

חיבור סקירת ספרות בנושא

## ידע אפיסטמי ומהות המדע: איך לפתח ולהעריך ידע אפיסטמי<sup>1</sup>

מוגש במסגרת מלגת זלמן ארן, מדען ראשי במשרד החינוך

**מרץ 2020**

דוקטורנטית לאחר בחינה סופית והגשת התיזה:

**מרצ'י אדרי**

הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, טכניון – מכון טכנולוגי לישראל

בהנחיית:

**פרופ' יהודית דורי**

הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, טכניון – מכון טכנולוגי לישראל

פרופ' אורחת בבית הספר להנדסה, MIT – ממסצ'וסטס מכון טכנולוגי, קמברידג', MA, ארצות הברית

**ד"ר עירית ששון**

המכללה האקדמית תל-חי, מכון שמיר למחקר

---

<sup>1</sup> סקירה מדעית זו הוזמנה על ידי המדען הראשי במשרד החינוך במסגרת מלגת זלמן ארן להגשה לוועדת היגוי

- הדברים מתפרסמים על דעת המחברות ובניסוחן
- הסקירה מאושרת לפרסום, לאחר תיקונים בעקבות משוב מוועדת ההיגוי של מדען ראשי במשרד החינוך
- אין להעביר קובץ זה או לצטט חלקים ממנו, אלא באישור המנחות ורק לאחר אישור הפצה מהטכניון

אני רוצה להודות :

ללשכת המדען הראשי – משרד החינוך, קרן על שם זלמן ארן על התמיכה הכספית הנדיבה בהשתלמותי ולד"ר איתי אשר ז"ל וד"ר אודט סלע על ההכרה בחשיבות המחקר ותרומתו ;

לדרי גילמור קשת, מנהלת אגף א' מדעים, ולאדון אורעד יורם, מפקח תכנים ותוכניות לימודים במדעי החומר – פיזיקה, במשרד החינוך ;

לדרי דינה ציבולסקי, ראש קבוצת המחקר בהוראת הביולוגיה בפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון ;  
על הערותיהם התורמות והיעילות לכתיבת סקירת הספרות.

3	תקציר .....
8	1. מהות הידע האפיסטמי בהוראת המדעים .....
8	1.1 פיתוח חשיבה מדעית כבסיס לחינוך מדעי .....
9	1.3 Coordination of evidence and theory — תיאום ראיות לתאוריה כבסיס לחשיבה מדעית .....
12	1.4 חשיבות השיח ההסטורי, לשוני, חברתי בפיתוח ידע אפיסטמי .....
16	2. ידע אפיסטמי מנקודת מבט של הוראה, למידה והערכה .....
16	2.1 מושגים חוצי תחומים .....
19	2.2 מודל ששת סגנונות החשיבה (הנמקה) מדעית .....
22	2.3 ידע אפיסטמי בפרספקטיבה של מודל סגנונות החשיבה המדעית .....
24	2.4 שילוב מודל ששת סגנונות החשיבה בתהליכי הוראה .....
27	3. התפתחות האפיסטמולוגיה בחינוך המדעי .....
27	3.1 התמחויות שונות באפיסטמולוגיה של המדע בחינוך המדעי .....
28	3.2 אתגרים בפיתוח אפיסטמולוגיה בחינוך המדעי .....
30	3.3 הטמעת גישת הוראה מבוססת פרקטיקות .....
31	3.4 פרקטיקות אפיסטמיות .....
32	3.5 מעורבות תלמידים בפרקטיקות אפיסטמיות .....
35	4. פיתוח והערכת פרקטיקות אפיסטמיות .....
35	4.1 גישות שונות לפיתוח והערכת פרקטיקות אפיסטמיות .....
38	4.2 ניתוח משימות לימוד ליצירת מעורבות .....
43	4.3 מבט על – יחסים בין פרקטיקות אפיסטמיות לפרקטיקות מדעיות .....
45	4.4 סיכום .....
47	5. ביבליוגרפיה .....

## תקציר

סוגיית מהות המדע עולה בהקשרים שונים בקרב אנשי מדע, רוח וחינוך לגבי מהי מטרתו המרכזית של העיסוק במדע. ההנחה הרווחת היא שמדענים ומדעניות עוסקים במדע במטרה לחקור כיצד חלקים ומרכיבים שונים של העולם פועלים; כאשר הצלחות רבות שנגזרות משאיפה זו, הן אלו שאפשרו לאנושות לאורך ההיסטוריה להסביר, לחזות ולהתערב במגוון תופעות. יתר על כן, הצלחותיהם של המדענים הביאו להתקדמות טכנולוגית חשובה, אשר מטיבה את חיינו. על פי השקפה זו, אנחנו פועלים מתוך ההכרה בתחומי המדע ובשיטה המדעית כפעילויות אנושיות פוריות בעלות תובנה, אשר "מייצעות" את חיינו במגוון דרכים מאומתות ומתארות את הדרכים שבהן פועלים מדענים. קיימות סיבות רבות ושונות לתפיסת תחומי המדעים כמרכיב חשוב בתוכניות הלימודים בכלל ובחינוך של אזרחי העתיד ולכן מוגדרים כמקצועות ליבה. כל זאת, מעבר להכרה בתחומי המדעים כחלק חשוב בתרבות האנושית. סיבה מרכזית לכך שמלמדים מדע היא כאמצעי לקידום ופיתוח מיומנויות חשיבה וכישורים מעשיים (פרקטיקות ומיומנויות), אשר חיוניים בחינוך בכלל, ובחינוך המדעי בפרט. סיבה זו עולה בקנה אחד עם כך שמייחסים למדע שיטות חשיבה ביקורתיות. תפיסה זו שמה דגש על כך שמקור ההצלחה של המדע נובע לא כי "הוא עובד" אלא כי הדרכים בהן המדע חותר להגיע לאמת הן "החזקות" והמשכנעות ביותר; כלומר, דרכי הציודק המדעי הן אלו המצליחות להסביר תופעות ואף לחזות תהליכים לפני התרחשותם. מכאן החינוך המדעי מוסמך ללמד אותנו כיצד לחשוב בביקורתיות ולבחון כל מידע המגיע לידנו. תפיסה זו משתלבת עם שתי המטרות המרכזיות של אנשי החינוך המדעי וההנדסי הן בפיתוח דור עתידי של מדענים, מדעניות מהנדסים ומהנדסות והן בעידוד לפיתוח אוריינות מדעית של כלל התלמידים והסטודנטים כדי להביא ליצירת ציבור משכיל, אוריין מדעית ובעל חשיבה ביקורתית.

תיאום ראיות לתאוריה (data-theory coordination)<sup>2</sup> נמצא במרכז החשיבה המדעית ולכן יעמוד במרכז סקירה זו. בבסיס תהליך זה מעורבת חשיבה מדעית ביקורתית, הסוללת את הדרך לציודק המדעי ומחזקת ההבנה לגבי מהות הידע האפיסטמי. ידע זה מבוסס על התפיסה שידע מדעי לא רק נוצר על ידי התנסות ותהליכים ניסויים. הוא מבוסס על לוגיקה, התבוננות פנימית, והנחות יסוד, כי התנסות לבד לא יכולה לייצר את הידע. תיאום ראיות לתאוריה היא משימה מתמשכת, שאדם בעל השכלה מדעית צריך להיות מסוגל לבצע באופן מודע ומבוקר. מיומנות זו הכרחית להבנה וליצירת ידע מדעי חדש וחשובה גם לקבלת החלטות אנושיות. תיאום כזה עשוי להיות כרוך בשיטות רבות ושונות (אינדוקציה או דדוקציה, טיעונים, הכללה או אי הכללה של סוגים שונים של נתונים) תוך שילוב ערכים ונורמות. באופן תמציתי, היכולת לתאם ראיות לתאוריה צריכה להיות קשורה ליכולת לחשוב על החשיבה שלנו; לחשוב על הראיות, מסקנות ופרשנויות שבוצעו על ידי מישהו אחר ומסתמכת על פיתוח הרגלי חשיבה אשר יכולים למנוע טעויות שכיחות.

במהותו, תהליך תיאום הראיות לתאוריה עוסק בתהליכי הנמקה המבוססים על דמיון או שונות כפי שעולים בעבודה משותפת של קבוצת חוקרים. עם זאת, עולה השאלה כיצד מתבצע התהליך והאם ניתן להגדירו תחת מכנה המשותף לדרכי ההנמקה הבאים לידי ביטוי בחשיבה המדעית. מודל לימודים המבוסס על שישה סגנונות

<sup>2</sup> המונח מוזכר בגרסאות שונות על ידי חוקרים בתחום הוראת המדעים "coordination of evidence and explanations"; "coordination of evidence and theory". ומכאן קיימים תרגומים שונים בעברית כמו 'התאמת ראיות לתאוריה'. או 'התאמת נתונים לתאוריה'. אנחנו בחרנו להשתמש בשני המושגים לסירוגין מאחר ואין תמימות דעים לגבי תרגום המונחים באנגלית ומאחר וגם בשפה האנגלית קיים שימוש בשתי הגדרות.

שונים של הנמקה מדעית, המופיע במאמרם של אוסברון ועמיתיו, מדגיש את הבסיס לתהליך תיאום הנתונים לתאוריה על ידי שמירת ייחודיות של תחומי המדע השונים. ששת סגנונות החשיבה על פי החוקרים Kind ו- Osborne (2017) כוללים: הנמקה דדוקטיבית מתמטית, חקירה ניסיונית, מידול, קטלוג וסיווג, הנמקה הסתברותית והנמקה היסטורית-אבולוציונית. הרציונל העומד מאחורי המודל מתייחס לידע במבט כולל של תחום התוכן וההישגים האינטלקטואליים שלו, נובע ממחקרים על ההיסטוריה של המדע המתקיימים מנקודת מבט קוגניטיבית, ככלי להבנת ההיגיון המדעי. מודל ששת סגנונות החשיבה ייחודי בכך, שבאמצעותו המדע מסוגל לענות על שלוש שאלות ספציפיות בנוגע לעולם החומרי: מה קיים?, למה זה קורה? כיצד אנו יודעים? כתוצאה מכך, החשיבה המדעית אינה תלויה בצורת ידע אחת, אלא בשלוש צורות של ידע – ידע תוכן, ידע תהליכי וידע אפיסטמי.

מתוך כך, אנשי החינוך המדעי מתעניינים בפיתוח הבנה של תלמידים אודות האפיסטמולוגיה של המדע במשך זמן רב. למרות עשרות שנים של מחקר על השקפות תלמידים, ועשרות שנים של רפורמות חינוכיות, עדיין קשה מאוד לשנות את התפיסות של התלמידים לגבי טבע היווצרות הידע המדעי והפרקטיקות המדעיות. קיימות למעשה שתי התמחויות בחינוך המדעי הקשורות לאפיסטמולוגיה: תפיסות התלמידים את נושא מהות המדע (Nature of science, NOS) ומעורבות (engagement) התלמידים בבניית משמעות מדעית על העולם באמצעות חקירה, מידול, ויכוחים ועוד. בתחום החשיבה והאמונות של האדם על אודות ידע וידעה, חוקרים הציעו תיאוריות מרובות עם הסכמה אמפירית קטנה גם בזמן היותן פשטניות בהמשגת שיטות של יצירת ידע. הקונפליקט בין החוקרים נובע משתי נקודות מבט שונות. נקודת מבט פסיכולוגית חינוכית בוחנת כיצד תפיסות אפיסטמולוגיות מסייעות לאדם ליצור את הבנותיו על העולם. לעומת זאת, הגישה הקלאסית של תורת ההכרה, שעיסוקה במשמעות הפילוסופית של מושג האפיסטמולוגיה, בוחנת את משמעות הידע והתנאים שבהם הוא יכול להיווצר או להיות מיוצג באופן כללי, ללא קשר לאמונות האישיות של הפרט. בחקר התפתחות האפיסטמולוגיה האישית (כחלק מהידע האפיסטמי) המתעצב בשלושת העשורים האחרונים, מנסים לאפיין ולקשור בין הפרספקטיבות השונות – בין אמונות, יישומן, ותהליכים של חשיבה אפיסטמית, המשקפים את ההכרה של החשיבה האנושית המתרחשת בזמן פעילות.

מעורבות תלמידים בבניית משמעות מדעית על העולם משקפת תהליכים של יצירת ידע. ניתן לאפיין צורות שונות של מעורבות תלמידים, בתהליכים מפורשים של הבניית ידע והבנות של סוגי ידע השימושיים ובעלי ערך במילוי מטרות שונות. שתי משמעויות מרכזיות נגזרות ממטרות אלו: 1. משמעות לקהילה המדעית המבוססת על מטרתו הרחבה של המחקר המדעי בלבס את הידע כיצד ומדוע תהליכים מתרחשים בעולם – לפתח מודלים מסבירים ויישומים; 2. משמעות לקהילה הכיתתית המבוססת על המטרות הכיתתיות – לעסוק בפעילויות הלימוד על-ידי אימוץ מטרותיהם של התלמידים, בניסיון ללמוד את המושגים או לשלוט במיומנויות שהם פיתחו. לדוגמא, גישה המבוססת על "אימון בפרקטיקות" מעודדת כי מעבר לביצוע פעולות המשקפות את המטרות של הקהילה המדעית, קהילות כיתתיות יאמצו לעצמם מטרות משלהן. מעבר לכך, המטרות הכיתתיות-האישיות מתייחסות להבנות האפיסטמיות של התלמידים על העבודה שלפניהם, וקשורה להחלטותיהם לגבי הבניית הידע, כמו גם למה ואיך הם עושים את זה.

שינויים במעמד הידע, ובעיקר השלכות שינויים אלה על ההתייחסות לאדם ולהתפתחותו הן בבית הספר והן מחוצה לו הובילו לתמורות הן בחינוך המדעי. במטרה למקד את תשומת הלב של מורי המדעים בבנייה ויישום ידע, ולא בהשגת רעיונות מדעיים ואפיסטמיים נפרדים, פרקטיקות מדעיות הוגדרו כמטרות למידה ( NGSS, 2013) הכוללות: שאלת שאלות והגדרת בעיות; פיתוח ושימוש במודלים; תכנון וביצוע חקירות; ניתוח נתונים ופרשנותם; שימוש במתמטיקה וחשיבה חישובית; בניית הסברים ותכנון פתרונות; עיסוק בטיעונים מתוך ראיות; ו- השגת מידע, הערכתו והעברתו. גישה פדגוגית זו מתמקדת בפיתוח ההבנה האפיסטמית והנימוקים המדעיים העולים בעת פיתוח הידע המדעי. הרציונל לכך הוא שדרך שיח לוגי ניתן לעורר את הקשר בין הרעיונות לבין הראיות. במובנים רבים הטענות המדעיות הן התהליך שבו המדענים, מפתחים ומשכללים ידע. כלומר, כאשר מדענים מציגים טיעונים התומכים ברעיונות חדשים, הטענות, הראיות או הצדקת הראיות נחקרות ומוערכות על ידי מדענים אחרים. התהליך המחזורי של ביקורת, חידוד והערכה מוביל לטיעונים מדעיים חזקים ולפעילות אפיסטמית מרכזית של הקהילה המדעית. פרקטיקות אלה, הנקראות פרקטיקות אפיסטמיות, עוסקות בדרכים שבהן חברי הקהילה מציעים, מתקשרים, מעריכים ומלמדים את הידע המדעי במבנה דיסציפלינרי מסוים. תמיכה במעורבות של תלמידים בפרקטיקות מדעיות מטרתה לסייע להם להבין מה לעשות. עם זאת, גישות רבות מעודדות השתתפות פעילה של התלמידים בבניית ידע מדעי, מתרגלות עם התלמידים שליטה במשתנים, או יצירת תוצרים במבנה מפורש. עם זאת, הדגשת הפעולות לבדה יכולה לגרום לביצועים ולהשגת המיומנויות, אך יכולה לפספס את מעורבות התלמידים בפעילות עשירה של יצירת ידע מדעי, הערכה ועיבוד מידע הבא לידי ביטוי בתהליך מיזוג/שילוב נתונים או ראיות עם התיאוריה בתהליך דו כיווני.

למידת מדעים כרוכה בהשתתפות התלמידים במטרות האפיסטמיות של המדע, מטרות הקשורות לאופן בו נבנה הידע המדעי. ניתן להשיג את המטרות האפיסטמיות של החינוך המדעי באמצעות הצבת שיטות מדעיות במרכז ההוראה והלמידה של המדע. כאשר תכונה מוגדרת של פרקטיקות מדעיות היא ביצוע פעולות; על התלמידים להיות מעורבים בשיטות מדעיות, לייצר מודלים, להעלות טיעונים או לבצע חקירות. מתוך כך עולה כי במסגרת הוראת המדעים, המחנכים והמורים צריכים לערב באופן פעיל את התלמידים בפרקטיקות מדעיות באמצעות חקירות, פעילויות הערכה ופיתוח קריטריונים אפיסטמיים.

## הקדמה

המושג אפיסטמולוגיה מייצג את תורת ההכרה בחקר הפילוסופיה (מיוונית עתיקה אפיסטמה: ידע), המתרכזת במהות וגבולות הידע והידיעה. גישה זו בוחנת את משמעות הידע והתנאים שבהם הוא יכול להיווצר או להיות מיוצג באופן כללי, ללא קשר לאמונות האישיות של הפרט (Cunningham & Fitzgerald, 1996).

ידע אפיסטמי, כפי שהוגדר מתוך המסגרת למתווה לחינוך מדעי עוסק בהכרה והבנה על איך מתפתח ידע מדעי. המתווה לחינוך מדעי בכיתות גן עד י"ב בארצות הברית ( Framework for K-12 Science Education ) (Practices, Crosscutting Concepts, and Core Idea Reserch Council – NRC). לטענת כותבי המתווה, למידה פעילה והתנסות בפרקטיקות מדעיות מסייעות לתלמידים להבין כיצד מתפתח ידע מדעי ועל ידי כך הופכת את הידע של התלמידים למשמעותי יותר. טענתם היא שתלמידים אינם יכולים להבין באופן מלא רעיונות מדעיים והנדסיים ללא מעורבות פעילה בפרקטיקות של מדע והנדסה ושל השיח שבאמצעותו רעיונות אלה מפותחים. באופן דומה הפרקטיקות אינן יכולות להילמד בנפרד מההקשר של תוכן מדעי ספציפי (NRC, 2012, p. 21, appendix H).

התפיסה הרווחת היא שלימודי המדעים אכן מערבים תלמידים במטרות אפיסטמיות לגבי האופן שבו הידע המדעי נבנה (Duschl, 2008; Kelly, 2008), לדוגמה הבנת הקריטריונים להערכת הסברים, תיאוריות או מודלים, או הקריטריונים לבחירת הסבר אחד על פני חלופות. קיימת טענה מרכזית, כי ניתן להשיג מטרות אלו באמצעות הצבת פרקטיקות מדעיות במרכז ההוראה והלמידה של המדע, בגישה המשלבת את הממדים האפיסטמיים והחברתיים, מלבד הממד המושגי (Taber & Akpan, 2016). מתוך תפיסה זו, מחקרים ומסמכי מדיניות עדכניים קוראים לערב תלמידים ומורים בפרקטיקות מדעיות, כך שהמטרה של החינוך המדעי תשתנה מתלמידים שיודעים רעיונות מדעיים ואפיסטמיים, לתלמידים המתפתחים עם הרעיונות ויודעים לעשות שימוש בהבנות אלה ככלי להבנת העולם. פרספקטיבה זו דוגלת בעידוד התלמידים לעסוק בבנייה תכליתית של ידע (Berland, Krist, Kenyon & Reiser, 2016), כאשר תמיכה בהבנות האפיסטמיות של התלמידים לגבי האופן שבו הידע המדעי נבנה ומוערך, תתמוך אף היא בבניית הידע המדעי שלהם. עם זאת, מחקרים הראו כי קשר זה לא תמיד מתקיים, מאחר והנחה זו אינה נוגעת להקשרים שבהם ניתן להגיע לאותן הבנות אפיסטמיות בנוגע ליצירת ידע על ידי התלמידים (Berland & Cruet, 2016).

בעשורים האחרונים התפתח גם המושג - אפיסטמולוגיה אישית, העוסק בחשיבה ובאמונות של האדם כפרט על אודות ידע וידיעה. מנקודת ראות פסיכולוגית וחינוכית, ישנה חשיבות לדרך שבה האדם מפתח את תפיסותיו על מהות הידע והידיעה ובדרך שבה תפיסות אלה מסייעות לו לבנות את ההבנות שלו על העולם (Hofer, 2002). שאלות העוסקות ב-מהו ידע, מהם גבולותיו ומקורותיו, כיצד הוא נוצר, כיצד הוא נבנה או שאלות המתייחסות למידת הוודאות שלו ומהם הקריטריונים לקביעתו; מסייעות לפתח ידע אפיסטמי ותפיסות אפיסטמיות אישיות המשקפות את אמונות האדם (Elder, 2002; Smith, Maclin, Houghton & Hennessey, 2000).

סקירת הספרות המצורפת מתמקדת בשני היבטים מרכזיים הנוגעים לידע אפיסטמי ופרקטיקות אפיסטמיות. הפרק הראשון והשני דנים במהות הידע האפיסטמי. הפרק הראשון עוסק בחששות ואיומים הטמונים במדענות (Scientism); המשליכה מן הידע המדעי לתחומים שאינם מדעיים, או חולקת על ידע שמקורותיו אינם מדעיים. החשש מאידיאליזציה של המדע והשיטה המדעית כפי שמשקפת בגישת המדענות, מהווה את הבסיס למהות

הידע האפיסטמי בהוראת המדעים. שימת דגש על הסכנות בראיה כוללת על הוראת המדעים מבליטה מצד אחד את הצורך בגישות ההוראה שאומצו במתווה לחינוך מדעי (NRC, 2012) אך מנגד מעלה שאלות לגבי השגת היעדים על ידי שתי המסגרות המרכזיות שנמצאות בבסיס המתווה – מושגים חוצים ופרקטיקות מדעיות והנדסיות. בפרק זה מוצגת מיומנות מרכזית בעלת חשיבות להבנת מהות המדע - מיומנות מיזוג נתונים לתאוריה או התאמת ראיות לתאוריה ושימת דגש על השאלה כיצד הידע המדעי נוצר. בפרק השני מוצגת גישה מרכזית לתהליכי יצירת ידע מדעי בהתבסס על שלושת בסיסי הידע – אונטולוגי, תהליכי ואפיסטמי באמצעות מודל ששת סגנונות החשיבה המדעית.

פרקים שלוש וארבע עוסקים בהיבט השני המובא בסקירה – פרקטיקות אפיסטמיות. פרק שלוש מתאר בהרחבה את תחום האפיסטמולוגיה האישית, תוך שימת דגש על פיתוח הבנה של מהות הידע המדעי. פרק ארבע דן ביישום של פרקטיקות אפיסטמיות בתוך מסגרת הפרקטיקות המדעיות וההנדסיות המוצגות במתווה לחינוך מדעי. בפרק מודגמות משימות לימוד בהקשרים של פרקטיקות מדעיות ואפיסטמיות, המסכמות את התמיכה במעורבות במחקרים מדעיים ואפיסטמיים.

יש לציין כי בספרות המחקרית קיים שימוש במגוון מונחים כגון:

אפיסטמולוגיה אישית – Personal epistemology, אפיסטמולוגיות מעשיות – Practical epistemologies, אפיסטמולוגיות בפעולה Epistemologies in practice ופרקטיקות אפיסטמיות Epistemic practice. המשמעות של מושגים אלו דומה, ולכן בסקירה יעשה שימוש בהם לסירוגין על מנת לשמור על כוונת המחברים השונים שהשתמשו במונחים הללו בהקשרים השונים.



## 1. מהות הידע האפיסטמי בהוראת המדעים

פרק זה מבוסס על מאמר מרכזי, בשילוב מאמרים נוספים לחיזוק הסקירה:

Gasparatou, R. (2017). Scientism and scientific thinking. *Science & Education*, 26(7-9), 799-812.

המאמר דן בחשיבות קיומו של תהליך תיאום ראיות לתאוריה באופן דו כיווני, העומד בבסיס המחקר והחשיבה המדעית. כאשר תופעת המדענות והביקורת עליה המוצגת במאמר, מאפשרת לבחון בקפדנות וביקורתיות את תהליך תיאום הראיות לתאוריה כפי שבא לידי ביטוי בגישות הוראה וחקר המיושמות בחינוך המדעי. יתר על כן, חשוב להבין אותו כבסיס לתהליכי יצירת ידע וידע מדעי בפרט.

### 1.1 פיתוח חשיבה מדעית כבסיס לחינוך מדעי

קיימות סיבות רבות ושונות להכללת תחומי המדעים בתכניות הלימודים בעולם ובישראל בפרט במסגרת לימודי החובה והבחירה. (הסיבות המרכזיות לכך שמלמדים מדע היא לעודד הכשרת דור של מדענים עתידיים, לעודד הבנה של העולם בו אנו חיים, ולפתח אוריינות מדעית בקרב כלל האוכלוסייה (Kohen, Herscovitz, Dori, 2020; OECD, 2006; Ryder, 2001; Roberts, 2007; Sjostrom & Eilks, 2018; Tal & Dierking, 2014).

הציפיה היא כי המדענים ימשיכו לקדם את הידע, התיאוריות, והטכנולוגיות. מתוך הבנה שתמיד יידרשו מדענים חדשים, תחומי מדע חדשים ותובנות חדשות; וכי המדע הוא תהליך מתמשך ונמשך. מתוך כך, רק העברת המידע המדעי הנוכחי לדור הבא לא מספיקה. קיימת כיום, העדפה לתכניות שלא רק ילמדו את התלמידים תיאוריות מדעיות נוכחיות, אלא גם יקדמו הרגלים של פיתוח מיומנויות חשיבה ומיומנויות מעשיות היכולות לתרום ליצירת ידע ומידע חדש.

סיבה נוספת היא לפיתוח ציבור משכיל – בעל אוריינות מדעית, מתוך הכרה בכך שקידמה מדעית מהווה חלק מכריע בתרבות משותפת (ציוויליזציה קולקטיבית) של העולם. יתר על כן, קיימת מודעות לכך שהבנה מסוימת של המדעים היא מכרעת כיום בתהליכי קבלת החלטות שונות. החלטות רבות ומסוגים שונים בחיי היומיום דורשות אוריינות מדעית. אוריינות מדעית אינה מוגבלת רק לצורך לספק את המידע הנכון; אלא גם לדעת מתי ואיך להשתמש בכל פיסת מידע וכיצד לקשר אותה (Östman & Almqvist, 2010). בנוסף, נדרשת היכולת לדעת להתמודד עם מידע רב מדי ובמקרים רבים כזה שמשנתה בקצב מהיר. יתר על כן, כיום לא כל כך קשה למצוא את המידע אם התלמיד או התלמידה יודעים מה הם מחפשים ב-Google. אם המטרה היא לפתח ציבור משכיל, בדגש על אוריינות מדעית, יש לוודא כי החינוך המדעי מאפשר לתלמידים לגשת, להבין ולהעריך את המידע שהם עשויים להזדקק לו, ולברור את המידע הנכון. הדבר מדגיש שוב, ששיעורי המדעים לא יכולים להתבסס רק על העברת מידע, אלא גם לקדם הרגלים של חשיבה ומיומנויות מעשיות היכולות לתרום להבנה הבסיסית של הידע המדעי. חינוך מדעי, לדוגמא, צריך לעודד את התלמידים להיות ביקורתיים, לא למהר להסיק מסקנות שהופקו על ידי אחרים, להיות פתוחים לפרשנויות שונות, לנסות שיטות שונות, לדון עם עמיתיהם ולקבל החלטות מושכלות (Gasparatou, 2017; Sandoval, 2014).

קידום הרגלים מסוימים של חשיבה וכישורים מעשיים (פרקטיקות ומיומנויות), חיוניים בחינוך בכלל, ובחינוך המדעי בפרט. למעשה זו סיבה נוספת לכך שמלמדים מדע, וכיום עם השינויים במעמד הידע, הופכת למשמעותית ביותר. הדבר עולה בקנה אחד עם כך שמייחסים למדעים שיטות חשיבה קפדניות. לכן החינוך המדעי מוסמך

ללמד אותנו איך לחשוב בקפדנות, כאשר שתי המטרות של הכשרת דור העתיד של מדענים או פיתוח אוריינות מדעית בקרב הציבור מסתמכות על כך (Gasparatou, 2017). טבלה מס' 1 מסכמת את הסיבות השונות כולל החשיבות והצורך בתחום הוראת המדעים, בדגש על קידום מיומנויות חשיבה על פני העברת ידע (Dori, Mevarech & Baker, 2018).

טבלה מס' 1: סיכום הסיבות ללימודי מדעים בתוכנית הלימודים

סיבה	ציפייה	חשיבות קידום מיומנויות חשיבה
<b>להכשיר דור עתידי של מדענים</b>	קידום הידע, התיאוריות, והטכנולוגיות של העולם. מטרה זו מבוססת על ההבנה שתמיד יידרשו מדענים חדשים, תחומי מדע חדשים ותובנות חדשות וכי המדע מבוסס על תהליך חקירה מתמשך.	ההעדפה לתכניות שלא רק ילמדו את התלמידים תיאוריות מדעיות נוכחיות, אלא גם יקדמו פיתוח מיומנויות חשיבה ומיומנויות מעשיות היכולות לתרום ליצירת ידע חדש.
<b>לפתח ציבור בעל אוריינות מדעית</b>	פיתוח הבנה מדעית בסיסית כגורם מכריע לקבלת החלטות שונות בחיי היומיום הדורשות אוריינות מדעית: יכולת לחפש את המידע הנכון, לדעת מתי ואיך להשתמש במידע וכיצד לקשר אותו לידע קודם, היכולת לדעת להתמודד עם מידע גדול מדי וכזה שמשתנה בקצב מהיר מידי, ולדעת כיצד לברור מידע נכון ועדכני בעידן ה-Google.	לאפשר לתלמידים לחפש, למצוא להבין ולהעריך את המידע שהם עשויים להזדקק לו.
<b>ללמד לחשוב באופן מדעי ביקורתי</b>	קידום ופיתוח מיומנויות חשיבה מדעית ביקורתית וכישורים מעשיים (פרקטיקות), המכסה מגוון מיומנויות – ידע מדעי עדכני, ניתוח, היקש, הסבר וניטור עצמי של מטה-קוגניציה.	לאפשר חשיבה רפלקטיבית בהחלטה במה להאמין או מה נכון לעשות

### 1.3 תיאום ראיות לתאוריה כבסיס לחשיבה מדעית — Coordination of evidence and theory

תחומי דעת שונים (דיסציפלינות) כגון: פילוסופיה, פסיכולוגיה, ביולוגיה, נוירולוגיה, בלשנות, מדעי הקוגניציה, מדעי המחשב ועוד, מספקים תיאוריות תקפות שונות על חשיבה. קשה להעלות דעה אחת על חשיבה באופן כללי, או להגדיר באיזה סוג של חשיבה משתמשים בתחומי המדעים השונים. משום כך ובייחוד בגלל ההגדרה הרחבה, הדיון צריך להתמקד בפיתוח מיומנויות חשיבה. מיומנויות שיכללו חשיבה מדעית ביקורתית. יתר על כן, ניתן לקשור לחשיבה המדעית תכונות מפתח, אשר כל חשיבה צריכה לכלול ואשר החינוך המדעי יכול וצריך

לקדם, והיא היכולת למצוא התאמה או אי התאמה לתאוריות קיימות על סמך נתונים או הנמצאים בהישג יד והתגבשותם לראיות במהלך חקירה מדעית (Chalmers, 2013; Dagher & Erduran, 2016).

יכולת תיאום ראיות לתאוריה, כתכונת מפתח העומדת במרכז החשיבה המדעית מחזקת את התפיסה שידע מדעי לא רק מבוסס על התנסות ותהליכים ניסויים, כמו שהמדענות בתמימות מרמזת (DeRidder 2014; Peels, 2017; Van Woudenberg, 2011). הוא מבוסס על לוגיקה, התבוננות פנימית, והנחות יסוד, כי התנסות לבד לא יכולה לייצר ידע חדש. יתר על כן, הידע המדעי נשען על פרשנויות ופרשנויות חוזרות של ההתנסויות השונות הרבות לאחר שאנו מוסיפים להם נתונים חדשים בזמן נתון. מתוך הניסיון הכללי שהצטבר בעולם, נבחרים מקרים מסוימים להתייחס אליהם כנתונים. איסוף נתונים העולים מניסוי או תצפית או הנמצאים בהישג יד והשימוש בהם נעשה באופן מתמשך; כאשר הפרשנות שלהם נעשית בדרכים שיכולות להתאים או לא למה שכבר מחשיבים ולמעשה לבטא תיאוריות. לאור תיאוריות אלה, עשויות להשתנות הדעות על סוגי נתונים מסוימים ואלמנטים מסוימים של התאוריה עשויים להינטש או לעבור עיבוד לצורך שימוש בדרכים חדשות. לאור הנתונים החדשים, עשויות להשתנות הפרשנויות, מתוכם יגובשו תיאוריות חדשות. ניתן לסכם תהליך דינמי זה המאפיין את העיסוק במדע כסדרה של פעולות בהם מבססים או בונים מחדש את ההתנסויות כנתונים; מנתחים או מפרשים מחדש את כל הנתונים שעשויים להגיע אליהם, במטרה לקדם את ההסברים ואת התחזיות על אופן פעולתו של העולם. אותו רעיון מהדהד כאשר מדובר על השקפת העולם שלנו כרשת דינמית של אמונות שבהן כל האמונות פתוחות לתיקון, בדגש על תפקיד ההיסטוריה בתהליך זה. פרדיגמות מדעיות או תכניות מחקר נבנות על מנת לאפשר פרשנויות שונות של העולם. מעבר לכך, אפילו המדעים הניסויים הם ספקולטיביים; משערים לא רק על האופן בו ניתן להשיג ולפרש את הנתונים שעלו או את אלה הנמצאים בהישג יד, אלא גם על מה לתפוס כנתון (Chalmers, 2013; Gasparatou, 2017).

למעשה, רוב הפילוסופים של המדע יסכימו כי התהליך הדינמי של תיאום ראיות לתיאוריה טמון בלב לבם של הפרקטיקות המדעיות, גם כאשר והם חולקים על האופן בו התהליך הזה מתבצע (Laudan, 2016; Chalmers, 2013). אחרי הכל, הפרקטיקה של תיאום ראיות לתאוריה עשויה להיות כרוכה באסטרטגיות חשיבה שונות; כאשר מגוון של גורמים לשוניים, היסטוריים, או חברתיים, עשויים להשפיע על תהליך זה. מדענים שונים המתמחים בתחומי מדע שונים, מנסים להבין את העולם באמצעות שילובים כאלה. פסיכולוגים וחוקרים בתחומי המדע השונים, כדוגמת (Kuhn & Pearsall, 2000; Kuhn & Park, 2005; Kuhn & Pease, 2006) טוענים כי המיומנות של תיאום ראיות לתאוריה נמצאת בשורש ההבנה המדעית ומהווה מפתח לחשיבה מדעית ביקורתית. נדרשות מספר יכולות הנחוצות לכך שחוקרים יהיו מסוגלים לתאם בין ראיות ותיאוריה, המבוססות על היכולת לנוע עם או לשפר את החשיבה בהסתמך על הנתונים המתחדשים בכל ניסוי ומחקר מנוספים שהמדענים עורכים (Gasparatou, 2017):

- היכולת להפריד את הנתונים מהתיאוריה: תיאוריה בהקשר זה עשויה לכלול היפותזות, פרשנויות, אמונות, או מערכות של אמונות. במסגרת הנתונים, אפשר לכלול כל מיני תוצאות, תצפיות וכו' כי הם בהישג יד. הפרדת נתונים מן התיאוריה דורשת מהחוקרים להיות מסוגלים לחפש מה היה נחשב עדות ולמה (Dagher & Erduran, 2016). לדוגמא, אם מציגים תמונות של תחרות ריצה ושואלים את הזוכים מה יכול להיחשב כעדות לניצחון, הם צריכים להיות מסוגלים להצביע על התמונות הרלוונטיות העונות

לשאלה: תמונות של מי שעובר את הקו ראשון לדוגמא, ולא תמונות של הנעליים המפוארות שהמנצח נועל (Kuhn & Pearsall, 2000).

- היכולת להציע פרשנויות חלופיות לאותם הנתונים: הפרדת נתונים מהתיאוריה היא גם הצעד הראשון להצעת פרשנויות חלופיות לאותם הנתונים. לדוגמא, אם רוצים להכין תה והמים לא רותחים, אפשר כחוקרים להעלות השערות שונות לכך: אולי החשמל כבוי, או הכיריים התקלקלו, או אולי אין חומר בעירה, או אולי מה שחושבים אותו למים הוא סוג אחר של נוזל. היכולת לספק פרשנויות חלופיות חשובה; זה מעביר אותנו לשלב הבא ברמה של החקירה ולפתרון בר השגה של הבעיה.
- היכולת לתאם נתונים או ראיות באופן דו כיווני: כל שלב בחקירה כולל פעולה של תיאום נתונים או ראיות לתיאוריה, המאפשרת, 'חשיבה כלפי מעלה' (Top up) – מהנתונים לפרשנויות חדשות, השערות, פרספקטיבות או תיאוריות; ו'חשיבה כלפי מטה' (Top down) – יציאה מהתיאוריות כדי לחקור את ההתאמה של הנתונים שלנו, כולל חדשים או ביטול הישנים; ואז שוב כדי לספק פרשנויות חדשות, פרספקטיבות ותיאוריות. כיוון התיאום הוא דו-כיווני. זה לא רק לעבור מן הנתונים לתיאוריה כמו שלעתים קרובות מניחים, זה בעצם דורש להיות מסוגלים לרוץ מעלה ומטה בסולם הנתונים ללא הפסקה. לדוגמא, בשלב מסוים אנשים, כולל חוקרים בעידן שבו המדע עדין לא הוגדר, חשבו כי לווייתנים הם דגים; כל התצפיות, למשל, הם חיים בים, הם נראים כמו דגים מבחינה מורפולוגית, תמכו בתיאוריה; ולהיפך, התיאוריה 'הביולוגית' של התקופה, על כל ההגדרות שהיו לה תמכו בפרשנות זו של הנתונים. בשלב מסוים, התצפיות הובילו ללווייתנים שהיו מובחנים מהתיאוריה הקיימת; למשל, גילו שהם מניקים או שאין להם זימים. לביולוגים הייתה דילמה: או להציע הגדרה של דגים הכוללת לווייתנים או 'להוציא' את הלווייתנים מתוך הסיווג כדג. הם בחרו באפשרות השנייה. התיאוריה הביולוגית החדשה שלהם קוראת את הנתונים באור חדש ולהיפך; הנתונים תומכים בתיאוריה חדשה זו עם כל המונחים שלה (Quine & Ullian, 1978, pp. 54–61).

שלושת היכולות שהוצגו ממחישות את המורכבות הגבוהה בתהליך תיאום ראיות לתיאוריה, כמשימה מתמשכת, אשר אדם בעל השכלה מדעית צריך להיות מסוגל לעשות באופן מודע ומבוקר (Kuhn & Pearsall, 2000; Kuhn & Park, 2005). מיומנות זו הכרחית להבנה וליצירת ידע מדעי חדש, וחשובה גם לקבלת החלטות אנושיות. במיוחד כאשר במחקרים עולה כי לא כולם מסוגלים למצוא דרכים כדי להתאים מחדש נתונים לפרספקטיבה שלהם.

חשוב לציין כי בתיאום ראיות לתיאוריה אין הכוונה לשיטה ייחודית אחת. תיאום כזה עשוי להיות כרוך בשיטות רבות ושונות; אינדוקציה או דדוקציה, טיעונים, הכללה או אי הכללה של סוגים שונים של נתונים, כגון: נתונים מתוך ניסויים, תצפיות, או עדויות. באופן תמציתי, היכולת לתאם ראיות לתיאוריה צריכה להיות קשורה ליכולת לחשוב על החשיבה שלנו; לחשוב על הראיות, מסקנות ופרשנויות שבוצעו על ידי מישהו אחר. היא מסתמכת על פיתוח מיומנויות חשיבה ברמה גבוהה, אשר יכולים למנוע טעויות שכיחות, כגון הטיה מאשרת וחשיבה מקוטבת (הערכת אירועים באופן קיצוני, מבלי לקחת בחשבון את ההיבטים שבאמצע הספקטרום/הרצף).

מעבר לכך, תהליך תיאום הראיות לתיאוריה עוסק בהנמקה ובדמיון בעבודה משותפת. התהליך נעשה בצורה טובה יותר באופן קולקטיבי, למשל, בעת מענה לקהילת עמיתים, כאשר גם ערכים ונורמות נלקחים בחשבון.

בעוד הידע המדעי הוא תוצר של פעילות מדעית שמבוססת על היצירתיות האנושית, ניתן להתייחס למדע כמו לתופעה תרבותית (Stanley & Brickhouse, 1995). עבודת המדענים אינה מתבצעת בריק, חלקם עובדים בקבוצות מחקר, חלקם לבד, אבל בכל מקרה הם חלק מקהילה מדעית ומשתתפים בשיח מדעי באמצעות קריאה וכתובת ספרים ומאמרים השתתפות בכנסים ועוד. באמצעות קיום שיח מדעי מוצגים הרעיונות החדשים לקהילה, נחשפים לביקורת, ונשארים מעודכנים בהתפתחויות מדעיות ברחבי העולם. כאשר יושרה והגינות מדעית הם מושגים בסיסיים בתקשורת בין אנשי המדע המאפשרים חופש מדעי המתבטא ביכולת להביע דעה שאינה מקובלת על חברי הקהילה המדעית (NRC, 1996). מכאן, השיח המדעי בין החוקרים הוא חיוני לפיתוח והכללה של תיאוריות (Gallas, 1995), באמצעותו נבחנים רעיונות, מתחדדים, משתכללים ומשתנים. מחקרים מראים שתלמידים מתקשים בהבנה של ההיבט זה, ולא מודעים לדרכים בהם מתנהל השיח המדעי ומהן מטרותיו (Aikenhead, 1997; Ryan & Aikenhead, 1992).

מתוך כך, מיומנות תיאום ראיות לתאוריה, צריכה להיות בתוך רשימת הכישורים המיועדים של החינוך המדעי, באופן מכוון ומפורש, מאחר שהיא בעלת חשיבות להבנת המדע, גם בהיבט של חינוך מדעי לציבור וגם לדור של מדענים מוכשרים. למעשה, מיומנות כזו עשויה להועיל להתמודדויות בחיי היומיום ובמובן מסוים, ההבנה של העולם תלויה בה. זה לא רק להסתמך על הידע, אלא לדעת ולהבין כיצד הידע נוצר. **למעשה הבנת תהליך תיאום ראיות לתאוריה, נמצא בבסיס הידע האפיסטמי, שעוסק בהכרה והבנה כיצד מתפתח ידע מדעי.** היכולת לבצע זאת דורשת תכונות אופייניות – פתיחות או פתיחות מחשבתית; מידה מסוימת של סובלנות וצניעות (Zagzebski, 1996; Battaly, 2006; Kotzee, 2013; Smith, 2016; Carter, 2016). עם זאת, התהליך מושפע באופן דו כיווני: יהיה קשה לנסות להביא לידי תיאום נתונים וראיות לתאוריה ללא פתיחות או צניעות ברמה האישית; אבל באותה מידה לא תהיה היכולת לעשות כך, אם לא לומדים לתאם מחדש את הנתונים בדרכים מודעות ומבוקרות. במידה מסוימת, פיתוח מיומנות שכזו עשויה להפוך להרגל ולהקל על תכונות אופייניות; עדיין, כדי להפוך את זה להרגל, צריך לשלוט בזה ברמת מיומנות. ככל שהחינוך המדעי יתמוך בתלמידים ויעודד אותם לפתח את מיומנויות החשיבה שלהם, זה יכול לסייע לבנות הרגלי חשיבה חשובים ולעצב תכונות אופייניות (Gasparatou, 2017).

#### **1.4 חשיבות השיח ההיסטורי, לשוני, חברתי בפיתוח ידע אפיסטמי**

במובנים רבים הטענות המדעיות משמשות כמתווה לתהליך שבו המדע, מפתח ומשכלל ידע, בתהליך של תיאום נתונים וראיות הנעשה באופן דו כיווני ומחזורי. כלומר, כאשר מדענים מציגים טיעונים התומכים ברעיונות חדשים, הטענות, הראיות או הצדקת הראיות, נחקרות ומוערכות על ידי מדענים אחרים. התהליך המחזורי של ביקורת, חידוד והערכה מוביל לטיעונים מדעיים מבוססים ולפעילות אפיסטמית מרכזית של הקהילה המדעית (Duschl, 2008). הידע האפיסטמי מגולם בהיווצרות מבנים אפיסטמיים וערכים המעורבים בהצדקת טענות שפותחו על ידי מדענים בתחומי מדע שונים (Osborne et al., 2018). מכאן נובע כי הכרת התהליך המחזורי של פיתוח תאוריות והוכחתן או סתירה שלהן ברבות השנים, בראייה (פרספקטיבה) היסטורית וחברתית/קהילתית מהווה נדבך מרכזי בפיתוח הידע האפיסטמי.

השאלה שעולה על ידי Gasparatou (2017) היא האם החינוך המדעי מתאים את עצמו למיומנויות חשיבה המעורבות בתיאום ראיות לתאוריה. טענתו היא שהגישה המדעית מעודדת העברת מידע יחד עם כמה שיטות

המכוונות בדרך כלל לאמת את המידע. חלק משיטות ההוראה עשויות לכלול ניסויים קצרים ופעילויות אחרות המשלבות התנסות מעשית, אשר אמורה להתבצע היטב על פי מתכון (ניסויים מאשרים) או לפי הוראות ברורות לגבי התהליך (ניסויי חקר מודרך).

רבים מהאיזמים והחששות הטמונים במדענות, מתייחסים לכך שהמדענות גורמת לנו להיות קצרי רוח לאורך ההיסטוריה ומונעת דיאלוג. אותם איזמים עלולים להימצא גם בהקשרים של גישות הוראה מודרניות הדוגלות בתהליכי חקר ובנייה של ידע בדרכים שונות. מכאן ששיח היסטורי, לשוני וחברתי בדגש על תהליכי ההוראה בחינוך המדעי מהווה גורם מכריע בפיתוח הבנות אפיסטמיות. העברה של ידע או אימותו בדרכים שונות בהעדר השיח יכולה להיות בעלת השלכות במספר היבטים:

- פערים בהבנה של תהליך יצירת ידע מדעי: תלמידים לומדים את התוצאה המוצלחת ולא מקבלים הבנה רחבה לגבי התהליך, השגיאות המעורבות בו, התיקונים שנעשים, או הגבולות של כל תיאוריה. במקום זאת, התלמידים צריכים להיחשף לכל הסיפור שנוגע למידע שהועבר אליהם. המעורבות בתהליך יכולה להיות על ידי חשיפה לנרטיב הסיפורי או ההתנסות במיקרו תהליכים. דוגמא לנרטיב, יכולה להתבסס על איך המבנה של הדני"א גובש יחד, כמה תחרותי היה התהליך כולו, כמה שנים זה לקח, כמה אנשים היו מעורבים עם שאיפותיהם, ציפיותיהם, חוסר הביטחון שלהם וכו' (Osborne et al., 2018). בהיבט ההתנסותי, תלמידים, כמו חוקרים, צריכים להתמודד עם בעיות אמיתיות בתוך הגדרות חינוכיות אותנטיות. מורים לעומתם, צריכים עבור מטרה זו, לבקש מהתלמידים לעצב דרכים לחקור את תוקף התיאוריה, לתת להם הזדמנות לשקף את הרעיונות שלהם ואת הממצאים שלהם ולבנות למעשה את התהליך שלהם (Gasparatou, 2017). חלק מהגישות המתקדמות המיושמות כיום דוגלות בכך הלכה למעשה, כדוגמת ניסויי חקר, המהווים כלי הוראתי לבנייה של ידע ויישומו, ולהעמקת הלמידה סביב תופעות מדעיות נלמדות. אולם בסופו של דבר לא תמיד גישה זו מאפשרת להתעמת עם הידע בדרכים מורכבות. מאחר והשאיפה לביצוע מיטבי אינה משתנה גם שמדובר בניסויי חקר, הבאה לידי ביטוי ברצון משותף למורים ותלמידים לקבל את התוצאה הנכונה שמאשרת את הניסוי, במיוחד לאור המצב בארץ, בו ניסויי החקר הם מרכיב בעבודת התלמיד וכחלק מציון בחינת הברורות.
- יצירת תפיסות שגויות לגבי תהליך עבודתו של המדען: בהעדר דיאלוג עם גורמים היסטוריים, לשוניים וחברתיים, תחת המבט המדעי, המדענים נראים כמו נביאים מודרניים, אשר בתוך מצב של הארה לוקחים תמונה של מנגנוני הטבע עם חוקים ותיאוריות ומתארים באמצעותה כיצד הטבע פועל. דוגמה לכך היא הסיפור של ניוטון והתפוח המקדם את האידיאל הזה של המדען (Fara, 2015). המורים יכולים להסתפק בלכתוב את החוק של ניוטון על לוח בית הספר ובמקרה הטוב להדגים אותו. למעשה כמעט אף פעם לא מסבירים מהו חוק, מתי ואיך ניוטון גילה את החוקיות, כמה זמן זה לקח לו ולמה, איך אנשים אחרים הגיבו לו, מהם הגבולות של החוקים הללו בפועל, וכיצד הם עבדו מחדש מאז ימי ניוטון ועד היום כשהחוקרים הם מדענים אחרים (Osborne et al., 2018).
- טשטוש ההבדלים המתודולוגיים בין תחומי המדע השונים: לימוד מדע על ידי שחזור מידע והנחיה של התלמידים לאשר זאת; מעודד את ההנחה כי יש שיטה אחת, אשר כל המדענים פועלים לפיה, אשר יכולה לייצר ממצאים אמיתיים (Rowbottom & Aiston, 2006). בגישה המסורתית בדרך כלל מצפים

מהתלמידים לקחת נוסחה, להכיל אותה על בעיות שונות, ולקבל תשובות של נכון או טעות. אולם התלמידים בסופו של דבר, נוכחים לראות כי גם עבור תחומי מדעים שונים אין שיטה אוניברסלית (Lederman & Lederman, 2014). לא כל הפיסיקאים עובדים באותה צורה, לא כל הביולוגים עובדים באותה דרך וכן הלאה. השיטות השונות תלויות בחלקם בבעיה; פיסיקאי תיאורטי וניסויי ישתמשו בשיטות שונות, בדיוק כמו שביולוג מולקולרי יפנה לשיטות שונות מאשר השיטות של הזואולוג. יתר על כן, השיטות השונות מבוססות גם על העדפות של הפרט או הקהילה, משאבים וערכים (Osborne et al., 2018).

- חוסר הבנה לגבי השפעות סוציו-תרבותיות על המדע: ביצוע המדע אינו פעילות נטולת הקשר. העשייה או החקירה המדעית, גם כאשר היא מבוצעת באופן יחידני, הינה מאמץ קולקטיבי. הרבה אנשים עובדים על אותן בעיות, מחליפים טיעונים. מהימנותם של תהליכים מדעיים נשענת חלקית על אופי החברה שבתוכה הם חוקרים, כאשר המחקר המדעי במהותו בא לתרום לקהילה (Gasparatou, 2008). אבל אז, גורמים חברתיים, היסטוריים ותרבותיים "מתערבים" במדע, לגבי מהן השיטות המותרות או זמינות, ואיזה סוג של מחקר הוא בעל חשיבות עליונה. כל האמור לעיל תלוי בחלקו במשאבי הקהילה ובערכיה. לדוגמה, המחקר על תאי גזע עוברי ועל הקנביס הרפואי התפתח במיוחד בישראל ומעט מאוד בארה"ב לאור "איסורים" מסוימים ב-NIH בהתבסס על נורמות תרבותיות המקובלות בארה"ב.
- חוסר הבנת הטבע הארעי/זמני (טנטטיבי) של ידע מדעי: לפי הרציונל המדעי, התלמידים אינם מצליחים לראות את התיאוריות והחוקים המדעיים כמוצרים אנושיים ושכאלה הם נתונים לשינויים. ידע מדעי הוא מבוסס. זה לא אומר שהוא לא אמין. זה רק אומר שהוא עשוי להתפתח או עשוי להיות שונה או אפילו להינטש לפעמים (Quine et al., 2013). עדויות חדשות עשויות לראות אור או להציע פרשנויות חדשות. ההיסטוריה של המדע מלאת שינויים ואנחנו עדיין מייחלים למצוא תיאוריות חדשות יותר, או אפילו תחומי מדע חדשים (Haack, 2007).

היבטים אלו משקפים באופן דומה חמישה היבטים במהות המדע: הטבע הארעי של הידע המדעי, המדע כ'מפעל/תוצר' חברתי, הבדלים מתודולוגיים בין תחומי מדע שונים, השפעות סוציו-תרבותיות על המדע ומטרות של המחקר המדעי (Tsybulsky, 2018).

אידיאליזציה של המדע, מקדמת תפיסה מוטעית של מהם תחומי המדע ומה מדענים עושים (Haack, 2007; Kitcher, 2012). מחקרים רבים בעשורים האחרונים הראו כי אכן מורים ותלמידים חולקים תפיסות מוטעות בנוגע לכך. בשורה התחתונה של כל התפיסות המוטעות האלה שמבססות את המדענות, נמצאת התפיסה של אופן תיאום ראיות לתיאוריה. הידע המדעי נתפס כפועל יוצא של נתונים וחישוב נכון שלהם. מחקרים מראים שתלמידים סבורים, כי מטרתו העיקרית של המדען היא עריכת ניסויים והסקת מסקנות מהם, ולא בחינה של תיאוריות תוך ניבוי התוצאות האפשריות של הניסוי ביחס אליהן (Kedem, 1999). לכן בכל פעם שמלמדים את המדע כמתאר עובדות, אנחנו מפספסים את היצירתיות והגורמים החברתיים, שמגולמים במאבק של תיאום דו כיווני של הנתונים לתיאוריה. ואז, כפועל יוצא מיומנות חשיבה זו מוזנחת. תלמידים נכשלים להבין כי ידע מדעי הוא לא משהו שאתה רואה בעולם. זה יכול להיות מבוסס על נתונים, אך גם זקוק לפרשנויות לאור התיאוריות שמאפשרות את הגיון מאחוריהם. מדענים מצופים לבחור מה ייחשב כראיה; הבחירה שלהם צריכה להיעשות עם מה שהם כבר יודעים ומצפים, ואז שוב, מה שהם יגלו עלול לגרום להם לשנות את האמונות שלהם ואת

התיאוריות או אפילו את בחירת הנתונים שלהם. ובוודאי כל מיני גורמים עשויים להפריע לתהליך תיאום זה, החל מערכי הקהילה עד להעדפות אישיות, כך שכל תיאום כזה כפוף למחלוקת, ותיאום מחדש ( Gasparatou, 2017).

בעולם המודרני המבוסס על מדע מכירים בצורך לשפר את הוראת המדעים בכל רמות הלימוד במערכת החינוך. בארבעים השנים האחרונות התגבשה ההבנה שאמצעי יעיל להעלאת רמת ההבנה במקצועות המדעיים הוא פיתוח של חומרי למידה ואסטרטגיות הוראה מבוססות חקר שמטרתן להקנות לתלמידים מיומנויות ודרכי חשיבה המאפיינות את החקר המדעי. התפיסה החינוכית היא שלמידה פעילה והתנסות בפרקטיקות מדעיות מסייעות לתלמידים להבין כיצד מתפתח ידע מדעי ועל ידי כך הופכת את הידע של התלמידים למשמעותי יותר (NRC, 2012). אולם, עדיין עולה השאלה האם תהליכי חקר ובניית ידע מאפשרים התנסות אותנטית בתיאום נתונים לתאוריה העומדת בבסיס החשיבה המדעית. שאלה זו תדון בהרחבה בפרקים הבאים.



## 2. ידע אפיסטמי מנקודת מבט של הוראה, למידה והערכה

הפרק הבא מתייחס למודל ששת סגנונות החשיבה (ההנמקה) המדעית, אשר מוצע כבסיס לקידום ידע אפיסטמי בניגוד למסגרת מושגים חוצי תחומים.

הפרק מבוסס על מאמר מפתח:

Osborne, J., Rafanelli, S., & Kind, P. (2018). Toward a more coherent model for science education than the crosscutting concepts of the next generation science standards: The affordances of styles of reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(7), 963-981.

### 2.1 מושגים חוצי תחומים

פיתוח מיומנויות מהווה יעד משמעותי של תכניות לימודים בעולם המתייחסות למפרטי מיומנויות לצד מפרטי ידע תחומי ובין תחומי. המתווה לחינוך מדעי בארה"ב בכיתות גן עד י"ב (NRC, 2012) ומסמך הסטנדרטים (NGSS, Next generation science standards, 2013), שפותחו על ידי המועצה הלאומית למחקר, מציגים את החזון של החינוך המדעי במאה ה-21. על פי המתווה, על הלמידה המדעית להתבצע בראיה תלת ממדית בשלושה הקשרים: פרקטיקות מדעיות והנדסיות (Scientific and Engineering Practices), רעיונות מדעיים (Disciplinary Core Ideas), ומושגים חוצי תחומים (Crosscutting Concepts). כל אחד משלושת הממדים חשוב באותה המידה, והשילוב ביניהם תומך בבניית בסיס לחשיבה מדעית ולהבנת המדע.

אחד המפתחות להגשמת החזון הוא לימוד רעיונות הליבה התחומיים בהקשר של פרקטיקות של מדע והנדסה (ראה טבלה מס' 8, פרק 3). השימוש במונח פרקטיקות במקום במונח מיומנויות, על פי מתווה ה-NGSS נובע מהצורך להדגיש שהעיסוק בחקר מדעי דורש שילוב בין ידע לבין מיומנות חשיבה ומיומנויות מעשיות. באמצעות העיסוק בפרקטיקות התלמידים ייחשפו לטווח הרחב של הגישות שמשמשות בהן לחקר, לעיסוק במודלים ולהסבר על העולם. הבנת הפרקטיקות יכולה לסייע לתלמידים להבין את המושגים חוצי התחומים ואת הרעיונות התחומיים (הדיסציפלינריים) במדע ובהנדסה.

לטענת כותבי המסמך, תלמידים אינם יכולים להבין באופן מלא רעיונות מדעיים והנדסיים ללא מעורבות פעילה בפרקטיקות של מדע והנדסה ושל השיח שבאמצעותם רעיונות אלה מפותחים. באופן דומה הפרקטיקות אינן יכולות להילמד בנפרד מההקשר של תוכן מדעי ספציפי (NRC Framework, 2012). המחברים מציעים שכל ביצועי הבנה חייבים לחבור לפרקטיקה רלוונטית במדע או בהנדסה, לרעיון ליבה תחומי ולרעיון חוצה תחומים, בהתאמה לשכבת הגיל. גם הערכת ההבנה של רעיונות הליבה צריכה להיעשות במשולב עם הערכת יכולת השימוש בפרקטיקות של מדע והנדסה.

מושגים חוצי התחומים, המרכיבים את ממד הלמידה השלישי על פי מתווה ה-NGSS (NRC, 2012), הם רעיונות מדעיים המשותפים לכל תחומי המחקר המדעי. פרוט מלא של המושגים החוצים כפי שהוגדר במתווה NGSS מוצג בטבלה מס' 2.

מושג חוצה	תיאור המושג החוצה
<b>דפוסים</b> Patterns	דפוסים נצפים של צורות ואירועים המנחים ארגון וסיווג, ומעלים שאלות על היחסים ועל הגורמים המשפיעים עליהם.
<b>סיבה ותוצאה</b> Cause and effect	מנגנון והסבר. לאירועים יש סיבות - פשוטות או מורכבות. פעילות מרכזית של המדע היא לחקור ולהסביר את היחסים הסיבתיים ואת המנגנונים שבהם הם מתווכים. לאחר מכן ניתן לבדוק את המנגנונים הללו על פני ההקשרים השונים, לנבא אותם ולהסביר אירועים בהקשרים חדשים.
<b>סולם, פרופורציה וכמות</b> Scale, proportion, and quantity	בהתייחסות לתופעות, חשוב לזהות מה רלוונטי במידות שונות של גודל, זמן ואנרגיה כדי לזהות כיצד שינויים בקנה מידה, פרופורציה או כמות משפיעים על מבנה המערכת או על הביצועים שלה.
<b>מערכות ומידול מערכות</b> Systems and system models	הגדרת המערכת תחת מחקר - קביעת גבולותיה והפיכת מודל מפורש של מערכת זו - מספקת כלים להבנה ולבדיקת רעיונות החלים על המדע וההנדסה.
<b>אנרגיה וחומר</b> Energy and matter	תזרים, מחזור ושימור. מעקב אחר שטפי אנרגיה וחומר לתוך, מתוך, ובתוך מערכות מסייע להבין את האפשרויות והמגבלות של המערכות.
<b>מבנה ותפקוד</b> Structure and function	האופן שבו אובייקט או יצור חי מעוצבים למבנה הקובע את המטרות והתפקוד שלו.
<b>שימור ושינויים</b> Stability and change	עבור מערכות טבעיות ומובנות כאחד, תנאי יציבות וקביעת שיעורי השינוי או האבולוציה של המערכת הם מרכיבים קריטיים של מחקר

הגדרת מערכת מושגים חוצי תחומים, מציעה מערכת של תכונות מושגיות של המדע, המבוססות על קונצנזוס של המדע, שלטענת כותבי המתווה לחינוך מדעי של K-12 הן אינטגרטיביות. השאלה שעולה על ידי Osborne ועמיתיו (2018), היא באיזו מידה מערכת מושגים זו מספקת תיאור קוהרנטי, יחיד ואחיד של כל תחומי המדעים? והאם בכלל המדענים מסוגלים לספק תיאור אותנטי על טבעם של הנושאים עליהם הם חלוקים בתחום שלהם? זאת בייחוד כאשר טבעו של האתגר המדעי משתנה בהתאם לאיזה מידע הוא "מתחייב לייצר".

לדוגמא, לגיאולוג העובד בשדה, יש השקפה שונה מאוד על המדע מהפיסיקאי התיאורטי העובד במשרדו וממדעני מדעי המוח החוקרים באמצעות סריקות MRI.

בהתאם להשקפה זו, קיימת הכרה גוברת ב-15 השנים האחרונות בחשיבות המתודולוגיה, האפיסטמיות והגיוון במדעים במקום תיאור אחיד ומאחד של תחום המדעים (Osborne et al., 2018). מחקרים על מדע מקצועי מבהירים היטב כי ההיבטים המושגיים, המעשיים והאפיסטמיים של המדע שזורים זה בזה מטבעם (Duschl, 2008). השקפה זו מאתגרת את התיאור המנוגד והדומיננטי של מסגרת מושגים חוצים. השיטה המדעית, מונח שגוי ומנוגד לתפיסת מהות המדע, עלולה להתפרש בצורה של אחדות מתודולוגית ממנה מורכבת שיטה זו. יתר על כן, הטענה כי "מושגים חוצי תחומים, יש יישום בכל תחומי המדע" (NRC, 2012, p.30), יכולה להתפרש בכך שלפונקציה האפיסטמית אין משמעות.

דוגמא שממחישה את הפער בגישה זו – היא המושג 'דפוסים'. כשלעצמו השם מטעה, שכן המעשה האפיסטמי במדע הוא החיפוש אחר דפוסים - הדפוסים עצמם הם התוצאה האותנטית של החיפוש הזה - והחיפוש שונה מאוד ממדע אחד לאחר. לפיכך, בביוולוגיה הנלמדת בבית הספר, הישות האותנטית מתייחסת לרעיון של מינים, במדע כדור הארץ לסוגים שונים של סלעים, בכימיה, טבע היסודות של החומרים, ובפיסיקה ההבחנה בין מושגים כגון אנרגיה וכוח, חום וטמפרטורה, מסה ומשקל. ההישג האינטלקטואלי בכל אחד מהם, בהתאמה, הוא ההבחנה בין המינים (לינאוס), זיהוי סוגי הסלעים (לייל), התפתחות הטבלה המחזורית (מנדלייב) והכרה בקירוב החום והאנרגיה המכנית (רומפורד). לרעיון זיהוי הדפוסים יש משמעות רק כאשר הם מודגשים בכל אחד מתחומי המדעים במונחים של מה שהם השיגו ולא כפי שמתואר במסגרת, כפעילות יומיומית שבה עוסקים מדענים בדרך כלל. מתוך כך, Osborne ועמיתיו (2018) טוענים שהפרספקטיבה ההיסטורית על ההישגים של המדע על-פי תפיסת המושגים החוצים, מפספסת את החשיבות והמשמעות של הפונקציה האפיסטמית. קיימים מספר טיעונים לכך כפי שמוצגים בטבלה מס' 3.

טבלה מס' 3 : טיעונים על העדר מבנים אפיסטמיים במתווה NGSS (מעובד מתוך Osborne et al., 2018)

טיעון	כיצד בא לידי ביטוי בתהליכי הוראה ולמידה
העדר סיפור טיבה של הנמקה המדעית שהפיק חלק מההישגים האינטלקטואליים העיקריים של התרבות העכשווית.	משאיר את מורה המדעים ללא מתן סיבה לכך שהידע הזה חשוב. התוצאה היא נסיגה לנימוקים כלכליים.
חסרה התייחסות לתובנות לגבי כלים אפיסטמיים, איך הם עשויים להיות בעלי ערך עבור המפגשים שלהם עם המדע בחיי היום יום.	לדוגמא, אין פירוט של צורות של חשיבה, גופי ידע תהליכיים או ישויות אפיסטמיות (שקשורות לידע) שעליהן תלויה הנמקה כזו. במקום זאת, ההתמקדות היא רק ברכישת מערכת של רעיונות ליבה משמעותית שפותחה על ידי ביצוע אחד או יותר של שמונה הפרקטיקות המדעיות.

כיצד בא לידי ביטוי בתהליכי הוראה ולמידה	טיעון
<p>לדוגמא, אין התפתחות הדרגתית היסטורית בנוגע לפיתוח הבנות לגבי העולם. לדוגמא הבנות הקשורות להיווצרות היום והלילה הנגרמים על ידי סיבוב כדור הארץ ולא על ידי השמש, מוצאו של היקום, התפתחות המינים, התפשטות מחלות על ידי מיקרואורגניזמים זעירים ועוד; כאשר המורים מתבקשים לפתור את הרציונל בעצמם.</p>	<p>חסרה התייחסות לקריטריון מפתח ברציונל לבחירת רעיונות הליבה המשמעותיים, לאיך הרעיון המדעי שינה את ההבנה שלנו על העולם.</p>
<p>הטיפול הבלתי אחיד והבלתי יציב במרבית הנושאים מעלה שאלה, כיצד תלמידים צפויים להטמיע כל נרטיב על המדע כאשר הצגתו לאורך שנות הלימוד בכיתות אינה עקבית או, במקרים מסוימים, נעדרת. ומתוך כך, כיצד יכולים התלמידים לרכוש הבנה הוליסטית של מה שהופך את המדעים לצורה ייחודית וחשובה של ידע.</p>	<p>אין עקביות בטיפול במושגים חוצים לאורך שנות הלימוד בכיתות.</p>

## 2.2 מודל ששת סגנונות החשיבה (הנמקה) מדעית

בניגוד למסגרת של מושגים חוצים, Kind ו-Osborne (2017) מציעים מודל לימודים המבוסס על שישה סגנונות שונים של חשיבה (הנמקה) מדעית – styles of reasoning. הרציונל העומד מאחורי המודל מתייחס לתוכן במבט כולל של תחום התוכן וההישגים האינטלקטואליים שלו. הרעיון של סגנונות החשיבה, להבדיל ממושגים חוצים, נובע ממחקרים על ההיסטוריה של המדע המתקיימים מנקודת מבט קוגניטיבית. גישה זו משתמשת בחומר היסטורי, כגון מאמרים שפורסמו, רשימות אישיות ויומנים, התכתבות, ציוד ניסיוני, שרטוטים ודיאגרמות, ככלי להבנת ההיגיון המדעי (Crombie, 1994; Davidson, 2004; Nersessian, 1995; Netz, 1999; Tweney, 2001). חוקרים אלה טוענים כי דרך טובה יותר להבנת המדע היא לנתח את הכלים הלשוניים, הוויזואליים, המתמטיים וכלים אחרים שהמדענים המציאו כדי לבצע את עבודתם וכדי לתקשר עם מדענים אחרים. במחקר שנערך מעל 20 שנה על תקופה של יותר מאלפיים שנה של מחקר מדעי באירופה (Crombie 1994) מראה כיצד מדעי הטבע פיתחו שישה סגנונות שונים של חשיבה מדעית. טבלה מס' 4 מציגה את ששת סגנונות החשיבה המדעית.

טבלה מס' 4 : ששת סגנונות החשיבה המדעית (הותאם מ- Osborne et al., 2018)

הישגים אינטלקטואליים / דמות מפתח	תיאור סגנון ההנמקה	חשיבה מדעית	סגנון
<p>ייצוגן של תופעות פיזיקאליות באופן כמותי או על ידי סמלים אלגבריים מהווה מפתח לכל תחומי המדע. היוונים היו</p>	<p>השימוש במתמטיקה לייצג את העולם ולהציג טיעונים באופן דדוקטיבי (הסקה מן הכלל אל הפרט). את כל הישויות הקיימות בעולם ניתן לתאר בצורה מתמטית ומכאן</p>	<p>הנמקה דדוקטיבית מתמטית</p>	<p>סגנון 1</p>

הישגים אינטלקטואליים/ דמות מפתח	תיאור סגנון ההנמקה	חשיבה מדעית	סגנון
הראשונים ליזום צורה זו של חשיבה עם עבודתו של אוקלידס, פיתגורס, ואחרים.	המתמטיקה היא אחת השפות העיקריות של המדעים כאמצעי ליצירת תחזיות דדוקטיביות הן במדעים והן בהנדסה.	Mathematical Deduction	
מאז גלילאו, חקירה ניסיונית הפכה שיטת מפתח כמעט בכל תחומי המדעים. גלילאו מהווה דמות מפתח שיזמה את סגנון החשיבה על ידי בדיקת ההשערה שלו, כי כל המסות יפלו עם תאוצה שווה על ידי הטלת שני כדורי תותח בגדלים שונים ממגדל פיזה.	השימוש בחקירה אמפירית כדי לקבוע דפוסים, להבדיל בין צורה אחת של אובייקט לבין האחר ולבחון תחזיות של מודלים היפותטיים. עדויות אמפיריות משמשות לבדיקת נכונותם של רעיונות מדעיים או לביסוס טיעונים. רק אותם רעיונות ששורדים בדיקות כאלה הם אלה שאנו מחזיקים בהם לאורך זמן.	חקירה ניסויית Experimental Exploration	סגנון 2
מודלים אנלוגיים משמשים לייצוג דברים שהם גדולים מדי לדמיין (מערכת השמש), או קטנים מדי לראות, כגון התא או מודל בוהר של האטום. מודלים, כגון התיאוריה הקינטית של החומר, משמשים לביצוע תחזיות והם כיום נבנים בעזרת מחשבים כדי לדמות התנהגות אפשרית של העולם (לדוגמא, מודלים אקלימיים).	בניית מודלים אנלוגיים והיפותטיים לייצוג העולם. המדע מתקדם על ידי פיתוח מודלים מסבירים עבור מה שהמדענים רואים. ואכן, יש הטוענים כי זוהי המטרה העיקרית של המדע. מודלים וייצוגים משמשים כלים מרכזיים על פי כלל החשיבה הפשוטה (היוריסטית) הדרושה כדי לחשוב על איך העולם יכול להתנהג.	מידול Hypothetical Modeling	סגנון 3
הגדרת מה קיים, ואת המושגים בהם אנו משתמשים, מהווה מפתח להבנת העולם. ההגדרות נחוצות בכל תחומי המדע. בכימיה - הפיתוח של הטבלה המחזורית היה תלוי לחלוטין בקביעת האופי הבסיסי של עולם החומר, ובפיזיקה לצורך הבחנה	סידור של המגוון על ידי השוואה וטקסונומיה. קביעת מה שקיים היא היבט בסיסי של המדע. מדענים רבים עוסקים אך ורק בתהליך של סיווג, למשל, להבחין בין סלעים, מינים, חלקיקים וכימיקלים. גם עבודת שדה וגם חקר ניסיוני הם אמצעים חיוניים להגדרת מה שקיים וביסוס הישות הקיימת.	קטלוג וסיווג Categorization and Classification	סגנון 4

הישגים אינטלקטואליים/ דמות מפתח	תיאור סגנון ההנמקה	חשיבה מדעית סגנון
בין מושגים כגון חום וטמפרטורה, מסה משקל, אנרגיה ועוצמה.		
מדענים כמו גאוס ופואסון הם אנשים אשר תרמו תרומות משמעותיות לקביעת הקריטריונים האפיסטמיים המשמשים להבנת קיומם של דפוסים, מגוון של שיטות לתיאור וריאציה וסיכויי התרחשותה.	הניתוח הסטטיסטי של סדירויות באוכלוסיות, זיהוי דפוסים וחישוב ההסתברות שלהם. קביעת הדפוסים היא מאפיין חיוני של המדעים והבסיס לתחומי מדע כמו מדע האפידמיולוגיה. לדוגמא, הקשר בין סרטן העור וחשיפה לשמש הוסק על ידי ניתוח נתונים שהראו קשר ליניארי יורד בשכיחות של סרטן העור לאלף אנשים בקו רוחב הולך וגדל (Findlay, 1928). כמו כן, הקשר בין עישון לסרטן ריאה בוסס באמצעות שיטות אלה.	<p style="text-align: center;"><b>הנמקה</b> <b>הסתברותית</b> Probabilistic Reasoning</p> <p style="text-align: center;">סגנון 5</p>
רעיונותיו של דרווין נבעו מהתבוננות מפורטת בווריאציות של דפוסים הקיימים בטבע ושאלות לגבי איך הבדלים כאלה היו יכולים להיות.	בניית מסלולים היסטוריים של נגזרות והתפתחות המינים, כדור הארץ, מערכת השמש, היקום, האלמנטים ועוד. ניסיונות להסביר את מקורותיו של עולם החומר ותכונותיו באמצעות התחקות אחרי ההיסטוריה ההתפתחותית האפשרית. שלהם הם מרכיב עיקרי בחשיבה המדעית. הם מסתמכים על בניית תיאוריות לגבי מה שהיה יכול לקרות בעבר. באסטרופיסיקה, מסלולים אבולוציוניים פותחו על ידי בניית מודלים מתמטיים שישאלו את מה שאנחנו עכשיו רואים. תיאוריות כאלה הצליחו כי הם היו ההעדפות הטובות ביותר עבור מה שקיים, ובמיוחד לא משום שיש כל יישום של "השיטה המדעית".	<p style="text-align: center;"><b>הנמקה</b> <b>היסטורית- אבולוציונית</b> Historical- based Evolutionary Reasoning</p> <p style="text-align: center;">סגנון 6</p>

### 2.3 ידע אפיסטמי בפרספקטיבה של מודל סגנונות החשיבה המדעית

מודל ששת סגנונות החשיבה ייחודי בכך, שבאמצעותו המדע מסוגל לענות על שלוש שאלות ספציפיות בנוגע לעולם החומרי (NRC, 2012; Osborne, 2011): מה קיים? למה זה קורה? כיצד אנו יודעים? כאשר כל סגנון חשיבה מובחן על ידי ישויות, נהלים ומבנים אפיסטמיים משלו. כתוצאה מכך, החשיבה המדעית אינה תלויה בצורת ידע אחת, אלא בשלוש צורות של ידע שהן ספציפיות לכל סגנון של הנמקה. טבלה מס' 5 מראה את הקשר בין שאלות בנוגע לעולם וסוגי הידע שהתשובות לשאלות אלו יוצרות.

טבלה מס' 5: שאלות בנוגע לעולם החומרי וסוגי הידע שהם מייצרים (Osborne et al., 2018)

שאלה	סוג השאלה	סוג הידע
מה קיים?	שאלה אונטולוגית לגבי תפיסת הטבע	ידע תוכן מושגי – המושגים המתאימים לתחום המשמשים כל סגנון, כלומר הישויות בהם משתמש המדע למתן הסברים. לדוגמא, את מושג הגן, האטום והתא.
למה זה קורה?	שאלה סיבתית	ידע תהליכי – הידע של ההליכים והמבנים הקשורים לכל אחד מסגנונות החשיבה, כדי לקבוע טענה. לדוגמא, המושג של משתנה, שגיאה ומדידה, סיבתיות וקורלציה.
כיצד אנו יודעים?	שאלה אפיסטמית	ידע אפיסטמי – הידע של מבנים אפיסטמיים וערכים וכיצד הם משמשים להצדיק טענות שפותחו על ידי כל סגנון חשיבה. לדוגמא, תיאוריה, היפותזה, ומה מהווה מכלול של ראיות מדעיות.

ניתן לראות בטבלה, כי כל שאלה מכוונת לתחום ידע אחר, והשילוב בין שלושת סוגי הידע הוא זה שמגדיר את סגנון ההנמקה והחשיבה המדעית.

על פי גישה זו ניתן לייחס את ההצלחה של המדע לפיתוח של כלים קוגניטיביים ספציפיים, למשאבים ולסגנונות חשיבה ששימשו להתווכח על סדרה של רעיונות - רעיונות שנראו בתחילה אבסורדים, כמו הרעיון שיום ולילה נגרמים על ידי כדור הארץ מסתובב, או הרעיון כי היבשות היו פעם מחוברות, או הרעיון כי כל המינים על כדור הארץ התפתחו במשך מיליוני שנים (Osborne et al, 2018). למעשה "ההיסטוריה של המדע" במסורת האירופית היא "ההיסטוריה של החזון והוויכוח באמצעות ששת סגנונות החשיבה" (Crombie, 1994). ניתן לראות שכל סגנון חשיבה מדעית קשור לדמות מפתח: אוקליד ופיתגורס עם המתמטיקה היוונית, גלילאו עם כניסתם של מודלים ניסויים היפותטיים, לינאוס ומנדלב עם קטלוג וסיווג, פואסון וגיון עם חשיבה סטטיסטית ומציאת קורלציות, ודארווין ווגנר עם חשיבה אבולוציונית. הזדהות של דמות עם ההישגים של אותו סגנון החשיבה, יכולים להוות אינדיקציה הן לאופי הייחודי והן למשמעות של אותו סגנון. על פי החוקר Hacking (2012), צורות אלו של חשיבה קיימות כי הם הצליחו ועדיין מצליחות לענות על השאלות האונטולוגיות, הסיבתיות

והאפיסטמיות, והם בבסיס המוקד של עבודת המדעים. לדעתו, מאחר והן מצליחות, הן הפכו לחלק מהסטנדרטים שלנו לגבי התגליות על עולם החומר (Hacking, 2012).

על פי Osborne ועמיתיו (2018), מודל ששת סגנונות החשיבה שם דגש מנקודת מבט חינוכית על:

1. נרטיב תמציתי וקוהרנטי המדגים לא רק את הטבע והגיוון של המחשבה המדעית, אלא גם הערכה של הישגיה. דוגמאות לכך:

- בעת לימוד חוקי ניוטון, מורה יכול להצביע על איך ניתן למדל תופעות המתרחשות בעולם באמצעות המתמטיקה על מנת לנתח ולחזות את התנועה של גופים או עצמים, החל מהחלקיק הקטן ביותר עד למסלול של לוויין סביב כדור הארץ - ממחיש את התפקיד של חשיבה דדוקטיבית.

- תוך כדי לימוד האבולוציה, המורה יכול להראות כיצד דארווין פיתח תורה אבולוציונית על בסיס המסקנות התקפות יותר שניתן לבצע (חשיבה אינדוקטיבית) מתוך נתוני התצפית שלו בגאלאפאגוס - מסקנות ששרדו במשך למעלה מ-150 שנה.

- תוך כדי לימוד הטבלה המחזורית המורה יכול להצביע על כך שמדובר למעשה בקיטלוג וסיווג שמהוה את אחת ההצלחות החשובות של המדע בתחום הכימיה באמצעות חשיבה אינדוקטיבית.

2. גופי ידע אונטולוגיים, תהליכיים, ואפיסטמיים הנדרשים לביצוע התובנות של אותה חשיבה. דוגמאות לכך:

- המודל הקופרניקני של מערכת השמש התבסס על תנועת כוכבי הלכת במסלולים 'אורביטלים'; ההסבר הטוריסלי של הברומטר חייב קיום 'ואקום'; המודל של פסטר לריקבון של מזון דרש הימצאות של 'חיידיקים'; הסבר מהירות האור על ידי משוואת מקסוול הכניס את המושג של תווך ה-'אתר'.

- כאשר מתבקש הסבר, הוא תלוי תחילה בקטגוריזציה ובסיווג של מגוון העולם החומרי (סגנון 4). עבודתו של דרווין למשל, היתה תלויה לחלוטין ברעיון של 'מינימים' שהוצג על ידי לינאוס; ואילו מפת הגיאולוגיה ההיסטורית הראשונה של בריטניה הגדולה שפורסמה בשנת 1815 על ידי סמית, היתה תלויה ברעיון שיש הבדלים בקטגוריות של סלעים שנוצרו ממקורות שונים ובתהליכים שונים.

- הקטגוריזציה של העולם, כלומר, הגדרת מגוון על ידי השוואה וטקסונומיה - היא חיונית לקידום מדעים. היכולת לראות דפוסים תלויה בניתוח ובסיווג של סדירות. העבודה האפידמיולוגית הבסיסית של שלג על הגורמים לכולירה, למשל, מאפיינת חשיבה הסתברותית וסטטיסטית (סגנון 5).

- הוכחת תוקפו של מודל הסברתי כלשהו עשויה להיות תלויה בהגיון מתמטי דדוקטיבי (סגנון 1), טיעונים ממידע שהתקבל על ידי תצפית ניסויית (סגנון 2), או חשיבה לגבי האפשרות הסבירה ביותר, כמו במקרה של הטיעון של דרווין לאבולוציה, או הטענה של וגנר לנסיגה יבשתית (סגנון 6).

יש לראות את הגופים הפרוצדוראליים ככלים קוגניטיביים החיוניים לעיסוק בסגנון החשיבה. לדוגמה, הרעיון של משתנה שהוא מרכזי לחקר הניסוי, את הרעיון של ניסוי מחשבתי עבור מידול, או את הקריטריונים של קטגוריות המיון של מינים עבור סיווג. לאחרונה, ידע פרוצדוראלי כזה הוסדר כ "מערכת של מושגים" (Gott, Duggan & Roberts, 2008) וכתכונה במסגרת תאורטית של פיזה להערכת אוריינות מדעית (OECD, 2016).



לעומת זאת, הידע האפיסטמי מאופיין בצורה הטובה ביותר כידע מטה-קוגניטיבי לגבי איך הגופים התהליכיים מאפשרים למדענים לטעון טענות. לכן, בעוד הרעיונות של משתנים תלויים ובלתי תלויים הם מושגים תהליכיים, ידע אפיסטמי הוא הידע המסביר כיצד פעולת השליטה במשתנים מצדיקה את הטענה לדעת. כמו כן, טענות אפיסטמיות רבות מחייבות הבנה של ההבחנה בין הישות התהליכית של ממצא מתאמי - תוצר של חשיבה אינדוקטיבית - וממצא סיבתי של חשיבה דדוקטיבית. ידע אפיסטמי הוא גם ידע, למשל, של צורות של טיעון בשימוש במדע, או בטבע של היפותזה מדעית ותפקידה לאפשר חיזוי, או תפקידו בביקורת עמיתים. ביקורת עמיתים עצמה היא מושג תהליכי, בעוד איך זה מאפשר את הטענה לדעת הוא מבנה אפיסטמי. גם הידע התהליכי והאפיסטמי נחוץ כדי להצדיק את האופן שבו אנו יודעים מה אנו יודעים - כלומר, כיצד אנו מתבוננים במדעים (Osborne et al, 2018).

מעבודתו של Crombie (1994) עולה, כי מדעים עושים שימוש בשני סוגי טיעונים :

- טיעון היפותטי-דדוקטיבי (hypothetical-deductive) הנבנה מהנחות יסוד למסקנות.
- טיעונים היסקיים (adductive) - טענה כי כל הדברים שווים, ההשערה המתקדמת היא ההסבר הטוב ביותר או טיעון אינדוקטיבי על הדפוסים הקיימים בטבע.

לעומת זאת, מחקרים מראים שהמודל הפשטני של ההיגיון המדעי המתפשט למרבית תכניות הלימוד מביא לתפיסה מוטעית שהמדעים מתבססים רק על טיעונים היפותטיים-דדוקטיביים שנתפסים על ידי המושג שנקרא ה"השיטה המדעית" (Bauer, 1992; Windschitl, Thompson & Braaten, 2008). "מיתוס השיטה המדעית" עושה שירות דוב למדעים בשתי דרכים. ראשית, המדעים מאופיינים טוב יותר על ידי המגוון האונטולוגי, המתודולוגי והאפיסטמי שלהם ולא על פי המכנה המשותף שלהם. שנית, הרעיון שיש אלגוריתם יחיד האחראי על הפקת הידע המדעי מערערת על הטבע והגיוון של המחשבה היצירתית שחוללה המהפכה בהבנתנו את עולם החומר במשך 450 השנים האחרונות (Osborne et al, 2018).

#### **2.4 שילוב מודל ששת סגנונות החשיבה בתהליכי הוראה**

עצם כך שהמושגים החוצים אינם משקפים כל יסוד בגיוון הזה של החשיבה הוביל לשאלה כיצד הם עשויים לספק מסגרת ארגונית ל"איחוד רעיונות הליבה בכל התחומים של מדע והנדסה" (NGSS, p. 79)? לעומת זאת, מודל סגנונות החשיבה מציע השקפה קוהרנטית ומבוססת מדעית על העולם, שכן מנקודת המבט של סגנונות של חשיבה, יש מגוון של אופני חשיבה שחלקם משמשים בכמה מתחומי המדעים (Osborne et al., 2018). כדי להמחיש את המגוון, טבלה מס' 6 מראה איך הציפיות לביצועים מספקות הזדמנות להדגיש ולהמחיש את הסגנונות הייחודיים של החשיבה מדעית בחוויית הלמידה.

כיתה	ציפיות לביצועים	סגנונות חשיבה מודגמים
ב'	תכנון וניהל חקירה - כדי לקבוע אם הצמחים צריכים אור שמש ומים לגדול.	כל חקירה היא הזדמנות להצביע על התפקיד של ניסויים שנערכו בעולם החומר. זה דורש מהתלמידים לזהות אילו נתונים לאסוף כאשר, מציגים את הרעיון של משתנה ואת הרעיון כי ניתן להתייחס לנתונים באופן מספרי או קטגורי המהווה את הבסיס של סגנון 2-ניסיוני חקר. הגדרת קטגוריה, מחייבת תכונות ייחודיות מזוהות והישות הנחקרת היא אז תוצר של סגנון 4-סיווג וקטגוריה. לאחר שהנתונים נאספו הם יכולים להיות מיוצגים במגוון צורות מתמטיות אשר מהן עלות המסקנות שיכולות לענות לשאלת המחקר- מהוות בסיס של סגנון 1. עד כמה אנחנו יכולים להיות בטוחים במסקנות כאלה, תלויה במידה שבה אנו יכולים להיות בטוחים במדידה אחת הדורשת החדרת מושגים של סיכוי והסתברות אשר בבסיס סגנון 5.
ו'-ח'	בניית הסבר על בסיס ראיות המתארות כיצד וריאציות גנטיות של תכונות באוכלוסייה מגדילות את ההסתברות של פרטים מסוימים לשרוד ולהתרבות בסביבה	דיון על וריאציה גנטית מספק מבוא לייצוג פולינומי של תכונות גנטיות כמשתנים, אשר הוא סגנון 1. בניית מודלים של מיוזה ומיטוזה מקושרת לסגנון 3- מעניקה הזדמנות לתלמידים לייצג ויזואלית ואולי להבין טוב יותר את הרבייה המינית והא-מינית. כל הערכה של הסתגלות חייבת לכלול סיווגים של תכונות פיזיות או התנהגותיות, שהוא סגנון 4. הציפייה לביצועים מזהה בבירור את התפקיד המרכזי של ההסתברות להישרדות האוכלוסייה, הדורשת חקירה של סגנון 5 או חשיבה הסתברותית. הסבר מבוסס ראיות על שונות גנטית והישרדות אוכלוסיות מספק הזדמנות לעסוק בחשיבה אבולוציונית, שהיא סגנון 6.
ט'-יב'	החלת רעיונות מדעיים והנדסיים לתכנון, להעריך ולעצב מכשיר שממזער את הכוח על אובייקט מקרוסקופי במהלך התנגשות.	כדי ליישם רעיונות מדעיים והנדסיים למשימה עיצובית, על התלמידים להבין את החקירה המדעית, את תפקיד המשתנים ואת תהליך התכנון האיטרטיבי, שהוא סגנון 2. בנוסף, תהליך תכנון המתמקד בכמות הכוח שמוחלת על אובייקט יכול להכרח ייצוג מתמטי, או סגנון 1. עיסוק בתהליך מחזורי של תכנון, הערכה ועידון, עשויים לכלול אבי טיפוס כאשר התלמידים מציגים פתרונות קיימא לאתגר, שהוא סגנון 3. החלת רעיונות מדעיים והנדסיים למשימה עיצובית מעניקה הזדמנות לחקור מגוון של תוצאות אפשריות וכתוצאה מכך הסתברויות דיפרנציאליות של כוח, המהווה את הבסיס של סגנון 5.

הדוגמאות המפורטות בטבלה מדגימות את העובדה כי אין מדע יחיד. הם למעשה מחזקים שמה שאכן משותף למדע מוחזק בסדרה של דרכים (הנמקות מדעיות) המאופיינות בשלוש שאלות שהוצגו קודם לכן. כאשר הדרכים לענות על השאלות האלה, מגוונות. לשם כך על המורה להיות מצויד במפה שמאפשרת לו לבנות את הנרטיב של מגוון תוצאות מצופות לביצוע.

בניגוד למושגים חוצים המגדירים מכנה משותף למדעים, ששת הסגנונות מדגישים את הדרכים שבהם ניתן ללמוד על העולם ולבנות ידע. כל סגנון הנמקה מהווה נתיב מדעי, המבוסס על לוגיקת טיעון המאפיינת אותו ומניעה אותו בתוך התהליך. ניתן לדמות זאת ל"ריבוי של המיעוט" מושג שהותווה על ידי הרמב"ם (מורה נבוכים). "המיעוט" מייצג את סגנונות החשיבה. ה"ריבוי" את ההופעה שלהם בכל מקום, הדרך לראות אותם בכל המקומות. המושגים החוצים בהיותם מציגים מכנה משותף, מראים רק את הריבוי, ובעצם מפספסים את צורת החשיבה הגבוהה יותר.

ששת סגנונות החשיבה המדעית, שמים דגש על כך שהלמידה המדעית דורשת פיתוח לא רק של ידע תוכן, אלא גם ידע תהליכי וידע אפיסטמי. כאשר ניסיונות קודמים לפתח תיאור קוהרנטי של חשיבה מדעית הזניחו את המשמעות של ידע תהליכי, ידע אפיסטמי או שניהם. "סגנונות החשיבה" לעומת זאת, מכירים בצורך בכל שלושת היסודות של הידע הספציפי לתחום, מורכבותו ומורכבות של הפרקטיקה המדעית. מעבר לכך, "סגנונות החשיבה" יכולים לבוא לידי ביטוי כאמצעי להערכת התרומה האינטלקטואלית והתרבותית של המדעים, המהווים מכנה משותף לחינוך המדעי ולבניית התבונה המדעית - אחת המטרות העיקריות של כל חינוך מדעי (Osborne et al., 2018).

### 3. התפתחות האפיסטמולוגיה בחינוך המדעי

#### 3.1 התמחויות שונות באפיסטמולוגיה של המדע בחינוך המדעי

אנשי חינוך מדעי מתעניינים בפיתוח הבנה של תלמידים אודות האפיסטמולוגיה של המדע במשך זמן רב. למרות עשרות שנים של מחקר על השקפות תלמידים, ועשרות שנים של רפורמות חינוכיות, עדיין קשה מאוד לשנות את התפיסות של התלמידים לגבי טבע הידע המדעי והפרקטיקה המדעית (Sandoval, 2014; Berland et al., 2016). קיימות למעשה שתי התמחויות בחינוך המדעי הקשורות לאפיסטמולוגיה:

- תפיסות התלמידים של מהות המדע (NOS).
- הפעולות של התלמידים לבניית משמעות מדעית על העולם באמצעות חקירה, מידול, ויכוחים ועוד.

מחקרים אלו הפיקו מסקנות שונות על ההבנה של התלמידים את האפיסטמולוגיה של המדע (Sandoval, 2018; Tsybulsky, Dodick & Camhi, 2005) והעובדה שהם נמצאים בדיאלוג קטן מאוד זה עם זה מהווה מכשול גדול לייצר תיאוריה קוהרנטית של התפתחות הבנה אפיסטמית. תיאוריה כזו, יכולה להראות כיצד חוויות הלימוד בבית הספר עשויות לסייע לתלמידים לפתח הבנה פרודוקטיבית של האפיסטמולוגיה של המדע (Sandoval, 2014).

הסיבות לחשיבות פיתוח הבנה פרודוקטיבית של האפיסטמולוגיה של המדע בקרב בוגרי מערכת החינוך מתמקדות בשני היבטים: א. הבנה לגבי מה שהופך את המדע למדע - אבחנה בין מאמצי השדה המדעי לבין מאמצים אנושיים אחרים; ו-ב. יכולת להשתמש בהבנה זו כדי לזהות טיעונים מדעיים והסברים מסוגים אחרים, ולהעריך אותם במונחים מדעיים. זה לא אומר שהמדע הוא הדרך היחידה או הטובה ביותר להבין את העולם, כפי שהמדענות יכולה לרמז. אלא נהפוך הוא, זה אומר כי הדרך הטובה ביותר להעריך מתי ואיך המדע עשוי להיות מתאים לעניינים היומיומיים של האדם הוא להבין מהו מדע ואיך הוא עובד. כתוצאה מכך, הבנה פרודוקטיבית של האפיסטמולוגיה של המדע צריכה להתמקד כיצד תחומי מדע ומדענים מעניקים לגיטימציה לטענות, מודלים ותיאוריות (שם).

תיאוריה של התפתחות הידע האפיסטמולוגי, המכוונת לפיתוח הבנה על טבע הידע והידיעה, צריכה להסביר איך אנשים עונים על שאלות כמו: מהו ידע? מאיפה מגיע ידע? איך אנחנו יודעים מהו ידע? וכיצד אנו מעריכים טענות ידע? והיא כוללת שאלות הקשורות לראיות ולמקורות הצדקה אחרים לידע. חשיבה על שאלות כאלה בתוך התנסות, יכולה להוביל למעורבות בפעילות תרבותית והיסטורית. מנקודות מבט קוגניטיביות והתפתחותיות שינויים איכותיים בחשיבה קשורים לדפוסי פעילות, כולל מטרותיהם, ומגוון משאבים חומריים, חברתיים וסמיוטיים העומדים לרשותם לתמוך בפעילות (Hammer & Elby, 2003; Sandoval, 2005, 2012).

המחקר על השקפות של אנשים על ידע ומהות הידע מהווה את הבסיס לתחום האפיסטמולוגיה האישית בפסיכולוגיה חינוכית, ולתיאוריות המתמקדות בהתפתחות האפיסטמולוגיה האישית. עם זאת, בתחום זה, חוקרים הציעו תיאוריות מרובות עם הסכמה אמפירית קטנה גם בזמן היותן פשטניות בהמשגת שיטות של ייצור ידע (Sandoval, 2012). למעשה, השינויים במחקר האפיסטמולוגיה האישית קשורים לניסיונות לאפיין אמונות, את יישומן, ותהליכים של החשיבה האפיסטמית, המשקפים את ההכרה של אופי המחשבה האנושית בזמן פעילות (Chin, Buckland, & Samarapungavan, 2011).

על מנת לתמוך בקשר הזה Sandoval (2014) מציע לבחון:

- כיצד ילדים מפתחים תפיסות על המדע, בבית הספר ומחוצה לו.
- השערות מורים הנוגעות לאופן שבו ניתן לשנות את התפיסות של ילדים כלפי התפתחות הידע.
- קשרים מפורשים בין תפיסות הילדים את מהות המדע לבין מה שהם חושבים על המדע שהם עושים בבית הספר, ומהם חושבים על נושאים אפיסטמיים אחרים (כמו איך הם יודעים מתי הם יודעים משהו, מה נחשב כהסבר טוב או כראיה וכן הלאה).

### 3.2 אתגרים בפיתוח אפיסטמולוגיה בחינוך המדעי

פיתוח אפיסטמולוגיה בחינוך המדעי עומד בפני ארבעה אתגרים עיקריים:

א. חיבור בין שתי ההתמחויות העוסקות באפיסטמולוגיה: בין מחקר על תפיסות של תלמידים את מהות המדע – NOS, למחקר על הפעולות שהתלמידים נוקטים בהם לבנות משמעות מדעית אישית באמצעות חקירה, טיעונים, מודלים, וכו'. החוקר Lederman (2007) רואה בחיבור של NOS והחקירה המדעית, כמזיקה לחקר NOS. עם זאת, מחקרים על מדע מקצועי מבהירים היטב כי ההיבטים המושגיים, המעשיים והאפיסטמיים של המדע שזורים זה בזה מטבעם (Duschl, 2008; Osborne et al., 2018). יתר על כן, ביטויים של מדענים מקצועיים להשקפות שלהם לגבי האפיסטמולוגיה המדעית קשורים להבנה רפלקטיבית של עבודתם. לכן לא ניתן לתאר את ההתפתחות האפיסטמית של התלמידים באופן עצמאי על הפעולות שהם נוקטים להבין את העולם. התפתחות הבנה אפיסטמית צריכה לקשר בין המחשבה של התלמידים על הידע שלהם לבין הפעולות שהם נוקטים בפיתוח רעיונות מדעים ואודות המדענים. ההבדל הקריטי הוא בשאיפה לאפיין את החשיבה של התלמידים במונחים של מה שהם חושבים, במקום במונחים של מה שהם לא חושבים (Sandoval, 2014).

ב. אבחנה בין השקפה "אפיסטמולוגית" ל-"אפיסטמית": במונחים של Kitchener (2002) אמונות אפיסטמולוגיות מתייחסות לאמונתו של האדם על אפיסטמולוגיה, על אלמנטים של תיאוריה של ידע, ולא על אמונות לגבי הידע כשלעצמו. אמונה כמו "טענות אמינות יותר עם ראיות" תהיה אמונה אפיסטמית. אמונה אפיסטמולוגית לעומת זאת יכולה להיות "ההשקפה שלי על ידע צריכה להתייחס לנושא האמת שלו". ככל שאנשים מחזיקים באמונות כאלה, הם לא יכולים להבדיל ביניהן (Kitchener, 2002). בחינת הבדלים כאלה, חשובה במיוחד על מנת להבין את המאמצים לבצע ולהעריך טענות ידע, תוכל לסייע להבנת הקשר בין מאמצים מעשיים לרפלקציה אישית של המשתתפים על המטרות והקריטריונים שלהם (Sandoval, 2014).

ג. אבחנה בין ההבטים השונים הבאות לידי ביטוי ב"אפיסטמולוגיה אישית": פרספקטיבות היסטוריות על המדע טוענות כי אפיסטמולוגיה היא תופעה חברתית ולא תופעה אינדיבידואלית. מנקודת מבט זו, לתחומים מסוימים יש אפיסטמולוגיות, לא לאנשים. פרספקטיבה בחינוך המדעי, המתכתבת עם האסכולה הסוציולוגית החזקה הזו של לימודי המדע ותיאוריות היסטוריות של למידה, טוענת כי "טבעו" של המדע הוא מקומי ומותנה, והפרקטיקה המדעית בעצם מתפתחת במטרה לפתור בעיה מסוימת בזמן נתון (Kelly, Chen & Crawford, 1998). על בסיס השקפה זו התפתח המושג "אפיסטמולוגיה מעשית" (ראה טבלה מס' 7).

מושג	תיאור המושג
<p><b>אפיסטמולוגיות מעשיות</b></p> <p>Practical Epistemologies</p>	<p>רעיונות אפיסטמיים בפעולה ובשיח הבאים לידי ביטוי באופן אינטראקטיבי. "אפיסטמולוגיות אינן ישויות של אנשים בודדים אלא של אנשים המשתתפים בשיטות חברתיות משותפות" (Wickman, 2004, p. 327).</p> <p>מעבר לתכונות האפיסטמיות של הפעילות המשותפת, רעיונות אפיסטמיים מתבטאים בפעולותיהם של התלמידים, בהחלטותיהם ובנימוקים שלהם (Sandoval, 2005).</p>
<p><b>אפיסטמולוגיות הלכה למעשה</b></p> <p>Epistemologies in Practice</p>	<p>רעיונות אפיסטמיים המנחים את עבודת התלמיד הם שילוב של השקפות ופעולות. מעשיהם משקפים את הרעיונות הבסיסיים או את "כללי האצבע" בנוגע לבניית ידע ולהערכה (Berland et al., 2016).</p>

אפיסטמולוגיות מעשיות, ובפועל פרקטיקות אפיסטמיות מאופיינות במגוון דרכים: כפעולות, ולא כאמונות; או כשילוב בין השקפות ופעולות. ההתייחסות השונה למושג "אפיסטמולוגיות מעשיות" מדגישה את החשיבות והצורך להבין את ההתפתחות האפיסטמולוגית, הבאה להסביר כיצד רעיונות כאלה מתפתחים באמצעות פעילות חברתית-תרבותית, עד כמה ניתן להכלילן על פני פעילויות שונות, וכיצד הם משפיעים על פעולה.

ד. אפיון החשיבה האפיסטמית: מנקודת מבט של ההשקפה האפיסטמולוגית החברתית, לימוד פרקטיקות של יצירת משמעות צריך להתמקד בשלושה היבטים (Sandoval, 2012, 2014):

- פרקטיקות הלומדים ליצירת משמעות במדע.
- תוצרים שתלמידים בונים מתוך התנסות כזו - תוצרים נושאים עקבות של מעורבות אפיסטמיים שאינן בהכרח נראות באינטראקציה.
- השתקפות שלהם בתוצרים ובפרקטיקות - השתקפות יכולה להאיר את המטרות המניעות צורות של השתתפות וכיצד יחידים מתאימים עצמם לקהילת הלומדים והמדענים.

כדי להסביר את ההשלכות של השתתפות התלמידים בחוויות המדע בבית הספר על ההכרה האפיסטמית שלהם בבית הספר ומחוצה לו, כולל איך הם תופסים את ההיגיון של המדע עבור עצמם וכיצד הם מבינים את העבודה של המדע המקצועי; החינוך המדעי צריך להבין את החשיבה האפיסטמית בהגדרות שבהן היא מתרחשת ולחקור את ההשלכות של ההשתתפות במסגרות כאלו בזמנים שונים.

יתר על כן, התפתחות אפיסטמולוגיה אישית יכולה לסייע הן בעיצוב הוראה יעילה ומבוססת פרקטיקות והן כדי להסביר את השלכותיה על תלמידים בודדים. דוגמאות לכך הן כיצד התלמידים מבחינים, על ידי בנייה משותפת (בקבוצה), בפערים אפיסטמיים במהלך עבודת המעבדה, או כיצד התערבות קצרה של המורה משמרת את המסגרת האפיסטמית שבתוכה התלמידים מנהלים את עבודתם. מכאן חשוב לנתח את ההשתתפות וההשתקפות של הפרט במהלך השתתפות בחוויות מדעיות, כדי לאפיין את המושגים שאנשים מפתחים באמצעות פעילות ממוקדת ותהליכי שינוי.

### 3.3 הטמעת גישת הוראה מבוססת פרקטיקות

הדגש על פרקטיקות מדעיות כמטרות למידה וכגישה פדגוגית נועד למקד את תשומת הלב של ההוראה על תלמידים בונים ומעריכים ידע. זאת על ידי השתתפות רפלקטיבית בפרקטיקות מדעיות על מנת לפתח כלים שימושיים הן לאפיסטמולוגיה שבבסיס המאמץ המדעי והן לבניית הסברים לרעיונות מדעיים. השימוש במונח פרקטיקות במקום במונח מיומנויות נובע מהצורך להדגיש שהעיסוק בחקר מדעי דורש שילוב בין ידע לבין מיומנות, משמע מיומנויות אינן קיימות בנפרד מהידע. עיסוק בפרקטיקות מדעיות כחלק ממטרות המתווה לחינוך מדעי (NRC Framework, 2012), נועד לסייע לתלמידים: להבין כיצד מתפתח ידע מדעי; להיחשף לדרכי עבודתם המגוונות של מדענים; להדגיש שהחקר המדעי אינו תהליך לינארי אחד; ושאינו למעשה "מתודה מדעית" אחת אלא קיימים מספר בסיסים לדרכי הציודק המדעי. באמצעות העיסוק בפרקטיקות התלמידים ייחשפו לטווח הרחב של הגישות שמשתמשים בהן לחקר, לעיסוק במודלים ולהסבר על העולם. הבנת הפרקטיקות יכולה לסייע לתלמידים להבין את המושגים חוצי התחומים ואת הרעיונות התחומיים (הדיסציפלינריים) במדע ובהנדסה (NRC, 2012).

פרקטיקות מדעיות כמטרות למידה וכגישה פדגוגית נועדו למקד את תשומת הלב של מורי המדעים בבניית ויישום ידע, ולא על השגת רעיונות מדעיים ואפיסטמיים נפרדים (Berland et al., 2016). בכך יכולות להיות גורם מאזן לחששות והאיומים שטמונים בבסיס המדענות. טבלה מס' 8 מפרטת את שמונה הפרקטיקות המוצעות על ידי המתווה לחינוך מדעי.

טבלה מס' 8: שמונה הפרקטיקות המדעיות המוצעות על ידי NRC (2012)

שאלת שאלות והגדרת בעיות	שימוש במתמטיקה וחשיבה חישובית
פיתוח ושימוש במודלים	בניית הסברים ותכנון פתרונות
תכנון וביצוע חקירות	עיסוק בטיעונים מתוך ראיות
ניתוח נתונים ופרשנותם	השגת מידע, הערכתו והעברתו

התפיסה הרווחת היא שלימודי המדעים מערבים תלמידים במטרות אפיסטמיות לגבי האופן שבו הידע המדעי נבנה (Duschl, 2008; Kelly, 2008). לדוגמה הבנת הקריטריונים להערכת הסברים, תיאוריות או מודלים, או הקריטריונים לבחירת הסבר אחד על פני חלופות. מתוך תפיסה זו, מחקרים ומסמכי מדיניות עדכניים קוראים לערב תלמידים ומורים בפרקטיקות מדעיות, כך שהמטרה של החינוך המדעי תשתנה מתלמידים שיוודעים רעיונות מדעיים ואפיסטמיים, לתלמידים המתפתחים עם הרעיונות ויודעים לעשות שימוש בהבנות אלה ככלי

להבנת העולם. פרספקטיבה זו דוגלת בלעודד את התלמידים לעסוק בבנייה תכליתית של ידע (Berland et al., 2016), כאשר תמיכה בהבנות האפיסטמיות של התלמידים לגבי האופן שבו הידע המדעי נבנה ומוערך, תתמוך בבניית הידע המדעי שלהם. עם זאת, מחקרים הראו כי הקשר הזה לא תמיד מתקיים, מאחר והנחה זו אינה נוגעת להקשרים שבהם ניתן להגיע להבנות האפיסטמיות של התלמידים (Berland & Cruet, 2016).

במהלך 50 השנים האחרונות, נערכו רפורמות בחינוך למדע, כאשר מטרת תוכניות רפורמה אלה הייתה לייצר יחידות מחקר אשר יגרמו לתלמידים "לחשוב כמו מדענים", ובכך להציבם במקום בו יוכלו לפתח "קריירה מדעית". רפורמה נוספת מטרתה הייתה "מדע לכל", כלומר המטרה הייתה לפתח אוכלוסייה בעלת ידע מדעי, ולשתפה בתחומי הטכנולוגיה, ההנדסה והמתמטיקה. רפורמה זו גם התמקדה בפיתוח ההבנה האפיסטמית והנימוקים המדעיים בפיתוח הידע המדעי. הרציונל לכך הוא שדרך שיח לוגי ניתן לעורר את הקשר בין הרעיונות לבין הראיות. במובנים רבים הטענות המדעיות הן התהליך שבו המדע, מפתח ומשכלל ידע. כלומר, כאשר מדענים מציגים טיעונים התומכים ברעיונות חדשים, הטענות, הראיות או הצדקת הראיות, נחקרות ומוערכות על ידי מדענים אחרים. התהליך המחזורי של ביקורת, חידוד והערכה מוביל לטיעונים מדעיים חזקים ולפעילות אפיסטמית מרכזית של הקהילה המדעית (Duschl, 2008). פרקטיקות אלה, הנקראות פרקטיקות אפיסטמיות, עוסקות בדרכים שבהן חברי הקהילה מציעים, מתקשרים, מעריכים ומלמדים את הידע המדעי במבנה דיסציפלינרי מסוים (Kelly, 2008).

### 3.4 פרקטיקות אפיסטמיות

פרקטיקות אפיסטמיות מאופיינות במגוון דרכים. עבור Kelly (2008), הן מהוות פרקטיקות חברתיות ספציפיות, הבאות לידי ביטוי: כסדרת פעולות מעוצבות, המתבצעת בדרך כלל על ידי חברי קבוצה בעלי מטרות וציפיות משותפות, עם ערכים תרבותיים, כלים ומשמעויות משותפות. סדרת פעולות אלו משמשות להציע, להצדיק, להעריך ולהעניק לגיטימציה לטיעוני ידע במסגרת משמעותית; כאשר ניתן להבדיל בין שלושה סוגים הקשורים בהם: יצירה, הערכה והעברת ידע. נקודת המבט החברתית-תרבותית והרעיון של למידה באמצעות התנסות פעילה, מגדירות את ההכרה האפיסטמית כפרקטיקה אשר נבנית באינטראקציה חברתית, וכוללת הבנות המושגות באופן אינטראקטיבי (Kelly, 2016). לפי Wickman (2004), אשר חולק את אותה גישה חברתית-תרבותית קוגניטיבית, פרקטיקות אפיסטמיות או אפיסטמולוגיות מעשיות של התלמידים משמשות בפרקטיקות ספציפיות. נקודת מבט זו מתמקדת באפיסטמולוגיה מעשית כפעולות, ולא כאמונות, בהתחשב בכך שהפעולות שהתלמידים והמורים נוקטים מתקיימות במסגרת של התנסות.

נקודת מבט משלימה, המתייחסת להיבטים פילוסופיים ופסיכולוגיים, היא מודל AIR (Aims, Ideals, Reliable processes). המודל מבוסס על אפיון חשיבה אפיסטמית במונחים של מטרות, תקנים וקריטריונים (אידיאלים) ותהליכים מהימנים להשגת הישגים אפיסטמיים. במודל זה, המטרות האפיסטמיות הן מטרות הקשורות למציאת ידע, הבנתו ויצירת אמונות; כאשר הידע הוא המטרה האפיסטמית המדוברת ביותר. תקנים וקריטריונים מתייחסים לתקנים ספציפיים שבהם משתמשים אנשים להערכת טיעוני ידע, או לבחירת ראיות, ועשויים להתייחס גם למהימנות של אמונה או ידע. המרכיב השלישי נוגע לתהליכים הקוגניטיביים והחברתיים שבאמצעותם מושגים ידע ומטרות אפיסטמיות אחרות (Chinn, Buckland & Samarapungavan, 2011).



כאמור, הטיעונים המדעיים הם פעילות אפיסטמית מרכזית של הקהילה המדעית (Duschl, 2008). המסגרת הרעיונית לתקני המדע של הדור הבא, והסטנדרטים עצמם, מציגים חזון להוראה וללמידת מדעים, המעניקים לתלמידים בשיעורי המדעים, את ההזדמנויות ליצור, לבקר, להעריך ראיות מדעיות, לפתח הסברים מדעיים וטענות מדעיות (Grooms, Enderle & Sampson, 2015). מתוך כך, התלמידים חווים הזדמנויות להבנת מושגים ורעיונות מדעיים בכיתות אלה, וכן עוסקים בפעילויות בהן מתבצע תהליך של אפיון המושגים המדעי. על המורה לסייע לתלמידים לבנות ידע והבנה מחווייתיהם, כאשר חקירה מדעית היא רק גישה אפיסטמית אחת לידע.

### 3.5 מעורבות תלמידים בפרקטיקות אפיסטמיות

כאשר עוסקים בפרקטיקות מדעיות נוצרות הזדמנויות רבות לתלמידים לקבל החלטות - כלומר, איזה שלבים יש לעשות, מה לכלול בידע של התוצר שנוצר, למה לשים לב בעת בניית התוצר וכו'. זה מוביל בדרכים שונות לעסוק בפרקטיקות אפיסטמיות. לדוגמא, כאשר תלמידים נדרשים לבנות מודל של איך האור נע, תלמידים צריכים להחליט איזה סוג של מידע נחוץ לבניית המודל. הם עשויים לחשוב על איזה מרכיבים מרכזיים לכלול, המשלבים את חוויות העבר שלהם (כלומר, ייתכן שראו כיפוף אור במים), ו / או בהרהורים על אופן הפעולה של המערכת (כלומר, האינטראקציה בין קרני האור לבין סוג החומר). בנוסף, ההבנות של התלמידים מדוע הם עוסקים במידול בדרכים אלה יכולות להשתנות. לדוגמא, הם עשויים לעסוק במידול כדי לספק ציפיות חיזוניות (כלומר, המורה שלהם), או שהם עשויים לעשות זאת משום שהם מנסים באופן פעיל להבין את התופעות הנמצאות במחקר (כלומר, איך האור עובר) (Berland et al., 2016).

ניתן לאפיין שתי צורות שונות של מעורבות תלמידים:

- צורה אחת מתייחסת למטרות המפורשות של התלמידים לגבי הבניית הידע וההבנות של סוגי הידע שיהיו שימושיים ובעלי ערך במילוי מטרות אלה.
- צורה אחרת מתייחסת להבנות האפיסטמיות שלהם על העבודה שלפניהם, בנוגע להחלטותיהם לגבי הבניית הידע שלהם, כמו גם למה ואיך הם עושים את זה.

שתי הצורות השונות מדגישות את עצם כך שהאפיסטמולוגיה של האדם איננה בהכרח מפורשת או מודעת. לדוגמא, אנשים אינם בהכרח מביעים מטרה של הערכת מוצר ידע, אבל הבחירות שהם עושים מתקשרים למושג סמוי או מושג על מהותו של הידע בהקשר אינטלקטואלי חשוב (Berland et al., 2016). בנוסף לאפיסטמולוגיה שמגולמת ברעיונות ופעולה משתמעת, קיימים "משאבים אפיסטמיים" המאופיינים על ידי Hammer (2003). השילוב ביניהם מגדיר רעיונות אפיסטמיים כרעיונות מקושרים, מקוטעים ולא כתיאוריות קוהרנטיות. לפיכך, הרעיונות שהתלמידים מציירים עשויים להשתנות בתגובה לנורמות הכיתה, למטא-מסרים של המורה, לאילוצי בעיות, למידע זמין וכן הלאה. לדוגמא, אפשר לדמיין קבוצה של תלמידים שעובדים יחד כדי להבין מדוע הניסוי שלהם נכשל בדרך שהוא נעשה. אותה קבוצה של תלמידים עשויה לעבור לכיוונים של המטרה בכיתה (כלומר, לתעד את התוצאה הצפויה) כאשר המורה הזכיר להם את הזמן שנותר. במקרה זה, אנו רואים את המטרות והפעולות של התלמידים משתנות ממיקוד בהסבר כיצד זה קרה לביצוע הוצאה לאור יותר של גיליון העבודה. Berland ועמיתיו (2016) טוענים שתלמידים אינם מתבססים באופן עקבי על תיאוריה אפיסטמית קוהרנטית קבועה של איך המדע או האינטראקציות בכיתה שלהם צריכים לעבוד. במקום זאת, האפיסטמולוגיה של הפרט

מורכבת מרשת גמישה של הבנות שניתן להסיק מתוך הבנה של מה המתאים ביותר ורלוונטי למטרות של הפרט בהגדרות הנוכחיות.

### 3.5.1 אפיון המטרות האפיסטמיות של התלמידים בתהליך של בניית הידע

הטמעת גישת הוראה מבוססת פרקטיקות בתרבות הבית ספרית עומדת בפני אתגרים שונים. מצד אחד, מורים ותלמידים מפרשים פרקטיקות על ידי כך שיתאימו להגדרת המטרות והציפיות שלהם. מנגד, תרבויות כיתתיות המדגישות את הציפיות המסורתיות על פני יעדי הבניה מדעית, יכולות להפחית את הפרודוקטיביות של הטמעת הפרקטיקות המדעיות. לפיכך, אין להניח כי פרקטיקות המאפשרות את התקדמות מטרות הקהילות המדעיות יהיו מנוסות כמשמעותיות כלפי קהילות כיתתיות המאמצות אותן. מכאן עולה טענה כי מחנכים וחוקרים חייבים לבחון את הדרכים שבהן הפרקטיקות הן (או לא) משמעותיות לקהילות הכיתתיות שבמסגרתן הן פועלות. כאשר "שימוש משמעותי" מתקבל על ידי מטרות אפיסטמיות שמקיימות את הפעולות יחד עם פעולתן. ניתן להבחין בשתי משמעותיות מרכזיות (Berland et al., 2016):

- משמעות לקהילה המדעית – מבוססת על מטרתו הרחבה של המאמץ המדעי בלבס את הכללים כיצד ומדוע פועל העולם – לפתח מודלים מסבירים. אכן, למרות שהחקירות ידגישו פרקטיקות שונות במועדים שונים (כלומר, עיסוק בשיח-טיעוני, תכנון חקירות, ניתוח נתונים וכדומה), נוהגות פרקטיקות אלה יחד כהרכב של פעילות, במטרה לקדם את המטרה הכוללת של פיתוח מודלים מסבירים מבוססי-ראיות לגבי העולם.
- משמעות לקהילה הכיתתית - בנוסף להתאמה עם המטרות האפיסטמיות של הקהילה המדעית, גישה מבוססת פרקטיקה פירושה שתלמידים יהיו בעלי משמעות גם עם המטרות הכיתתיות. המשמעות של זה היא לעסוק בפעילויות הלימוד על-ידי אימוץ מטרותיהם, בניסיון ללמוד את המושגים או לשלוט במיומנויות שהם פיתחו. כלומר, גישה המבוססת על "אימון בפרקטיקות" מבקשת כי מעבר לביצוע פעולות המשקפות את המטרות של הקהילה המדעית, קהילות הכיתתיות יאמצו לעצמם מטרות משלהן. מעורבות של התלמידים מחייבת יישור קו בין המטרות של הקהילה המדעית לבין מטרות הקהילה הכיתתית. צורה זו של מעורבות מדעית מתעוררת בביצועים המקובלים בכיתות המדעים.

### 3.5.2 אפיון ההבנות האפיסטמיות של התלמידים

צעד אחד לקראת תמיכה במעורבות של תלמידים בפרקטיקות מדעיות הוא לעזור להם לדעת מה לעשות. לדוגמא, גישות רבות לתמיכה בהשתתפות פעילה של התלמידים בבניית ידע מדעי, מעסיקות את התלמידים בשליטה במשתנים, או ביצירת מבנה תוצרים מפורש. עם זאת, הדגשת הפעולות לבדה יכולה לגרום לביצועים ולהשגת המיומנויות, אך לא למעורבות התלמידים בעבודתם העשירה של בניית ידע מדעי, ההערכה והעיבוד (Chin & Malhotra, 2002; Windschitl, Thompson, & Braaten, 2008). עבודת המדע היא חלק מהרכב של פעילות - כך שהמשימות הן חלק מרשת קוהרנטית של פעולות. לדוגמא, טיעונים מדעיים הם חלק תכליתי מהרכב מדעי כאשר המאפיינים של ההצדקה, ההערכה, התיקון וביסוס הטיעונים מאפשרים לקהילה לבנות ידע (פורד, 2012). לעומת זאת, בניית טיעון כטיפול עצמאי להערכתו של המורה יכולה ליצור מסר כפול, בכך

שהתלמידים מתמקדים ב"הוראות המספקות את המורה במקום על מהות הרעיונות" (Hammer, & Berland, 2012).

החוקר Ford (2008) מדגים את הערך של הדגשת המטרות הקהילתיות שסביבן מאורגנת הפעילות המדעית על ידי כך שהתלמידים מבינים את מטרת השליטה במשתנים הניתנים לשינוי, על מנת לקבוע מתי וכיצד לעשות זאת; מאשר תלמידים הלומדים את המיומנויות של זיהוי המשתנים הניתנים לשליטה וכיצד לעשות זאת. גישה זו מכונה "אימון בפרקטיקות", מעודדת את התלמידים לנוע בתוך ביצועים של פעולות מדעיות או תהליכים מדעיים, ולעסוק בעבודה בלתי-מכוונת בבניית ידע. זה מעלה שאלות חשובות על אופן ההשתלבות בתהליכי חשיבה מדעיים ולא רק בתהליכים שהם לעתים קרובות חלק מהפרקטיקות.

הפרק הבא ידון בדרכים בהן ניתן לפתח ולהעריך פרקטיקות אפיסטמיות, על מנת ליצור מעורבות תלמידים בעבודה מדעית עשירה של בניית ידע מדעי, ההערכה והעיבוד.

#### 4. פיתוח והערכת פרקטיקות אפיסטמיות

בשנים האחרונות חוקרים דנו רבות בחשיבותו של החינוך המדעי, המאפשר לתלמידים להתנסות עם פרקטיקות מדעיות-חינוכיות הדומות לאלה של מדענים במחקרם (Duschl, 2008; Stroupe, 2014). התלמידים חווים הזדמנויות להבנת מושגים ורעיונות מדעיים בכיתות אלה, וכן עוסקים בפעילויות בהן מתבצע תהליך של אפיון המושגים המדעיים. על המורה לסייע לתלמידים לבנות ידע והבנה מחווייתיהם, כאשר קיימות מספר גישות אפיסטמיות לפיתוח ידע.

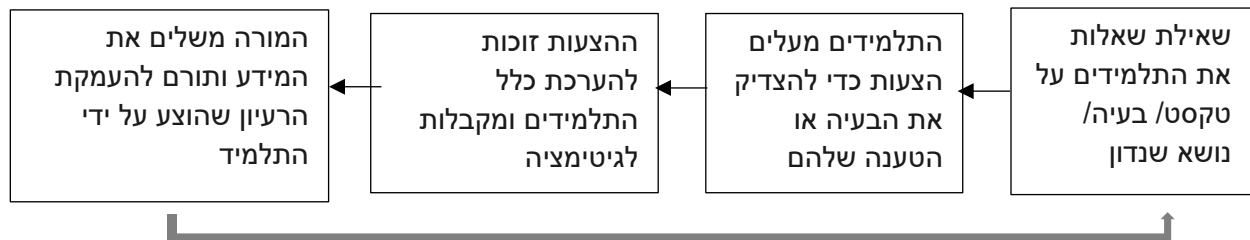
להלן יוצגו גישות שונות לפיתוח ידע ופרקטיקות אפיסטמיות.

##### 4.1 גישות שונות לפיתוח והערכת פרקטיקות אפיסטמיות

בסעיף זה לאחר הסברים המבוססים על מגוון מאמרים, נביא דוגמאות העשויים לסייע למורים ליישום בכתות.

###### א. דיאלוג אפיסטמי

קידום החשיבות של החינוך המדעי, על פי Kelly (2008), מתרחש באמצעות פיתוח של שיטות אפיסטמיות להבנת המושגים, החוקים, המודלים והתיאוריות המדעיות. לכן, קיימת חשיבות רבה לאינטראקציה עם המורה, אשר יכולה ליצור מעורבות בקרב התלמידים. הפרקטיקה כוללת מורים ותלמידים המשתתפים בדיונים, מציעים רעיונות, תובנות, מעריכים הצעות ומעניקים לגיטימציה לידע בשיעורי המדע בבית הספר. כלומר, שיח עשיר על נושאים מדעיים מגביר מעורבות תלמידים וכן מפתח הזדמנויות להופעת פרקטיקות אפיסטמיות בקרב תלמידים ומורים. דיון זה יכול להתרחש על בסיס קריאה ודיון בטקסט. הקריאה נעשית בקול רם על ידי המורה, והיא נקטעת כל כמה דקות כאשר המורה שואל את התלמידים על המצב המתואר בטקסט. התלמידים מעלים הצעות כדי להצדיק את הבעיה. ההצעות זוכות להערכת כלל התלמידים ומקבלות לגיטימציה. באופן זה נחשפים התלמידים לידע חדש, הבנה ומעורבות. המורה משלים את המידע ותורם להעמקת הרעיון שהוצע על ידי התלמיד. תגובה זו של המורה מעניקה הזדמנות לכל התלמידים האחרים להיות מודעים לרעיון/הצעה, לבנות ידע והבנה המשותפים לכולם. איור מס' 1 מציג את המודל המחזורי בדיאלוג אפיסטמי.



איור מס' 1. דיאלוג אפיסטמי

לכן, סביבת הדיון מהווה למעשה סביבת חקירה, כאשר ההצעות/רעיונות המועלות, התקשורת וההערכה של הרעיונות, מובילות לפיתוח פרקטיקות אפיסטמיות במדעים. התלמידים חווים הזדמנויות להבנת מושגים ורעיונות מדעיים בכיתות אלה, וכן עוסקים בפעילויות בהן מתבצע תהליך של אפיון המושגים. איור מס. 1 מציג את המודל המחזורי

## ב. חקירה מדעית עם מטרות אפיסטמיות

חקירה מדעית היא גישה אפיסטמית מרכזית לבניית ידע. במקרים של חקירה, שבה יש נקודת סיום קבועה מראש, ההתקדמות האפיסטמית היא לקראת מטרת השיעור. כלומר, המורים יודעים את התשובה הסופית או את הפתרון שהם רוצים שהתלמידים יגיעו אליו, והם מובילים את התלמידים שלהם לנקודה זו. במקרים אלו, אנו עשויים למדוד את ההתקדמות האפיסטמית על ידי מידת הקרבה של התלמידים לתשובת המורים. ההתקדמות האפיסטמית מתאימה כקריטריון הערכה רק כאשר לניתוח יש מטרות אפיסטמיות, כגון תלמידים שעונים על שאלות, קבלת החלטות, פתרון בעיות. ניתן גם לשפוט התקדמות אפיסטמית על פי מעבר בשלבי החקירה: 1. זיהוי וביטוי של בעיה; 2. העלאת השערה והחלטות אפשריות; 3. פירוט כל החלטה אפשרית; 4. הערכת ההחלטות האפשריות באופן ביקורתי; 5. פתרון הבעיה. ההתקדמות האפיסטמית היא מבנה חשוב ושימושי משום שהיא מספקת נקודת מבט חדשה וחושפת ומרחיבה את האפשרויות שלנו להערכה אפיסטמית. ההתקדמות האפיסטמית מאפשרת לנו להבין טוב יותר ולשפוט את החקירה המדעית (Golding, 2012).

## ג. טיפוח תחכום אפיסטמי

גישה אפיסטמית נוספת טוענת לקיומם של מערכת אמונות אפיסטמולוגיות עצמאיות שאינן מקיימות תלות ביניהם (Schummer-Aikins, 2002; Schraw, Bendixen & Dunkle, 2002). גישה זו שמה דגש על מורכבות המערכת, אשר אינה בנויה מדיכוטומיה פשוטה כמו ידע ודאי מול ידע לא ודאי. מורכבות זו באה לידי ביטוי בהבדלים בהתפתחות של רמת התחכום האפיסטמולוגי של האדם בממדי ההתייחסות השונים. מכאן רצוי לאפיין ממדים אפיסטמולוגיים במונחים של שכיחות תפוצתם ולא במונחים של דיכוטומיה או של רצף התפתחותי אחר (Schummer-Aikins et al., 2000).

גישה זו נחקרה במחקרם של Yerdelen-Damar ו-Elby (2016) אשר בחנו בו זמנית בקרב תלמידי תיכון מצטיינים בטורקיה, גישות להוראת פיזיקה בדגש על הוראה מקדמת הישגים ועל טיפוח תחכום אפיסטמי. תוצאות המחקר מלמדות על כך שדיווחי התלמידים השתנו בהתאם לגישות ההוראה. בגישת הוראה מקדמת הישגים דווח על שימוש בגישות מובנות (שינון) ללמידת פיזיקה. גישות אלו מונעות בעיקר על ידי הכנה לבחינות הכניסה לאקדמיה, ומתמקדות בפתרון בעיות אלגוריתמיות על חשבון חקר מושגים ודוגמאות אותנטיות. לעומת זאת, באמצעות יישום אסטרטגיות שמכוונות להבנת הפיזיקה בצורה מעמיקה, התלמידים התמקדו בקישור למושגים ולדוגמאות אותנטיות של הנוסחאות והמושגים. מלמד על גישות עמוקות ללמידה, אשר משקפות אפיסטמולוגיות מתוחכמות. המחקר מדגיש את הגישה האפיסטמית המתמקדת בדרכים לפיתוח של ידע במסגרת הכיתתית, והכוללת: ניתוח תחזיות של איסוף נתונים כדי לבחון את תחזיותיהם, כדי לתמוך בהם, לחדד אותם ולהעריך את ההסברים שלהם באמצעות הראיות, הסברים סיבתיים מובנים, וכן לדון בממצאיהם ובהכללותיהם עם חבריהם לכיתה. למעשה תכנית הלימודים בגישה אפיסטמית זו, מכוונת את התלמידים לחדד ולבנות את ההיגיון המשותף שלהם באופן מפורש. באופן זה ניתן לפתח ידע אפיסטמי מתוחכם.

## ד. טיפוח 'סוכנים אפיסטמיים' במסגרת קהילה מדעית כיתתית

גישה אפיסטמית נוספת, מתמקדת בעיצוב הידע והפרקטיקה של המדע בקהילה מדעית-כיתתית ודרך טיפוח 'סוכנים אפיסטמיים'. גישה זו מאפשרת התנסות ומעורבות של תלמידים עם פרקטיקות במסגרת החינוך

המדעי, מתוך מטרת מדעיות כיתתיות. מחקרו של Stroupe (2014) בוחן גישה זו על ידי מעורבות בשני מימדים – באופן העשייה של המדע, ובתפקיד הסוכן אפיסטמי המעצב את העבודה המשמעותית. הממד הראשון נבחן תחת השאלה "מי יודע" – האם פרקטיקה מדעית ממוסגרת כעסק פרטי שעוסק באנשים פרטיים, או האם המדע הוא פרקטיקה ציבורית שהוקמה וממשיכה להתקיים באופן שוטף על ידי קהילה גדולה יותר. הממד השני התמקד בהפעלת סמכות קוגניטיבית - הכוח המוענק לאנשים מסוימים או נלקח על ידי אנשים מסוימים שהבנתם בעניינים עובדתיים ואופי העולם הופכת כל אחד מהם להיות "מומחה" (Addelson, 1983). כאשר על ידי שימוש בשני הממדים ניתן להבין שגרות הוראה ופעולות דיסקורסיביות המאפשרות למורים ולתלמידים לשאת ולתת על תפקידם כסוכנים אפיסטמיים, וללמוד מדע כפרקטיקה, בקהילות התרגול שלהם במדע.

פיתוח של פעולות חקירה בכיתה בדגש על מימדים אלו, מאפשר לתלמידים לפתח חופש מחשבתי המוביל לתהליכי בניית תוכניות עבודה ובדיקה של השערות, ניתוח משתנים רלוונטיים, איסוף מידע, ניתוח נתונים ומידע ובניית הסברים ומודלים. פעילויות אלה יכולות לסייע ביצירת הכיתה כקהילה של פרקטיקות מדעיות, קהילה שבה האינטראקציות מאפשרות ליצור קשר בין תכנים, מחשבות, נורמות וכללים של מרחב זה. במסגרת הקהילה המדעית, הוראה אפקטיבית מספקת לתלמידים הזדמנויות לשאול שאלות משלהם ולחפש תשובות באופן עצמאי. דרך זו משלבת את הידע של המורים כך שהתלמידים מוסמכים לקבל החלטות לגבי האופן שבו הם נפגשים עם מטרת הלימוד ובוחרים את הכלים והשאלות שברצונם להשתמש בהם כאמצעי להגיע למסקנות רלוונטיות (Stroupe, 2014).

#### ה. חקר מונחה טיעונים (Argument Driven Inquiry- ADI)

מודל ADI (Argument Driven Inquiry) לחקירות מעבדה המתואר במסגרת ה-NGSS (2013) הינו מודל הוראה מונחה טיעונים ומגוון גישות, אשר עשוי להיות שימושי עבור אנשי מדע. מסגרת ה-NGSS מספקת ראייה משופרת של חינוך מדעי המתמקדת בפיתוח הבנה עמוקה יותר של התלמידים לגבי המושגים והפרקטיקות העיקריות של המדע. פעילויות כיתתיות מובנות על פי מודל ADI מעסיקות תלמידים באיסוף נתונים וניתוחם, ביצירת טיעונים, בוויכוחים קבוצתיים, בכתיבה מדעית ובתהליכי ביקורת. מודל ה-ADI ומסגרת ה-NGSS מספקים דרך לתלמידים לפתח את הידע והכישורים הדרושים להם כדי להיות בקיאים במדע. המודל יכול לשמש כתבנית למורים על מנת לבנות מחדש את חקירות המעבדה וכדי לאפשר חוויה אותנטית וחינוכית יותר לתלמידים. השלבים של מודל ההוראה ADI הם: 1. שאלה מנחה; 2. התלמידים, העובדים בקבוצות קטנות, מתבקשים לפתח תוכנית חקירה שתוביל ליצירת נתונים וראיות, אשר ניתן להשתמש בהם כדי לעצב טיעון מדעי; 3. מענה לשאלת המנחה. בשלבים אלה המורה מנחה את קבוצות התלמידים באופן פעיל על מנת להבטיח שהנהלים שהם מפתחים הם פרודוקטיביים, אפקטיביים (מנקודת מבט של זמן וזמינות) ובטוחים (Grooms, Enderle & Sampson, 2015).

#### ו. הוראה מבוססת 'דילמות חברתיות-מדעיות' (Socio-Scientific Issues – SSI)

החוקרים Younkyeong ו-Ying-Chih (2017) מציעים לעשות שימוש בהוראה מבוססת 'דילמות חברתיות-מדעיות' (Socio-Scientific Issues - SSI). במחקרם הם מצביעים על כך שהשימוש בפעילות מדעית מחקרית במהלך הדיון בדילמות חברתיות-מדעיות מגביר את ההבנה האפיסטמית של התלמידים. לשימוש בפרקטיקה של חקירה מדעית בדיון SSI יש פוטנציאל לשפר את איכות הביצוע של התלמידים. שימוש ב-SSI בכיתות

מדעיות מספק סביבת למידה משמעותית בה ניתן לשלב את התלמידים בשיטות ארגומנטיות מדעיות. אחת התוצאות הרצויות של המשתתפים בדיון ב-SSI היא שיפור האוריינות המדעית של התלמידים באמצעות השקפתם בדיונים, בביקורת, בקיום דיונים ובמשא ומתן המבוסס על ראיות (Eggert, Nitsch, Boone, )  
Nückles, & Bögeholz, 2017; Karahan & Roehrig, 2016; Evagorou, Sadler & Tal, 2011; Wong, Tal & Sadler, 2011).

התלמידים עשויים באופן זה לגלות בקיאות בתוכן המדעי ולשפר את היכולת לקרוא / לכתוב טקסטים מדעיים. סביבה זו מעסיקה תלמידים במשא ומתן על רעיונות מגוונים כדי להגיע לקונצנזוס, כאשר הם פועלים בשיתוף פעולה באמצעות יישום ההבנה האפיסטמית שלהם ומעלים טיעונים ביחס לנושאים מדעיים. על כן ל-SSI פוטנציאל לספק לתלמידים סביבה ארגומנטית בעלת שני ממדים חשובים: 1. משא ומתן חברתי: התלמידים יכולים לדון, להגן ולהחליף טיעונים על מנת לבנות טיעונים ולהגיע לקונצנזוס. 2. הבנה אפיסטמית: התלמידים יכולים לפתח הבנה טובה לגבי טיעונים מדעיים וליישם הבנה זו (Chen, Hand & Park, 2016; Ford, 2012). מבחינת המשא ומתן החברתי, התלמידים מסוגלים לבנות טיעונים ולשתף אותם כדי לקבל ביקורת ציבורית, כדי להבין את נקודות החוזק ואת העוולות באותם טיעונים ולאחר מכן לשנות אותם. תהליכי ההבנייה והביקורת מעסיקים את התלמידים בשיפור טענתם ובנקיטת החלטה טובה יותר. פעילויות ארגומנטציה של SSI מעסיקות את התלמידים בתהליך קבלת החלטות הכוללת תמיכה של ראיות ובאופן זה הם מטפחים הבנה והחלטות מושכלות בנושאים חברתיים-מדעיים. כאמור, בנוסף למשא ומתן חברתי, ניתן להבחין בממד חשוב נוסף של SSI, שהוא ההבנה האפיסטמית של הטעון, באמצעות גילוי ראיות, בניית טיעונים מדעיים איכותיים, הצעה לרעיונות חלופיים ותמיכה ברעיונות אלה באמצעות ראיות מדעיות. חוויית החקירה המדעית משפיעה לחיוב על התלמידים ועל הטענות המדעיים על ידי עידודם להשתמש במגוון סוגים של מיומנויות חשיבה מדעיות ולהשתמש בשיח המבוסס על ראיות. התלמידים מפתחים חשיבה מערכתית ומיומנויות חשיבה כדי לנתח, להעריך ולעצב בצורה קולקטיבית פתרון עשיר ומורכב לסוגיות חברתיות-מדעיות לאחר חוויית המחקר המדעי (Younkyeong & Ying-Chih, 2017).

#### **4.2 ניתוח משימות לימוד ליצירת מעורבות**

למידת מדעים כרוכה בהשתתפות התלמידים במטרות האפיסטמיות של המדע, מטרות הקשורות לאופן בו נבנה הידע המדעי. ניתן להשיג את המטרות האפיסטמיות של החינוך המדעי באמצעות הצבת שיטות מדעיות במרכז ההוראה והלמידה של המדע. כאשר תכונה מוגדרת של פרקטיקות מדעיות היא פעולות; על התלמידים להיות מעורבים בשיטות מדעיות, לבצע מודלים, טיעונים או חקירות. מתוך כך ההוראה המדעית צריכה לערב באופן פעיל את התלמידים בפרקטיקות מדעיות באמצעות חקירות, פעילויות הערכה ופיתוח קריטריונים אפיסטמיים.

להלן יוצגו דוגמאות למשימות שתוכננו במטרה לייצר מעורבות תלמידים בחקירה, בטיעונים ומידול. ניתוח המשימות הוצג במאמר של Aleixandre ו- Crujeiras (2017).

#### 4.2.1 חקירה מדעית – שילוב של פרקטיקות אפיסטמיות בתהליך החקירה

להלן מצורפת משימת מעבדה (משימה 1) לתלמידי בתי ספר תיכוניים, הדורשת מהם לתכנן ולבצע חקירה, בהשוואת היעילות של שתי משחות שיניים למניעת עששת.

**משימת מעבדה לתלמידי בתי ספר תיכוניים, - תכנן וביצוע חקירה להשוואת היעילות של שתי משחות שיניים למניעת עששת.**

קטע קריאה מתוך דף המידע הוא: "קמפיין שמטרתו למנוע עששת נעשה בבית הספר".

לתלמידים ניתנו שני מותגים של משחות שיניים (x ו-y). זמן קצר לאחר מכן, נמצא כי לתלמידים שצחצחו את השיניים עם אחת ממשחות השיניים המוצעות היו יותר חורים מאשר תלמידים שהשתמשו עם המשחה מהמותג השני".

המשימה: לגלות איזה משחת שיניים לא מונעת חורים כדי למשוך אותה ממכירה בחנויות. לשם כך על התלמידים לעצב ניסוי כדי לגלות איזו משחת שיניים פחות יעילה. כדי לעשות זאת ניתן להשתמש בחתיכות של קליפות צדפה להדמיית שיניים וחומצה הידרוכלורית (מימן וכלור) כדי לדמות את הסביבה שנוצרת בפה לאחר אכילת פחמימות.

לוח זמנים לביצוע המשימה: שני מפגשים של 50 דקות, אחד לתכנון הניסוי, והשני כדי ליישם אותו.

משימה מס' 1. משימת ניסוי חקר לתלמיד תיכון בכיתות ט'

המשימה המוצגת מזמנת רמות מעורבות שונות בתהליך של ניסוי חקר, כפי שמוצגות בטבלה מס' 9.

טבלה מס' 9: פרקטיקות מדעיות המעורבות בביצוע המשימה.

פרקטיקה מדעית	ביצוע	איך זה מתבצע במשימה
חקירה Investigating	תכנון החקירה	על מנת להחליט כיצד לזהות את משחת השיניים הלא יעילה יש: <ul style="list-style-type: none"><li>● להציע דגימות, ציוד ותהליך, למשל:<ol style="list-style-type: none"><li>א. להשתמש בשלוש קליפות (אחת לכל משחת שיניים ואחת לבקרה) במשקל שלהם.</li><li>ב. למדוד נפח קטן (למשל 10 מ"ל) של HCl במבחנה.</li><li>ג. לשים כל קליפה בתוך בלון, ואת הבלון בחלק העליון של המבחנה ואז לשחרר את הקליפה לתוך החומצה (או לחומרים אחרים).</li></ol></li><li>● להתייחס לתיעוד נתונים, לדוגמא:<ol style="list-style-type: none"><li>א. לאחר שהקליפה נקשרת עם החומצה ושחרור הגז מתחיל, יש למדוד את הזמן עד שהבלון נעמד.</li><li>ב. יש לתעד את ערכי הזמן.</li></ol></li><li>● לבחור קריטריון על מנת לזהות את משחת השיניים הלא יעילה, כמו: בלון העומד מוקדם יותר יהיה זה המכיל את הקליפה הנשטפת עם משחת השיניים הלא יעילה.</li></ul>



פרקטיקה מדעית	ביצוע	איך זה מתבצע במשימה
	<b>ביצוע החקירה</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>להתחשב בבדיקה הוגנת בקריטריונים הניתנים לשחזור: יש להשתמש בכמויות שוות של HCI, וקליפות בעלות משקל זהה בכל הניסויים, לחזור על כל ניסוי לפחות פעמיים.</li> <li>ביצוע התגובה הכימית עם כל קליפה ומדידת הזמן שלוקח לכל בלון להתרומם.</li> <li>איסוף נתוני הניסויים וייצוגם בטבלאות וגרפים.</li> </ul>
<b>מידול</b> Modelling	<b>שימוש במודלים תיאורטיים</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>הבנה ויישום המודלים של תהליכי תגובה ותהליכים כימיים.</li> </ul>
	<b>שימוש באנלוגיות ובסימולציות</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>הבנת ויישום היחסים בין האלמנטים המשמשים לדמות עששת (למשל צדפות ו HCI) ואת המטרות שלהם בעולם הטבעי.</li> </ul>
<b>טיעון</b> Argumentation	<b>פירוש ראיות (ממצאים)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>להחליט אם הנתונים שנאספו תקפים ומספיקים על מנת לזהות את משחת השיניים הלא יעילה. החלת הקריטריונים על הנתונים.</li> </ul>
	<b>קישור הטיעונים לממצאים</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>מסקנה שמשחת השיניים אינה יעילה במניעת חורים ותמיכה במסקנה לאור הנתונים.</li> </ul>

טבלה מס' 8 (ראה עמ' 30) מפרטת את המרכיבים של שלוש פרקטיקות מדעיות רחבות שהתקבלו על ידי תלמידי כיתה ט' (Crujeiras & Jiménez-Aleixandre, 2015). ההחלטות שהתלמידים נדרשים לקחת בתהליך של חקר ממחישות את המיזוג או שילוב בין הפרקטיקות המדעיות לפרקטיקות האפיסטמיות בתוך התהליך. ניתן לאפיין חמישה מרכיבים לאימון בתכנון וביצוע חקירות, התואמים את המרכיבים המוצעים על ידי Duschl ו-Bybee (2014): (1) להחליט מה וכיצד למדוד, לבחון ולדגום; (2) פיתוח או בחירה של תהליכים / כלים למדידה ואיסוף נתונים; (3) תיעוד שיטתי של תוצאות ותצפיות; (4) יצירת מיצגים (פרזנטציות) לבניית נתונים ודגמים של תצפיות; (וכן, 5) קביעה האם: א. הנתונים טובים (תקפים ואמינים) וניתן להשתמש בהם כראיה; ב. האם נדרשים נתונים נוספים או חדשים, או ג. האם יש צורך בתכנון חקירה חדש או במערכת מדידות. מוקד המשימה הוא בחקירה, אבל שלוש הפרקטיקות שלובות זו בזו.

#### 4.2.2 משימות של טיעון

ויכוחים חברתיים-מדעיים בהקשרים המעורבים בהערכת ידע הם פרקטיקות הממלאות תפקיד מכריע בבניית הידע המדעי. תהליך של הערכת ידע, המערב ראיות המקושרות לטיעונים באמצעות הצדקות, הינו מרכיב חשוב במיומנויות חשיבה (Krajcik & McNeill, 2012; Zohar & Nemet, 2002). העיסוק בטיעונים פירושו לא רק השוואת הסברים חלופיים לבחירת הסוג המתאים ביותר לממצאים, אלא גם ביקורת על הממצאים שאינם משביעי רצון. יש שפע של מחקרים על טיעונים, ומשאבים כולל משימות למידה. שתי המשימות המצורפות

(משימות 2' ו-2ב'), הם חלק מיחידות הוראה המדגימות את המרכיבים השונים בהערכת הידע על גנטיקה ואקולוגיה, שפותחו בעולם.

כיצד אתם מסבירים את הישגי האצנים (הספרינטרים) השחורים באתלטיקה?

מאז אליפות העולם באתלטיקה ברומא בשנת 1987, כאשר שלושת המועמדים הסופיים היו לבנים בריצת 100 מטר, ספרינטרים שחורים תפסו את כל העמדות הסופיות באליפות העולם האולימפית. ישנם הסברים שונים להישגים אלה:

(א) זה בגלל הגנים שלהם.

(ב) זאת בשל השפעת גורמים כגון תזונה, הכשרה וכו'.

(ג) זה נובע משילוב של א' ו-ב'.

המשימות:

1) מתוך חלקי המידע הזמינים, בחרו אילו מהם תומכים בתשובה א', אילו בתשובה ב', ואילו ב- ג'.

2) בחרו את ההסבר הטוב ביותר להצדקת הבחירה שלכם לפי חלקי המידע הזמין השונים.

3) מחלקי המידע שסופקו: אלו מהם לדעתכם מהווים ממצאים וראיות ומדוע? (שמונה חלקי המידע מסופקים,

בחוברת [www.rodascu.eu](http://www.rodascu.eu)).

משימה מס' 2'. משימת טיעון בגנטיקה

ניהול משאבים במפרץ עיירה קטנה על חוף הים שנפגע על ידי סופת הוריקן.

לאחר הסופה, אנשים רבים היו חסרי בית, היבולים שלהם נהרסו, ורוב הבקר שלהם אבד. כרגע המשאבים העיקריים שיש להם לשרוד הוא מפרץ קטן, שבו כמה אוכלוסיות דגים קיימים, כולל סרדינים, הרינג וסלמון. אתם צוות של ארגונים לא ממשלתיים, שנשלחו כדי לעזור לאנשים בעיר לנהל את המפרץ, כך שהוא יספק להם מזון במשך מספר חודשים, בעוד שהגידולים שלהם יהיו מסוגלים לגדול שוב וניתן יהיה להעלות שוב את תוצרת גידול הבקר.

המטרה במשימה זו היא להחליט כיצד לנהל את המפרץ כדי להאכיל את האוכלוסייה במשך זמן רב ככל האפשר.

אתם צריכים לארגן את הדרך היעילה ביותר לשימוש במשאבי דייג זמין, לפרט תוכנית פעולה ולהסביר איך הייתם מבצעים אותה. (מסופקים ארבעה סטים של נתונים בחוברת [www.rodascu.eu](http://www.rodascu.eu)).

משימה מס' 2ב'. משימת טיעון באקולוגיה

שתי המשימות המוצגות באיורים 4 ו-5 הן משימות אותנטיות, סוציו-מדעיות, הלקוחות מהחיים האמיתיים. לכן הן דורשות תיאום הסברים מדעיים, מודלים של אינטראקציה בין גנים לסביבה בדוגמא הראשונה, והעברת אנרגיה במערכות אקולוגיות בשנייה, עם נתונים מורכבים. התוצאות מהיישום שלהם מראות את הקשיים שהתלמידים (והציבור), חווים בהבנת החדשות המדעיות ובהתייחסות לחלקים של הממצאים להסברים מדעיים מורכבים באמצעות הוכחות (Puig et al., 2012). מכאן שהתלמידים צריכים לעסוק במשימות טיעוניות (שיש עליהן וויכוח) כדי ללמוד את התהליך הזה.

### 4.2.3 פיתוח הסברים ומודלים: קריטריונים אפיסטמיים למודלים

תהליך זה מושך את התלמידים לפתח הסברים ומודלים על תופעות טבע, על איך עובד העולם הטבעי, ומדוע הוא פועל כך (Berland et al., 2016). המודלים המדעיים מבוססים על ראיות, ולכן הטיעונים וההסברים המתפתחים קשורים זה בזה. במאמרו Duschl (2008) מייצג את היחסים בין ראיות והסברים בשלושה שלבים או טרנספורמציות (שינויים):

(1) בחירה או יצירת נתונים כדי שיהיו ראיות.

(2) שימוש בראיות כדי לוודא דגמים של ראיות ומודלים.

(3) שימוש במודלים ובדגמים כדי להציע הסברים.

כפי שמציין Duschl, בכל טרנספורמציה צריך התלמיד לעשות שיפוט אפיסטמי (ששייך או קשור לידע) על "מה נחשב" כנתונים, ראיות או הסברים. משימת הערכה של דגמים בשלושה שלבים (משימה 3), מדגימה את החפיפה בין פרקטיקות (שיטות) אפיסטמיות ומדעיות במסגרת הכיתה.

#### משימת הערכה של דגמים בשלושה שלבים

הצגת דגמים מנוגדות של מודלים, למשל 12 ייצוגים של הרי געש, כולל מודלים, ללא דוגמאות ומקרים שנויים במחלוקת.

שלב ראשון: התלמידים התבקשו לבחור את הדגמים שלדעתם מהווים מודלים ולדון ברעיונות שלהם עם תלמיד שותף, כדי לחשוב על מה שמבדיל בין מודל לבין מה שאינו נחשב מודל.

שלב שני: התלמידים התבקשו להשוות בין שבעה זוגות של מודלים על תופעות מוכרות ולשקול איזה מודל באופן כללי היה טוב יותר (או אם הם היו טובים באותה מידה).

שלב שלישי: התלמידים התבקשו לכתוב שישה קריטריונים לבחינת מודלים טובים/ נכונים.

משימה מס' 3. משימת הערכה של דגמים לתלמידי כיתה ז'

המשימה מוצגת בעבודתם של Chinn, Pluta ו-Duncan (2011) בפרויקט PRACCIS, המתמקד בחשיבה המבוססת על מודל. המשימות שימשו מטרה לפיתוח קריטריונים על ידי תלמידים למודלים מדעיים טובים, כלומר קריטריונים אפיסטמיים. במעבר משלב ראשון לשני, חלק מהשאלות מדויקות יותר, למשל לגבי מטרות: "איזה משני המודלים האלה עדיף אם אתה רוצה להסביר...?". בשלב השלישי התלמידים יצרו בנפרד וכתבו שישה קריטריונים לבחינת מודלים טובים/ נכונים. הקריטריונים קודדו בשלוש רמות: (א) קריטריונים ראשוניים-מרכזיים לפרקטיקות המדע, כגון אלה המשקפים את מטרות ההסבר של המודלים, או את התאמתם של המודלים לראיות (ב) קריטריונים משניים - אשר תורמים למטרות האפיסטמיות של המדע, כגון אזכור נתונים ו- (ג) קריטריונים שהיו מעורפלים או מציעים תפיסות מוטעות של מהות המדע.

המחקר של Pluta ועמיתיו (2016) מראה כי תלמידים העוסקים בפרקטיקות מדעיות, כמודלים והערכת מודלים, עשויים להיות מעורבים באותו זמן בפרקטיקות אפיסטמיות, ובמקרה זה בפיתוח קריטריונים אפיסטמיים לבחירת מודלים טובים/ נכונים.

### 4.3 מבט על – יחסים בין פרקטיקות אפיסטמיות לפרקטיקות מדעיות

השימוש במונח פרקטיקות אפיסטמיות נעשה לא מעט בהקשר של פרקטיקות מדעיות. ניתן להתייחס למושגים אלה כשונים, אם כי יש מידה מסוימת של חפיפה ביניהם, בפרט בהקשרי הכיתות שבהם הם יכולים להתמזג. במודל כזה, ניתן לחשוב על פרקטיקה אפיסטמית כעל מבנה רחב יותר של פרקטיקות מדעיות, כמו פרקטיקות אפיסטמיות בהקשרי למידה ספציפיים או תחומי תוכן. עם זאת, יש כמה פרקטיקות מדעיות - למשל מדידה - שאינם אפיסטמיים, ולכן החפיפה אינה שלמה. המודל המוצג באיור מס' 2 מייצג את היחסים בין הפרקטיקות האפיסטמיות והפרקטיקות המדעיות (Taber & Akpan, 2016).

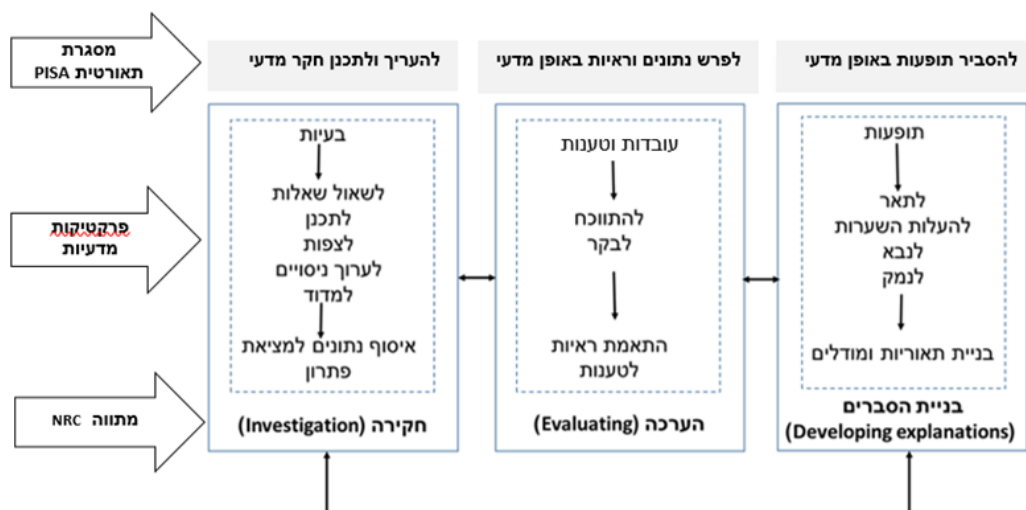


איור 2. יחסים בין פרקטיקות אפיסטמיות ופרקטיקות מדעיות (Taber & Akpan, 2016)

היחסים בין הפרקטיקות כפי שמוצגים במודל מייצגים את השינוי בפרספקטיבה במעבר מבחינת אמונות אפיסטמיות של הלומדים, לבחינת מעורבותם בפרקטיקות אפיסטמיות. שינוי זה מתורגם למסמכי מדיניות או הערכה, כמו לדוגמא בתוכנית הערכת התלמידים הבינלאומית PISA לשנת 2015 (OECD, 2013) ולשנת 2018 (OECD, 2015) בדגש על תחום האוריינות המדעית; תחום המסייע לתלמידים להיות אזרחים בעלי השכלה מדעית. עם זאת, ההבנה היא שמושגים ותיאוריות מדעיות לבדם לא יספיקו, אלא נדרשות פרקטיקות מדעיות וכיצד הן מאפשרות למדע להתקדם.

אחת המטרות של עיסוק התלמידים בפרקטיקות מדעיות היא לבנות ידע המבוסס על טבעה של ההתפתחות המדעית, ועל האופן שבו הידע בנוי; או במילים אחרות לקדם את התפתחות ההבנה של התלמידים לגבי עבודתו של המדען (Osborne, 2011). הרעיון שמדעי ההוראה והלמידה במדעים עולים בצורה מסוימת בקנה אחד עם הכרות העבודה המדעית הוא לא חדש; מה שחדש הוא הגישה המתייחסת להתנסות הזו כחלק מהשלם (Taber & Akpan, 2016). מסגרת עבודה שהוגדרה על ידי NRC (2012) מארגנת את הפרקטיקות המדעיות וההנדסיות

בשלושה תחומי פעילות: חקירה, הערכה ובניית הסברים ופתרונות. החוקר Osborne (2014; 2011) מספק רציונל עבור מודל זה המבוסס על היבטים פסיכולוגים ופילוסופים המוצג באיור מס' 3.



איור 3. שלוש פרקטיקות רחבות של הפעילות המדעית (הותאם מ. NRC, 2012)

המודל המוצג באיור מס' 2 מתאר כיצד שלושת תחומי הפעילות של המדע קשורים זה בזה. ניתן לראות כיצד שלושת תחומי הפעילות שהוגדרו על ידי NRC (מודגשים בחלק התחתון של התיבה), מתחברים בהתאמה לשלוש היכולות המדעיות הלקוחות ממסגרת עבודה המופיעה במסמך PISA 2015 (כתובים מעל התיבות). האיור מארגן את שמונה הפרקטיקות המדעיות (NGSS) המוצעות על ידי NRC (2012) על פי שלושה תחומים. פרקטיקות אלה עשויות לחפוף במקרים מסוימים, מאחר והם שזורות זה בזה (Bell, Bricker, Tzou, Lee & Van Horne, 2012), ואינם מבוצעים בבידוד.

הממד הראשון שעליו מבוססת גישת הלימוד החדשה הוא הפרקטיקות המדעיות, כלומר הדברים העיקריים שמדענים עושים בשביל לחקור ולהציע הסברים לתופעות שונות, והפעולות שבהן נוקטים מהנדסים כדי לתכנן ולבנות מודלים לפתרון בעיות. המסמך מפרט פרקטיקות כמו הצגת שאלות, פיתוח מודלים ושימוש בהם, תכנון חקירה וביצוע שלה ושימוש בחשיבה מתמטית חישובית.

לפי Bybee (2011), כאשר התלמידים עוסקים בפרקטיקות מדעיות "הפעילות הופכת בסיס ללמידה על ניסויים, נתונים וראיות, שיח חברתי, מודלים וכלים, מתמטיקה ופיתוח יכולת להעריך ידע, לערוך חקירות אמפיריות ולפתח הסברים" (Bybee, 2011, p.38). טבלה מס' 10 מפרטת את המושגים והתפקידים המאפיינים ידע אפיסטמי כפי שהוצגו במסמך מדיניות PISA (2015). העיסוק במושגים והבנת תפקידם בתהליך מדעי, מזמן פיתוח פרקטיקות אפיסטמיות והיווצרות ידע בנוגע לתפקיד שלהם. לכן תוכניות הלימודים בבית הספר צריכות לערב באופן פעיל את התלמידים באמצעות חקירות ופעילויות, כולל פעילות מעשית, עבודה במעבדה ומודעות חשיבתית על משימות (Dori, Avargil, Kohen & Saar, 2018; Dori & Sasson, 2008; Zohar & Dori, 2012).

מושגים	תיאור
<p><b>המושגים והמאפיינים המכוננים של המדע</b></p>	<p>מהותן של תצפיות, עובדות, השערות, תיאוריות ומודלים מדעיים</p> <p>מטרותיו ויעדיו של המדע (ליצור הסברים על עולם הטבע) לעומת מטרותיה ויעדיה של הטכנולוגיה (ליצור פתרון אופטימלי לצורכי האדם)</p> <p>מהי שאלה מדעית או טכנולוגית ומהם נתונים מתאימים</p> <p>ערכי המדע (מחויבות לפרסום, אובייקטיביות ומניעת הטיות, ועוד)</p> <p>סוגי הנימוקים המשמשים במדע (נימוקים דדוקטיביים ואינדוקטיביים, היסק להסבר הטוב ביותר, אנלוגיות, נימוקים מבוססי-מודל, ועוד)</p>
<p><b>תפקידים של המושגים והמאפיינים הללו בהצדקת הידע שנוצר על ידי המדענים</b></p>	<p>כיצד טיעונים מדעיים נתמכים בנתונים ובנימוקים</p> <p>תפקידם של מחקרים אמפיריים מסוגים שונים בביסוס ידע, מטרותם (לבחון השערות או לזהות דפוסים) ותכונם (תצפית, ניסויים מבוקרים, מחקרים מתאמיים)</p> <p>כיצד טעויות מדידה משפיעות על דרגת הביטחון בוודאותו של ידע מדעי</p> <p>השימוש במודלים פיזיים, מערכתיים ומופשטים, תפקידיהם ומגבלותיהם</p> <p>תפקידם של שיתוף פעולה וביקורת, וכיצד ביקורת עמיתים יש בה ליצור ביטחון בוודאותם של טיעונים מדעיים</p> <p>תפקידו של ידע מדעי, לצד צורות ידע אחרות, בזיהוי סוגיות חברתיות וטכנולוגיות ובהתמודדות עמן</p>

#### 4.4 סיכום

הדרכים המובילות להבנת עולמו של המדע-מדען מובילות להבנה של איך נוצר ידע מדעי על העולם. מטרת סקירת הספרות היא להדגיש את התהליך הקוגניטיבי והמטה-קוגניטיבי המעורב ביצירת ידע מדעי, הערכתו ודרכים להעברת הידע מאז ומעולם. כאשר המסר העיקרי לכך הוא, שתלמידים כמו חוקרים צריכים להיות מעורבים במטרות אפיסטמיות של יצירת ידע בתוך הגדרות חינוכיות אותנטיות.

פיתוח ההבנה האפיסטמית והנימוקים המדעיים מהווים את הבסיס לפיתוח הידע המדעי. הרציונל לכך הוא שדרך שיח לוגי ניתן לעורר את הקשר בין הרעיונות לבין הראיות. במובנים רבים הטענות המדעיות הן התהליך שבו המדע, מפתח ומשכלל ידע. כלומר, כאשר מדענים מציגים טיעונים התומכים ברעיונות חדשים, הטענות, הראיות או הצדקת הראיות, נחקרות ומוערכות על ידי מדענים אחרים. התהליך המחזורי של ביקורת, חידוד והערכה מוביל לטיעונים מדעיים חזקים ולפעילות אפיסטמית מרכזית של הקהילה המדעית. פרקטיקות אלה, הנקראות פרקטיקות אפיסטמיות, עוסקות בדרכים שבהן חברי הקהילה מציגים, מתקשרים, מעריכים ומלמדים את הידע המדעי במבנה דיסציפלינרי מסוים. מתוך כך, על המורה לסייע לתלמידים לבנות ידע והבנה מחוויותיהם, כאשר חקירה מדעי היא רק גישה אפיסטמית אחת לידע. גישה מרכזית נוספת מעודדת דיאלוג

סביב סוגיות שונות המעודד את האינטרקציות תלמיד-מורה ובאופן זה מעלה את מעורבות התלמיד בהבנות אפיסטמיות.

אחת הדרכים השכיחות הקיימות בהוראת המדעים בישראל בעשור האחרון, הוא שימוש במתודה של ניסוי חקר בלימודי המדעים מגן עד יב'. זאת כחלק מהתפיסה החינוכית היא שלמידה פעילה והתנסות בפרקטיקות המדעיות יסייעו לתלמידים להבין כיצד מתפתח ידע מדעי ועל ידי כך יהפכו את הידע של התלמידים למשמעותי יותר. **החשש העיקרי שעולה בסקירה הוא האם ניתן לפתח מיומנות של התאמת נתונים או ראיות לתאוריה בצורה זו כיוונית דרך תהליכי חקירה ניסיונית ותהליכים נוספים.** המגמה שתומכת בחשש זה היא השאיפה הלא מפורשת לביצוע מיטבי של ניסוי החקר הנשען על תוצאות שתואמות לתאוריה והפיכתם לניסויי חקר מאשרים. על אף שקיימות מסגרות חקר שונות במקצועות המדעים השונים, לרוב הן המבוצעות בתהליך סטרילי שמונע מהתלמיד להתמודד באופן אותנטי עם התאמת הנתונים לתאוריה באופן דו כיווני (ראה חלק מהפירוט בעמ' 8). לא מעט שיקולים "נחשכים" מהתלמיד על ידי המורה, עוד בשלב הכנת הניסוי כחלק מתפיסת "הניסוי המיטבי". השגיאות בסופו דבר ברובן מיוחסות אוטומטית ל"רשימת שגיאות" שהתלמידים מצהירים עליהם בתום הניסוי (לדוגמא: שגיאה במדידה). בנוסף העדר דיון העוסק בפערים של הידע שעובד במהלך ניסוי החקר תורם לכך. אסטרטגיות הוראה מסוג זה סובלות מעודף "סטרילות", שלא משאיר מקום לטעויות. בכך נמנעת מהתלמידים ההזדמנות לחוות את התהליך האותנטי במלואו.

בסופו של דבר תלמידים, כמו חוקרים, צריכים להתמודד עם שאלות או בעיות אותנטיות בתוך הגדרות חינוכיות מובנות, אשר בנוסף מדגישות את המטרות האפיסטמיות הן של הקהילה המדעית והן של הקהילה הכיתתית. מורים לעומתם, צריכים עבור מטרה זו, לבקש מהתלמידים לעצב דרכים לחקור את תוקף התיאוריה, לתת להם הזדמנות לשקף את הרעיונות שלהם ואת הממצאים שלהם. כאשר תהליך תיאום ראיות לתאוריה צריך להתבצע באופן מגוון באמצעות סגנונות החשיבה המדעית השונים, לאורך תהליכי הלמידה השונים. באופן דומה יש לתת ביטוי לנרטיב ההיסטורי שמדגיש את התהליך המדעי המעורב ביצירת ידע. שני היבטים אלו מדגישים את חשיבות קיום הדיאלוג בתהליכי הוראה ולמידה כפרקטיקה מרכזית שיכולה לקדם מעורבות במטרות אפיסטמיות והגדלת מעורבות התלמידים על ידי אימוץ מטרות אפיסטמיות משל עצמם.

- Aleixandre, M. P. J., & Crujeiras, B. (2017). *Epistemic practices and scientific practices in science education*. In K. S. Taber & B. Akpan (Eds.), *Science Education: An International Course Companion* (pp. 69-80). Rotterdam: The Netherlands: Sense Publishers.
- Battaly, H. (2006). Teaching intellectual virtues: applying virtue epistemology in the classroom. *Teaching Philosophy*, 29(3), 191–222.
- Bell, P., Bricker, L., Tzou, C., Lee, T., & Van Horne, K. (2012). Exploring the science framework: Engaging learners in scientific practices related to obtaining, evaluating and communicating information. *The Science Teacher*, 79(8), 31–36.
- Berland, L., & Cruet, K. (2016). Epistemological tradeoffs: Accounting for context when evaluating epistemological sophistication of student engagement in scientific practices. *Science Education*, 100(1), 5-29.
- Berland, L. K., Schwarz, C. V., Krist, C., Kenyon, L., Lo, A. S., & Reiser, B. J. (2016). Epistemologies in practice: Making scientific practices meaningful for students. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(7), 1082-1112.
- Bybee, R. (2011). Scientific and engineering practices in K-12 classrooms. Understanding a framework for K-12 science education. *The Science Teacher*, 78, 34–40.
- Carter, J. A. (2016). Robust virtue epistemology as anti-luck epistemology: a new solution. *Pacific Philosophical Quarterly*, 97(1), 140–155.
- Chalmers, A. F. (2013). *What is this thing called science?* Indianapolis: Hackett Publishing
- Chen, Y.-C., Hand, B., & Park, S. (2016). Examining elementary students' development of oral and written argumentation practices through argument-based inquiry. *Science & Education*, 25(3), 277-320.
- Chinn, C. A., Buckland, L. A., & Samarapungavan, A. L. A. (2011). Expanding the dimensions of epistemic cognition: Arguments from philosophy and psychology. *Educational Psychologist*, 46(3), 141–167.
- Crombie, A. C. (1994). *Styles of scientific thinking in the European tradition* (Vol. 1). London: Duckworth.
- Cunningham, J. W., & Fitzgerald, J. (1996). Epistemology and reading. *Reading research quarterly*, 31(1), 36-60.
- Dagher, Z. R., & Erduran, S. (2016). Reconceptualizing the nature of science for science education. *Science & Education*, 25(1-2), 147-164.
- Davson-Galle, P. (1994). Philosophy of science and school science. *Educational Philosophy and Theory*, 26(1), 34–53
- Davson-Galle, P. (2004). Philosophy of science, critical thinking and science education. *Science & Education*, 13(6), 503–517.
- De Ridder, J. (2014). Science and scientism in popular science writing. *Social Epistemology Review and Reply Collective*, 3(12), 23–39.



- Dori, Y. J., Avargil, S., Kohen, Z., & Saar, L. (2018). Context-based learning and metacognitive prompts for enhancing scientific text comprehension. *International Journal of Science Education*, 40(10), 1198-1220.
- Dori, Y. J., Mevarech, Z. R., & Baker, D. R. (2018). *Cognition, Metacognition, and Culture in STEM Education*. Switzerland: Springer.
- Dori, Y. J., & Sasson, I. (2008). Chemical understanding and graphing skills in an honors case-based computerized chemistry laboratory environment: The value of bidirectional visual and textual representations. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 45(2), 219-250.
- Douglas, H. (2016). Values in science. In P. Humphreys (Ed.), *The Oxford handbook of philosophy of science* (pp. 609–632). New York: Oxford University Press.
- Duschl, R. A. (2008). Science education in three-part harmony: balancing conceptual, epistemic and social learning goals. *Review of Research in Education*, 32(1), 268-291.
- Duschl, R. A., & Bybee, R. W. (2014). Planning and carrying out investigations: An entry to learning and to teacher professional development around NGSS science and engineering practices. *International Journal of STEM Education*, 1–12.
- Duschl, R. A., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2012). Epistemic foundations for conceptual change. In S. M. Carver & J. Shrager (Eds.), *The journey from child to scientist: Integrating cognitive development and the education sciences* (pp. 245–262). Washington, DC: American Psychological Association.
- Elder, A. D. (2002). Characterizing fifth grade students' epistemological beliefs in science. *Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing*, 347-364.
- Erduran, S., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2008). *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research*. Dordrecht: Springer.
- Evagorou, M., Sadler, T. D. & Tal, T. (2011). Metalogue: Assessment, audience, and authenticity for teaching SSI and argumentation. In T. D. Sadler (Ed.), *Socio-scientific issues in the classroom. Teaching, learning and research* (pp. 161–166). New York, NY: Springer.
- Ford, M. J. (2012). A dialogic account of sense-making in scientific argumentation and reasoning. *Cognition and Instruction*, 30(3), 207-245.
- Golding, C. (2012). Epistemic Progress: A Construct for Understanding and Evaluating Inquiry. *Educational Theory*. 62(6), 677-693.
- Gasparatou, R. (2017). Scientism and scientific thinking. *Science & Education*, 26(7-9), 799-812.
- Gott, R., Duggan, S., & Roberts, R. (2008). *Concepts of evidence*. Durham, UK: School of Education, University of Durham.
- Grooms, J., Enderle, P., & Sampson, V. (2015). Coordinating Scientific Argumentation and the Next Generation Science Standards through Argument Driven Inquiry. *Science Educator*. 24 (1), 45-50.
- Haack, S. (2011). *Defending science within reason: Between scientism and cynicism*. New York,

NY: Prometheus Books.

- Hacking, I. (2012). Language, truth and reason' 30 years later. *Studies in History and Philosophy of Science*, 43(4), 599–609.
- Harris, S. (2011). *The moral landscape: How science can determine human values*. New York: Simon & Schuster.
- Kedem, O. (1999). *'Temporarily definitive': the planning, development, production and educational implementation of a series of films and its effects on students' conceptions and views regarding the nature of science* (Doctoral dissertation, University of Salford).
- Kelly, G. J. (2008). Inquiry, activity and epistemic practice. In R. A. Duschl & R. E. Grandy (Eds.), *Teaching scientific inquiry* (pp. 99–117). Rotterdam, Netherlands: Sense Publishers.
- Kelly, G. J. (2016). Methodological considerations for interactional perspectives on epistemic cognition. In J. A. Greene, W. A. Sandoval, & I. Bråten (Eds.), *Handbook of epistemic cognition* (pp. 393–408). New York, NY: Routledge.
- Kidd, I. (2014). Doing away with scientism. *Philosophy Now*, 102, 30–31.
- Kind, P., & Osborne, J. (2017). Styles of scientific reasoning: A cultural rationale for science education? *Science Education*, 101(1), 8–31.
- Kohen, Z., Herscovitz, O., & Dori, Y. J. (2020). How to promote chemical literacy? On-line question posing and communicating with scientists. *Chemistry Education Research and Practice – CERP*, 21(1), 250-266. DOI: 10.1039/c9rp00134d.
- Kotzee, B. (2013). Educational justice, epistemic justice, and leveling down. *Educational Theory*, 63(4), 331-350.
- Kuhn, D. (2010). Teaching and learning science as argument. *Science Education*, 94(5), 810–824.
- Kuhn, T. S. (2012). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kuhn, D., & Crowell, A. (2011). Dialogic argumentation as a vehicle for developing young adolescents' thinking. *Psychological Science*, 22(4), 545–552.
- Kuhn, D., & Park, S. H. (2005). Epistemological understanding and the development of intellectual values. *International Journal of Educational Research*, 43(3), 111–124.
- Kuhn, D., & Pearsall, S. (2000). Developmental origins of scientific thinking. *Journal of Cognition and Development*, 1(1), 113–129.
- Kuhn, D., & Pease, M. (2006). Do children and adults learn differently? *Journal of Cognition and Development*, 7(3), 279–293.
- Lawson, A. E. (1995). *Science Teaching and the Development of Thinking*. Belmont, CA: Wadsworth.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831 – 879). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Lederman, N., & Lederman, J. (2014). Research on teaching and learning of nature of science. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education, Volume II*

- (pp. 600–620). New York, NY: Routledge.
- National Research Council. (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington, DC: National Academies Press.
- Nersessian, N. J. (1995). Opening the black box: Cognitive science and history of science. *Osiris*, 10, 194–211.
- Netz, R. (1999). *The shaping of deduction in Greek mathematics: A study in cognitive history*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Östman, L., & Almqvist, J. (2010). *11 What do values and norms have to do with scientific literacy?* In C. Linder, L. Östman, D. A. Roberts, P. Wickman, G. Ericksen, & A. MacKinnon (Eds.), *Exploring the landscape of scientific literacy* (pp. 160–175). New York, NY: Routledge.
- OECD, (2006), *Assessing Scientific, Reading and Mathematical Literacy. A Framework for PISA 2006*, available at: [http://www.oecd-ilibrary.org/education/assessing-scientific-reading-and-mathematical-literacy\\_9789264026407-en](http://www.oecd-ilibrary.org/education/assessing-scientific-reading-and-mathematical-literacy_9789264026407-en).
- OECD, (2013). *PISA 2015 Draft Science Framework*. Retrieved from <https://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/pisa2015draftframeworks.htm>
- OECD, (2016). *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic and Financial Literacy*. Paris, France: OECD Publishing. doi:[10.1787/9789264255425-en](https://doi.org/10.1787/9789264255425-en) .
- Osborne, J. (2011). Science teaching methods: A rationale for practices. *School Science Review*, 93(343), 93–103.
- Peels, R. (2017). Ten reasons to embrace scientism. *Studies in History and Philosophy of Science*, 1(63), 11–21.
- Pigliucci, M. (2013). New Atheism and the scientific turn in the atheism movement. *Midwest Studies in Philosophy*, 37(1), 142–153.
- Pluta, W. J., Chinn, C. A., & Duncan, R. G. (2011). Learners' epistemic criteria for good scientific models. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(5), 486–511.
- Quine, W. V. O., & Ullian, J. S. (1978). In R. M. Ohmann (Ed.), *The web of belief*. New York: Random House.
- Quine, W. V. O., Churchland, P. S., & Føllesdal, D. (2013). *Word and object*. MIT Press
- Reiss, M. (2007). What should be the aim (s) of school science education. In D. Corrigan, J. Dillon, & R. F. Gunstone (Eds.), *The re-emergence of values in science education* (pp. 13–28). Rotterdam: Sense Publishers.
- Rosenberg, A. (2013). Disenchanted naturalism. In Bashour, B., & Muller, H. D. (Eds.), *Contemporary Philosophical Naturalism and its Implications* (pp. 27–46). New York, NY: Routledge.
- Rosenberg, S., Hammer, D., & Phelan, J. (2006). Multiple epistemological coherences in an eighth-grade discussion of the rock cycle. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(2), 261–

- Rowbottom, D. P., & Aiston, S. J. (2006). The myth of 'scientific method' in contemporary educational research. *Journal of Philosophy of Education*, 40(2), 137–156.
- Sandoval, W. A. (2005). Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. *Science Education*, 89, 634 – 656.
- Sandoval, W. A. (2012). Situating epistemological development. In J. van Aalst, K. Thompson, M. J. Jacobson, & P. Reimann (Eds.), *The future of learning: proceedings of the 10th international conference of the learning sciences* (Vol. 1, pp. 347 – 354). Sydney, New South Wales, Australia: International Society of the Learning Sciences.
- Sandoval, W. (2014). Science education's need for a theory of epistemological development. *Science Education*, 98(3), 383-387.
- Sjostrom J. and Eilks I., (2018), Reconsidering different visions of scientific literacy and science education based on the concept of bildung, in Dori Y. J., Mevarech Z. and Baker D. (ed.), *Cognition, metacognition and culture in STEM education*, Cham: Springer, pp. 65–88.
- Smith, C. L., Maclin, D., Houghton, C., & Hennessey, M. G. (2000). Sixth-grade students' epistemologies of science: The impact of school science experiences on epistemological development. *Cognition and Instruction*, 18(3), 349-422.
- Smith, R. (2008). Proteus rising: re-imagining educational research. *Journal of Philosophy of Education*, 42(1), 183–198
- Smith, R. (2016). The virtues of unknowing. *Journal of Philosophy of Education*, 50(2), 272–284.
- Stanford, P. K. (2016) Naturalism without Scientism. In K.J. Clark (Ed.), *The Blackwell Companion to Naturalism* (pp. 91–108). New Jersey: John Wiley & Sons.
- Stroupe, D. (2014). Examining classroom science practice communities: How teachers and students negotiate epistemic agency and learn science-as-practice. *Science Education*, 98(3), 487-516.
- St. Pierre, E. A. (2006). Scientifically based research in education: Epistemology and ethics. *Adult education quarterly*, 56(4), 239-266.
- Standish, P. (2012). Transparency, accountability, and the public role of higher education. *Educational Futures*, 5(1), 3–14
- Stanley, W. & Brickhouse, N. (1995). Science education without foundations: A response to Loving. *Science Education*, 79 (3), 349-354.
- Smith, R. (2008). Proteus rising: re-imagining educational research. *Journal of Philosophy of Education*, 42(1), 183–198
- Stickney, J. (2009). Wittgenstein's contextualist approach to judging "sound" teaching: escaping enthrallment in criteria-based assessments. *Educational Theory*, 59(2), 197–216.
- Tal, T., & Dierking, L. D. (2014). Learning science in everyday life. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(3), 251-259.
- Tweney, R. D. (2001). *Scientific thinking: A cognitive-historical approach*. In K. Crowley, C. D.

- Schunn, & T. Okada (Eds.), *Designing for science: Implications from everyday, classroom and professional settings* (pp. 141–173). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Tsybulsky, D. (2018). Comparing the Impact of Two Science-as-Inquiry Methods on the NOS Understanding of High-School Biology Students. *Science & Education*, 27(7-8), 661-683.
- Tsybulsky, D., Dodick, J., & Camhi, J. (2018). The Effect of Field Trips to University Research Labs on Israeli High School Students' NOS Understanding. *Research in Science Education*, 48(6), 1247-1272.
- Van Woudenberg, R. (2011). Truths that science cannot touch. *Philosophia Reformata*, 76(2), 169–186.
- Wenning, C. J. (2009). Scientific epistemology: How scientists know what they know, *Journal of Physics Teacher Education*, 5(2), 1-15.
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preferences for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941–967.
- Wickman, P.-O. (2004). The practical epistemologies of the classroom: A study of laboratory work. *Science Education*, 88(3), 325–344.
- Wong, S. L., Tal, T., & Sadler, T. D. (2011). Metalogue: using issues and participatory experiences to enhance student learning and interest. In Sadler, T. D. (Ed.), *Socio-scientific Issues in the Classroom* (pp. 39-43). Dordrecht: Springer Science & Business Media.
- Yerdelen-Damar, S., & Elby, A. (2016). Sophisticated epistemologies of physics versus high-stakes tests: How do elite high school students respond to competing influences about how to learn physics. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1), 010118.
- Younkyeong N. & Ying-Chih C. (2017). Promoting Argumentative Practice in Socio-Scientific Issues through a Science Inquiry Activity. *Journal of Mathematics Science and Technology Education*. 13( 7), 3431-3461.
- Zagzebski, L. T. (1996). *Virtues of the mind: An inquiry into the nature of virtue and the ethical foundations of knowledge*. Cambridge: UK: Cambridge University Press.
- Zohar, A., & Dori, Y. J. (Eds.). (2011). *Metacognition in science education: Trends in current research* (Vol. 40). Dordrecht: Springer Science & Business Media.
- Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 39(1), 35-62.