

# 33

## ת הליך החקר המדעי בכיתה – מהתיאוריה למעשה ד"ר עדי בן דוד<sup>1</sup>

**כל ניסיון ללמד מדע, תוך הבניית "מהות המדע", חייב להתחקות אחר עבודת המדענים והתהליך המדעי ולהיעשות תוך שילוב פעילויות חקר מדעי ופיתוח חשיבה מדעית**

### **תהליך החקר המדעי בכיתה – מה ולשם מה?**

**על ההוראה לכוון גם ובעיקר לפיתוח החשיבה המדעית, שהינה סוג החשיבה הדיסציפלינארית העוסקת בבחינת שאלות אמפיריות בעזרת תצפיות וניסויים מדעיים, קרי תהליך החקר המדעי**

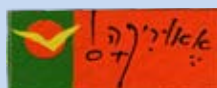
עצמאיים בעלי יכולת של "טיפול" במידע **והבניה אקטיבית של ידע**, ולפתח אצלם כישורים המאפשרים התמודדות עם אתגרים מדעיים-טכנולוגיים, כלכליים, חברתיים ותרבותיים של המאה ה-21. אפשר לזהות שלושה סוגים של כישורים הכרוכים זה בזה:

1. **כישורי רכישת ידע:** מכלול הכישורים הקשורים באיתור, בבחירה ובעיבוד מקורות מידע רלוונטיים, תוך הפעלת שיקול דעת, קבלת החלטות מושכלות, טיעון, חשיבה ביקורתית וחשיבה יצירתית.

2. **כישורי הבניית ידע:** הכישורים הקשורים להמשגה מקורית ובעלת משמעות אישית

"המטרה היא, לא לצייד את שכלו של אמיל בדעת, אלא ללמדו את המתודה כיצד לרוכשה בשעת הצורך" טען הפילוסוף ז'אן-ז'אק רוסו בעבר. דברים אלה אף הולכים ומתחזקים בהווה – בעידן הטכנולוגי-מדעי, המשופע **במידע** ובכלי תקשורת להעברה ולהפצה של המידע בערוצייה השונים. תלמידי המאה ה-21 חשופים כל העת למידע זמין, מגוון ומשתנה בקצב מהיר, ואין הם רואים עוד בבית הספר את מקור המידע היחידי או העיקרי. לפיכך, אין עוד ערך ללמד את **המידע עצמו**, אלא ללמד איך **להשתמש בו**: להכשיר לומדים

1 ד"ר עדי בן דוד, מכון וייצמן למדע, רחובות



אינו מיושם למצבים חדשים. ידע כזה מכונה בפסיכולוגיה הקוגניטיבית: **"ידע אינרטי"** (Inert Knowledge).

ניתוח הצרכים העתידיים שהוזכרו בהתחלה וחתימה ללמידה משמעותית ולהבניית ידע מחולל, מעלים צורך בהבנייה של תהליכים המחייבים שימוש באסטרטגיות חשיבה מסדר גבוה<sup>2</sup>, תהליכים אשר שכיחות ההתייחסות אליהן בעבר הייתה נמוכה יחסית, וכיום היא עולה באופן משמעותי. מכאן, שעשייה פדגוגית-חינוכית, המתאימת להתאים עצמה לערכי החברה הדמוקרטית המודרנית, קרי, להעביר את הלומדים מתפקיד סביל של צרכני מידע לתפקיד פעיל של יצרני ידע ולטפח אזרחים בעלי יכולת לשיקול דעת חברתי-ערכי-מוסרי, צריכה לכוון לחינוך לפיתוח חשיבה מסדר גבוה, הן בפן הפדגוגי והן בפן החברתי-ערכי-מוסרי (זוהר, 2007א).

בכל הקשור להוראת המדעים, הרי שמעבר לפיתוח אסטרטגיות חשיבה כלליות, כגון מיון, השוואה, ניתוח, הסקה, טיעון ועוד, על ההוראה לכוון גם ובעיקר לפיתוח החשיבה המדעית, שהינה סוג חשיבה דיסציפלינארית העוסקת בבחינת שאלות אמפיריות בעזרת תצפיות וניסויים מדעיים, קרי **תהליך החקר המדעי**. בספרות המקצועית קיימת סקירה תיאורטית רחבה לגבי שילוב תהליך החקר המדעי בהוראת המדעים וכן ראיות אימפריות התומכות בתיאוריה זו (להרחבה בעניין זה ראו זוהר [עורכת], 2007). את מכלול הסיבות לחשיבות הרבה שנודעת כיום לשילוב תהליך החקר המדעי בהוראה ניתן לסכם בשתי נקודות עיקריות:

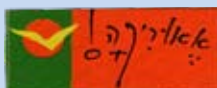
1. הבנת "מהות המדע" (The Nature of Science – NOS) ועבודת המדענים, הוא יעד חשוב ומרכזי, העומד בבסיסה של כל תכנית לימודים בהוראת המדעים (Lederman, 2007). מהות המדע או השיטה

של מקורות המידע. המשגה זו היא תוצר של דו-שיח רפלקטיבי ויצירתי בין הלומדים לבין מקורות המידע השונים.

3. **כישורי הפצת ידע**: הכישורים הנדרשים לשם ארגון הידע באופן המאפשר את הצגתו והפצתו. יעד זה מחייב שימוש מושכל בצורות שונות לייצוג מידע, גיבוש עמדות מנומקות, יכולת טיעון והנמקה וכן שיקול דעת חברתי-ערכי-מוסרי.

בכל הכישורים הללו גלומה היכולת להפעיל גמישות מחשבתית וכן היכולת להבנות ידע ולעצבו. ואכן, סינתזה והבנייה של ידע נתפסים כיום, על ידי תיאורטיקנים בתחום החינוך והפסיכולוגיה הקוגניטיבית, כתהליכים חיוניים לעיבוד משמעותי של מידע. ההנחה המרכזית היא שלמידה מתרחשת על ידי תהליך הבנייה של משמעות. הנחה זו עומדת בבסיסן של תיאוריות למידה קונסטרוקטיביסטית (הבנייתיות) הגורסות שידע אינו ניתן להעברה באמצעות מסירתו מגורם אחד לשני (בניגוד למידע), אלא חייב להיבנות על-ידי הלומדים עצמם, באמצעות תהליכים של חשיבה פעילה. תהליכי הבניית הידע כרוכים בעיבוד ובהטמעה של הגירויים החדשים במבנה הקוגניטיבי ובקישורם למערכת המושגים הקיימת. במונחים של פיאז'ה (Piaget, 1948/1974), ילדים מטמיעים את הגירויים החדשים אל תוך מערכת המושגים שכבר יצרו על העולם. **למידה** היא אפוא תהליך של **"שינוי בתפיסות מושגים"** (Posner et al., 1982). (Conceptual Change) הידע המופק מתהליך כזה מכונה **"ידע מחולל"** (Generative Knowledge) והוא עונה על שלוש מטרות: 1. שמירת הידע לטווח ארוך. 2 הבנת הידע. 3. עשיית שימוש פעיל בידע. בנוסף, הדגשת רבדים **מטה-קוגניטיביים** (עליהם נרחיב בהמשך) בתהליכי עיצוב והבנייה של ידע, תורמת אף היא **ללמידה משמעותית** וארוכת טווח ומאפשרת טיפוח של גמישות מחשבתית. לעומת זאת, בהעדר תהליך של הבניית ידע ושינוי בתפיסות מושגים, לא תתרחש הבנה של הידע הנרכש. למרות שידע כזה עשוי להיות מאוחסן בזיכרון ארוך טווח, הוא אינו נשלף משם כאשר יש בו צורך בעקבות תנאים הנוצרים בזיכרון הפעיל, ואף

2 בתיאוריה ובשדה החינוך נפוצים מושגים שונים המתאייחים לאותן פעולות קוגניטיביות, כגון: כישורי חשיבה, מיומנויות חשיבה, תבניות חשיבה ואסטרטגיות חשיבה. כאן בחרתי לאמץ את המושג "אסטרטגיות" מאחר והוא מרמז על דרך פעולה מושכלת ומתוכננת להשגת יעד מוגדר.

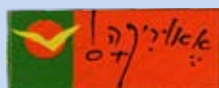


המדעית (Research) כוללת פרוצדורות לחקירת תופעות טבע ולהבניית ידע חדש על העולם. השיטה המדעית מתבססת על תצפיות, ניסויים, מדידות וחוקים מחשבתיים. הבנת מהות המדע מתייחסת לאופי הידע המדעי ולאופן הבנייתו, כפי שמפורט להלן:

- הידע המדעי זמני ונתון לשינויים מתמידים (סופי לעת עתה...).
- הידע המדעי מתבסס על תופעות טבע.
- הידע המדעי מושפע מתיאוריות ומחוקי טבע.
- הידע המדעי הוא תוצר של חשיבה לוגית, דמיון ויצירתיות של האדם.
- הידע המדעי הוא סובייקטיבי: נשען על תיאוריות מהן נובעות השערות והנחות יסוד ונוצר על-ידי הסקת מסקנות אנושיות, תלויות תרבות והקשר.

מכאן, שכל ניסיון ללמד מדע, תוך הבניית "מהות המדע", חייב להתחקות אחר עבודת המדענים והתהליך המדעי ולהיעשות תוך שילוב פעילויות חקר מדעי ופיתוח חשיבה מדעית. למידת חקר פעילה, המפעילה אסטרטגיות חשיבה מדעית וחשיבה ביקורתית-טיעונית, מאפשרת לתלמידים להתחקות אחר עבודת המדענים, לעסוק "במחקר" ולעבור את תהליכי החקר והגילוי בעצמם. למרות שהתלמידים אינם מגלים "ידע חדש לאנושות", כפי שעושים מדענים, הרי שהם "מבנים" ידע חדש עבורם ובכך לומדים מקרוב כיצד ידע נוצר וכיצד מחקרים חדשים מפריכים ידע ומשנים ידע כל הזמן. תהליך החקר המדעי מזמן לתלמידים אפשרות להכיר את "רוח המדע" (The Spirit of Science) ותורם להבנת אופי מהות המדע ועבודת המדענים (Ausubel, 1968). הוראת מדעים שאינה משלבת תהליכי חקר מדעי תוך הפעלת אסטרטגיות חשיבה מדעית וחשיבה ביקורתית-טיעונית שקולה להעברת גופי ידע קבועים וחתומים, ובכך חוטאת לגמרי מהמהות האמיתית

- של המדע **כתהליך דינאמי** של הבניית ידע, **וכתוצר של החשיבה של האדם**.
2. כאמור, בעידן המודרני, הנתון לתמורות מתמידות ורצופות ומתאפיין באוריינטציה מדעית-טכנולוגית, גופי הידע המדעי מצטברים בכמויות עצומות ונמצאים בתהליך של השתנות מתמדת. משום כך יש להעביר את הדגש **מרכישת מידע** מדעי אל **למידת התהליך** של רכישת מידע מדעי והפיכתו לידע משמעותי עבור הלומדים. יעד זה מחייב פיתוח מיומנויות **אוריינות מדעית וטכנולוגית**, העושות שימוש באסטרטגיות חשיבה מדעית. הספרות המקצועית מונה מספר קריטריונים להגדרה אופרטיבית של "אוריינות מדעית וטכנולוגית": (NSTA, 1992)
- יכולת לאסוף, לנתח ולהעריך מקורות מידע מדעיים וטכנולוגיים ולהשתמש במקורות אלו, בטיעונים רציונאליים המבוססים על עובדות, ובערכים אתיים, בפתרון בעיות ובקבלת החלטות.
  - יכולת ליישם חשיבה ביקורתית, הבנה לוגית, ויצירתיות בחקירת הסביבה ובפתרון בעיות.
  - יכולת להבחין בין עובדות מדעיות וטכנולוגיות לבין דעות, ובין מידע שניתן לסמוך עליו לבין מידע שלא ניתן להישען עליו.
  - פתיחות לעובדות חדשות ולאופי המשתנה של המדע והטכנולוגיה.
  - מודעות לכוח ולמגבלות של המדע והטכנולוגיה בשיפור איכות החיים.
  - הבנת הקשר שבין מדע, טכנולוגיה וחברה והיכולת ליצור הקשרים עם תחומי דעת נוספים.
  - התייחסות לאספקטים פוליטיים, כלכליים ואתיים של פתרון בעיות הקשורות למדע ולטכנולוגיה.
  - גילוי סקרנות לגבי מדע וטכנולוגיה והערכה לעולם הטבע ולמעשי ידי האדם, למחקר המדעי ולפתרון בעיות טכנולוגיות.
  - מעורבות בפעילות אישית או ציבורית תוך הפעלת שיקול דעת והתייחסות לאלטרנטיבות.



בעלי משמעות ללומדים ולמידה, נודעת חשיבות רבה בשילוב תהליך החקר המדעי בכיתה. עיסוק בתכנים ידועים מראש ו/או בתכנים שאינם רלוונטיים ללומד ולמטרות הלמידה, נידונו "להכשיל" את למידת החקר מראש.

חשוב להדגיש כי שילוב תהליך החקר המדעי בהוראה אינו מעמיד את התהליכים במקום התכנים. אלא, ובעיקר, מדגיש את התהליכים במטרה להתעמק בתכנים ולהפכם לידע משמעותי עבור הלומדים. לפיכך, לעיסוק בתכנים

## תהליך החקר המדעי בכיתה – כיצד?

### תהליך החקר המדעי מורכב מרשימה ענפה של אסטרטגיות חשיבה מסדר גבוה, שכל אחת מהן כרוכה בהבנה הליכית מדעית

תצפית ראשונית בתופעות טבע. להלן נבחן דוגמה (מעובד מתוך "חושבים מדע – מבינים סביבה", חוברת מגוון מינים בטבע3):

בתצפית ראשונית בחצר בית הספר הבחינו התלמידים, שחרציות הגדלות באזור מואר נמוכות יותר מחרציות הגדלות באזור מוצל. התעוררו אצלם שאלות בדבר הקשר שבין האור לבין החרציות.

2. **הגדרת שאלת חקר:** זיהוי שאלה מדויקת מתוך אוסף העובדות והתופעות, המאפשרת ניסוי וחקירה אמפירית. כלומר, קיימת דרך אופרטיבית (מעשית) למדוד את המשתנים ו/או לבדוק את הקשר ביניהם. ברוב המקרים שאלת המחקר מתייחסת לקשר שבין גורם מסוים (משתנה בלתי תלוי) לבין תהליך או תופעה (משתנה תלוי). במקרים אלה ניסוח השאלה כולל:

א. הגדרה אופרטיבית של משתנה בלתי תלוי (גורם משפיע) – הגורם שהחוקר משנה/מפעיל בניסוי.

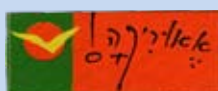
ב. הגדרה אופרטיבית של משתנה תלוי (גורם מושפע) – הגורם שמשתנה בעקבות השינויים שהחוקר מבצע במשתנה הבלתי תלוי.

ג. הגדרת הקשר בין המשתנים –

ראשית, חשוב לחדד את ההבחנה בין תהליכי חשיבה לבין אסטרטגיות חשיבה (Swartz & Perkins, 1994), אם כי הבחנה זו לעיתים עמומה ואינה חד-משמעית. אסטרטגיות חשיבה הן פעולות קוגניטיביות מושכלות המכוונות להשגת יעד ממוקד, כגון השוואה, הסקה ועוד. תהליכי חשיבה הם תהליכים קוגניטיביים מורכבים ועשירים יותר, הכרוכים בהפעלה משולבת של מספר אסטרטגיות חשיבה. כלומר, אסטרטגיות החשיבה הן "אבני הבניין" של תהליכי החשיבה (מרזאנו ושות', 2002). למשל, תהליך פתרון בעיות כרוך בהפעלתן של מספר אסטרטגיות חשיבה: ניתוח הבעיה, העלאת מגוון נקודות מבט במטרה להבין היבטים שונים של הבעיה, העלאת אפשרויות שונות לפתרון הבעיה, השוואה בין פתרונות אפשריים, הערכה של כל פתרון במטרה לבחור בפתרון מתאים ביותר. חשוב לציין כי כל אסטרטגיית חשיבה עשויה להשתלב במספר תהליכי חשיבה. למשל, אסטרטגיית השוואה נדרשת גם בתהליך קבלת החלטות, תהליך הבניית מושג ועוד (להרחבה ראו יועד, 2010). אם נבחן את תהליך החקר המדעי באותו האופן, הרי שחקר הוא תהליך חשיבה כרוך בהפעלה משולבת של מספר אסטרטגיות חשיבה מדעיות, שכל אחת מהן מכוונת להשגת יעד ממוקד, כפי שמפורט להלן:

1. ניסוח מטרות: זיהוי שאלות המתעוררות בעקבות עיון ברקע מדעי (במסגרת תהליכי הלמידה בכיתה) או בעקבות

3 <http://stwww.weizmann.ac.il/g-earth/geogroup/main.asp?pagekind=4&ID=22>



האם/כיצד המשתנה התלוי **מושפע** מהמשתנה הבלתי תלוי (המשפיע)?

בדוגמה שלעיל: כיצד עוצמת האור (משתנה בלתי תלוי) משפיעה על גובה החרציות (משתנה תלוי)? חשוב להדגיש את ההגדרה הכללית של המשתנים בניסוח המטרות: בדיקת הקשר שבין האור לבין ה**חרציות**, לעומת ההגדרה האופרטיבית של המשתנים בשאלת המחקר: כיצד **עוצמת האור** (הניתנת למדידה באמצעות מד-קרינה) משפיעה על **גובה החרציות** (הניתן למדידה באמצעות סרגל)?

3. **ניסוח השערת חקר:** ניסוח תשובה **אפשרית** (תתכן יותר מהשערה אחת) לשאלת המחקר, המבטא את מידת השפעה של המשתנה הבלתי תלוי על המשתנה התלוי. ניסוח ההשערה נעשה על סמך ידע קודם והכרות עם תופעות דומות ועליו להבהיר מה בכוונת החוקר לבצע ולבדוק בניסוי שאותו הוא עתיד לתכנן. לעיתים קרובות ההשערה מנוסחת במבנה הלוגי של "אם...אז..." או "ככל ש... אז..."

בדוגמה שלעיל השערת החקר היא: ככל שעוצמת האור גדולה יותר (אז) גובה החרציות קטן.

ההשערה מנוסחת על סמך ידע קודם של התלמידים (שהבחינו בתצפית הראשונית, שחרציות הגדלות באזור מוצל, גבוהות יותר מחרציות הגדלות באזור מואר). כמו כן, מהאופן שבו מנוסחת ההשערה עולה כוונת התלמידים לגדל חרציות בעוצמות אור משתנות (**ככל** שעוצמת האור...) ולמדוד את גובהן.

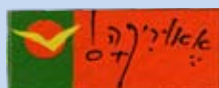
4. **תהליך תכנון דרך פעולת החקר וביצועו** (תהליך הכרוך בהפעלתן של מספר אסטרטגיות חשיבה): ראשית יש לבחור את הדרך המתאימה לבדיקת השערת המחקר – תצפית מכוונת או ניסוי מדעי. **תצפית מכוונת** אמורה לשקף את המצב האמיתי בטבע אך לא ניתן לשלוט בגורמים המשפיעים על התופעה הנחקרת (לבודד משתנים). בתצפית מכוונת אוספים נתונים של גורמים שהוגדרו מראש

(בשאלת המחקר), באמצעים ובזמנים שהוגדרו מראש. כלומר, תצפית מכוונת מחייבת תכנון מוקדם וקפדני של מושאי התצפית, דרך מדידת הגורמים, אמצעי המדידה והרישום, הגדרת זמן (עונה, שעה, תדירות) ומקום וכיו"ב. **בתצפית**, החוקר **אינו מתערב** בתופעה אלא מתעד אותה כפי שהיא, בדיוקנות ובאובייקטיביות עד כמה שניתן, באמצעות החושים ו/או על ידי מדידות כמותיות באמצעות מכשירים טכנולוגיים. **בניסוי מדעי** החוקר **מתערב** בתופעה, הוא משנה באופן מבוקר **גורם אחד בלבד** (בידוד משתנים) כדי לבדוק את השפעתו על התופעה הנחקרת. על החוקר להקפיד על כל כללי הניסוי המדעי: בידוד משתנים, ריבוי פריטים, חזרות ובקורות מתאימות.

בדוגמה שלנו **תצפית מכוונת** תעשה על-ידי מעקב אחר חרציות הגדלות **באופן טבעי** באזור המוצל לבין חרציות הגדלות באזור המואר בחצר בית הספר. על התלמידים יהיה לתכנן מראש את התצפית: היכן לצפות, מתי לצפות, כמה חרציות למדוד וכיוצא בזה, אך ללא כל התערבות בתנאי התצפית. **ניסוי מדעי** יתבצע על-ידי גידול חרציות במעבדה, בעוצמות אור שונות, ובדיקת ההבדלים בגובה הצמחים. על התלמידים יהיה לקבוע מראש את תנאי הניסוי: עוצמת האור, גודל האדניות, סוג הקרקע, כמות המים להשקיה, כמות החרציות וכו', ולהקפיד על כל כללי הניסוי המדעי:

א. **בידוד משתנים:** בדיקת השפעתו של גורם מסוים על התופעה הנחקרת, מחייבת לשנות **אך ורק את ערכיו** ולשמור על ערכי שאר הגורמים קבועים. השמירה על בידוד משתנים מאפשרת לחוקר לשלול הסברים חלופיים לתוצאות הניסוי ומקנה **תוקף** למסקנות הניסוי.

בדוגמה שלנו, הגורם הנבדק (המשתנה הבלתי תלוי) הוא עוצמת האור. לפיכך, בין ה"טיפולים" השונים, יש לשנות אך ורק את עוצמת האור ולהקפיד לשמור על ערכי שאר הגורמים שבניסוי (גודל האדניות,



סוג הקרקע, כמות המים להשקיה, כמות החרציות וכיו"ב) קבועים. רק כך נוכל לקבוע שעוצמת האור היא שהשפיעה על גובה החרציות ולא גורמים אחרים שבמערך הניסוי.

ב. **בקרות:** מערך ניסוי חייב לכלול בקרות מתאימות, המאפשרות לשלול הסברים חלופיים לתוצאות הניסוי ולהקנות **תוקף** למסקנות הניסוי. קיימים שלושה סוגים של בקרות: 1. בדיקת ההשפעה על התופעה הנחקרת ללא הגורם הנבדק (המשתנה הבלתי תלוי) במטרה לבדוק האם התופעה מתקיימת **רק** בהשפעת המשתנה הבלתי תלוי או גם בלעדיו. 2. במקרים שבהם בודקים את **כיוון** הקשר בין שני המשתנים, משנים בהדרגה את המשנה הבלתי תלוי ומשווים בין הטיפולים השונים שבמערך הניסוי (בקרה השוואתית – פנימית). ההשוואה בין הטיפולים תראה את גודל השינוי שחל במשתנה התלוי (כמו בדוגמה של חרציות השדה). 3. במקרים שבהם המשתנה התלוי נבדק על ידי שינוי של צבע או של עכירות, הבקרה היא טיפול שבו קיים הצבע ההתחלתי, אך התהליך אינו מתקיים בו (מכונה "בלנק" או "מבחנת ייחוס").

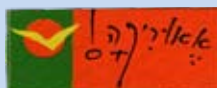
ג. **ריבוי פריטים וחזרות:** כדי לשלול אפשרויות של מקריות של תוצאות הניסוי ו/או טעויות ביצוע/מדידה, יש לבצע את הניסוי על מספר רב של פריטים (בדוגמה שלנו, בדיקה של צמחים רבים ולא של צמח אחד בלבד) וכן לחזור מספר פעמים על אותו הניסוי ובאותם התנאים. קבלת תוצאות דומות בכל המקרים תגדיל את **מהימנות המסקנות** שיוסקו על-סמך תוצאות אלה.

5. **דיווח על תוצאות החקר:** תיאור מדויק, איכותי וכמותי, של תצפיות או של תוצאות ניסויים וניתוחן. שלב זה כרוך בעיבוד נתונים (חישובים כמותיים) ובייצוג מידע בדרכים שונות: תיאור מילולי, איורים, תרשימי זרימה, בניית טבלאות נתונים

(כולל מתן כותרות לטבלה לעמודות ולשורות, הבחנה בין המשתנים וקביעת יחידות לערכי הנתונים), ייצוג נתונים באמצעות תרשימים (כולל בחירת סוג התרשים המתאים – גרף עקומה, דיאגרמת עמודות, תרשים עוגה).

6. **הסקת מסקנות:** אישוש או הפרכה של השערות החקר, מתן הסבר מדעי מבוסס לתוצאות הניסוי. בשלב זה גלומה היכולת לדון בממצאי הניסוי, לתת להם הסבר מדעי מבוסס, ליצור הכללות (אינדוקציה), ליישם עקרונות (דדוקציה) ולהציג את השלכות החקר. במקרים רבים הסקת המסקנות תעורר שאלות חקר נוספות ותוביל לניסוח השערות חדשות ולהמשך "מעגל החקר המדעי" (Tabak et al. 1996) (ראו בהמשך, תרשים מספר 1).

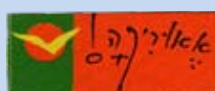
7. **הבחנה בין תוצאה לבין מסקנה:** חשוב לציין את החשיבות הרבה הנובעת ליכולת להבחין בין תוצאות החקר לבין מסקנות החקר. בעוד שהדיווח על תוצאות החקר חייב להיעשות בדייקנות, באובייקטיביות וללא מתן פרשנות אישית על-ידי החוקר/ת (עד כמה שניתן), הרי שבשלב הסקת המסקנות על החוקר/ת לתת הסבר מדעי (לפי דעתו!) לתוצאות החקר. כלומר, הפרשנות האישית של החוקר/ת הכרחית בשלב זה. יחד עם זאת, פרשנותו האישית של החוקר לתוצאות צריכה להיעשות תוך הקפדה יתרה על התייחסות לתוצאות כראיות אימפריות מנותקות מהאמונות ומהתיאוריות הקודמות שלו. לפיכך, במקרים שבהם הראיות האימפריות אינן עולות בקנה אחד עם אמונותיו הקודמות, החוקר מבחין בכך ומסוגל לשנות את התיאוריה האישית שלו. היכולת להבחין בין תיאוריות אישיות לבין ראיות אימפריות ולשנות תיאוריות אישיות בעקבות ראיות אימפריות הינה לב ליבה של החשיבה המדעית (Kuhn et al. 1995). מחקרים מעלים כי דווקא נקודה זו מהווה כשל מחשבתי אצל תלמידים, הנוטים לדבוק בתיאוריות קודמות שהביאו עמם לתהליך הלמידה, נוכח ראיות אימפריות (תוצאות החקר)



הסותרות את אמונותיהם הקודמות. למשל, במחקר שבדק את יכולתם של תלמידים להסיק מסקנות בניסוי הבודק את השפעת הגורמים על תהליך הנביטה (זוהר, 1996), תלמידים רבים הסיקו כי הוספת דשן משפיעה על הנביטה, למרות שתוצאות הניסוי שבצעו הראו את ההפך. מסתבר כי התלמידים החזיקו באמונה קודמת, לפיה דשן "טוב" לצמחים (זוהי אמונה שגויה, שכן הדשן משפיע על שלב הגדילה של הצמח אך לא על התהליך הראשוני של נביטת הזרע). מאחר שתוצאות הניסוי עמדו בסתירה מוחלטת לאמונתם הקודמת, התלמידים התקשו לקבל את התוצאות ולזנוח את התיאוריה האישית שלהם. כלומר, התלמידים כשלו בתאום בין התיאוריה האישית לבין הראיות האימפריות.

8. **הצגת תהליך החקר:** בעולם המדע מחקרים נכתבים במאמרים בדרך מקובלת ומתפרסמים בכתבי עת מדעיים, לצורך שיתוף מידע והבנייה משותפת של ידע. כלומר, הידע החדש שנוצר מהווה בסיס להמשך תהליך החקר ולהבניית ידע נוסף. מכאן נובעת החשיבות של הצגת תהליך החקר והפצתו ברבים, הכוללת: תיאור קפדני של תהליך החקר המדעי על כל שלביו ומרכיביו, תוך התייחסות לערעור הידע (היכולת להבחין בין התיאוריות האישיות לבין הראיות האימפריות ולשנות את התיאוריות האישיות נוכח הראיות האימפריות), לכשלים ולמגבלות התכנון, הביצוע, התוצאות והמסקנות. שלב זה מחייב שימוש באסטרטגיית החשיבה "ייצוג מידע בדרכים מגוונות". כלומר, שימוש מושכל ומתוכנן של דרכים שונות לייצוג מידע ולהפצתו, תוך התאמת סוג המידע לצורת הייצוג המתאימה לו (טקסט, טבלה, תרשימים מסוגים שונים, איורים וכיוצא בזה).

**תרשים מספר 1: מעגל החקר המדעי**



החשיבה בכוחות עצמם (ולא מקבלים אותן כמידע מוכן מהמורה או מספר הלימוד), הרי שלמידת חקר מחייבת הבנייה של ידע מטה-אסטרטגי על כל אחת מאסטרטגיות החשיבה המדעית בנפרד! העדר הוראה מפורשת של כל אחת מאסטרטגיות החשיבה, מוביל את תהליך החקר להתעסקות בפרוצדורות הטכניות של התצפית או הניסוי – לעשות מדע! ללא התייחסות לפרוצדורות הקוגניטיביות – לחשוב מדע! (Gott & Duggan, 1995). במקרים כאלה, תלמידים מעטים יבנו לעצמם ידע מטה-אסטרטגי "מרומז" (ולא מפורש!) באמצעות "השכל הישר", אך רובם לא יצליחו לעשות כן, ללא הוראה מטה-אסטרטגית מפורשת (Roberts & Gott, 2000).

כפי שנוכחנו לדעת, תהליך החקר המדעי מורכב מרשימה ענפה של אסטרטגיות חשיבה מסדר גבוה, שכל אחת מהן כרוכה בהבנה הליכית מדעית (Gott & Duggan, 1995). מחקרים רבים מעלים כי למידה משמעותית של אסטרטגיות חשיבה מסדר גבוה מחייבת הבנייה של ידע כללי ומפורש על אודות האסטרטגיה, המכונה בספרות המקצועית ידע מטה-אסטרטגי (Zohar & Ben-David, 2009). ידע מטה-אסטרטגי מתייחס ליכולת להמליל מאפיינים כלליים של אסטרטגיות חשיבה, כגון: היכולת לבצע הכללות ולהגדיר חוקיות בהקשר לאסטרטגיות חשיבה והיכולת להסביר מתי, למה ואיך (מל"א) להשתמש בהן. בהנחה שמדובר בתהליך חקר אותנטי, שבו התלמידים מפעילים את אסטרטגיות

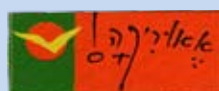
## הוראה מפורשת של ידע מטה-אסטרטגי – כיצד ליישם הלכה למעשה?

**חקר מדעי הוא תהליך הכרוך בהפעלתן של מספר אסטרטגיות חשיבה גבוהות, שכל אחת מהן דורשת ידע מטה-אסטרטגי מפורש. מוצע לאמץ את "מודל הרוכסן": להתחיל "ברוכסן סגור" – חקר מובנה ו"לפתוח את הרוכסן" בהדרגה עד לחקר עצמאי.**

ידע-מטה אסטרטגי כוללת שני מרכיבים עיקריים (זוהר, 2007):

1. **מרכיב ההתנסות בידע:** ידע מטה-אסטרטגי מופשט מטבעו ולכן חייב להבנות במהלך התנסות קונקרטית, במשימה הדורשת שימוש קוגניטיבי פעיל באסטרטגיה ובהקשר לתוכן המשימה. חשוב לציין כי לתוכן המשימה, שבמהלכה מתבצעת הבניית הידע על האסטרטגיה, נודעת חשיבות מכרעת על יכולת העברה (Transfer) של האסטרטגיה לתחומי תוכן אחרים. במקרים רבים, תלמידים "מצמידים" את האסטרטגיה לתוכן שבהקשרו הבנו

ראשית, חשוב לציין כי הגדרת ההוראה כ"מפורשת" אינה מתייחסת למודל הוראה המבוסס על העברת מידע מפורש מהמורה לתלמידים, הסותר במידה רבה את עקרונות החינוך לחשיבה. כאן המונח "הוראה מפורשת" מתייחס להוראה המכוונת את התלמידים להבנות בעצמם ידע מפורש על אודות אסטרטגיות חשיבה. בשל מורכבותן של אסטרטגיות חשיבה מסדר גבוה, הוראה מפורשת של ידע-מטה אסטרטגי מתמקדת בכל פעם באסטרטגיית חשיבה אחת בלבד, על-פי שיקול דעתם של המורים בתכנון תהליך ההוראה ולא בהכרח לפי סדר הופעתן בתהליך החקר המדעי. כמו כן, הוראה של





לאסטרטגיה) והסבר מפורש לשאלה **מתי?** (ידע מותנה): אילו סיטואציות מתאימות לשימוש באסטרטגיה? ובאילו סיטואציות אין להשתמש באסטרטגיה? ב. הסבר מפורש לשאלה **למה?** (ידע מוצהר): למה יש להשתמש באסטרטגיה ומה יהיו התוצאות בהעדר השימוש באסטרטגיה? ג. הסבר מפורש לשאלה **איך?** (ידע הליכי): כיצד האסטרטגיה פועלת, איך להשתמש באסטרטגיה הלכה למעשה.

להלן נבחן סוגיות אלה בדוגמה שעסקנו בה עד כה. התלמידים מקבלים "הזמנה לחקר" באופן הבא:

ידע על אודות האסטרטגיה, הם אינם מבחינים בין התוכן לבין האסטרטגיה ומתקשים להכיל את האסטרטגיה על תחומי תוכן אחרים. אחת הדרכים להקל על יכולת העברה של אסטרטגיות חשיבה אל מעבר לתחומי תוכן שונים היא על-ידי הבניית ידע מטה-אסטרטגי בתחומי תוכן "ניטרליים", בהקשר לחיי היום-יום של התלמידים ולא בהקשר לתוכן המשימה. 2. **מרכיב המללת הידע:** הכוונת התלמידים להמללה מדוברת וכתובה של הכללות ושל חוקיות בהקשר לאסטרטגיות חשיבה ודיון מפורש בהן. המללה של ידע מטה-אסטרטגי מל"א כוללת את: א. שיום האסטרטגיה (מתן שם

### הזמנה לחקר

בתצפית ראשונית בחצר בית הספר "החוקרים הצעירים" הבחינו התלמידים, שחרציות הגדלות באזור מואר נמוכות יותר מחרציות הגדלות באזור מוצל. התעוררו אצלם שאלות בדבר הקשר בין האור לבין החרציות והם החליטו לבצע חקר מדעי לבחינת שאלותיהם. לאחר שדנו בניסוחים שונים של שאלות חקר הגדירו את **שאלת החקר:** כיצד עוצמת האור משפיעה על גובה החרציות? על סמך התצפית הראשונית שביצעו התלמידים בחצר בית הספר, הם ניסחו **השערת חקר:** ככל שעוצמת האור גדולה יותר אז גובה החרציות קטן.

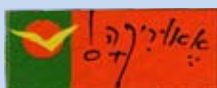
### משימה

עליכם לסייע לתלמידי בית-הספר "החוקר הצעיר" לתכנן דרך פעולה, שבאמצעותה ניתן לאשש או להפריך את **השערת החקר**, להסיק מסקנה ולהשיב על **שאלת החקר**. (מעובד מתוך "חושבים מדע – מבינים סביבה")

שכבר למדו באופן מפורש, התלמידים ידרשו ליישם. את האסטרטגיות שעדיין לא נלמדו, והן הכרחיות לביצוע המשימה, יש לתת לתלמידים כמידע מוכן שעליו יוכלו להישען (משימה זו דורשת את תכנון דרך הפעולה אך לא את ביצועה, לפיכך האסטרטגיות העוסקות בתוצאות החקר ובמסקנותיו אינן נדרשות לביצוע המשימה).

**מרכיב ההתנסות בידע:** המורה מאפשרת לתלמידים להתנסות בשימוש באסטרטגיה עוד לפני שהבנו ידע מפורש אודותיה. קרי, התלמידים מתנסים בתכנון דרך פעולה שבאמצעותה יוכלו לאשש או להפריך את השערת החקר, להסיק מסקנה ולהשיב

יש להדגיש כי, במהלך מכוון, התלמידים מקבלים את שאלת החקר ואת השערת החקר מוגדרות מראש. על-פי תכנון ההוראה בדוגמה זו, התלמידים עדיין לא הבנו ידע מטה-אסטרטגי על הגדרת שאלת חקר ועל ניסוח השערת חקר, ולכן הם מקבלים הגדרות "מוכנות", כדי שיוכלו לבצע את תהליך החקר כראוי. מטרת ההוראה בשלב זה היא להבנות ידע מטה-אסטרטגי על אודות תכנון דרך פעולת החקר וביצועו. לפיכך, משימה זו מתמקדת אך ורק באסטרטגיה זו. ההתייחסות לאסטרטגיות החקר האחרות, תלויה בתכנון מבוקר של תהליך ההוראה, שחייב להיעשות על-ידי המורה: את אסטרטגיות החקר



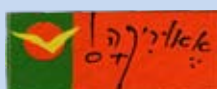
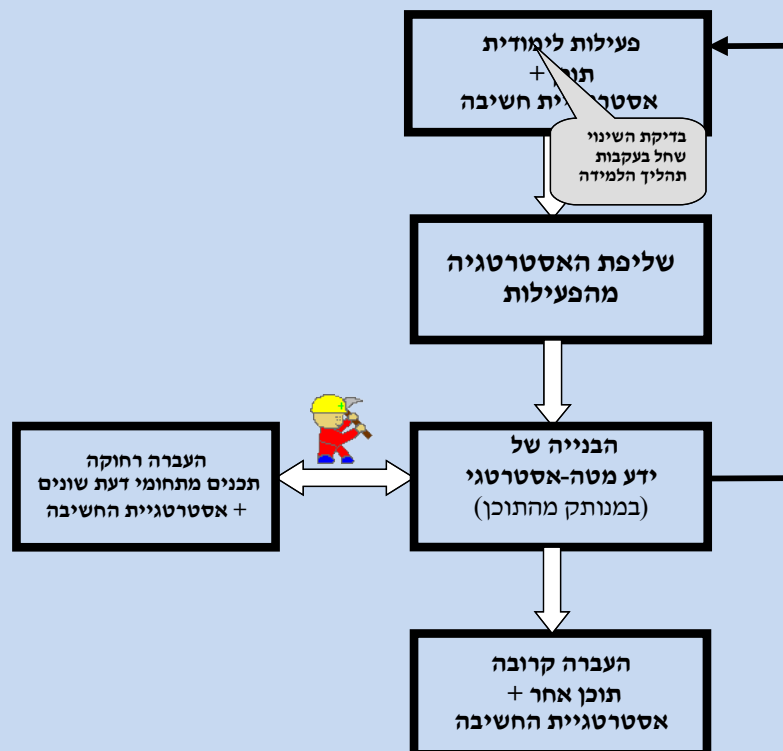
על שאלת החקר. התלמידים מציגים בפני הכיתה את דרכי הפעולה שתכננו ודנים בהם. מתוך הקשיים שהתעוררו והכשלים בביצוע המשימה, המורה מציעה "לעזוב לרגע" את משימת החקר הזו, שהינה מורכבת וכוללת משתנים רבים ומציגה לתלמידים סיפור "פשוט", שנועד ליצור גירוי ראשוני ולהוביל למרכיב המללת הידע:

במסגרת עבודת החקר שגל עשה על הבז האדום, הוא התבקש לערוך תצפית מדעית ולתאר אותה. גל צילם בז אדום ליד ביתו והגיש את התמונה למורה. בכך, חשב גל, תיאר את הבז האדום בדרך הטובה והמדויקת ביותר. כי הרי... "תמונה אחת שווה אלף מילים".  
מתוך "חושבים מדע - מבינים סביבה"

המורה שואלת שאלות מכוונות ומובילה לדיון בשאלות אלו: מה ניתן ללמוד על הבז האדום מהתצפית של גל? על איזה חוש או חושים מתבססת התצפית של גל? מה לא ניתן ללמוד על הבז האדום, מהתצפית של גל? אלו נתונים ניתן לאסוף ללא מכשירי מדידה? אלו נתונים מחייבים שימוש במכשירי מדידה? האם תצפית

היא דרך הפעולה היחידה לבצע חקר מדעי? מה ההבדל בין תצפית לבין ניסוי? וכיו"צא בזה. בתום הדיון התלמידים מתבקשים להמליץ בכתב את הידע שצברו על אודות תכנון דרך פעולה לביצוע החקר המדעי, תוך התייחסות לידע מטה-אסטרטגי מל"א - מתי, למה ואיך להשתמש באסטרטגיה. לאחר הבניית הידע על אודות האסטרטגיה, התלמידים חוזרים למשימת החקר, מיישמים את האסטרטגיה הלכה למעשה ומציגים בפני הכיתה. המורה מקיימת/ת דיון מפורש בשינוי שחל בעקבות הלמידה, כלומר, המורה מעלה למודעות את השינוי שחל בחשיבה של התלמידים בעקבות הבניית הידע על האסטרטגיה. בהמשך תהליך הלמידה, המורה מאפשרת לתלמידים ליישם את האסטרטגיה בתחומי תוכן שונים. חשוב לציין כי ניתן להקל על תהליך הבניית האסטרטגיה, בהתאם לשכבת גיל התלמידים ו/א לרמתם הלימודית, ולהתייחס במשימה זו רק לתכנון של תצפית מדעית. לתכנון של ניסוי מדעי ולהבחנה בין תצפית לבין ניסוי ניתן להתייחס בנפרד, במשימות אחרות. תרשים 2 שלהלן מסכם את מודל ההוראה המפורשת של ידע מטה-אסטרטגי על פי תפיסה זו (זוהר, 2007):

תרשים מספר 2: מודל להוראה מפורשת של ידע מטה-אסטרטגי



## חקר סגור, חקר פתוח ומה שביניהם – מודל הרוכסן

הניסוי/תצפית ונדרשים להציג את תהליך החקר ואת מסקנותיו באופן עצמאי.

### 3. חקר מודרך למחצה (Semi-Guided)

Inquiry:

התלמידים מקבלים את תבנית החקר כמו בחקר מובנה, פרט לשני השלבים הבאים: **הדיווח על תוצאות החקר והסקת המסקנות**, אותם התלמידים מבצעים בכוחות עצמם. התלמידים מבצעים את הניסוי/תצפית ונדרשים להציג את תהליך החקר ואת מסקנותיו באופן עצמאי.

### 4. חקר פתוח למחצה (Semi-) Inquiry

:Open

התלמידים מקבלים את תבנית החקר כמו בחקר מובנה, פרט לשלושת השלבים הבאים: **תכנון החקר וביצועו**, הדיווח על תוצאות החקר והסקת המסקנות, אותם התלמידים מבצעים בכוחות עצמם. התלמידים מבצעים את הניסוי/תצפית ונדרשים להציג את תהליך החקר ואת מסקנותיו באופן עצמאי.

### 5. חקר פתוח (Open) Inquiry:

התלמידים אינם מקבלים את תבנית החקר. אולם, התופעה הנחקרת – מטרת החקר ושאלת החקר, מוגדרים על-ידי המורה. התלמידים מנסחים **השערת חקר** בכוחות עצמם ומבצעים את כל שלבי החקר באופן עצמאי, כולל שלב הצגת תהליך החקר ומסקנותיו.

### 6. חקר עצמאי (Independent) Inquiry:

התלמידים אינם מקבלים את תבנית החקר, אלא מבצעים את כל שלבי החקר באופן עצמאי. התלמידים חופשיים להתמקד בנושא/תופעה על פי רצונם. בעקבות עיון ברקע מדעי בנושא או בעקבות תצפית ראשונית בתופעה הם מנסחים שאלות המסקרנות אותם ומגדירים את מטרת החקר שלהם. בחקר עצמאי, לכל קבוצה עבודת חקר ייחודית לה.

**טבלה 1** שבעמוד הבא מסכמת את אסטרטגיות החשיבה הנדרשות בכל אחד מדרגת החקר על-פי "מודל הרוכסן". בעמודה השמאלית מפורטות אסטרטגיות

ניכר כי הוראה מפורשת של ידע על אודות אסטרטגיית חשיבה אחת, היא לא עניין של מה בכך. מכאן שהבנייתן של כל אסטרטגיות החקר המדעי גם יחד, כרוכה בתהליך הוראה/ למידה מורכב וארוך טווח ובעומס קוגניטיבי רב עבור התלמידים. אחת הדרכים להקל בעומס הכרוך בהבנייתן של אסטרטגיות החקר, היא להימנע מלהתייחס לתהליך החקר המדעי כמכלול ולאמץ את מודל ההוראה אותו אני מכנה – **מודל הרוכסן**.



מודל הוראה זה מציע לנוע בהדרגה על הסקאלה שבין חקר סגור (מובנה) לבין חקר עצמאי. קרי, להתחיל "ברוכסן סגור" – משימת חקר מובנת, שבה התלמידים מקבלים את תהליך החקר "מוכן" מראש ונדרשים ליישמו ולהציגו

בלבד, ו"לפתוח את הרוכסן" בהדרגה (בכל פעם דרישה לאסטרטגיית חשיבה נוספת) עד למשימת חקר עצמאי, שבה התלמידים מפעילים את כל אסטרטגיות החקר בכוחות עצמם. מודל "הרוכסן" כולל את הרצף הבא:

### 1. חקר סגור (מובנה) (Structured Inquiry)

התלמידים מקבלים את כל תבנית החקר: ניסוח הבעיה/מטרת החקר, שאלת החקר (כולל הגדרת משתנה תלוי, משתנה בלתי תלוי והקשר בניהם), השערת החקר, הוראות לתכנון ולביצוע החקר, תבניות מוכנות לאיסוף הנתונים (כלי המדידה, יחידות המדידה, טבלאות מתאימות לנתונים, הנחיות לייצוג הנתונים בתרשימים מתאימים וכיוצא בזה), נקודות ציון לאישוש או להפרכת ההשערה, להסקת המסקנות ולניסוח תשובה לשאלת החקר. התלמידים מבצעים את הניסוי/תצפית ונדרשים להציג את תהליך החקר ואת מסקנותיו באופן עצמאי.

### 2. חקר מודרך (Guided) Inquiry:

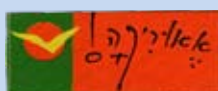
התלמידים מקבלים את תבנית החקר כמו בחקר מובנה, פרט לשלב **הסקת המסקנות**, אותם התלמידים צריכים לבצע בכוחות עצמם. התלמידים מבצעים את

מטה-אסטרטגית (מטה קוגניטיבית) והן ברמת יישום הידע המטה-אסטרטגי לאחר שנלמד באופן מפורש.

החשיבה אותן התלמידים נדרשים להפעיל הן ברמת השימוש באסטרטגיה, כלומר ברמה האסטרטגית (רמה קוגניטיבית), הן ברמת החשיבה על אודות האסטרטגיה, קרי, רמה

**טבלה מספר 1: מודל "הרוכסן" להוראה מפורשת של אסטרטגיות החקר המדעי**

אסטרטגיות החשיבה הנדרשות מהתלמידים	שלבי החקר הניתנים לתלמידים	דרגת החקר
<p><b>8. הצגת תהליך החקר:</b> שימוש באסטרטגיה (רמה אסטרטגית) + הוראה מפורשת של ידע מטה אסטרטגי.</p>	<p>1. ניסוח מטרות 2. הגדרת שאלת חקר 3. ניסוח השערת חקר 4. תכנון דרך פעולת החקר וביצועו (כולל: בידוד משתנים, בקרות, ריבוי פריטים וחזרות). 5. דיווח על תוצאות החקר 6. הסקת מסקנות 7. הבחנה בין תוצאה לבין מסקנה</p>	<p>1. חקר סגור (מובנה)</p>
<p><b>6. הסקת מסקנות:</b> שימוש באסטרטגיה + הוראה מפורשת של ידע מטה-אסטרטגי. <b>7. הבחנה בין תוצאה לבין מסקנה:</b> שימוש באסטרטגיה + הוראה מפורשת של ידע מטה-אסטרטגי. <b>8. הצגת תהליך החקר:</b> יישום האסטרטגיה.</p>	<p>1. ניסוח מטרות 2. הגדרת שאלת חקר 3. ניסוח השערת חקר 4. תכנון דרך פעולת החקר וביצועו (כולל: בידוד משתנים, בקרות, ריבוי פריטים וחזרות). 5. דיווח על תוצאות החקר</p>	<p>2. חקר מודרך</p>
<p><b>5. דיווח על תוצאות החקר:</b> שימוש באסטרטגיה + הוראה מפורשת של ידע מטה-אסטרטגי. <b>6. הסקת מסקנות:</b> יישום. <b>7. הבחנה בין תוצאה לבין מסקנה:</b> יישום <b>8. הצגת תהליך החקר:</b> יישום.</p>	<p>1. ניסוח מטרות 2. הגדרת שאלת חקר 3. ניסוח השערת חקר 4. תכנון דרך פעולת החקר וביצועו (כולל: בידוד משתנים, בקרות, ריבוי פריטים וחזרות).</p>	<p>3. חקר מודרך למחצה</p>
<p><b>4. תכנון דרך פעולת החקר וביצועו (כולל: בידוד משתנים, בקרות, ריבוי פריטים וחזרות):</b> שימוש באסטרטגיה + הוראה מפורשת של ידע מטה-אסטרטגי. <b>5. דיווח על תוצאות החקר:</b> יישום. <b>6. הסקת מסקנות:</b> יישום. <b>7. הבחנה בין תוצאה לבין מסקנה:</b> יישום. <b>8. הצגת תהליך החקר:</b> יישום.</p>	<p>1. ניסוח מטרות 2. הגדרת שאלת חקר 3. ניסוח השערת חקר</p>	<p>4. חקר פתוח למחצה</p>



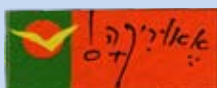
דרגת החקר	שלבי החקר הניתנים לתלמידים	אסטרטגיות החשיבה הנדרשות מהתלמידים
5. חקר פתוח	1. ניסוח מטרות 2. הגדרת שאלת חקר	3. <b>ניסוח השערת חקר:</b> שימוש באסטרטגיה + הוראה מפורשת של ידע מטה-אסטרטגי. 4. <b>תכנון דרך פעולת החקר וביצועו:</b> יישום 5. <b>דיווח על תוצאות החקר:</b> יישום. 6. <b>הסקת מסקנות:</b> יישום. 7. <b>הבחנה בין תוצאה לבין מסקנה:</b> יישום. 8. <b>הצגת תהליך החקר:</b> יישום.
6. חקר עצמאי		1. <b>ניסוח מטרות:</b> שימוש באסטרטגיה + הוראה מפורשת של ידע מטה-אסטרטגי. 2. <b>הגדרת שאלת חקר:</b> שימוש באסטרטגיה + הוראה מפורשת של ידע מטה-אסטרטגי. 3. <b>ניסוח השערת חקר:</b> יישום. 4. <b>תכנון דרך פעולת החקר וביצועו:</b> יישום. 5. <b>דיווח על תוצאות החקר:</b> יישום. 6. <b>הסקת מסקנות:</b> יישום. 7. <b>הבחנה בין תוצאה לבין מסקנה:</b> יישום. 8. <b>הצגת תהליך החקר:</b> יישום.

## תיאור שלבי ההוראה על-פי מודל "הרוכסן"

תוצאה לבין מסקנה". לאחר ההתנסות המורה "מחלצ/ת" את האסטרטגיות הללו מהפעילות ומכוונת את התלמידים להבנות ידע מפורש על אודות האסטרטגיות. קרי, הוראה מפורשת של ידע על "הסקת מסקנות" ועל "הבחנה בין תוצאה לבין מסקנה". חשוב להדגיש כי למרות ששתי האסטרטגיות נלמדות באותו השלב (בשל סמיכות התוכן שלהן), יש להקדיש לכל אחת מהן יחידת הוראה מפורשת נפרדת.

3. התלמידים מתנסים בתהליך **חקר מובנה למחצה**, מיישמים את האסטרטגיות שכבר למדו ומתנסים בשימוש עצמאי באסטרטגיה: **"דיווח על תוצאות החקר"**. לאחר ההתנסות באסטרטגיה המורים עורכים **הוראה מפורשת של ידע מטה-אסטרטגי**.

1. התלמידים מתנסים בתהליך **חקר סגור** ובשימוש עצמאי באסטרטגיית "ייצוג מידע ו/או הידע בדרכים מגוונות". לאחר ההתנסות המורה "שולפ/ת" את אסטרטגיית החשיבה "ייצוג מידע" מהפעילות ומכוונת את התלמידים להבנות ידע מפורש על האסטרטגיה. קרי, הוראה מפורשת של ידע על ייצוג מידע ו/או הידע בדרכים מגוונות.
2. התלמידים מתנסים בתהליך **חקר מובנה**, מיישמים את אסטרטגיית החשיבה "ייצוג מידע" לאחר שלמדו באופן מפורש ומתנסים בשימוש עצמאי באסטרטגיית החשיבה "הסקת מסקנות" ובאסטרטגיית החשיבה "הבחנה בין

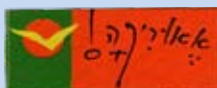


חשוב להקפיד כי בכל שלבי ההוראה התלמידים יקבלו **הערכת-ביצועים** ולא רק הערכת תוצרים. כלומר, הערכת תהליך החקר, בכל שלבי ההוראה השונים, חייבת לכלול התייחסות לביצועי התלמידים בתהליך, קרי, הפעלתן של אסטרטגיות החשיבה בכל שלב ושלב, ולא רק לתוצר הסופי של התהליך.

### מודל "הרוכסן" והתפיסה ההיסטורית של המדע

מודל הרוכסן להוראת תהליך החקר בכיתה, מזמן אפשרויות רבות ללמידה בגישת **ההזמנה לחקר**, המשלבת את המרכיב ההיסטורי ואת עקרונות החקר המדעי (Schwab, 1962). מאחר שמודל הרוכסן עובר בהדרגה מחקר סגור לחקר עצמאי, הרי שבשלבי ההוראה הראשונים התלמידים מקבלים תיאורים של מחקרים מוגדרים ומבצעים בכוחות עצמם רק את שלבי החקר האחרונים, כפי שתואר לעיל. כאשר "המחקרים המוגדרים" מבוססים על מחקרים אמיתיים, שבוצעו על ידי מדענים אמיתיים, במהלך ההיסטוריה של המדע, התלמידים נחשפים לא רק לתוכן המדעי אלא ובעיקר לתפיסת המדע כתהליך דינאמי, הנמצא בהשתנות מתמדת וכתוצר של תהליכי חשיבה מדעית של אנשים רבים, המושפע מרוח התקופה, התרבות, האינטואיציה האנושית, המטאפיזיקה של החוקר וכן מיד המקרה (תגליות מדעיות לא מבוטלות התגלו באופן מיקרי לחלוטין!). כמו כן, שילובם של "מחקרים קלאסיים" מההיסטוריה של המדע בתהליך החקר מאפשר התייחסות מפורשת לעקרונות החקר המדעי, כגון: עיקרון סיבה-תוצאה המתקיים על פי רוב כניסויי בקרה, עיקרון התאמת מבנה לתפקיד, ה עיקרון הטכסונומי שבטבע (ניתן להבחין בין יצורים חיים ולמיינם על-פי תכונותיהם), עיקרון הויסות העצמי וההומיאוסטזיס (הכושר לקיים שיווי משקל בין חלקי גוף המשתנים בהשפעת שינויים בסביבה החיצונית) (McReL & BSCS, 1969).

4. התלמידים מתנסים בתהליך **חקר פתוח למחצה**, מיישמים את האסטרטגיות שכבר למדו ומתנסים בשימוש עצמאי בתהליך "תכנון זרך פעולת החקר וביצועו". תהליך התכנון כרוך בהפעלתן של מספר אסטרטגיות חשיבה (בידוד משתנים, בקרות, ריבוי פריטים וחזרות), לפיכך לאחר ההתנסות באסטרטגיות המורים עורכים הוראה מפורשת של ידע על אודות האסטרטגיות השונות, באמצעות יחידת הוראה נפרדת לכל אחת מהן. כאן חשוב לחדד את ההבחנה בין האסטרטגיות הנותנות **תוקף** למחקר (בידוד משתנים ובקרות מתאימות), כלומר, שוללות הסברים חלופיים לתוצאות הניסוי, לבין האסטרטגיות המקנות **מהימנות** למחקר (ריבוי פריטים וחזרות), השוללות אפשרויות של מיקריות תוצאות הניסוי ו/או טעויות ביצוע/מדידה.
5. התלמידים מתנסים בתהליך **חקר פתוח**, מיישמים את האסטרטגיות שכבר למדו ומתנסים בשימוש עצמאי באסטרטגיית "ניסוח השערת חקר". לאחר ההתנסות באסטרטגיה התלמידים מקבלים **הוראה מפורשת של ידע מטה-אסטרטגי**.
6. התלמידים מתנסים בתהליך **חקר עצמאי**, מיישמים את האסטרטגיות שכבר למדו ומתנסים בשימוש עצמאי באסטרטגיית "ניסוח מטרת החקר" ו"הגדרת שאלת החקר". לאחר ההתנסות באסטרטגיות התלמידים מקבלים **הוראה מפורשת של ידע על אודות האסטרטגיות הנ"ל**.
7. התלמידים מקבלים הזדמנויות חוזרות ונשנות ליישום של כל אסטרטגיות החקר המדעי, בתהליך **חקר עצמאי**. התלמידים מיישמים תהליכי חקר עצמאי בתחומי תוכן שונים. ככל שרמת המורכבות של התוכן גדלה יישומן של אסטרטגיות החשיבה נעשה מורכב יותר.



## הזמנה לחקר: האם מוצאם של יצורים חיים הוא מיצורים חיים בלבד?

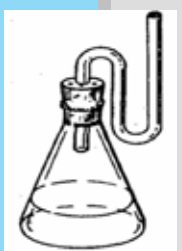
שאלה זו ודומות לה הביאו מדענים למחלוקת סוערת בקשר לאפשרות של "בריאה מאליה" (בריאה ספונטאנית) – כלומר שדומם יכול לברוא חי.



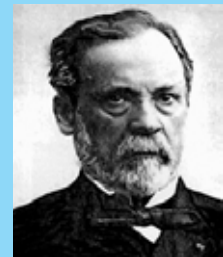
בסוף המאה ה-18 ביצע החוקר האיטלקי **לזרו ספלנצני** ניסויים רבים על מנת לבחון את האמונה ששררה בזמנו, כי מתרחשת בריאה מאליה של יצורים חיים.

ספלנצני הכניס קש רווי במים לשמונה מבחנות והרתיח אותן. לאחר מכן חתם ארבע מבחנות בפקק שעם (המאפשר מעבר אוויר) ואת ארבע המבחנות האחרות חתם בפקק אטום למעבר אוויר. התוצאות היו מפליאות. במבחנות החתומות בפקקי שעם הופיעו יצורים בשפע. במבחנות האטומות לאוויר לא הופיעו יצורים בכלל. על פי ספלנצני האוויר שחדר למבחנות דרך פקקי השעם נשא עמו יצורים מיקרוסקופיים המצויים באוויר. לכן, לא הופיעו חיים במבחנות האטומות לאוויר. ספלנצני טען כי כך הוכיח שאין בריאה מאליה.

אולם חסידי גישת הבריאה מאליה לא השתכנעו מהניסוי של ספלנצני. הם טענו כי הבריאה הספונטאנית מתבצעת רק בנוכחות אוויר. האוויר הוא תנאי הכרחי לחיים ואטימת המבחנות לא אפשרה לאוויר להיכנס ולאפשר היווצרות חיים. הויכוח המשיך עד 1862 והסתיים בעקבות



הניסויים שערך החוקר הצרפתי **לואי פסטר**. פסטר חיפש דרך להכניס אוויר למבחנות מבלי להכניס חיידקים שמצויים באוויר. פסטר הניח שהחיידקים כבדים מהאוויר ולכן אם יזרום האוויר דרך צינור מפותל החיידקים ישקעו בתחתית והאוויר ימשיך אל המבחנה כשהוא נקי מחיידקים. כך יכול היה לבדוק אם מוצא החיידקים שבמבחנה הוא מהאוויר או מיצורים אחרים.



(מתוך: "חושבים מדע – מבינים סביבה" חוברת: מים רבים)

לשלב שבו נמצאים התלמידים בתהליך הלמידה של אסטרטגיות החקר המדעי. את האסטרטגיות שהתלמידים טרם למדו באופן מפורש, "מספק" הסיפור ההיסטורי על אודות המחקר, ואת האסטרטגיות שכבר נלמדו המורה יכול/ה "להשמיט" מהסיפור ולדרוש מהתלמידים ליישמן. כמו כן, תהליך חקר המבוסס על ההיסטוריה של המדע, חושף את התלמידים לתפיסת המדע כתוצר של תהליכי חשיבה של האדם, קרי, כתהליך דינאמי של העלאת השערות, בחינה אמפירית של השערות ואישושן או הפרכתן.

התלמידים מתבקשים לבצע את המחקר של לואי פסטר, באמצעות תהליך **חקר מודרך למחצה**. כלומר, הם מקבלים את תבנית החקר של פסטר: מטרת החקר, שאלת החקר, השערת החקר, הוראות לתכנון ולביצוע החקר ותבניות מוכנות לאיסוף הנתונים, פרט לשלבי החקר האחרונים – הדיווח על תוצאות החקר, הסקת המסקנות והצגת תהליך החקר, אותם התלמידים מבצעים באופן עצמאי.

העיסוק בתהליך חקר המבוסס על אירוע היסטורי "אמיתי", מאפשר למורה לתכנן את דרגת החקר (מהמובנה לעצמאי) בהתאם

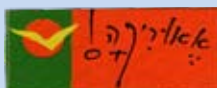
## חקר מדעי כהליך שיתופי ומטה-קוגניטיבי

אחד ממאפייניו הבולטים של המדע הוא ההיבט השיתופי של צוות חוקרים. הישגי המדע הם פרי עבודה קבוצתית של מדענים, הבאה לידי ביטוי במצוינות ואחריות אישית מחד, ויכולת לעבודת צוות משותפת ומתואמת מאידך. מכאן, שהוראה בדרך החקר, המתמיימת להתחקות אחר התהליך המדעי ה"אמיתי" ולתרום להבנת מהות המדע ועבודת המדענים, צריכה להתבסס על עקרונות הלמידה השיתופית. שיתופיות היא התנהגות מורכבת ביותר המחייבת הן הבניה משותפת של ידע במישור הקוגניטיבי והמטה-קוגניטיבי (לחשוב על החשיבה) והן מיומנויות אפקטיביות (רגשיות) ואינטראקציות חברתיות (לזרוביץ ולזרוביץ, 2007). לפיכך, הנחת היסוד של הלמידה השיתופית היא ששיטתה מניעה את התלמידים ללמידה פעילה מבחינה רגשית-חברתית, קוגניטיבית ומטה-קוגניטיבית ומעודדת שיח טיעוני, עיבוד קבוצתי של מידע והבניה משותפת של ידע. למידת חקר שיתופית מאפשרת לתלמידים לשוחח, להחליף דעות, להתווכח, להעלות השערות ולבחון אותן באופן אמפירי. יחסי הגומלין הנוצרים בלמידת חקר שיתופית, בין חברי הקבוצה לבין עצמם ובין לבין הידע הנבנה, מזמנים אפשרויות לפיתוח חשיבה ברמה הקוגניטיבית (שימוש באסטרטגיות/תהליכי חשיבה) וברמה המטה-קוגניטיבית (חשיבה על אסטרטגיות/תהליכי החשיבה והבניית ידע מפורש) ומהווים קרקע פורייה לטיפוח מיומנויות בתחום הריגשי-חברתי: הקשבה, סובלנות, כבוד הדדי, עזרה לזולת וכיוצא בזה. קבוצת החקר השיתופית יכולה גם לתת מענה לאופי ההטרוגני של אוכלוסיית התלמידים בכיתה, על ידי מתן משימות חקר ברמות עומק ורוחב שונות ו/או חלוקת תפקידים ברמות שונות בין חברי הקבוצה.

אולם, האפשרויות הרבות הטמונות בלמידת החקר השיתופית לא יניבו פרי ללא מודעות המורה אליהן וללא תכנון של הוראה המכוונת מפורשות לטיפוח מיומנויות רגשיות-חברתיות ולפיתוח החשיבה, ברמה קוגניטיבית וברמה המטה-קוגניטיבית (להרחבה ולהעמקה

ראו: בן דוד, 2009). חשוב לציין כי הוראה המכוונת לפיתוח חשיבה מטה-קוגניטיבית צריכה להתייחס באופן מפורש לכל מרכיבי המטה-קוגניציה, הכוללים:

1. **מיומנויות מטה-קוגניטיביות:** ידע הליכי (Procedural knowledge) של מיומנויות הנדרשות לביצוע **ויסות עצמי** של תהליכי חשיבה ובקרה עליהם, כולל: **א. תכנון:** בחירת אסטרטגיות חשיבה מתאימות והקצאת משאבים המשפיעים על הביצועים, **לפני** ביצוע משימת החקר, התייחסות לשאלות כגון: מהו אופי המשימה? מהי מטרת המשימה? איזה סוג מידע ואילו אסטרטגיות חשיבה נדרשים? וכדומה. **ב. ניטור (פיקוח) ובקרה:** מודעות לתהליכי החשיבה **תוך כדי** ביצוע משימת החקר. התייחסות **לדינאמיות** של תהליך החקר ולשאלות כגון: האם אני אכן מבצע את המשימה כנדרש? האם התוצאות צפויות? כיצד אתמודד עם "הפתעות" בתהליך? אלו שינויים עלי לבצע? וכדומה. **ג. בדיקה והערכה:** הערכת התהליכים והתוצרים של החשיבה על ידי בדיקתם **בתום** ביצוע משימת החקר. התייחסות לשאלות כגון: האם המטרה הושגה? האם מיציתי את המירב מתהליך החקר? מה לא הצליח? מדוע לא הצליח? האם אפעל אחרת בעתיד? וכדומה.
2. **ידע מטה-קוגניטיבי:** ידע מוצהר (Declarative knowledge) האינטראקציה בין מאפייני האדם, המשימה והאסטרטגיה, כולל: **א. ידע אודות האדם כחושב** (עצמי ואנשים אחרים): ידע ואמונות על מאפיינים ריגשיים, מוטיבציוניים, ותפיסתיים של חשיבת האדם. **ב. ידע אודות משימות חשיבה:** ידע על תהליכים ועל מאפיינים כלליים של משימות חשיבה. **ג. ידע אודות אסטרטגיות חשיבה:** ידע כללי על דרכי פעולה לפתרון משימות חשיבה. כאמור, הידע המתואר בסעיפים ב+ג (ידע אודות משימות חשיבה וידע אודות אסטרטגיות חשיבה) מכונה **ידע מטה-אסטרטגי**.





**3. חוויות/התנסויות מטה-קוגניטיביות:** מרכיב המתייחס גם לתחום האפקטיבי (ריגשי) של הלמידה, כולל מרכיבים של הנעה ללמידה (מוטיבציה) ושל תהליכים חברתיים-ריגשיים, ולו שלושה היבטים: **א. תחושות. ב. שיפוט/הערכות** המתעוררות אצל הלומד/ת תוך כדי התנסות במשימת חקר. לדוגמה: הלומדים חשים ביטחון/חוסר ביטחון ביחס

למשימת החקר. **ג. ידע אודות משימת החקר** הספציפית במהלך ביצועה כולל ידע על מאפייני המשימה ועל התהליכים הנדרשים לביצועה. (היבט זה מתייחס למרכיבים קוגניטיביים ולא ריגשיים). טבלה 2 שלהלן מסכמת את מרכיבי המטה-קוגניציה כפונקציה של תהליכי ניטור ובקרה של הקוגניציה.

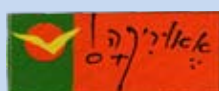
**טבלה 2: מטה-קוגניציה כפונקציה של תהליכי ניטור ובקרה של הקוגניציה (Efklides, 2006):**

ניטור/פיקוח		בקה
3. חוויות מטה-קוגניטיביות	2. ידע מטה קוגניטיבי	1. מיומנויות מטה-קוגניטיביות
<p><b>א. תחושות:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>תחושת בקיאות/מוכרות</li> <li>תחושת קושי</li> <li>תחושת ידיעה</li> <li>תחושת ביטחון</li> <li>תחושת שביעות רצון/סיפוק</li> </ul> <p><b>ב. שיפוט/הערכות</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>שיפוט הלמידה</li> <li>מקור הזיכרון/המידע</li> <li>הערכה/אומדן של מאמץ</li> <li>הערכה/אומדן של זמן</li> </ul> <p><b>ג. ידע אודות המשימה במהלך ביצועה</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>מאפייני המשימה</li> <li>תהליכי הביצוע</li> </ul>	<p><b>רעיונות, אמונות, תיאוריות על:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>אדם (אני/אחרים)</li> <li>משימות</li> <li>אסטרטגיות</li> <li>מטרות</li> <li>תפקודים</li> <li>קוגניטיביים (זיכרון, ריכוז וכו')</li> <li>תקפות הידע</li> <li>תורת ההכרה</li> </ul>	<p><b>פעילויות מודעות ומכוונות ושימוש באסטרטגיות לשם:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>הקצאת מאמץ</li> <li>הקצאת זמן</li> <li>פיקוח על דרישות המשימה</li> <li>בדיקה וויסות של תהליכים קוגניטיביים</li> <li>הערכת התוצרים</li> </ul>

## אחרית דבר...

בעל יכולת לחשיבה ביקורתית ארגומנטטיבית ולשיקול דעת חברתי-ערכי-מוסרי. אולם, האפשרויות הרבות הטמונות בלמידת החקר השיתופית לא יניבו פרי ללא מודעות המורה אליהן וללא תכנון של הוראה מפורשת המכוונת להשגתן. חקר מדעי הוא תהליך הכרוך בהפעלתן של מספר אסטרטגיות חשיבה גבוהות, שכל אחת מהן דורשת ידע מטה-אסטרטגי מפורש. לפיכך, תהליך החקר כולו מהווה עומס קוגניטיבי לא מבוטל הצורך

קצרה היריעה מלהרחיב בכל הסוגיות הנוגעות לתהליך החקר המדעי. מאמר זה התייחס, רובו ככולו, לפן האופרטיבי של שילוב תהליך החקר בכיתה. ניכר כי העיסוק **בלמידת חקר שיתופית** טומנת בחובה אפשרויות של ממש להשגת יעדים פדגוגיים-חינוכיים מחויבי המציאות. קרי, יעדים המותאמים לערכי החברה הדמוקרטית המודרנית, המכוונים לפיתוח חשיבה מסדר גבוה והסתגלות מהירה ומושכלת בסביבה עתירת ידע, ולטיפוח אזרח



נראה כי "המאמץ משתלם". אם נשכיל להפיק את מרב התועלת מתהליך החקר המדעי בכיתה, ניווכח כי ניתן להשיג שילוב של **ידע על אודות מדע** – הפעילות המדעית, עם **ידע של מדע** – תוצרי הפעילות המדעית. שילוב תהליך החקר בכיתה, תוך פיתוח אסטרטגיות חשיבה והבניית ידע מדעי, יוביל לטיפול תפיסה נאמנה של המדע כתהליך דינאמי של התהוות ידע, על-ידי חשיבה ביקורתית ויצירתית של האדם, בניסיון לבאר ולהסביר את העולם. או בנימה עממית – חקר עושים **"הבניה"** או לא עושים בכלל.

מאמץ וזמן, הן מהמורה והן מהתלמידים. כאן מוצע להימנע מלהתייחס **להוראת תהליך החקר כמכלול ולאמץ את "מודל הרוכסן"**: להתחיל "ברוכסן סגור" – חקר מובנה ו"לפתוח את הרוכסן" בהדרגה (בכל פעם דרישה לאסטרטגיית חשיבה נוספת) עד לחקר עצמאי, שבו התלמידים מפעילים את כל אסטרטגיות החקר בכוחות עצמם. ללא ספק מדובר בהשקעה מרובה בתכנון של תהליך הוראה, המחייב גמישות מחשבתית ושינויים בתפיסת תהליכי ההוראה, הלמידה והערכה (הערכת הביצועים ולא רק התוצרים!). אך

## מקורות

זוהר, ע. (עורכת). (2007). **למידה בדרך החקר: אתגר מתמשך**. מאגנס, האוניברסיטה העברית בירושלים.

לזרוביץ, ר', ולזרוביץ-הרץ, ר', (2007). **"למידה שיתופית ומיומנויות חקר בהוראת הביולוגיה"**. בתוך: זוהר, ענת (עורכת). (2007). למידה בדרך החקר: אתגר מתמשך. מאגנס, האוניברסיטה העברית בירושלים.

מרזאנו, ג'ר', ואחרים (2002). **ממדי החשיבה: מסגרת לתכנית לימודים ולהוראה**. ירושלים: מכון ברנקו וייס ולטיפוח החשיבה, ירושלים.

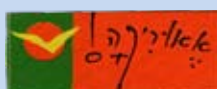
יועד, צ', (עורכת) (2010). **חשיבה בתהליך הלמידה בעידן הידע**. הוצאת מעלות, האגף לפיתוח ולתכנון תכניות לימודים, משרד החינוך.

בן דוד, ע', (2009). **מטה-קוגניציה בהוראה ובלמידה**, אאוריקה, 27, אפריל 2009. <http://www.matar.ac.il/eureka/newspaper27/docs/06.pdf>

זוהר, ע. (1996). **ללמוד, לחשוב וללמוד לחשוב. מכון ברנקו וייס לטיפוח החשיבה**, האגף לפיתוח ולתכנון תכניות לימודים, משרד החינוך.

זוהר, ע. (2007). **ה"אופק הפדגוגי" רפורמה או שינוי?** הד החינוך, אוגוסט, 2007.

זוהר, ע. (2007). **למידת חקר, מיומנויות חשיבה גבוהות ומטה-קוגניציה**. בתוך: ע. זוהר (עורכת). (2007). למידה בדרך החקר: אתגר מתמשך. הוצאת מאגנס.



- Ausubel, D.P. (1968). *Educational Psychology: A Cognitive View*. N.Y: Holt, Reinhart & Winston INC.
- Efklides, A. (2006). **Metacognition and affect: What can metacognitive experiences tell us about the learning process?** *Educational Research Review* 1, 3–14.
- Gott, R., & Duggan, S. (1995). **Investigative work in the science curriculum**. Bristol, PA: Open University Press.
- Lederman, N. G. (2007). **Nature of science: Past, present, and future**. In Abell, S. & Lederman, N. (Eds.) *Handbook of Research on Science Education*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- McReL, & BSCS. (1969). **Inquiry in the teaching of Biology**. Kansas City, Missouri: McReL
- National Science Teachers Association (NSTA). (1992). **Scope, Sequence and Coordination: Content Core**. Washington, DC: National Science Teachers Association.
- Piaget, J. (1948/1974). **To understand is to Invent: The Future of Education**. New York: Viking.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). **Accommodation of a scientific conception: Towards a theory of conceptual change**. "Science Education," 66 (2), 211–227.
- Roberts, R. & Gott, R. (2000). **Procedural understanding in Biology: how is it characterized in texts?** *School Science Review*, 82, 83–91.
- Schwab, J.J. (1962). **The teaching of science as Inquiry**. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Swartz, R.J., & Parks, S. (1994). **Infusing the teaching of critical and creative thinking into content instruction**. Pacific Grove, Ca: Critical Thinking Books & Software.
- Zohar, A., & Ben–David, A. (2008). **Explicit teaching of Meta–strategic knowledge in authentic classroom situations**. *Metacognition and Learning*, 3, 59–82.  
<http://www.springerlink.com/content/1820p6v3203g4730/>
- Zohar, A., & Ben–David, A. (2009). **Paving a clear path in a thick forest: A conceptual analysis of a metacognitive component**. *Metacognition and Learning*, 1556–1623.  
<http://www.springerlink.com/content/r1104442g6270w53/>

