביצוע ניסויי החקר. כלי ההערכה משלבים בהערכתה של קבוצה את מה שמכונה "דו"ח חס" ואת המעקב של המורה אחרי הפרטים בקבוצה. הדו"ח החס הוא תוצר של עבודה קבוצתית ומכינים אותו במעבדה במהלך הניסוי או מייד אחריו (דוגמא לדו"ח חס ראו נספח 2). כל חברי הקבוצה מקבלים הערכה זהה עבור הדו"ח המשותף שהגישו. הדו"חות מכונים "דו"חות חמים" מכיוון שהם נכתבים בזמן פעילות המעבדה והתלמידים אינם יכולים לשנותם לאחר הפעילות. דבר זה מבטיח שהמידע מהימן ומייצג את הפעילות שנעשתה בקבוצה. פיתוח כלי ההערכה כלל איתור קריטריונים להערכה וקביעת המשקל המיוחס לכל קריטריון. בפיתוח הכלים נטלו חלק פעיל מורי הניסוי שהשתתפו בסדנה מקצועית אינטנסיבית וארוכת טווח, שנועדה להכניס ליישום ניסוי החקר בבתי-הספר שלהם. פירוט הקריטריונים והמשקל המיוחס לכל קריטריון ראו טבלה 2.

(טבלה 2)

מן הראוי לציין שעל המורה למלא טבלה זו עבור כל תלמיד, בכל ניסוי. המורה רשאי להחליט אם להעריך את כל רכיבי הניסוי או רק את חלקם. ההחלטה תלויה במטרות שהציב לעצמו המורה, בהתאמה לרמת הכיתה, לנושא הנלמד באותו זמן ולמידת ההתקדמות בהקניית מיומנויות החקר.

במהלך פיתוח התוכנית, עברו כלי ההערכה שינויים במטרה להתאימם לשימוש המורים. שינויים אלו התבססו על המשובים שהתקבלו ממורי הניסוי שהשתמשו בכלים בכיתותיהם, ועל הדיונים שנערכו במהלך ההשתלמות המקצועית של מורי הניסוי. עיצוב כלי ההערכה והתאמתם לצורכי המורים בשטח, הביא לשיפור הכלים מבחינת תקפותם והפיכתם לשימושיים יותר על ידי המורים. מהימנותם של כלי ההערכה נבדקה על-ידי השוואת הערכותיהם של שני מעריכים שונים. נמצא כי מידת ההסכמה בין שני המעריכים היתה רבה. כפי שהוזכר לעיל, תלמידים יחידים הוערכו בהתבסס על תצפית ישירה של המורה, על פי מספר קריטריונים, כגון מיומנויות חברתיות ותרומתו של כל תלמיד לפיתוח שלבי החקר השונים בניסוי. סך-כל תוצאות ההערכה של ה"דו"חות החמים" ושל התצפיות הישירות של המורה בעשרים ניסויים בקירוב, שנערכו בתקופה של שנתיים, קובעות את ציוני התלמידים במעבדה. כיוון שתוכנית זו מהווה יחידת לימוד בכימיה, ההערכה שמקבל תלמיד בתוכנית זו מהווה כ- 20 אחוז מציון בחינת הבגרות של תלמיד הלומד כיום 5 יח"ל במקצוע זה.

התמקצעות מורי הכימיה

כדי ללמד מדע בדרך החקר חייבים המורים לעבור תהליך אינטנסיבי של התפתחות מקצועית מקיפה, שבמסגרתה יצוידו בידע ובמיומנויות הנחוצים. כדי שיוכלו להנחות את תלמידיהם בביצוע ניסויי החקר, המורים חייבים לעבור התנסויות בדרך החקר הדומות לאלה של תלמידיהם (Kennedy, 1998; Krajcik, 2001). Tamir (1989), גורס כי אין די בהשתלמות קצרה כדי לצייד את המורים בידע שיסייע להם לפעול בצורה מניחה את הדעת בשעורי המעבדה. זאת כיוון שבשיעורים אלה עליהם להתמקד בפעילות התלמידים ולהתמודד עם מצבים בלתי צפויים ובלתי מתוכננים. Marx., Freeman., Krajcik & Blumenfeld (1998), מצאו שבעבודת מעבדה נתקלים המורים תכופות בקשיים בנסותם לעזור לתלמידים לנסח שאלות חקר, לתכנן ניסוי מתאים ולהסיק מסקנות.

DeCarlo & Rubba (1994), מצאו, בקונטקסט של מעבדת הכימיה, כי בדרך כלל האינטראקציות בין מורה לתלמיד התבססו על שאלות פרוצדורליות שרמתן

הקוגניטיבית נמוכה יחסית. כדי להביא לשינויים של ממש בדעותיהם של מורים על תפקידם במעבדה, לשפר את יעילות ההוראה הנהוגה על ידם ולהפיג את חרדותיהם בכל הנוגע להתנסויות פתוחות במעבדה, יש צורך חיוני לאמץ תקנים חדשים של התפתחות מקצועית בקרב המורים למדע (Tobin, 1990). בעבר, השתלמויות מורים היו קצרות מועד, חד פעמיות, אקראיות ונועדו בעיקר להצגת ספר או תוכנית חדשה. אין עדות לכך כי מורים עברו שינוי מהותי אשר הכשיר אותם להוראה תוך שימוש באסטרטגיות חדשות או בגישות פדגוגיות שונות. הסטנדרטים בחינוך מדעי (NRC, 1996) ופרסומים נוספים

(Bell & Gilbert, 1996; Loucks-Horsley, Hewson, Love & Stiles, 1998) קובעים שכדי לחולל שינויים משמעותיים (מובהקים) בהתנהגותם של המורים ובסגנון ההוראה שלהם, עלינו להבטיח להם תכנית של התפתחות מקצועית ארוכת טווח ורציפה. התנסויות כאלה יש בהן כדי להעלות את המורים לרמת ידע גבוהה יותר (ידע תוכני ופדגוגי), ולהקנות להם יתר גמישות וביטחון בכל הנוגע לכישרם להפוך את המעבדה למקום שבו שוררת אווירת לימודים חינוכית יעילה.

כפי שצוין לעיל, כדי ליישם לימוד בדרך החקר בחדר הכיתה ובמעבדה, חשוב שלמורים יהיה ניסיון בכל הממדים הקוגניטיביים והשלביים המעשיים הנוגעים ללימוד כזה. מכלול זה כולל הצגת שאלות רלוונטיות, טיפול בבעיות בלתי צפויות ופתרון, יצירת תנאי ניסוי מתאימים לפתרון שאלות חקר, עבודה בקבוצות קטנות הבנויות על שיתוף פעולה, וכן ביצוע ניסויים. מורים המלמדים בדרך החקר חייבים לעבור משיטת הוראה פרונטלית, בה המורה במרכז, לשיטת הוראה בה התלמיד במרכז, פעיל ומעורב, תוך הקשבה לרעיונות ולשאלות שהוא מעלה. נוסף לכך, כדי שהמורים יהיו מודעים יותר לחשיבותה של הערכת התלמידים במעבדה הם עצמם זקוקים להכשרה וניסיון בשימוש בכלי הערכה שפותחו (Yung, 2001). מורי הניסוי בתוכנית "כימיה בגישה חוקרת" השתתפו בקורס-קיץ אינטנסיבי (56 שעות) שבו ניתנה להם הזדמנות לערוך כ- 25 ניסויים שבוצעו בקבוצות קטנות וכללו תרגול בשימוש בכלי הערכה. במהלך שנת הלימודים מורי הניסוי נפגשים פעם בחודש לחמש שעות. המורים מפעילים את דרך החקר בבת-הספר שלהם והתפתחותם המקצועית מלווה בתמיכה והנחיה רצופות. במהלך ההתפתחות המקצועית מתבקשים המורים למלא שאלוני משוב שבהם עליהם לדווח על בעיות שנתקלו בהן במרוצת היישום. המשוב שמתקבל מהמורים והדיונים שנערכים בינם לבין המנחים, במשך תהליך התפתחותם המקצועית, מסייעים לשפר את כלי ההערכה מבחינת מהימנותם, תקפותם ושימושיותם.

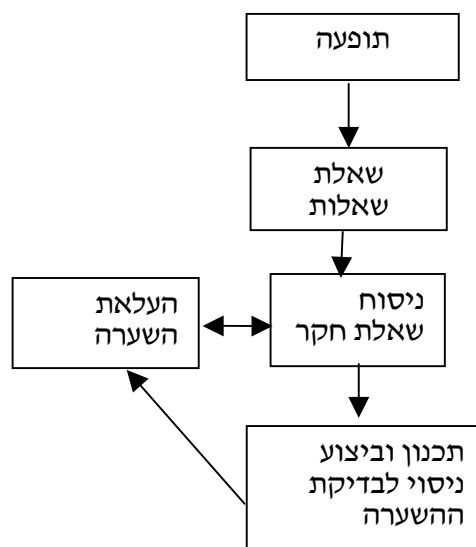
הפעלת התוכנית בכיתות

ניסויים בדרך החקר יושמו במעבדות הכימיה בבתי-הספר בישראל. כפי שצוין לעיל, היישום נעשה בנסיבות שבהן הובטחה שליטה אפקטיבית במשתנים, כגון: ההתפתחות המקצועית של המורים, הערכה רציפה של הישגי התלמידים במעבדה והקצאת זמן ואמצעים (חומרים וציוד) לביצוע ניסויים בדרך החקר.

התלמידים מבצעים את הניסויים במעבדת הכימיה בקבוצות קטנות (3-4), תוך התייחסות להנחיות שניתנו על ידי המורה. הרכב הקבוצות אינו קבוע ומשתנה בהתאם לשיקולי המורה ולמטרותיו. טבלה 1 מציגה את השלבים השונים שעוברת כל אחת מהקבוצות בתהליך השלמתה של משימת החקר. בשלב הראשון (שלב טרום-חקר) מתבקשים התלמידים לבצע את הניסוי בהתבסס על הוראות ספציפיות. שלב זה, הוא בעיקרו שלב "סגור" הכולל התנסויות מוגבלות מאוד בתחום הלימוד בדרך החקר. ב"שלב החקר" (השלב השני) עוסקים התלמידים בפעילות חקר פתוחה, הכוללת: הצגת שאלות רלוונטיות, העלאת השערות, בחירת שאלה להמשך החקר, תכנון ניסוי, ביצוע הניסוי (שצריך לכלול תצפיות), ולבסוף ניתוח הממצאים והסקת מסקנות. ההנחה היא, ששלב זה מאפשר לתלמידים ללמוד ולהתנסות בסוגיה מדעית מתוך מעורבות והבנה. יתר על כן, שלב זה נותן להם הזדמנות לבנות את הידע האישי על-ידי ביצוע עבודה מדעית בפועל.

רמת חשיבה גבוהה ומיומנויות קוגניטיביות מורכבות, נדרשות במהלך ביצוע החלק הראשון של השלב השני (ראו טבלה 2), בו מתבקשים התלמידים לבנות מודל מנטלי תוך העלאת השערות לגבי תופעה מדעית מסוימת. המודל מתואר באיור מס' 1.

איור מס' 1:



ניתוח והערכה ראשונית של התוכנית

ניתוח הדו"חות החמים

כאמור, כל קבוצה של תלמידים מכינה "דו"ח חם". דו"חות אלה נותחו תוך התייחסות לשאלות שהציגו התלמידים, לשאלת החקר שבחרו ולניסוי שהוצע כדי לבדוק את ההשערה באשר לשאלת החקר. ניתוח הדו"חות של הקבוצות העלה כי הודות לעריכת ניסויים בדרך החקר ניתנה לתלמידים הזדמנות לפתח הבנה לגבי תהליכי החשיבה המדעית, כלומר הצגת שאלות רלוונטיות, ניסוח השערות, ניסוח שאלות חקר, ולבסוף תכנון ניסוי הבודק את ההשערה. בסעיפים הבאים מובא מידע לגבי יכולות-החקר הנזכרות לעיל.

שאלת שאלות

בניסיון לפתח אוריינות מדעית בקרב התלמידים, על המורים לפתח אווירת למידה נינוחה שבה יינתנו לתלמידים הזדמנויות להציג שאלות רלוונטיות וסבירות מבחינה מדעית

(Penick, Crow, & Bonnsteter, 1996). כפי שצוין, הצגת שאלות היא עיקרון מרכזי בלמידה בדרך החקר.

כפי שמראה טבלה 4, רוב השאלות המוצגות על-ידי תלמידי י"א, שנמצאים בתחילת הדרך בפעילות החקר, הן שאלות תכניות ברמה נמוכה. רוב שאלותיהם מתייחסות להתנסויות מהזמן האחרון בכיתה או במעבדה. לדוגמה:

"האם החום הוא הגורם לשינוי במצבו (סובלימציה) של החומר האדום?"

בקרב תלמידי כיתה י"ב, אחרי שנה שלמה של התנסות בניסויי חקר, נוספה לשאלות התייחסות למשתנים נוספים וכן נכללו בהן מרכיבים כמותיים. לדוגמה, בהמשך לאותם הניסויים:

"מהו היחס בין כמות המים שמוסיפים לגופרת הנחושת לבין כמות האנרגיה

המשתחררת?"

אפשר כמובן לטעון כי ההבדלים בין תלמידי י"א לי"ב נובעים מההבדלים בניסיון שהם צברו בלמידת מושגים בכימיה. אולם בניתוח הדו"חות שהוכנו על-ידי קבוצות של תלמידי י"ב שהיה להם ניסיון מועט בלבד בניסויים בדרך החקר, נמצא כי ביצועיהם ביכולות החקר השונות נפלו מאלה שהיה להם ניסיון רב יותר בניסויים בדרך זו (ראו טבלה 4).

ניסוח שאלת חקר ותכנון ניסוי

בניסוי הספציפי המוצג כאן (ראו נספח 1) ניתנה לתלמידים האפשרות לבחור שאלת חקר מדעית, לנסח השערה ולתכנן ניסוי המתאים לבדיקת ההשערה. בניתוח הדו"חות החמים עלו הממצאים הבאים: תלמידים מנוסים יותר (אחרי ניסיון של

שנה בניסויים בדרך החקר), הציגו שאלות חקר כמו: "מהו היחס בין כמות המים שמוסיפים לגופרת הנחושת לבין כמות האנרגיה המשתחררת?"

תלמידים שהציגו שאלה זו הציגו לערוך את הניסוי הבא: "נכניס כמות שווה של אבקה לבנה לשתי צנצנות. לכל כוס נוסיף כמויות מדודות ושונות של מים. הטמפרטורה תימדד לפני ואחרי הוספת המים. נחשב את כמות החום המשתחררת תוך שימוש בשיטה קלורימטרית." תלמידים אלה, שהיו בעלי ניסיון רב יותר בשיטות חקר במעבדה, הציגו שאלות ברמה קוגניטיבית גבוהה יותר, ניסחו אותן בשפה מדעית יותר ותכננו ניסוי עם בקרה על המשתנים (כמות המים והטמפרטורה). כמו כן היה ביכולתם להציע ניסוי הקשור קשר הדוק לשאלה הספציפית שנשאלה. לעומת זאת, תלמידים בעלי ניסיון מועט יותר הציגו את השאלה הבאה:

"האם קיים יחס כלשהו בין כמות המים המזוקקים המוספים ובין כמות החום המשתחררת?"

הניסוי שהציגו תלמידים אלה כדי לבדוק את שאלת החקר היה זה: "נכניס שתי מבחנות ובהן החומר הלבן לשתי צנצנות מלאות מים; לכל מבחנה נכניס מדחום. למבחנה הראשונה נוסיף שתי טיפות מים ולשנייה שש טיפות מים ונמדוד את הטמפרטורה."

יצוין כי על אף שתלמידים אלה הציגו שאלה בעלת אופי כמותי, הם לא הציגו דרכי שליטה במשתנים הכרוכים בניסוי, כלומר כמות החומר המוצק (גופרת נחושת) וכמות המים המוספת. כמו כן התלמידים בעלי הניסיון המועט יותר הציגו מערך ניסויי שהוא רלוונטי רק באופן חלקי לשאלתם.

ממצאים דומים נתקבלו בנוגע לשאלות האיכותיות. הן התלמידים המנוסים והן הפחות מנוסים הציגו את השאלה הבאה:

"מה גרם ליוד להמריא? האם החום גרם לכך?"

אולם התלמידים המנוסים יותר (כיתה י"ב) הציגו את הניסוי הבא כדי לבחון את השאלה:

"נערוך ניסוי הידוע כאקסותרמי ונראה אם היוד ממריא."

מצד שני, התלמידים הפחות מנוסים (כיתה י"א) הציעו לערוך ניסוי שהיה יותר מורכב ופחות מתוחכם, תוך בקרה לא מספקת על משתני הניסוי. כמו כן נמצא, כי התלמידים המנוסים יותר הציעו להשתמש בציוד מתקדם יותר, בעוד הבלתי מנוסים הציעו שיטות וציוד פשוטים (כמו למשל חימום החומר במבחנה). נוסף לכך, תלמידים מנוסים הציעו ניסויים שבמקרים מסוימים כללו כמה שלבים, בעוד שהתלמידים הפחות מנוסים הציעו ניסויים חד-שלביים, ללא צעדים ניסויים נוספים או חישובים משלימים. לסיכום, דוגמאות אלה מראות כי התנסויות החקר נותנות לתלמידים הזדמנויות לפתח הבנה של תהליכים מדעיים. כמו כן הוברר כי תלמידים מנוסים שיפרו את ביצועיהם במיומנויות אלה. ריכוז תוצאות הביצועים של התלמידים מוצגת בטבלה 3.

פיתוח מיומנויות מטה-קוגניטיביות

מעבדת החקר נותנת לתלמידים הזדמנויות לפיתוח מיומנויות מטה-קוגניטיביות. Baird (1990) טוען, כי המטה-קוגניציה, בהקשר זה, מתייחסת לשלושה תחומים: ידע מטה-קוגניטיבי הכולל את ידע התלמיד לגבי דרכי הלמידה שלו, מודעות מטה-קוגניטיבית הנובעת משאלות מכוונות של התלמיד המלוות תהליכי חשיבה, ושליטה מטה-קוגניטיבית הקשורה בהחלטות הלומד כיצד לבצע משימה. מעבדת החקר מאפשרת לתלמיד לפתח את שלושת התחומים האלה. בסוף כיתה י"ב התבקשו חלק מהתלמידים שלמדו בגישה חוקרת לכתוב רפלקציה על פעילות המעבדה שהשתתפו בה. בחיבוריהם של התלמידים ניתן למצוא משפטים רבים המעידים על כך שהתפתחו אצלם מיומנויות מטה-קוגניטיביות והם מיחסים התפתחות זו לפעילות המעבדה במסגרת התוכנית "כימיה בגישה חוקרת". דבריהם של התלמידים מתייחסים לתחומים השונים של המטה קוגניציה, כפי שהוגדרו על ידי Baird.

תלמיד בעל **ידע מטה קוגניטיבי** הוא תלמיד המודע לדרכי הלמידה שלו, כלומר, יודע אילו דרכי למידה הן אפקטיביות לגביו. כדי להגיע לכך, עליו להתנסות בדרכי למידה שונות. מעבדת החקר מאפשרת לו התנסויות כאלה, בנוסף לדרך הלימוד המסורתית. הציטטות הבאות מעידות על כך שהתלמידים נחשפו לדרכי למידה חדשות המאפשרות להם לרכוש ידע ולהבנותו במוחם בצורה שונה מהדרך בה הם רגילים לעשות בלימודיהם בבית הספר, ושדרך למידה חדשה זו עדיפה בעיניהם על הדרך המסורתית.

*"למדתי המון גם מחברי הקבוצה שהיו אתי"
"ניתן דרך המעבדה ללמוד ולהפנים היטב את החומר שנלמד בכתה"
"דרך הניסויים האלו מבינים טוב יותר ולעומק את החומר הנלמד בכתה"
"כשעובדים בצוות יש בין חברי הצוות הפריה הדדית של רעיונות, של צורת עבודה
ושל צורות חשיבה שונות"
"המעבדות תרמו לי אישית להבנת החומר הנלמד. זו תמיד היתה עוד חזרה על
משהו שפיספסתי בכתה"
"ניסויי החקר גרמו לנו ליישם עצמאית מתוך מחשבה את החומר הנלמד, כלומר
גרמו לנו לעבד אותו בעצמנו"
"אני חושב שבלי הניסויים לא הייתי מבין באמת לעומק את החומר הנלמד"*

תלמיד בעל **מודעות מטה קוגניטיבית** הוא תלמיד המודע למעשיו בעת תהליך הלמידה. כאשר מדובר בעבודת מעבדה, התלמיד שואל את עצמו (ועונה): מדוע אני עושה כך? פעילות כזאת היא בלתי נמנעת במעבדת חקר, בה התלמיד מתכנן בעצמו את מהלך הניסוי, עליו להחליט על דרך ביצוע הניסוי ולהבין מהי המטרה של כל שלב ופעולה. לעומת זאת, בניסוי "ספר בישול", שנהוג במעבדות מאשרות, התלמיד יכול לעבוד לפי הוראות שהונחתו עליו, והניסוי יכול "להצליח" בלי שהתלמיד יבין את מטרתה של כל פעולה. התלמידים מעידים על פיתוח מודעות כזו כשהם כותבים:

*"למדתי להעלות שאלות חקר לגבי כל ניסוי וניסוי והבנתי באמצעותן כיצד כל ניסוי מוביל אותך, למעשה, לחקירה וביצוע של ניסויים נוספים"
"לפעמים יש קשיים טכניים במהלך הניסוי שיוצרים תוצאות שונות מהמצופות אך למרות זאת ניתן להתגבר על קשיים אלו ולבדוק את התוצאות בדרך אחרת"
"הניסויים הציבו אותנו בפני בעיות ואתגרים והכריחו אותנו להתמודד אתם ולפתור אותם"*

התלמידים שכתבו את המשפטים האלה נתקלו בבעיות במהלך ביצוע הניסוי, מכיוון שמהלך הניסוי היה שונה ממה שציפו. הודות למודעות המטה קוגניטיבית שהתפתחה אצלם, הם היו מסוגלים לשאול ולהבין מה השתבש בעת ביצוע הניסוי בהשוואה לתכנון, וידעו לשנות את הניסוי ולהתגבר על האירועים הבלתי צפויים שהתרחשו.

שליטה מטה-קוגניטיבית קשורה לאחריות התלמיד על ביצוע המשימה מתחילתה ועד סופה. כשהתלמיד הוא בעל שליטה מטה-קוגניטיבית, הוא יכול להחליט מהם הצעדים שבהם עליו לנקוט, באיזה סדר לבצע אותם ומתי המשימה מסתיימת.

במעבדת החקר יש לו אפשרות לתרגל פעולות הדורשות שליטה מטה-קוגניטיבית. עדויות להתפתחות שליטה מטה-קוגניטיבית ניתן למצוא בדברי התלמידים הכותבים :

"מתוך העבודה במעבדה למדתי במשך הזמן לארגן את החומר ואת שלבי העבודה במהירות ובשיטתיות"

"למדתי להיות עצמאית, ולשם שינוי, אחרי 11 שנות לימוד שבהן רק עשיתי מה

שאמרו לי, פה למדתי לחשוב, לתכנן ולבצע ניסוי שהוא שלי"

תלמידים אלו מודעים לאחריותם לביצוע המשימות ומסוגלים לתכנן אותן ולבצען מתחילתן עד סופן.

לשלב טבלה 3 כאן

במחקר השוואתי שבוצע במחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע (Hofstein, Shore & Levy Nahum, 2001), נבדקה תפיסת התלמידים את אוירת הלימודים במעבדת הכימיה. נערכה השוואה בין תפיסת תלמידים, שלמדו על פי התוכנית "כימיה בגישה חוקרת" (קבוצת ניסוי), לבין זו של תלמידים שלא למדו על פי תוכנית זו (קבוצת ביקורת). במחקר זה נעשה שימוש במכשיר להערכת אוירת הלימודים במעבדות מדע, שפותח על ידי Fraser, McRobbie & Giddings (1993). נערכה השוואה בין האווירה המועדפת במעבדת הכימיה לבין האווירה בפועל. השוואה זו העלתה, כי למידה בדרך החקר השפיעה על צמצום משמעותי במובהקות ההבדלים. קבוצת הניסוי מצאה את אוירת הלמידה בפועל מותאמת יותר לאווירה המועדפת על ידה, בהשוואה לקבוצת הביקורת.

מסתבר, אפוא, שלמעבדת החקר הייתה השפעה משמעותית על יצירת אוירת הלימודים. תלמידים הלומדים כימיה בדרך החקר מצאו את אוירת הלימודים במעבדה חיובית יותר, תכליתית יותר וכזו המספקת הזדמנויות רבות יותר למעורבות התלמידים בתהליך הלמידה. תמיכה לממצאים אלו, נמצאה בראיונות שקיימו החוקרים עם התלמידים שלמדו "כימיה בגישה חוקרת". תלמידים אלו השתתפו שנה אחת לפחות בתכנית זו (המובאות לוקטו מארבע כיתות בבת-ספר שונים). התלמידים ציינו כי התנסויותיהם במעבדה היו מעניינות, וכי באמצעותן ניתנו להם הזדמנויות להשתתף באופן פעיל בפיתוח מיומנויות מדעיות ולהשיג שליטה בלימודיהם. להלן מספר מובאות מדברי התלמידים :

- (1) " [העבודה במעבדה] נתנה לי הזדמנות לפתח חשיבה עצמאית."
- (2) " אנו חושבים שניתנו לנו הזדמנויות ללמידה אמיתית. למשל, כאשר עשינו שגיאה בתכנון של ניסוי מסוים היה עלינו לחשוב שנית ולחזור ולתכנן את הניסוי."
- (3) " כשאנו עורכים ניסוי בדרך החקר, ניתנת לי הזדמנות לחשוב בצורה ביקורתית על נתוני הניסוי ותוצאותיו."
- (4) " הניסויים היו קשורים לנושאים ולגישות שדנו בהם בשעורי הכימיה; זה עזר לי להבין טוב יותר את מה שלמדנו."
- (5) " נהייתי להתחלק ברעיונות ולשתף פעולה עם התלמידים האחרים בקבוצה."
- (6) " המורה היה תמיד זמין ומוכן לעזור, לתמוך ולעודד."
- (7) "מצאתי שהחלק הקשה יותר בתרגיל החקר היה תכנון מערך הניסוי והצגת שאלות רלוונטיות. אבל היה בזה אתגר גדול."
- (8) " נהייתי מהעבודה במעבדה בשעורי הכימיה."

אנו מניחים כי פריטים 1-4 מתייחסים למודעותו של התלמיד לתהליך הלמידה ולהתפתחותו הקוגניטיבית. אשר לפריט 5 התלמידים ציינו כי לימוד תוך שיתוף פעולה במעבדה סייע להם לבנות את הידע שלהם. נוסף לכך הם ציינו שלכל חבר בקבוצה ניתנה הזדמנות לתרום לדיון כדי להגיע למטרה המשותפת ולהפיק מוצר משותף. מסתבר ש בדרך כלל התלמידים מצאו כי ההתנסות במעבדה הייתה מאתגרת (פריט 7) ונתנה להם הזדמנות (לרבות זמן) להיות מעורבים יותר בתהליך הלמידה ובבניית הידע שלהם. בנוסף ציינו התלמידים כי בזמן עבודתם במעבדה חבריהם הושיטו להם עזרה ותמיכה ולא רק מידע על התוצאות (פריט 6).

דיון מסכם

כפי שמראה טבלה 3, תלמידים שבצעו ניסויי חקר שיפרו את יכולתם להציג שאלות מדעיות; ליתר דיוק, ניתן להבחין בשינוי משמעותי בסוג השאלות שהוצגו, כלומר יותר שאלות בעלות אופי כמותי, ושאלות רבות יותר הקשורות לחקר במעבדה.

Welch, Klopfer, Aikenhead & Robinson (1981), תיארו את הלמידה בדרך החקר כקשורה בדרך כלל למעורבות רבה יותר של התלמידים בתהליך הלמידה. לדוגמה, תלמידים הלומדים בדרך החקר מנסחים בעצמם את שאלותיהם והשערותיהם ואינם מסתמכים רק על המורה או על ספרי הלימוד.

באשר לתכנון ניסויים נמצא כי תלמידים מנוסים בתחום ניסויי החקר הציעו ניסויים שבהם בלטה השליטה במשתנים השונים. כמו כן, תלמידים פחות מנוסים הציעו דרכים וכלים פשוטים, בעוד התלמידים המנוסים יותר בתכנון ובביצוע ניסויי חקר הציעו שימוש בציוד ובכלים מתוחכמים ומתאימים יותר לאופי הניסוי ולמטרת החקר. מאחר ומיומנויות החקר הן יחודיות ואינן קשורות בהכרח בתכנים, יש מקום לטעון שהואיל והרקע התכני של תלמידי כיתות י"א וי"ב הוא דומה (בכל הנוגע למושגי היסוד בכימיה שהוזכרו לעיל), הרי שמיומנויות החקר שופרו במידה משמעותית עם חלוף הזמן והצטברות הניסיון.

הפעילויות שבהן היו מעורבים התלמידים בפרוייקט הנדון עולים בקנה אחד עם עמדתו של Tobin (1990), שטען כי "מרכיב חיוני בלמידה בפעילויות מעבדה הוא המאמץ להבטיח לכל תלמיד אפשרויות לחשוב על הממצאים, להבהיר הבנות ואי-הבנות עם בני גילו, ולהיוועץ במגוון של מקורות, ביניהם תלמידים אחרים, המורה, ספרים וחומרים" (עמ' 415). גם Baird (1990), כתב כי: "חקר תכליתי אינו מתרחש באופן ספונטני – יש ללמוד אותו" (עמ' 184).

מטרת תוכנית זו היא להעניק לתלמידים הזדמנויות ללמוד וליטול אחריות ללמידתם על-ידי עריכת ניסויים בדרך החקר. מהכתוב לעיל נראה כי תלמידים שלמדו על פי התוכנית "כימיה בגישה חוקרת" שיפרו את כושרם להציג שאלות טובות ורלוונטיות יותר וכן את תפיסתם לגבי אווירת הלימודים במעבדה.

סיכום

לימוד מדע בדרך החקר מומלץ בספרות כשיטה יעילה ואוטנטית שבה משתמשים התלמידים כדי לפתח ולבנות בסיס של ידע והבנה לגבי רעיונות ומושגים מדעיים. יתר על כן, היא מעניקה למורה במקצועות המדע אמצעי לשיפור ההוראה שעתיד להביא לאווירת למידה משופרת.

סטנדרטים חדשים ההולכים ומתגבשים בחינוך המדעי משקפים את החזון העכשווי בכל האמור בתכנים, בפדגוגיה, בהערכת תלמידים באווירה הלימודית בכיתה ובתמיכה הדרושה כדי להבטיח חינוך איכותי לכלל התלמידים. אנו פועלים בתקופה שבה אנו עדים לתחייתה של גישת החקר בהוראת המדעים ובלמידת המדעים.

הפעלתה של תוכנית זו, בישראל, היא חיונית ומשפרת את הוראת הכימיה ולמידתה.

לסיכום, בהתבסס על ממצאים אלה, נראה כי תלמידים שאינם לומדים על פי תוכנית זו, אינם מקבלים את הזמן הדרוש ואת ההזדמנויות הנחוצות למעורבות דומה בתהליך הלמידה ובמיומנויות-למידה כמקובל בדרך החקר. בהתבסס על התצפיות שלנו, על שאלוני המשוב ועל הראיונות שקיימנו עם המורים, נראה כי פיתוח מקצועי אינטנסיבי של המורים חיוני ליישום תכנית זו. כשהמורים נשאלו על התכנית "כימיה בגישה חוקרת", תשובתם הייתה שהיא:

(1) "עולה בהחלט בקנה אחד עם אופן חשיבתי ביחס לצורת ההוראה שלי וצורת הלמידה של תלמידי".

(2) "מעבדת החקר ציידה אותי בשיטה חדשה להערכת התקדמותם של תלמידי".

(3) "היא עזרה לי לגוון את דרכי הוראת הכימיה בבית-הספר התיכון".

(4) "מעבדת החקר ציידה אותי בשיטה נוספת להערכת התקדמותם של תלמידי".

(5) "אני נהנה מגמישות בבחירת רמת החקר שתהלוך את הכשרים והעניין של תלמידי".

הן המורים והן התלמידים שהיו מעורבים במחקר זה מצאו שהתכנית היא מאתגרת ומהנה. באשר להערכת התלמידים, ניתנה למורים הזדמנות להרחיב את טווח המיומנויות שבהן הוערכו התלמידים.

אנו סבורים כי תלמידי הכימיה שהשתתפו בתכנית זו קיבלו הזדמנויות ייחודיות להיות מעורבים באורח פעיל בתהליך למידה ראוי לשמו במעבדה. הנהגת ניסויי חקר במעבדת הכימיה הייתה בבחינת שינוי וחינוך האופן שבו מלמדים ולומדים כימיה, באופן שבו מעריכים תלמידים, ובמאמץ שלנו לשפר את התפתחותם המקצועית של המורים. ראיה לכך שמורים, תלמידים והנהלות בתי הספר מיחסים חשיבות לתוכנית זו היא העובדה שהתוכנית צמחה משלוש כתות בשנת הלימודים תשנ"ח לכ- 90 כתות בשנת הלימודים תשס"ג.

- Baird, J. R. (1998). A view of quality in teaching. . In J.B. Fraser & K.G. Tobin (Eds.) *International handbook of science education*, (pp. 153-165). Kluwer. Academic Publishers.
- Baird, J.R. (1990). Metacognition, purposeful enquiry and conceptual change. In E. Hegarty-Hazel (Ed.). *The student laboratory and the science curriculum*, (183-200). Routledge, London.
- Bell, B., & Gilbert, J. (1996). *Teacher development: A model from science education*. London: Falmer Press.
- Blosser, P. E. (1983). What research says – The role of the laboratory in science teaching. *School Science and Mathematics*, 83(2), 165-169.
- Bryce, T.G.K., & Robertson, I.J. (1985). What can we do? A review of practical assessment in science. *Studies in Science Education*, 12, 1-24.
- Bybee, R. W. (2000). In J. Minstrel & E.H. Van-Zee (Eds.). *Inquiring into inquiry learning and teaching in science*. Washington DC; AAAS.
- Bybee, R. W. (1997). *Achieving scientific literacy*. London: Heineman.
- Chang, H. P., & Lederman, N. G. (1994). The effect of levels of cooperation with physical science achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 167-181.
- DeCarlo, C. L., & Rubba, P. A. (1994). What happens During high school chemistry laboratory sessions? A descriptive case study of the behaviors exhibited by three teachers and their students. *Journal of Science Teacher Education*. 5(2), 37-47.
- Fraser, B. J. (1998). Classroom environment instruments: Development, validity and applications. *Learning Environments Research*; 1 (1), 7-33.
- Gardiner, P., & Farragher, P. (1997). The quantity and Quality of biology laboratory work in British Columbia high schools. A paper presented at the National Association for Research in Science Teaching (NARST), Oak Brook.
- Garnett, P. J., Garnett, P. J., & Hackling, M. W. (1995). Refocusing the chemistry lab: A case for laboratory-based investigations. *Australian Science Teachers Journal*, 41(2), 26-32.
- Gunstone, R. F. (1991). Reconstructing theory from practical experience. In B. Woolnough (Ed.). *Practical Science*, 67-77; Milton Keynes: Open University Press.

Gunstone, R.F., & Champagne, A.B. (1990). Promoting conceptual change in the laboratory. In E. Hegarty-Hazel (Ed.) *The student laboratory and the science curriculum*. (London: Routledge).

Hodson, D. (1990). A critical look at practical working school science. *School Science Review*, 70, 33-40.

Hofstein, A., Levy Nahum, T., & Shore, R. (2001). Assessment of the learning environment of inquiry-type laboratories in high school chemistry. *Learning Environments Research*, 4, 193-207.

Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (1982). The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, 52 (2), 201-217.

Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2003). The laboratory in science education: Foundation for the 21st century. *Science Education*. In Press.

Kelly, P. J., & Lister, R. (1969). Assessing practical ability in Nuffield A-level biology. In J.F. Eggleston & J.F. Kerr (Eds.). *Studies in assessment*, (pp. 129-142). London: English Universities Press.

Kennedy, M. M. (1998) The relevance of content in in-service teacher education. A paper presented at the annual meeting of AERA (American Education Research Association), San Diego, CA.

Keys, W.C., Hand, B., Vaughn, P., & Collins, S. (1999). Using the science writing heuristic as a tool for learning from laboratory investigations in secondary science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 1065-1084.

Krajcik, J., Mamlok, R., & Hug, B. (2001). Modern content and the enterprise of science: Science education in the twentieth century. In L. Corno (Ed.). *Education across a century: The centennial volume* (pp. 205-238). National Society for the Study of Education, Chicago, Illinois.

Lazarowitz, R. & Tamir, P. (1994). Research on using laboratory instruction in science. In D.L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning*, (pp.94-128) Macmillan Publication Company.

Lazarowitz, R. (1991). Learning biology cooperatively: An Israel junior high school study. *Cooperative Learning*, 11, 18-20.

Lazarowitz, R., Baird, J.H., Hertz-Lazarowitz, R., & Jenkins, J. (1985). The effect of modified jigsaw on achievement, classroom social climate and self-esteem in high school science classes. In R. Slavin, S. Sharan, R. Kagan, R. Hertz-Lazarowitz, C. Webb, & R. Schmuck (Eds.), *Learning to cooperate, cooperating to learn* (pp. 231-253). New York: Plenum.

- Loucks-Horsley, S., Hewson, P.W., Love, N., & Stiles, K.E. (1998). *Designing professional development for teachers of mathematics and science*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- Lunetta, V.N., (1998). The school science laboratory: Historical perspectives and contexts for contemporary teaching. In J.B. Fraser & K.G. Tobin (Eds.), *International handbook of science education*, Part One, (pp. 249-262). Kluwer Academic Publishers.
- Marx, R.W., Freeman, J.G., Krajcik, J.S., & Blumenfeld, P.C. (1998). Professional development of science teachers. In B.J. Fraser & K.G. Tobin (Eds.), *International handbook of science education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- National Research Council, (1996). *National Science Education Standards*. Washington DC: National Academy Press.
- Penick, J.E., Crow, L.W., & Bonnsteter, R.J. (1996). Questions are the answers. *The Science Teacher*, 63, 26-29.
- Roth, W.M. (2001). Hands on learning yield budding scientists. Uvic KnowLEDGE: Research and discovery at the University of Victoria. 2 (8).
- Tamir, P. (1972). The practical mode: A distinct mode of instruction. *Journal of Biological Education*, 6, 175-182.
- Tamir, P. (1989). Training teachers to teach effectively in the laboratory, *Science Education*, 73(1), 59-69.
- Tamir, P.(1990). Evaluation of student work and its role in developing policy. In E. Hegarty-Hazel (Ed.) *The student laboratory and the science curriculum*. London: Routledge.
- Tobin, K. (1990). Research on science laboratory activities: In pursuit of better questions and answers to improve learning. *School Science and Mathematics*, 90 (5), 403-418.
- Tobin, K., Capie, W., & Bettencourt, A. (1998). Active teaching for higher cognitive learning in science. *International Journal of science Education*, 10, 17-27.
- Tobin, K. G., & Fraser, B. J. (1998). Qualitative and quantitative landscapes of classroom learning environment. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds), *International handbook of science education* (pp.623-640). Dodrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Welch, W.W., Klopfer, L.E., Aikenhead, G.S., & Robinson, J.T. (1981). The role of inquiry in science education: An analysis and recommendations. *Science Education*, 65, 33-50.

Wilkinson, J. W., & Ward, M. (1997). The purpose and perceived effectiveness of laboratory work in secondary school. *Australian Science Teachers' Journal*, 43 (2), 49-55.

Yung, B.H.W. (2001). Three views of fairness in school-based assessment scheme of practical work in biology. *International Journal of Science Education*, 23, 985-1005.

בירנבוים. מ., (1997) *חלופות בהערכת הישגים*. תל-אביב, הוצאת רמות.

טבלה 1: שלבי ניסוי החקר

<u>שלב 1: טרום-חקר</u>	מיומנויות
<ul style="list-style-type: none">• תארו מערכת הניסוי שלפניכם בצורה מפורטת.• טפטו למבחנה הקטנה 3 טיפות מים מים מזוקקים וסגרו מיד עם פקק.• רשמו את תצפיותיכם על המתרחש במבחנה לאחר הוספת המים.	<ul style="list-style-type: none">• ביצוע ניסוי.• ביצוע ורישום תצפיות.
<p>שלב 2: שלב החקר</p> <p>1. העלאת השערה</p>	
<ul style="list-style-type: none">• שאלו שאלות הקשורות לניסוי ובחרו שאלה לחקר.• נסחו השערה המתאימה לשאלה ששאלתם.	<ul style="list-style-type: none">• שאלת שאלות והעלאת השערות.
<p>2. תכנון ניסוי</p>	
<ul style="list-style-type: none">• תכננו ניסוי לאישוש ההשערתכם.• הציגו בצורה מפורטת את כל שלבי הניסוי.• בקשו מהמורה לאשר את רשימת הציוד והחומרים הנחוצים לכם לשם ביצוע הניסוי.• בצעו את הניסוי שהצעתם.• סכמו את תוצאות הניסוי שביצעתם.• דונו בקבוצה האם תוצאות הניסוי מאששות את השערתכם.	<ul style="list-style-type: none">• תכנון ניסוי.• ביצוע הניסוי המתוכנן.• ניתוח תוצאות, שאלת שאלות נוספות והצגת התוצאות בצורה מדעית.

טבלה 2: המשקל באחוזים של כל מרכיב (מבוסס על "דו"ח חס" ותצפיות מורה).

הערכה על פי תצפיות מורה			הערכה על פי "דו"ח חס" – 80%							מרכיב	
			דו"ח קבוצתי	שלבי הבתר-חקר			שלב תיאורטי של חקר				תצפיות
10%	5%	5%		5%	30%			35%			10%
מיומנויות תקשורת	שיתוף פעולה בקבוצה	עבודה מעשית	הבעה בכתב	דיון מסכם	הסקת מסקנות	הצגת תוצאות	תכנון ניסוי	העלאת השערות	שאלת שאלות	רשום תצפיות	ניסוי מס'
											ממוצע

טבלה 3: מאפייני הדו"חות של תלמידי כתה י"א וכתה י"ב.

משתנה	תלמידי כתה י"א, לא מנוסים במעבדות חקר	תלמידי כתה י"ב, לא מנוסים במעבדות חקר.	תלמידי כתה י"ב, מנוסים במעבדות חקר.
שאלת שאלות	כל השאלות בעלות אופי איכותי	רוב השאלות איכותיות. יש שאלה אחת כמותית במלואה (12.5% מהדוחות) ומספר שאלות כמותיות למחצה (ב- 37% מהדו"חות).	יש שאלות כמותיות ואיכותיות (ב- 37% מהדו"חות).
תכנון ניסוי כמותי	ניתן להבחין שהתלמידים מבינים את חשיבות בקרת המשתנים (ב- 50% מהדו"חות), אך הצעותיהם לא מכילות בקרה אמיתית.	ניתן להבחין שהתלמידים מבינים את חשיבות בקרת המשתנים (ב- 50% מהדו"חות), אך הצעותיהם לא מכילות בקרה אמיתית.	בתכנון הניסוי, יש הצעות לביצוע בקרה על המשתנים. בקרה זו נמצאת גם בשלב התכנון וגם בדיון בתוצאות.
תכנון ניסוי חקר	התלמידים משתמשים בציוד פשוט (ב- 100% מהדו"חות), שלא תמיד מתאים לשאלה (ב- 40% מהדו"חות).	התלמידים משתמשים בציוד פשוט (ב- 100% מהדו"חות).	ניתן להבחין שהציוד והמערכת מתאימים לשאלה שנשאלה (נמצא בכל הדו"חות). בנוסף, הניסויים מכילים מספר שלבים (ב- 37% מהדו"חות).

נספח 1: פרטים על הניסוי "צמד מבחנות".

הוראות ביצוע

1. שימו 1.5 גרם מוצק לבן (גופרת נחושת אל-מימית) במבחנה קטנה הנעוצה בפקק גומי המתאים לפקיקת מבחנה גדולה יותר. פקקו מיד את המבחנה הקטנה.
2. הדביקו בעזרת גריז גבישים קטנים של מוצק סגול (יוד) בצד החיצוני של המבחנה הקטנה.
3. סגרו את המבחנה הגדולה בעזרת הפקק בו נעוצה המבחנה הקטנה, כך שהמבחנה הקטנה תהיה בתוך המבחנה הגדולה. חשוב, מסיבות בטיחות, להקפיד שהכלים יהיו אטומים לגמרי.
4. בעזרת פיפטה, הוסיפו 5 טיפות מים למבחנה הקטנה, כדי להרטיב את האבקה הלבנה. סגרו את המבחנה מיד. (יש לציין כי ההוראות הניתנות לתלמידים אינן כוללות מידע על החומרים ועל נוסחותיהם. המידע הזה ניתן רק למורים.)

תוצאות הניסוי

בתוך המבחנה הקטנה, המוצק הלבן הופך לכחול. החלל שבין שתי המבחנות מתמלא בגז סגול. בהמשך, הצד הפנימי של המבחנה הגדולה מתכסה בגבישים קטנים ונוצצים.

הסבר לתופעה

בתוך המבחנה הקטנה מתרחשת תגובה אקסותרמית וכתוצאה מכך היוד ממריא (ההמראה היא תהליך אנדותרמי). היוד הגזי מתמצק שנית (הגבישים הנוצצים) על הדפנות הפנימיות של המבחנה החיצונית, שם הטמפרטורה נמוכה יותר.

נספח 2: דו"ח חם - מירה