

"חשיבה המצאתית שיטתית" בלימוד מדע וטכנולוגיה בחטה"ב: פיתוח, הפעלה והערכה של גישה חדשנית לפתרון בעיות

חיבור לשם קבלת התואר
"דוקטור לפילוסופיה"

מוגש למועצה המדעית של מכון ויצמן למדע

מאת: יעקב הלפמן

ספטמבר 2000

אלול תש"ס

תקציר

"חשיבה המצאתית שיטתית" הוא נושא חדשני בסילבוס ללימוד מדע וטכנולוגיה בחטה"ב, והעבודה הנוכחית עוסקת בפיתוח, הפעלה והערכה של תוכנית לימודים בנושא. התוצרים של עבודה זו מספקים את תשתית להוראתו בכיתות ובהשתלמויות מורים ברחבי הארץ.

ממצאי ההפעלה וההערכה העיקריים מעידים כי: ניתן ללמוד וללמד את המודל בהצלחה ולהכשיר מורים בנושא באמצעות חומרי הלימוד שפותחו ודרכי הלימוד וההוראה שיושמו; המודל הקנה לתלמידי כיתות ט', דרכי חשיבה מובנים ושיטתיים לפתרון בעיות ותרם לשיפור כישורי חשיבתם היצירתיים. בנוסף, המודל התקבל בהערכה רבה, בהתלהבות ובעניין רב על ידי התלמידים והמורים והשרה אורה יצירתית בכיתות. יחד עם זאת, אותרו וזוהו בעיות למידה והוראה שמרביתם הוגדרו וטופלו במהלך העבודה.

העבודה מסתמכת על ההנחה שניתן ללמוד וללמד חשיבה המצאתית בגישה שיטתית ומובנית. הגישה היצירתית-שיטתית שפותחה לפתרון בעיות, מסתייעת בשיטות שכבר פותחו בתחום פתרון בעיות וביצירתיות, במיוחד עבודתו של אלטשולר (Altshuller, 1985). העבודה מתבססת בחלקה על מודל למבוגרים שפותח באוניברסיטה הפתוחה (הלפמן, 1990).

בגישה שפותחה, הפותר לומד לנהל את תהליך החשיבה באופן מבוקר, מאורגן, יזום ומודע. הרעיונות ההמצאתיים נחשפים בשתי רמות: רמה אבסטרקטית (פיתוח מודלים וקונצפציות) ורמה קונקרטית (פיתוח פתרונות ספציפים). חיפוש הפתרונות לבעיה נעשה באמצעות שיטת חשיבה תלת-שלבית: בשלב הראשון, מופעל **הדמיון** לפתוח מספר רב ומגוון של פתרונות דמיוניים ברמה של קונצפציות אבסטרקטיות לפתרון (חשיבה מסתעפת). בשלב השני, מוכנס **הגיון** לקונצפציה הדמיונית. נעשה מיון (חשיבה מתכנסת) וניתוח הגיוני לקונצפציות שנבחרו: מציאת תנאים, דרישות ותכונות הגיוניות שמאפיינות את הקונצפציה הדמיונית. בשלב השלישי, כל אחת מהקונצפציות הדמיוניות-הגיוניות מפותחת לפתרונות **ממשיים**. המעבר למציאות הממשית נעשה באמצעות ידע מדעי-טכנולוגי המאפשר ל"תרגם" את התנאים והתכונות ההגיוניות שאותרו בשלב השני למצבים, לפעולות ולתכונות פיזיקליות הקיימות במציאות. תכונות אלה עוזרות לזיהוי הפתרונות הספציפים הממשיים.

מבחינה מעשית, מבצעי השלבים השונים של השיטה הם "הגמדים המופלאים": גמדים דמיוניים (גישת מיקרו לטיפול במרכיבי מערכת שונים) שבכל מקום ובכל עת הם מסוגלים לבצע כל פעולה (תפקוד) שנדרשת כדי לפתור את הבעיה באחד ממרכיבי המערכת. ציורים (מודלים ויזואליים) של גמדים ותאור מילולי של מצבם ההדדי ופעולותיהם המגוונות על מרכיבי המערכת מייצגים את הקונצפציות השונות לפתרון (שלב א'). איתור הדרישות, התכונות והתנאים ההגיוניים הדרושים לביצוע משימתם של הגמדים (שלב ב') מוביל לחשיפת תכונותיהם הפיזיקליות (מצב צבירה, חוזק, גמישות, תכונות חשמליות, תכונות תרמיות, אופטיות וכד'), ואלה מאפשרות את זיהוי הגמדים כפתרונות ספציפים במציאות הגושמית.

בכל שלב מופעלים "כלי חשיבה יצירתיים" המגדירים ומנווטים את תהליך החשיבה באופן הדרגתי ושיטתי. לדוגמה, הפעלת "תכסיס ההיפוך" על הגמדים: היפוך כיוון פעולתם של הגמדים (מדחיפה למשיכה, מזריקה לתפיסה וכד') או מגמת תנועתם (מסטטי לדינמי ולהיפך) יוצרים קונצפציות נוספות ומגוונות לפתרון הבעיה. פותחו 23 כלי חשיבה יצירתיים.

העבודה הניבה את התוצרים הבאים:

- נכתבו שני ספרי לימוד לתלמיד, שניים למורה וחוברת הדרכה להשתלמויות מורים (הלפמו, 2000)
- התבצעה הערכה מעצבת של חומרי הלימוד ודרכי ההוראה שתרמה לשינויים ושיפורים בתכנים, במתודות הלימוד ובדרכי ההוראה של המודל.
- חומרי הלימוד הופעלו באופן ניסיוני במשך שנתיים רצופות (תשנ"ד ותשנ"ה) ונחקרו ב-7 כיתות ט' (N=169).
- נערכו 32 השתלמויות מורים ברחבי הארץ שבעיקבותיהם הופעל המודל (בצורה מלאה או חלקית) בעשרות כיתות ז', ח' ו-ט' בשנים תשנ"ו-תש"ס.

מאחר ולא קיימים מחקרים קודמים בנושא, ניסינו לענות על השאלות הבאות:

1. כיצד ובאיזו מידה תורמת למידת נושא ה"חשיבה המצאתית שיטתית" ליכולת בפתרון בעיות טכנולוגיות-מדעיות של תלמידי כיתות ט'?
2. מהן הציפיות והעמדות של תלמידי כיתות ט' והמורים המשתלמים כלפי למידת הנושא "חשיבה המצאתית שיטתית"?
3. מהן הבעיות הכרוכות בהפעלת הנושא "חשיבה המצאתית שיטתית" בתוכניות הלימודים במדע וטכנולוגיה בחטה"ב?

המחקר התבצע בשני שלבים:

- א. מחקר מפורט בתחום פתרון בעיות שנערך עם 103 תלמידים מ-5 כיתות ט' שלמדו את הנושא כ-50 שעות, בממוצע, במהלך שנת הלימודים. הביצועים של תלמידים אלה (תלמידי הניסוי) הושושו עם הביצועים של 117 תלמידים בעלי יכולת דומה מ-5 כיתות שלא למדו את הנושא (תלמידי ההשוואה).
- ב. מחקר על דעות, נטיות וציפיות של תלמידים ומורים כלפי לימוד הנושא תוך שימוש בשאלונים, ראיונות ותצפיות.

להלן סיכום תמציתי של תוצאות המחקר:

1. ממצאי המחקר מלמדים, שתלמידי הניסוי למדו לארגן את חשיבתם בצורה מסודרת ומודעת ושיפרו את יכולתם לפתור בעיות טכנולוגיות-מדעיות באופן יצירתי-שיטתי. תהליך החיפוש והגילוי של הפתרון התבצע, בדרך כלל, בשתי רמות: ברמה האבסטרקטית (פיתוח קונצפציות לפתרון) ולאחר מכן ברמה הקונקרטית (גילוי פתרונות ספציפיים).

2. השיפור בכישורי היצירתיות נבדק ונחקר ביחס לתלמידי השוואה בשלושת הקריטריונים הבאים (Guilford, 1959, 1967): **שטף** מחשבתי, **גמישות ומקוריות**. כדי להעריך מאות פתרונות שפותחו בידי תלמידים, על פי הקריטריונים האמורים, פותחה מתודולוגיה לאיפיון, מיון ומיפוי הפתרונות במבנה הירארכי. במבנה ההירארכי הפתרונות מסודרים על פי התייחסותם למרכיבי המערכת הרלוונטים (קטגוריות) ולפעולות (תפקודים) המשמשים לפתרון. בחירה של קטגוריה ותפקוד מסויים בקטגוריה מגדירים במדוייק כיוון חשיבה לפתרון הבעיה. המתודולוגיה עוזרת בזיהוי כיווני חשיבה שונים וסוגי פתרונות (שכיחים, מקוריים וייחודיים) ומאפשרת להשתמש בשלושת המדדים האמפיריים הבאים:

- א. המספר הכולל של הפתרונות שהוצעו לבעיה (שטף מחשבתי).
- ב. מספר כיווני חשיבה שפותחו לפתרון הבעיה (גמישות ופתיחות מחשבתי).
- ג. מספר הפתרונות השכיחים, המקוריים והייחודיים (מקוריות החשיבה).

השימוש במתודולוגיה הורחב לצרכים דיאגנוסטיים שאיפשרו לכל תלמיד ומורה לקבל משוב אישי על תהליך חשיבתו ותוצריו.

בתהליך הלימוד התלמידים פתרו בעיות רבות ושלוש מהן נחקרו בעבודה זו בפירוט רב (case study), בעבודה פרטנית ובעבודה קבוצתית של תלמידי ניסוי והשוואה.

תוצאות תלמידי הניסוי היו גבוהות משמעותית מאלה של תלמידי ההשוואה בקריטריונים שנבדקו. בכל אחת משלושת הבעיות שנפתרו במהלך המחקר, בעבודה קבוצתית ובעבודה פרטנית, קבוצת הניסוי פיתחו עשרות כיווני חשיבה ועשרות פתרונות **ייחודיים**, כאלה שתלמידי ההשוואה כלל לא חשבו עליהם. עובדה זו מצביעה על **גמישות ופתיחות** חשיבה הגבוהים באופן משמעותי משל תלמידי ההשוואה.

בין 50%-ל-70% מכלל כיווני החשיבה שפיתחו תלמידי הניסוי היו כיוונים ייחודיים. עובדה המצביעה על **מקוריות** שגבוהה באופן משמעותי מזו של תלמידי ההשוואה.

שטף הפתרונות של תלמידי הניסוי, בעבודה פרטנית, היה גבוה יותר משל תלמידי ההשוואה, ונע בין 25%-ל-70% פתרונות נוספים, בהתאם לבעיה שנחקרה. בעבודה קבוצתית בצוותים השטף היה דומה בשתי הקבוצות. בעבודה קבוצתית הוקדש זמן רב, יחסית, לחלוקת קבוצת הניסוי לעשרות תת-קבוצות ולאירגון עבודתן. כאשר מדדנו את השטף של קבוצת הניסוי מתום הסידורים הטכניים, הוא היה גבוה ב-46% מהשטף שפיתחה קבוצת ההשוואה בזמן הזה.

3. המודל ענה על מרבית הציפיות של תלמידיו ומוריו, התקבל על ידי מרביתם בעניין, באהדה ובהתלהבות רבה. השיטה וכלי החשיבה שפותחו זכו להערכה גבוהה של התלמידים והמורים מבחינת חשיבותם ותרומתם לפיתוח לומד עצמאי בעל חשיבה

מקורית. תצפיות שנערכו בכיתה הראו כי נוצרה אוירה שמעודדת ומטפחת יצירתיות (חופש פעולה וביטוי עצמי, היעדר שיפוט מוקדם, שימוש רב דמיון, חיזוק ועידוד לשימוש בדרכי חשיבה חלופיות וכד'). הפעלת נושא ה"חשיבה המצאתית שיטתית" בחטה"ב העלה שתי בעיות מרכזיות: האחת בתחום הכשרת המורים, והשנייה בהחדרת הנושא לבתי ספר בפריסה רחבה. הבעיה השנייה נבעה מהיעדר זמן פורמלי ללימוד מיומנויות חשיבה במידה מספקת ומחסור בחומרי למידה המאפשרים שילוב המודל בתכני הסילבוס החדש למדע וטכנולוגיה. כדי להתמודד עם שתי בעיות אלה פיתחנו במסגרת העבודה:

א. גישה ודרכי הוראה לא שיגרתיות ללימוד הנושא בהשתלמויות מורים שבהן: המורה מתנסה בחומר כתלמיד, לומד להכיר את חשיבתו הוא (מטה-קוגניציה), לומד ללמד איך לחשוב ולא רק מה לחשוב, מבין שאין בידו כל הפתרונות, הרעיונות והידע הרב-תחומי הדרוש וכד'.

ב. שני אופנים להוראת הנושא בפריסה רחבה, כ"שלם וכמורכב": האחת, כמודל שלם ועצמאי הנלמד ברציפות ובעיקביות במהלך השנה ושולח "גשרים" אל תכני הסילבוס החדש, והשנייה, כמערכת המורכבת ממספר תת-מערכות שניתן לשבץ ולשלב בתכנים הנלמדים במהלך הלימוד השוטף בעיתוי ובמקום הרלוונטי המתאים. במקביל, הוכנו חומרי למידה לשילוב מיומנויות החשיבה ההמצאתית בשני אופני ההוראה שפיתחנו, במספר תכנים המופיעים בסילבוס למדע וטכנולוגיה.