

טיפול הבנת מהות המדע בהוראת הביולוגיה - היבטים תיאורטיים ומעשיים

חיה בן סימון, אנה פשיניצי-מאמו, דינה ציבולסקי, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון

מבוא

המושג מהות המדע מתייחס לאופן הגדרת המדע, כיצד המדע הפועל, מהם יחסי הגומלין בין מדע לחברה ומי הם מדענים מתוך הקשר של חייהם המקצועיים והפרטיים (McComas & Clough, 2020). באופן מקיף אפשר להגדיר את מהות המדע כמושג העוסק במאפיינים שונים של המדע, כולל היבטים קוגניטיביים-אפיסטמיים וחברתיים-מוסדיים (Dagher & Erduran, 2014). מחקרים בתחום מהות המדע בחינוך המדעי מצביעים על כך שהבנת מהות המדע מקלה את הבנת התוכן המדעי ומשפרת אותה, מעוררת עניין ומעודדת חשיבה ביקורתית, יחד עם הקניית כלים להתמודדות והערכה נכונה של ידע מדעי (McComas & Clough, 2020; Tsybulsky, 2018).

במאמר זה נרחיב תחילה על המושג מהות המדע ונסקור בקצרה גישות ושיטות הוראה של מהות המדע בשיעורי הביולוגיה שנועדו לפתח בקרב הלומדים ידע, מיומנויות, ערכים ועמדות המעודדים את מתן האמון במדע.

מהות המדע

כיום מוכרות שתי גישות תיאורטיות עיקריות העוסקות במהות המדע: גישת הקונצנזוס וגישת הדמיון המשפחתי שנפרט עליהן בהמשך.

גישת הקונצנזוס מציגה היבטים כלליים להבנת המדע שלגביהם יש הסכמה נרחבת (Lederman et al., 2002; McComas, 2002).

אנו חיים בעידן שבו אנו חשופים בכל רגע לשפע של מידע ונתונים שונים המגיעים אלינו ממגוון מקורות, פורמליים ובלתי פורמליים, מדעיים, חברתיים ופוליטיים. בעוד שרעיונות מדעיים מועברים בעיקר בתוך הקהילה המדעית, על ידי אנשי מקצוע באמצעות החינוך הפורמלי והחינוך והמדיה הבלתי פורמליים, רעיונות לא מדעיים ופסידו-מדעיים מועברים על ידי המדיה ומקורות בלתי פורמליים כגון חברים, משפחה ורשתות חברתיות, מה שהופך את הפסידו-מדע לתרבותי וחברתי (Song et al., 2021; Lobato & Zimmerman, 2018). כפועל יוצא מכך אזרחים רבים מטילים ספק בטענות מדעיות ובנתונים אמפיריים, ובמקביל מסתמכים על קביעות אנטי-מדעיות או פסידו-מדעיות.

תופעה זאת, שהורגשה ביתר שאת עם התפשטות מגפת הקורונה, מציבה אתגר משמעותי למחנכים בכלל ולמורים למדעים בפרט: אמון התלמידים ובני משפחותיהם הפך להיות סוגיה שאי אפשר להתעלם ממנה.

חשוב להכיר בכך שהבסיס לאמון במדע טמון בהבנת הפרקטיקות האפיסטמיות, החברתיות והמוסדיות של הקהילה המדעית (Rudolph, 2020). אפשר לקדם את ההבנה הזו בשיעורי מדע באמצעות שילוב משמעותי של הוראת ההיבטים השונים של מהות המדע.



איור 1: שלושת ממדי-העל ותשעת היבטי מהות המדע של גישת הקונצנזוס (McComas, 2020c)

¹ פסידו-מדע מתייחס לנושא שאיננו מדעי המאופיין בצורה לא הולמת כמדע (כמו אסטרולוגיה, רפואה אלטרנטיבית, פרפסיכולוגיה) (Hecht, 2018).

ההשערה. נוסף על כך, ייתכן שהמדען ישנה את שאלתו או השערותו בעקבות איסוף הנתונים, או שיחזור לאסוף נתונים נוספים לאחר ניתוח הנתונים הראשוניים.

תחת ממד העל היבטים אנושיים של המדע מופיעים היבטים הבאים:

- יצירתיות באה לידי ביטוי בכל שלבי המחקר המדעי, החל מתכנון הניסוי, ביצועו, איסוף הממצאים וניתוחם וכלה בתכנון עתידי.

- סובייקטיביות והטיות קיימות במדע; עבודת המדענים אינה אובייקטיבית לחלוטין, מתוקף היותם בני אדם בעלי מטרות, ערכים וחשיבה אינדיבידואלית.

- חברה ותרבות משפיעות על המדע וההפך; תרבות, חברה ודעת הקהל עשויות להשפיע על קבלתם או דחייתם של תיאוריות ורעיונות מדעיים.

תחת ממד העל תחום המדע ומגבלותיו מופיעים היבטים הבאים:

- המדע שונה מהנדסה וטכנולוגיה; מדע עוסק בחקר תופעות טבע בעוד שבהנדסה עוסקים בייצור ופיתוח מוצרים.

- המדע הוא טנטטיבי, בעל יכולת תיקון עצמי ואמין; השיטות המדעיות מספקות לאנושות דרך לחקור את עולם הטבע ולפתח מסקנות שמקבלות משנה תוקף במבחן הזמן. עם זאת, השקפותינו עשויות להשתנות בעקבות פיתוח כלים, טכניקות ופרשנויות חדשות. סבירותן של מהפכות מדעיות היא נמוכה, אך מסקנות ארוכות טווח יכולות להשתנות עם קבלה של ראיות, תובנות או פרשנויות חדשות. כך מתאפשר

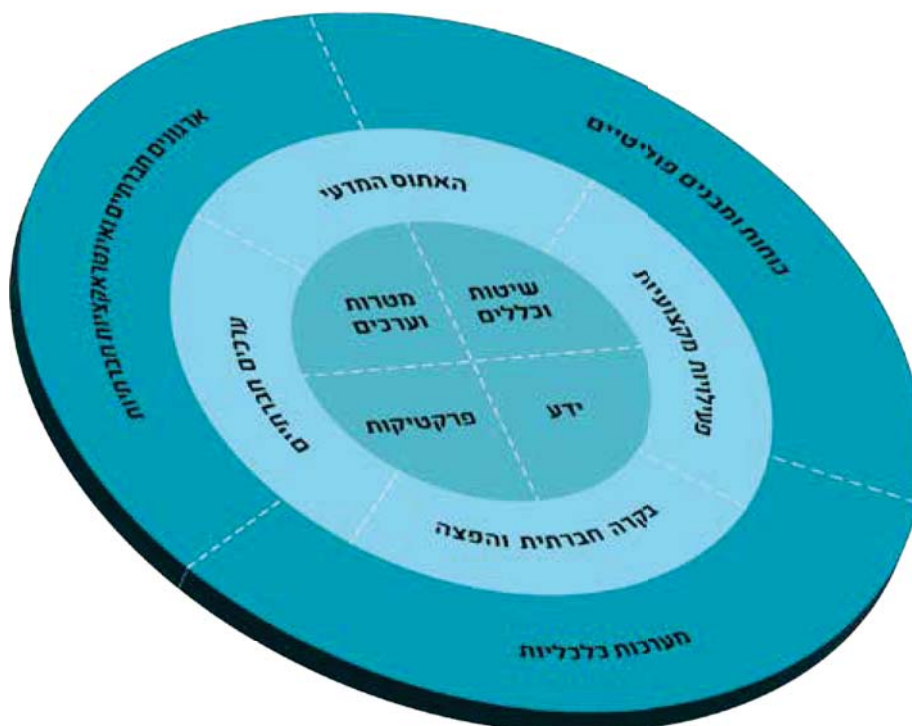
בספרו **מהות המדע בהוראת מדעים** מונה מק'קומאס (McComas, 2020) תשעה היבטים עיקריים, המחולקים לשלושה ממדי-על (איור 1): כלים, תהליכים ותוצרים של המדע, היבטים אנושיים של מדע והידע המדעי ומגבלותיו. היבטים אלה נבחרו משום שהם המוזכרים ביותר על ידי אנשי החינוך המדעי. כמו כן, היבטים אלו נוגעים בכל דיסציפלינות המדע, שילובם אינו מעמיס על תוכנית הלימודים והם פשוטים, יחסית, להבנה הן למורים והן לתלמידים. המחשת היבטים אלה באמצעות התוכן המדעי הנלמד היא הדרך המומלצת לשילוב הוראת מהות המדע. נסקור בקצרה את תשעת היבטים.

תחת ממד-העל "כלים, תהליכים ותוצרים של המדע" מופיעים היבטים הבאים (McComas, 2020c):

- ראיות הן הכרחיות במדע - כל גילוי מדעי מצריך ראיות על מנת לתמוך בו. ככל שהראיות התומכות רבות יותר, כך הן מחזקות יותר את הגילוי. הדבר נצרך במיוחד כאשר הגילוי אינו עומד בקנה אחד עם התיאוריה המדעית הקיימת.

- חוקים ותיאוריות הינם קשורים, אך שונים זה מזה - החוקים הם הכללות, רעיונות, יחסי גומלין של אובייקטים בטבע. תיאוריות הן ההסבר לחוקים. אפשר לנסח כמה תיאוריות שונות לאותו החוק.

- שיטות משותפות - ישנם כלים לוגיים המשותפים לכל תחומי המדעים, כמו אינדוקציה, דדוקציה והסקה מדעית. עם זאת, אין שיטה מדעית יחידה, ולכן המושג "שיטה מדעית" הוא שגוי מיסודו. אף על פי שמקובל לשרטט את שלבי החקר לפי שאלה, השערה, איסוף נתונים, ניתוח נתונים והסקת מסקנות, בפועל, אין זה הסדר הבלעדי של השלבים בעבודת המדענים. תצפיות שדה, למשל, נערכות לפני שלב העלאת



איור 2: גלגל ה-FRA: מדע כמערכת קוגניטיבית-אפיסטמית (המעגל הפנימי) וחברתית-מוסדית (שני המעגלים החיצוניים) לפי דאגר וארדורן (Dagher & Erduran, 2014)



תיקון הידע המדעי ודיוקו עם הזמן. ככל שהמסקנה המדעית חזקה יותר ומקובלת יותר, סביר שתהיה תקפה יותר ויידרשו ראיות רבות על מנת לסתור אותה.

● למדע יש מגבלות; המדע אינו מתיימר לספק תשובות לכל סוגי השאלות ובכל תחומי החיים.

גישת הקונצנוזוס זכתה לביקורות רבות, ובהן בין היתר נטען כי לא ניתן לתאר את המדע בצורה מספקת על ידי רשימות של הצהרות פשוטות, וכי תשעת היבטי מהות המדע הם היבטים כלליים של הידע האנושי ולא של המדע באופן ייחודי. נוסף על כך נטען כי אין שיטות משותפות לכל תחומי המדעים וכי יש להתייחס להבדל בין הדיסציפלינות השונות (Allchin, 2011; Hodson, 2014).

גישה רחבה יותר, הבאה לתת מענה לחסרונות אלו ולתאר את ההיבטים באופן מקיף יותר, היא "גישת הדמיון המשפחתי" (Family Resemblance Approach – FRA). על פי גישה זו, יש לחקור את נקודות הדמיון והשוני בין התחומים המדעיים השונים ולהרכיב מאגר תכונות עבור כל תחום מדעי בנפרד. באופן זה, קבוצה רחבה של קטגוריות תוכל להתייחס לתכונות מגוונות ומשותפות לכל המדע (Dagher & Erduran, 2014; Irzik & Nola, 2011). גישה זו מרחיבה את ההיבטים שהוזכרו בגישת הקונצנוזוס, תחת קטגוריות כלליות המתייחסות לאפיסטמולוגיה, קוגניציה וחברה, ומאחדת אותם באופן תיאורטי וגמיש שאינו מקובע (Dagher & Erduran, 2016; א'ור 2).

תחת ההיבטים המורחבים נציין את ההיבטים האפיסטמיים-קוגניטיביים (Caramaschi et al., 2022; Dagher & Erduran, 2014):

● מטרות וערכים; המפעל המדעי מבוסס על עמידה בסדרה של ערכים המנחים פרקטיקות מדעיות. מטרות וערכים אלו כוללים דיוק, אובייקטיביות, עקביות, ספקנות, רצינות, פשטות, התאמה אמפירית, חיזוי, יכולת בדיקה, חידוש, פוריות, מחויבות להיגיון, כדאיות וכוח הסבר.

● פרקטיקות מדעיות; המפעל המדעי מקיף מגוון רחב של פרקטיקות קוגניטיביות, אפיסטמולוגיות² ודיסקורסיביות (של שיח). פרקטיקות מדעיות כגון תצפית, סיווג וניסוי נעשות במגוון של שיטות לאיסוף נתונים תצפיתיים, היסטוריים או ניסויים. פרקטיקות קוגניטיביות, כגון הסבר, מודלים וחיזוי, קשורות קשר הדוק לפרקטיקות דיסקורסיביות הכוללות שיעון והנמקה.

● שיטות וכללים מתודולוגיים; מדענים עוסקים בחקר מדוקדק תוך שימוש במגוון של שיטות תצפית, חקר ואנליזה להפקת ראיות מהימנות ובניית תיאוריות, חוקים ומודלים.

חשוב להכיר בכך שהבסיס לאמון במדע טמון בהבנת הפרקטיקות האפיסטמיות, החברתיות והמוסדיות של הקהילה המדעית

● ידע; תיאוריות, חוקים ומודלים הם תוצרי המפעל המדעי, הקשורים זה בזה. מפעל זה מייצר או מאמת ידע מדעי ומספק הסברים הגיוניים ועקביים לפיתוח הבנה מדעית. הידע המדעי הוא הוליסטי, והתוצרים מתלכדים יחד ליצירת תמונה שלמה ואינם שברי חלקים מנותקים.

נציין את האספקטים החברתיים-מוסדיים (Caramaschi et al., 2022; Dagher & Erduran, 2014):

● פעילויות מקצועיות; מדענים עוסקים בכמה וכמה פעילויות מקצועיות המסייעות להם להציג את מחקריהם, כולל השתתפות והצגה בכנסים, כתיבה עבור כתבי עת העוברים ביקורת עמיתים, סקירת מאמרים ופיתוח הצעות למענקים.

● אתוס מדעי; מדענים מצופים לציית למערכת של נורמות, הן במסגרת עבודתם והן באינטראקציות שלהם עם מדענים אחרים. נורמות אלו כוללות: ספקנות, אוניברסליות, קהילתיות, חופש ופתיחות, יושר אינטלקטואלי וכבוד לנושא המחקר ולסביבה.

● בקרה חברתית והפצה; על ידי הצגת עבודתם בכנסים וכתיבה לעיתונים העוברים ביקורת עמיתים, עבודתם של המדענים נבדקת ומוערכת באופן ביקורתי. צורה זו של בקרת איכות קהילתית וחברתית מסייעת באימות של ידע מדעי חדש על ידי הקהילה המדעית הרחבה.

● ערכים חברתיים; המפעל המדעי מגלם ערכים חברתיים שונים, לרבות תועלת חברתית, כבוד לסביבה, חופש, פיזור כוח, יושר, התייחסות לצרכים אנושיים ושוויון סמכות אינטלקטואלית.

● ארגונים חברתיים ואינטראקציות חברתיות; המדע מאורגן חברתית במוסדות שונים, כולל אוניברסיטאות ומכוני מחקר. אופי האינטראקציות החברתיות בין חברי צוות מחקר העובדים על פרויקטים שונים נשלט על ידי היררכיה ארגונית. בהקשר הארגוני הרחב יותר, מכוני המחקר יכולים להימצא תחת התעשייה וכוחות הביטחון.

● כוחות ומבחנים פוליטיים; המפעל המדעי פועל בתוך סביבה פוליטית, הכופה את הערכים והאינטרסים שלה. המדע אינו

² אפיסטמולוגיה היא ענף בפילוסופיה העוסק בטיבם של ידע והצדקה ובמגוון הדרכים שבהן אפשר לדעת ולחקור את העולם.

אוניברסלי ועל כן תוצאותיו אינן מועילות תמיד ליחידים, לקהילות או לתרבויות מסוימות.

- כלכליות; המפעל המדעי מתווך על ידי גורמים כלכליים. מדענים זקוקים למימון על מנת לבצע את עבודתם. גופים ממלכתיים ולאומיים מספקים מימון משמעותי לאוניברסיטאות ולמרכזי מחקר. לארגונים אלה השפעה רבה על סוגי המחקר המדעי הנערכים.

גישות להוראת מהות המדע

לאורך השנים, נבדקה השפעתן של הגישות השונות על היכולת לשלב ולהטמיע את היבטי מהות המדע במסגרת שיעורי מדע. נמצא כי הוראה מפורשת, הוראה רפלקטיבית, הוראה מתוך הקשר (McComas et al., 2020) והוראה מתוך הקשר אותנטי (Edmondson et al., 2020) הן גישות יעילות לקידום ההבנה על אודות היבטים השונים של מהות המדע בקרב התלמידים.

הוראה מפורשת: על פי גישה זו, יש לכוון את תשומת הלב של התלמידים אל היבטים שונים של מהות המדע בדרך שאלות, דיונים והסברים בהוראת המדע (McDonald, 2010). בהתאם לכך, הוראת מהות המדע צריכה להיות ממוקדת תוכן ספציפי שאותו מתכננים ללמד ולהעריך מראש (Akerson et al., 2000). הוראה מפורשת של מהות המדע צריכה להיות מתוכננת ומוטמעת בתוכניות למידה שונות כרכיב מרכזי של הלמידה, ולא כתוצר לוואי.

במסגרת שיעורי הביולוגיה אפשר להעניק מגוון הזדמנויות לדיון מפורש על מהות המדע. כחלק מכך, אפשר לזמן לתלמידים עיסוק בשאלות כמו מהו מדע? מהי תיאוריה מדעית? מה הוביל לגילוי מדעי זה או אחר? מהם הגורמים שעודדו או עיכבו פריצת דרך מדעית? מי היו המדענים בעבר ומי הם היום?

הוראה רפלקטיבית: מאפשרת לתלמידים להסיק מסקנות אישיות בנוגע להיבטי מהות המדע, תוך התבוננות פנימית על האירועים והתכנים שנלמדו. הוראה רפלקטיבית מעודדת את התלמידים לחשוב על מהות המדע תוך מעורבות רגשית. היא מספקת לתלמידים הזדמנות לנתח את פעילותם במסגרת היבטי מהות המדע, לזהות קשרים בין הפעילות שלהם לזו של המדענים ולהסיק מסקנות על תהליכים מדעיים (Abd-El-Khalick & Akerson, 2004).



קלאוף (Clough, 2020) הציע דוגמאות לשאלות המעודדות תלמידים לחשוב ולקבל החלטות תוך ביסוס הבנה מעמיקה יותר של מהות המדע, ובהן: באיזה ידע קודם השתמשת בתהליכי העבודה שלך במעבדה ובניתוח הנתונים שלך? באיזה אופן תשובתך תואמת את השענה שלפיה תיאוריות מדעיות מנחות את החוקרים אילו שאלות לשאול, כיצד לחקור אותן וכיצד להבין את הנתונים? במה שונה התיאור שכתבת לביצוע הניסוי מתיאורים שמדענים כותבים במאמרים?

הוראה מתוך הקשר: מדגישה את שילוב היבטים השונים של מהות המדע בלימוד תוכן מדעי, חקר, או התנסות בפעילות מדעית כלשהי בבית הספר. על פי הספרות המחקרית, יעילות הוראת היבטי מהות המדע השונים באופן ישיר, המנותק מהתוכן המדעי ומפעילות המדענים, היא פחותה (Clough, 2006). במילים אחרות, דרך יעילה יותר ללמד את היבטי מהות המדע בשיעורי ביולוגיה היא לשזור אותם במהלך לימוד התוכן הביולוגי, לדוגמה על ידי שימוש בסיפורים היסטוריים של מחקרים מדעיים או במהלך ביצוע ניסויים במעבדה וביחוקר.

אפשר לחזק את ההקשר עוד יותר על ידי הוראת מהות המדע מתוך הקשר אותנטי. הקשר זה מערב את התלמידים בפעילויות מדעיות אותנטיות בליווי או שיתוף המדענים, לרבות פרקטיקות מדעיות מקצועיות המניבות ממצאים אמיתיים שתורמים להרחבת הידע המדעי הקיים. חשיפה כזו יכולה להיות במסגרת התנסות של התלמידים בפרקטיקות אלו באמצעות פרויקטים של מדע אזרחי, ביקור במעבדות מחקר אמיתיות בליווי מדענים, ובביצוע פרויקטי חקר התורמים למחקרים אמיתיים. נמצא כי מעורבות זו של התלמידים מקדמת הבנה של מהות המדע (Edmondson et al., 2020).

פדגוגיות לשילוב מהות המדע

בפרק זה נציין כמה פדגוגיות שנמצאו יעילות בקידום הבנת תלמידים ונדגים כיצד אפשר ליישם אותן בשיעורי ביולוגיה.

היסטוריה של המדע

מבט אל ההיסטוריה המדעית מספק תמונת-על לאופן פעולתו של המדע. סיפורים היסטוריים מזמנים היכרות עם המדענים וחייהם, כמעצבי דרכו ותוצריו של המפעל המדעי. באופן זה, באמצעות התבוננות באירועים היסטוריים, באים לידי ביטוי היבטים רבים של מהות המדע, וביניהם היותו של המדע "מאמץ אנושי", אופן פעולתו של המדע, כללים ומסורות (Nouri & McComas, 2021). מעבר לכך, ההשתלשלות ההיסטורית ממחישה כיצד הידע הקיים היום נבנה באופן הדרגתי.

חשיפה של התלמידים לסיפורים היסטוריים של מחקרים יכולה להיעשות בכמה אופנים. אפשרות אחת היא לימוד של סדרת נרטיבים היסטוריים הקשורים כולם למחקרים שנעשו בנושא הנבחר. אפשר להתייחס לסיפורי חקר שנעשו בתקופות שונות במהלך ההיסטוריה באותו נושא ולהראות את ההתפתחויות השונות לאורך ציר הזמן.

אפשרות נוספת היא התמקדות בסיפור חקר ספציפי שאירע בעבר וניתוחו באופן מעמיק. דוגמאות לכך הן [פעילויות לניתוח סיפורי מחקר](#) המופיעות באתר משרד החינוך. מדובר בטקסט המציג חלקים נבחרים של מחקר מדעי בליווי שאלות ומשימות

עיסוק בנושאים חברתיים-מדעיים

הפדגוגיה מתייחסת לעיסוק בסוגיות חברתיות-מדעיות במסגרת דיונים ופעילויות כיתתיות, תוך העלאת דילמות עכשוויות שעל סדר היום. בכוחו של עיסוק זה לזרוק אור על מורכבות יחסי חברה-מדע והשפעתם של מבני כוח פוליטיים על המפעל המדעי. במהלך הדיונים יש לתת מקום לאינטראקציות שבין התחומים השונים ולזוויות המבט השונות בנוגע לנושא הנלמד, ובכלל זה זוויות גלובליות ומקומיות, חברתית ואישית.

בשיעורי הביולוגיה אפשר לעסוק בנושאים הרלבנטיים לתוכנית הלימודים. במסגרת הנושא הנדסה גנטית, למשל, אפשר להדגים לתלמידים את העובדה כי עמדות כלפי נושאים מדעיים עשויות להשתנות כתלות בחברה ובתרבות. הדבר משתקף בהבדלים שבין אירופה וארצות הברית בנוגע ליחס האזרחים למזון מהונדס גנטית. בעוד שבאירופה יש דרישות תיוג קפדניות על מוצרי מזון מהונדסים גנטית, ארצות הברית אינה דורשת את סימונם. עקב כך, חלק גדול מהציבור בארצות הברית אינו מודע לשיעור הנוכחות של מזונות מהונדסים בתזונה האישית שלהם ולכן מתנגדים הרבה פחות לייצורם בהשוואה לאזרחי אירופה (Lederman et al., 2014). דוגמה נוספת היא הנושא "חיידיקים ונגיפים בגוף האדם" בתוכנית הלימודים, שבמסגרתו אפשר לעסוק במחלות נגיפיות אקטואליות כמו COVID-19, תוך הסבת תשומת לב התלמידים להיבטי מהות המדע שבאו לידי ביטוי בתקופת המגפה. עם היבטים אלו נמנים טנטטיביות הידע המדעי, התבוננות ופרשנות מרובות-תיאוריות, ריבוי של גישות שאומצו בחקר המדעי, יחסי הגומלין בין מדע וטכנולוגיה, והקשר שבין מדע, פוליטיקה ופרקטיקות תרבותיות. נוסף על כך, סוגיית המחלות הנגיפיות מחדדת את התחרות בין קבוצות המחקר, את הצורך בשיתוף פעולה של מספר מומחים מתחומים מדעיים שונים, את הצורך ביושר אינטלקטואלי ובעמידה בלחצי מימון (Wong et al., 2008, 2011).

דוגמה נוספת מובאת בהרחבה בספר של דנאי, סטולר ושל [או-צרות הים](#), המפרט כיצד המדע כרוך בהיבטים חברתיים סביבתיים בסביבה הימית.

לקריאה נוספת בנושא שילוב נושאים חברתיים-מדעיים בהוראה אנחנו מציעות את [המאמר](#) של טל וקדמי (Tal & Kedmi, 2006).

מאמרים מעובדים וכתבות פופולריות

הכרות של התלמידים עם מאמרים מדעיים היא הזדמנות להפגיש אותם עם מחקרים מדעיים, עם שיטות המחקר ועם הכתיבה המדעית. על מנת להתגבר על מכשולי שפה ועל אתגרי ההתמודדות עם טקסטים מדעיים ברמה גבוהה, פותחו שתי שיטות המנגישות את המאמרים האקדמיים לרמות התלמידים.

הראשונה שבהן היא שיטת המאמר המעובד (Yarden et al., 2001). בשיטה זו, תורגמו מאמרים לעברית ועברו עיבוד שנועד להקל את קריאתם. במהלך העיבוד, נשמרו המבנה הבסיסי וסגנון הכתיבה המקורי של המאמר, כמו גם התצוגה של התוצאות והאיוורים האוטנטיים. השינויים הקלים שנעשו נועדו לפשט את הטקסט בלבד, בלי לשנותו באופן משמעותי. הצגת המאמר המעובד לתלמידים בשלמותו, תוך שהם יכולים להתרשם לא רק מתוכנו אלא גם ממבנה הכתיבה, יכול להמחיש



המזמינות את התלמידים לעקוב אחרי שלבי החקר השונים ולהבין את מטרתו של כל חלק.

בשתי השיטות התלמידים נחשפים לסיפורי החקר מזווית אישית יותר, תוך היכרות עם המדענים וחייהם. מדענים המספרים על מחקריהם למשל הם פרופ' אבי שרודר וקבוצתו, המספרים על המחקר המשלב ננוטכנולוגיה, תרופות ודיאגנוסטיקה; ד"ר דוד מאירי, על מחקרו ברפואה מבוססת צמחים; ושיעורים לדוגמה שפיתחו סטודנטים להוראה בפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון ומתייחסים לשרשרת האירועים שהובילו לגילויים מדעיים: מערך שיעור בנושא גילוי הפניצילין, מערך שיעור בנושא גילוי מבנה ה-DNA.

לקריאה נוספת אנחנו מציעות את [מאמרו](#) של קמפוריקיס (Kampourakis, 2013) ופרק [בספר](#) של מתייס (Matthews, 2009).³

דרמות וסיפורים

להגברת החוויה בשיעורי המדעים ולהפיכת המדע לסיפור חי ומוחשי לעיני התלמידים, אפשר להציג את המחקרים המדעיים ואת חיי המדענים כסיפור עלילתי כתוב או בהמחזה. במידה ובחרים בסיפור, חשוב להקפיד על המאפיינים ההופכים את הסיפור למוצלח. עם מאפיינים אלה נמנים חלוקה של הסיפור לרצף אירועים עוקבים בעלי קשר ביניהם, היותו של הסיפור מותח ומעורר סקרנות, הבנת השומעים כי הסיפור מתאר תרחיש בלעדי שקרה בהיסטוריה, דמויות בסיפור המופיעות כ"סוכנויות" מוסריות אשר מייצגות היבטים או תפיסות, ערכים ואמונות של אותה תקופה ומסר המועבר על ידי הסיפור (Klassen, 2009). ראו מערך שיעור לדוגמה הממחיש מחקר מדעי כסיפור עלילתי: [מעריך שיעור בנושא מגפת הכולרה](#).

האפשרות האחרת היא הצגת הסיפור המדעי כקטעי דרמה באמצעות סרטים בעלי תכנים מדעיים או על ידי המחזה בכיתה בהשתתפות התלמידים. ראו מערך שיעור לדוגמה שכתבה סטודנטית מהפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון המכיל קטעי המחזה כתובים: [מעריך שיעור בנושא מגפות ואמצעי התגוננות מפניהן לאורך ההיסטוריה](#).

לקריאה נוספת על יצירה ושילוב של סיפורים אנחנו מציעות את [מאמרו](#) של קלאסן (Klassen, 2009) ועל דרמה בשיעורי מדע ראו [פרק בספר](#) של פלג ועמיתים (Peleg et al., 2018).

³ המעוניינים לקרוא את הטקסט המלא של המאמרים המקושרים מוזמנים לפנות אלינו במייל: biologyedutech@gmail.com



תכנים מדעיים ובין התנסויות בפרקטיקה של החקר המדעי; וכן היא עשויה לטפח הרגלי חשיבה מדעיים, תוך פיתוח הבנה של גישות שונות המאפשרות לחקור, לתאר את העולם. אנו מציעות לקריאה נוספת את [מאמרם](#) של בוני ועמיתים (Bonney et al., 2009). נוסף על כך, אנו ממליצות [לצפות](#) בפרופ' יעל קלי מהפקולטה לחינוך באוניברסיטת חיפה ובפרופ' טלי טל מהפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון עונות על שאלות שונות בנוגע למדע אזרחי בבית הספר, במסגרת קורס "תקשורת המדע" בהנחיית פרופ' אילת ברעם-צברי. לקריאה על פרויקטים שונים בתחום המדע האזרחי וקבלת רעיונות לפעילות כיתתית [היכנסו](#) למדע אזרחי בבית הספר - מרכז המצוינות של אוניברסיטת חיפה והטכניון, TCSS.

אוצרות דיגיטלית

אוצרות דיגיטלית היא תהליך ליצירת אוספים של תכנים דיגיטליים בנושא מסוים, שיכול לשמש גישה פדגוגית ללימוד הנושא המדעי (Tsybulsky, 2020). בשלב הראשון, המורה או התלמיד בוחרים נושא שבו הם מעוניינים להעמיק את ידיעותיהם או לאתר מקורות מידע הקשורים אליו. לאחר מכן מתבצע חיפוש מידע ברשת אחר מקורות ומשאבים הנוגעים לנושא, סינון ביקורתי של הפריטים הדיגיטליים שנמצאו ובחירת הפריטים המתאימים ביותר למטרת הלמידה. תוך כדי איסוף פריטים דיגיטליים, התלמידים יכולים להוסיף אמירה אישית על הפריטים שמצאו, באמצעות אפשרויות עריכת הפריט. באופן כזה מתקבל אוסף דיגיטלי שביי הנושא הנלמד, ואותו התלמידים יכולים לשתף. על ידי חיפוש המידע במקורות שונים ברשת, סינונו ועריכתו, התלמידים יכולים להתרשם מהתכנים המוצגים באוסף וללמוד רבות על הנושא הנבחר. בין היתר, לאחר שליקטו מספר מקורות מידע, התלמידים יכולים לפתח הבנה רחבה יותר ביחס לתהליכים מדעיים. הסנה של תלמידים לנושאים מסוימים בתהליך יצירת האוסף תעודד פיתוח הבנת מהות המדע שלהם. לדוגמה, אוסף הקשור ביחסי הגומלין שבין מדע וחברה יכול להוביל לשיפור ההבנה על אודות מורכבותם של יחסים אלו. בדומה לכך, אוספים העוסקים בהתפתחותה של תאוריה מסוימת (כמו תאוריית התורשה) יכולים להמחיש את התהליך ההדרגתי של גיבוש התאוריה עד להתהוותה. תכנים הנוגעים להתפתחות ההיסטורית של תגליות בנושא מסוים מבנים אף הם הבנה לגבי תהליך בניית תאוריה וטנטטיביות הידע המדעי. אפשר להתרשם [ממגוון אוספים דיגיטליים](#) שיצרו מורים וסטודנטים בטכניון, כולל אוספים בנושא מהות המדע.

את הפרקטיקות המדעיות השונות ואת מגוון השיטות המדעיות, מה שיתרום לפיתוח הבנתם את מהות המדע (Tsybulsky, 2018). דוגמאות למאמרים מעובדים מופיעות [באתר](#) המרכז הארצי של מורי הביולוגיה.

השיטה השנייה מתייחסת למחקר המדעי באופן שמרני פחות למאמר המקורי ומציגה את תוכנו ככתבה פופולרית. כתבות פופולריות מאופיינות בכתיבה חופשית, הקרובה יותר לשפת התלמידים, תוך שמירה כמעט מלאה על העובדות והנתונים של המאמר שעליו הן מתבססות. אין שימוש בגוף שלישי סביל, המילים פשוטות יותר, אין בהכרח שמירה על המבנה של מאמר מדעי, אופי הכתיבה מעורר סקרנות ואטרקטיבי יותר. דוגמאות לכתבות פופולריות אפשר למצוא [בסיינטיפיק אמריקן ישראל](#) ובאתר [פרונטייר - מדע לצעירים](#).

לשתי השיטות יתרונות וחסרונות. האחת אותנטית יותר למאמרים מדעיים ומאפשרת הבנה טובה יותר של התהליכים והמתודולוגיה של חקר מדעי. השנייה, לעומת זאת, מאפשרת הבנה טובה יותר של הטקסט, בהיותה מונגשת יותר. כך או כך, במסגרת שתי השיטות, התלמידים יכולים להתרשם מעבודת המדענים והמפעל המדעי. לקריאה נוספת אנו מציעות את [מאמרן](#) של ברעם-צברי וירדן (Baram-Tsabari & Yarden, 2005) ואת [מאמרם](#) של לונג ועמיתים (Leung et al., 2015).

ביקור במעבדות מחקר אותנטיות

ביקורים מודרכים במעבדות מחקר אוניברסיטאיות משפרים את הבנת מהות המדע של תלמידים ואת עמדותיהם כלפי המדע (Tsybulsky et al., 2018a, 2018b). הביקורים כוללים הכנה מקדימה בכיתה, ביקור במעבדת המדענים ולבסוף סיכום כיתתי. במסגרת ההכנה המקדימה בכיתה, יש להכיר לתלמידים את התכנים המתאימים והשיטות הרלבנטיות, תוך ביצוע משימות חקר וכתיבת שאלות לחוקרים. היכרות עם מהלך הסיור הצפוי והסביבה הגאוגרפית שבה הוא יתקיים מאפשרת הכנה קוגניטיבית ורגשית, וכפועל יוצא מכך גם התאקלמות מהירה יותר לסביבה החדשה. במהלך הביקור יכירו התלמידים את החוקרים ואת המחקרים שנערכים במעבדות וישאלו את השאלות שהכינו מבעוד מועד, מה שיאפשר להם לגבש הבנה רחבה יותר על מחקר מדעי, כולל הבנה על אודות הטבע הטנטטיבי של הידע המדעי, השפעות סוציו-תרבותיות על המדע, פרקטיקות מדעיות ועוד. רצוי לחשוף את התלמידים למעבדות מחקר העוסקות בנושאים שבתוכנית הלימודים, כגון חקר חלבונים, הנדסה גנטית או אקולוגיה. לאחר הביקור דרושים המשך עיבוד ולמידה בכיתה, וביניהם כתיבה רפלקטיבית של חוויות הביקור וביצוע משימות העוסקות בהיבטי מהות המדע השונים. לקריאה נוספת אנחנו מציעות את [מאמרם](#) של ציבולסקי ועמיתים (Tsybulsky et al., 2018b).

מדע אזרחי

מדע אזרחי הוא השתתפות של אזרחים, במקרה זה תלמידים, בתהליכי איסוף נתונים וניתוחם במסגרת פרויקטים מדעיים קיימים. כלומר, התלמידים מעורבים בייצור של מאגרי נתונים ומידע אמין ונגישים לשימושם של מדענים, מקבלי החלטות, או הציבור עצמו, לצורך מדעי (McKinley et al., 2017). השתתפות תלמידים במדע אזרחי, ובייחוד אם מעורבות זו היא מעבר לאיסוף נתונים גרידא, מאפשרת לתלמידים לשלב בין למידה על

הצעה ליישום הפדגוגיות השונות בשיעורי הביולוגיה

את הנושאים השונים בתוכנית הלימודים בביולוגיה אפשר ללמד באמצעות פדגוגיות שונות. נדגים זאת על סיפור גילוי מבנה ה-DNA. אם נבחר להשתמש בפדגוגיית הוראת היסטוריה של המדע, הרי שנוכל להתייחס לגילוי מדעי בנקודת זמן אחת קונקרטי, כמו עבודתם של ווטסון וקריק, או לחלופין להראות ציר זמן המכיל אירועים מספר, אשר הובילו כולם יחד לפענוח הסופי של מבנה ה-DNA. כחלק מאירועים אלה נוכל לספר על מנדל, שהתייחס לראשונה ל"יחידות תורשה", על יוהאן מייסר, שהיה הראשון לגלות את חומצות הגרעין, על צילום רנטגן של גבישי ה-DNA שצילמה רוזלין פרנקלין ועל מחקרם של אלפרד הרשי ומרתה צייס המעיד שהחומר התורשתי הוא DNA ולא חלבון.

חלופה אטרקטיבית להצגת הנרטיבים השונים לאורך ציר הזמן, או להתמקדות בסיפור אחד מביניהם, יכולה לשמש פדגוגיה מבוססת דרמה, בין אם על ידי הקרנת סרטון בנושא או בין אם המחזה של הסיפור תוך שתלמידי הכיתה מתפקדים כשחקנים ומחזאים. באופן זה, את דמויותיהם של מדענים שונים כמו ווטסון וקריק, רוזלין פרנקלין, אלפרד הרשי ומרתה צייס, יכולים לגלם התלמידים עצמם ובאמצעות כך להכיר באופן מוחשי את הדילמות החברתיות שהעסיקו אותם לצד עבודתם המדעית, את הלבטים הפוליטיים שהטרידו אותם, העדויות שעליהם נשענו וכדומה.

דרך אחרת לחשוף את התלמידים להיבטי מהות המדע שבסיפור גילוי מבנה ה-DNA היא באמצעות ניתוח סיפור חקר. אפשר לחלק את המחקר שנעשה בפענוח מבנה ה-DNA לכמה חלקים, ולנסח כל חלק כפסקה קצרה שבעקבותיה שאלות הנוגעות הן להבנת התוכן המדעי והן להבנת מהות המדע. שאלות הנוגעות להבנת מהות המדע יכולות להיות, למשל, "מה היו ההתמודדויות החברתיות של המדענים?", "מהן דרכי הפעולה שנקטו המדענים?", "מהם העקרונות שעליהם הקפידו המדענים בעבודתם?". לחלופין, אפשר להפנות את התלמידים למאמר מעובד או לכתבה פופולרית בנושא (למשל כזו המתייחסת לעבודתה של רוזלין פרנקלין) ובהמשך לקיים דיון או משימה כיתתית.

קעת נציין מספר עקרונות כלליים להפעלת הפדגוגיות השונות בכיתה, שיאפשרו הטמעה יעילה של היבטי מהות המדע.

ראשית, ראוי לשים לב כי לא די בביצוע הפדגוגיה לבדה, למשל בסיפור האירוע ההיסטורי, בהצגת קטע הדרמה, ביצירת האוסף הדיגיטלי וכן הלאה. גם כאשר השיטה הנבחרת היא יישומית יותר, כמו ביקור במעבדה או השתתפות במדע אזרחי, אין די בהשתתפות עצמה לפיתוח הבנה טובה של מהות המדע. לצד אלה יש להוסיף הוראה מפורשת בדמות הסברים והצהרות ברורות על אופן התנהלות המפעל המדעי. במילים אחרות, יש להדגיש לתלמידים את היבטי מהות המדע השונים הבאים לידי ביטוי בפעילות הנבחרת ולדון איתם עליהם.

נחזור לדוגמה של סיפור גילוי מבנה ה-DNA. חרף העובדה כי יחידות המבנה של ה-DNA - בסיס חנקני, סוכר וזרחה - היו ידועות לווטסון וקריק, הדרך שבה הם מסודרים במולקולת ה-DNA לא הייתה ידועה. נציין במפורש בפני התלמידים כי החיפוש שלהם אחר המבנה הנכון הצריכו קביעות

אובייקטיביות ומדויקות על סמך נתונים. הדבר ממחיש את חשיבות האובייקטיביות והדיוק במדע.

זאת ועוד, במאמרם בכתב העת המדעי Nature משנת 1953, ווטסון וקריק המחישו את מבנה ה-DNA על ידי מודל משורטט. הם הציגו את תמונת המקור של קרני הרנטגן שיצרה רוזלין פרנקלין, שעליה ביססו את תצפיותיהם. נסביר לתלמידים באופן מפורש כי אפשר ללמוד מכך שהפרקטיקות המדעיות כוללות בין היתר תצפיות ובניית מודלים. התייחסות זו רלבנטית לתיאור הפרקטיקות המדעיות.

נוסף על ההוראה המפורשת, מומלצת כאמור גם הוראה רפלקטיבית. הוראה מסוג זה שומנת בחובה מבט אישי לתוך תהליך הלמידה. אם נמשיך בדוגמה שהובאה בנושא גילוי ה-DNA, הרי ששאלות כמו "מה למדת על עבודת המדענים מסיפור גילוי ה-DNA?", "מה היו לדעתך המטרות שהנחו את ווטסון וקריק בעבודתם?", "מה היו הראיות שווטסון וקריק הסתמכו עליהן ומדוע אלה נחשבו לאמינות?" - תתמוכנה בהבנת מהות המדע של התלמידים בכך שהן תשקפנה את התובנות שלהם ביחס למחקר שעליו הם למדו.

חשוב לציין כי ניסויים במעבדה ועבודת הביחוקר הנעשים במסגרת שיעורי הביולוגיה תורמים אף הם להבנת מהות המדע בקרב התלמידים. עצם ההתנסות בפרקטיקות מדעיות ובתהליך חקר מדעי מובילה להבנה של אופן עבודתם של מדענים ושל תהליך צבירת הידע המדעי. הבנה זו גדלה כאשר העבודה במעבדה או בשדה מלווה בהוראה מפורשת של מהות המדע, וכאשר לאחר העבודה נעשית הוראה רפלקטיבית. לדוגמה, כאשר התלמידים מקבלים תוצאות שאינן עולות בקנה אחד עם ההשערה שלהם, ונדרשים לחשוב על הסיבות השונות שהובילו לכך, אפשר להסביר להם שלבטים דומים מלווים מדענים אמיתיים. לעיתים, מדענים מגיעים למסקנה כי השערתם נכונה והבעיה היא באופן העמדת הניסוי, ולעיתים מסקנתם היא שהתוצאות נכונות ומדויקות ואילו ההשערה הייתה שגויה. בהמשך אפשר לשאול את התלמידים שאלות רפלקטיביות כמו "מה הרגשת כשהתוצאות בניסוי יצאו אחרת מהמצופה?", "מה למדת מכך שהייתה סתירה בין ההשערה לבין הממצאים?" וכן הלאה. שילוב של ההתנסות בניסוי המעבדה והביחוקר, יחד עם ההוראה המפורשת וההוראה הרפלקטיבית של מהות המדע, יגבירו באופן ניכר את הבנת היבטים השונים על ידי התלמידים.

הדוגמאות שהובאו עד כה שילבו את היבטי מהות המדע בהקשר של התוכן המדעי (חומר הנלמד בכיתה על פי תוכנית הלימודים) ושל פעילות מדעית (ניסויים, מעבדות, ביחוקר). אפשר להגביר את ההקשר עוד יותר, על ידי הוראת מהות

במהלך ביקור במעבדות מחקר יכירו התלמידים את החוקרים ואת המחקרים שנערכים במעבדות וישאלו את השאלות שהכינו מבעוד מועד, מה שיאפשר להם לגבש הבנה רחבה יותר על מחקר מדעי

באחת משיטות ההוראה שפורשו ותוך נקיטת הגישות המפורשת והרפלקטיבית, ומתוך הקשר של התוכן המדעי והפעילות המדעית. בתוך כך התלמידים יבינו טוב יותר כיצד המפעל המדעי פועל ואת המורכבות שלו. הם יקבלו פרספקטיבה רחבה יותר על עולם המדע ויכירו בהיותו מעבר לאוסף של עובדות מערכת רבת אלמנטים המקיימים ביניהם קשרי גומלין. כפועל יוצא, תחלחל ההבנה כי הפקת ידע אמין היא מאמץ אינטלקטואלי קולקטיבי המצריך חקר שיטתי-קפדני וביקורת עמיתים. ידע זה הוא פרי עבודתם של מדענים והינו בסיס לרוב תחומי חיינו, בין היתר למערכות הבריאות, התחבורה והחקלאות. כאשר נצליח להנחיל תובנות אלו לתלמידנו, נצליח להעניק להם כלי שימושי וחזק, שכן בעת קבלת החלטות הם יתבססו על ידע מדעי מהימן.

המדע בהקשר אותנטי, כלומר, שימוש בפרקטיקות הוראה המאפשרות לתלמידים לחוות מדע ומחקר מדעי אמיתי, ובהן שיתוף התלמידים במדע אזרחי וביקור במעבדות אותנטיות של מדענים. נוסף על כך, אפשר להכווין תלמידים מתאימים לבצע עבודת גמר בהיקף 5 יח"ל, שבמהלכה יחברו למדען במעבדת מחקר אקדמית ויבצעו מחקר תחת הנחייתו. פרקטיקות אלה מאפשרות לתלמידים להתוודע מקרוב לעבודת המדענים, ומתוך כך ללמוד על מטרות המחקר המדעי, על שיטות המחקר השונות, על הלבטים והשיקולים הנלווים למחקרים ועוד.

סיכום

הבנת מהות המדע בקרב התלמידים מתפתחת על ידי שילוב היבטים שונים בשיעורי הביולוגיה. שילוב זה יכול להיעשות

מקורות

- Abd-El-Khalick, F. & Akerson, V. L. (2004). "Learning as conceptual change: Factors mediating the development of preservice elementary teachers' views of nature of science". *Science Education* **88(5)**, 785–810. <https://doi.org/10.1002/sci.10143>
- Akerson, V.L., Abd-El-Khalick, F. & Lederman, N.G. (2000). "Influence of a reflective explicit activity-based approach on elementary teachers' conceptions of nature of science". *Journal of Research in Science Teaching*, **37(4)**, 295–317. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(200004\)37:4<295::AID-TEA2>3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(200004)37:4<295::AID-TEA2>3.0.CO;2-2)
- Allchin, D. (2011). "Evaluating knowledge of the nature of (whole) science". *Science Education* **95(3)**, 518–542. <https://doi.org/10.1002/sci.20432>
- Baram-Tsabari, A. & Yarden, A. (2005). "Text genre as a factor in the formation of scientific literacy". *Journal of Research in Science Teaching* **42(4)**, 403–428. <https://doi.org/10.1002/tea.20063>
- Caramaschi, M., Cullinane, A., Levrini, O. & Erduran, S. (2022). "Mapping the nature of science in the Italian physics curriculum: From missing links to opportunities for reform". *International Journal of Science Education*, **44(1)**, 115–135. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.2017061>
- Clough, M.P. (2006). Learners' responses to the demands of conceptual change: Considerations for effective nature of science instruction. *Science & Education*, **15(5)**, 463–494. <https://doi.org/10.1007/s11191-005-4846-7>
- Clough, M.P. (2020). "Framing and teaching nature of science as questions". In: W.F. McComas (Ed.), *Nature of science in science instruction: Rationales and strategies* (pp. 271–282). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6_15
- Dagher, Z.R. & Erduran, S. (2014). *Reconceptualizing the nature of science for science education*. Springer.
- Dagher, Z.R. & Erduran, S. (2016). "Reconceptualizing the nature of science for science education". *Science & Education* **25(1)**, 147–164. <https://doi.org/10.1007/s11191-015-9800-8>
- Edmondson, E., Burgin, S., Tsybulsky, D. & Maeng, J. (2020). "Learning aspects of nature of science through authentic research experiences". In: W.F. McComas (Ed.), *Nature of science in science instruction: Rationales and strategies* (pp. 659–673). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6_36
- Hecht, D.K. (2018). "Pseudoscience and the pursuit of truth". In: A.B. Kaufman & J.C. Kaufman (Eds.), *Pseudoscience: The conspiracy against science* (pp. 3–20). The MIT Press.
- Hodson, D. (2014). "Nature of science in the science curriculum: Origin, development, implications and shifting emphases". In: M.R. Matthews (Ed.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 911–970). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8_28
- Irzik, G. & Nola, R. (2011). "A family resemblance approach to the nature of science for science education". *Science and Education* **20(7)**, 591–607. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9293-4>
- Kampourakis, K. (2013). "Mendel and the path to genetics: Portraying science as a social process". *Science & Education* **22(2)**, 293–324. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9323-2>
- Klassen, S. (2009). "The construction and analysis of a science story: A proposed methodology". *Science & Education* **18(3)**, 401–423. <https://doi.org/10.1007/s11191-008-9141-y>
- Lederman, N.G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R.L. & Schwartz, R.S. (2002). "Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science". *Journal of Research in Science Teaching* **39(6)**, 497–521. <https://doi.org/10.1002/tea.10034>
- Lederman, N.G., Antink, A. & Bartos, S. (2014). "Nature of science, scientific inquiry, and socio-scientific issues arising from genetics: A pathway to developing a scientifically literate citizenry". *Science & Education* **23(2)**, 285–302. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9503-3>
- Leung, J.S.C., Wong, A.S.L. & Yung, B.H.W. (2015). "Understandings of nature of science and multiple perspective evaluation of science news

- by non-science majors". **Science & Education** **24(7)**, 887–912. <https://doi.org/10.1007/s11191-014-9736-4>
- Lobato, E.J.C. & Zimmerman, C. (2018). "The psychology of (pseudo) science: Cognitive, social, and cultural factors". In: A.B. Kaufman & J.C. Kaufman (Eds.), **Pseudoscience: The conspiracy against science** (pp. 21–43). The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262037426.003.0002>.
- Matthews, M.R. (2009). "Science and worldviews in the classroom: Joseph Priestley and photosynthesis". In: M.R. Matthews (Ed.), **Science, worldviews and education** (pp. 271–302). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2779-5_14
- McComas, W.F. (2020a). "Considering a consensus view of nature of science content for school science purposes". In: W.F. McComas (Ed.), **Nature of science in science instruction: Rationales and strategies** (pp. 23–34). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6_2
- McComas, W.F. (2020b). **Nature of science in science instruction**. Springer.
- McComas, W.F. (2020c). "Principal elements of nature of science: Informing science teaching while dispelling the myths". In: W.F. McComas (Ed.), **Nature of science in science instruction: Rationales and strategies** (pp. 35–65). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6_3
- McComas, W.F. & Clough, M.P. (2020). "Nature of science in science instruction: Meaning, advocacy, rationales, and recommendations". In: W.F. McComas (Ed.), **Nature of science in science instruction: Rationales and strategies** (pp. 3–22). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6_1
- McComas, W.F., Clough, M.P. & Nouri, N. (2020). "Nature of science and classroom practice: A review of the literature with implications for effective NOS instruction". In: W.F. McComas (Ed.), **Nature of science in science instruction: Rationales and strategies** (pp. 67–111). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6_4
- McDonald, C.V. (2010). "The influence of explicit nature of science and argumentation instruction on preservice primary teachers' views of nature of science". **Journal of Research in Science Teaching** **47(9)**, 1137–1164. <https://doi.org/10.1002/tea.20377>
- McKinley, D.C., Miller-Rushing, A.J., Ballard, H.L., Bonney, R., Brown, H., Cook-Patton, S.C., Evans, D.M., French, R.A., Parrish, J.K., Phillips, T.B., Ryan, S.F., Shanley, L.A., Shirk, J.L., Stepenuck, K.F., Weltzin, J.F., Wiggins, A., Boyle, O.D., Briggs, R.D., Chapin, S.F., Hewitt D.A., Preuss P.W., Soukup, M.A. (2017). "Citizen science can improve conservation science, natural resource management, and environmental protection". **Biological Conservation** **208**, 15–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.05.015>
- Nouri, N. & McComas, W.F. (2021). "History of science (HOS) as a vehicle to communicate aspects of nature of science (NOS): Multiple cases of HOS instructors' perspectives regarding NOS". **Research in Science Education** **51(1)**, 289–305. <https://doi.org/10.1007/s11165-019-09879-9>
- Peleg, R., Østern, A.-L., Strømme, A. & Tsabari, A.B. (2018). "Drama as a learning medium in science education". In: O.E. Tsivitanidou, P. Gray, E. Rybska, L. Louca & C.P. Constantinou (Eds.), **Professional development for inquiry-based science teaching and learning** (pp. 65–83). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91406-0_4
- Rudolph, J.L. (2020). "The lost moral purpose of science education". **Science Education** **104(5)**, 895–906. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/sce.21590>
- Song, J., Chun, J. & Na, J. (2021). "Why people trust something other than science: Cases of acupuncture and four pillars of destiny in Korea". **Science & Education** **30(6)**, 1387–1419. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00243-w>
- Tal, T. & Kedmi, Y. (2006). "Teaching socioscientific issues: Classroom culture and students' performances". **Cultural Studies of Science Education** **1(4)**, 615–644. <https://doi.org/10.1007/s11422-006-9026-9>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s11191-018-0001-0>
- Tsybulsky, D. (2020). "Digital curation for promoting personalized learning: A study of secondary-school science students' learning experiences". **Journal of Research on Technology in Education** **52(3)**, 429–440. <https://doi.org/10.1080/15391523.2020.1728447>
- Tsybulsky, D., Dodick, J. & Camhi, J. (2018a). "High-school students in university research labs? Implementing an outreach model based on the 'science as inquiry' approach". **Journal of Biological Education** **52(4)**, 415–428. <https://doi.org/10.1080/00219266.2017.1403360>
- Tsybulsky, D., Dodick, J. & Camhi, J. (2018b). "The effect of field trips to university research labs on Israeli high school students' NOS understanding". **Research in Science Education** **48(6)**, 1247–1272. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9601-3>
- Wong, S.L., Hodson, D., Kwan, J. & Yung, B.H.W. (2008). "Turning crisis into opportunity: Enhancing student-teachers' understanding of nature of science and scientific inquiry through a case study of the scientific research in severe acute respiratory syndrome". **International Journal of Science Education** **30(11)**, 1417–1439. <https://doi.org/10.1080/09500690701528808>
- Wong, S.L., Wan, Z. & Cheng, M.M.W. (2011). "Learning nature of Science through socioscientific issues". In: T.D. Sadler (Ed.), **Socio-scientific issues in the classroom: Teaching, learning and research** (pp. 245–269). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1159-4_14
- Yarden, A., Brill, G. & Falk, H. (2001). "Primary literature as a basis for a high-school biology curriculum". **Journal of Biological Education** **35(4)**, 190–195. <https://doi.org/10.1080/00219266.2001.9655776>