

# למידת חקר באמצעות מדע אזרחי יעלה גולומביק<sup>1</sup>

בעשור האחרון הולך ומתפתח תחום חקר חדש המאגד בתוכו את חקר המדע, חקר החברה והאינטראקציות ביניהם. תחום זה נקרא מדע אזרחי, והוא משלב אזרחים-מתנדבים בביצוע מחקר מדעי אמיתי בשיתוף פעולה עם מדענים. המדע האזרחי שואף מצד אחד להרחיב את מאגרי הנתונים ולייצר ידע מדעי חדש, ומהצד השני לערב את הציבור במדע ולהגביר את שקיפותו.

## מבוא

בעשור האחרון הולך ומתפתח תחום חקר חדש המאגד בתוכו את חקר המדע, חקר החברה והאינטראקציות ביניהם. תחום זה נקרא מדע אזרחי, והוא משלב אזרחים-מתנדבים בביצוע מחקר מדעי אמיתי בשיתוף פעולה עם מדענים<sup>2</sup> (Silvertown, 2009). דוגמאות למיזמים של מדע אזרחי כוללים ניטור אקולוגי של מגוון מינים, סיווג תמונות טלסקופיות של גלקסיות רחוקות, ניטור איכות מים בנחלים ועוד. המדע האזרחי שואף מצד אחד להרחיב את מאגרי הנתונים ולייצר ידע מדעי חדש, ומהצד השני לערב את הציבור במדע ולהגביר את שקיפותו (Bonney, Shirk, & Phillips, 2013).

אכן למדע האזרחי תרומה רבה בשני תחומים אלו. מחקרים רבים מצביעים על התרומה של מדע אזרחי, ששותפים בו אזרחים לאיסוף וניתוח של נתונים מדעיים מאזורים נרחבים ולאורך זמן, נתונים אשר לא היה ניתן לאסוף ולנתח ללא סיוע מתנדבים. יעידו על כך מאות המאמרים המדעיים אשר פורסמו בעשור האחרון במגוון תחומים מדעיים (אקולוגיה, אסטרונומיה, ביולוגיה ועוד) אשר השתמשו במידע שנאסף על ידי הציבור ובעזרתו (Kullenberg & Kasperowski, 2016). במקביל, התרומה למשתתפים ולחברה מתבטאת בלמידה, ביצירת קהילות ובשימור טבע (Shirk et al.,).

(2012). המדע האזרחי יכול אף לתרום לדמוקרטיזציה של המדע ולקידום דו-שיח בין אזרחים ומדענים. יצירת דו-שיח שכזה מגבירה את האמון ההדדי, תורמת להבנה הציבורית של המחקר המדעי וחשיבותו ועשויה לכוון את המחקר המדעי לצרכים של החברה (Haywood & Besley, 2014).

## מדע אזרחי וחינוך מדעי

מעצם הגדרתו מדע אזרחי משלב משתתפים בשלב אחד לפחות של התהליך המדעי. פרקטיקה זו מספקת אפוא הזדמנות משמעותית לחינוך מדעי, בייחוד בתחום החקר (פרגסון, ר., ושות', 2017). שילוב של תלמידים במיזמי מדע אזרחי הנו בעל פוטנציאל תרומה לתלמידים במישורים רבים, אותם ניתן לחלק לשלושה תחומים עיקריים: יצירת זהות מדעית, למידה ואחריות אישית (Jordan, Crall, Gray, Phillips, & Mellor, 2015):

1. **יצירת זהות מדעית** - גיבוש תחושת מסוגלות וביטחון בקרב תלמידים באמצעות ההכרה שרוחשים להם ולפעילותם. תלמידים יראו עצמם כמדענים צעירים, בעלי חופש ואחריות לעצב ולקדם תהליכי חקר בעצמם, תוך כדי קבלת תמיכה מגורמים מקצועיים.
2. **למידה** - תוצרי הלמידה של תלמידים באמצעות מדע אזרחי הינם נרחבים ביותר, החל מלמידת תוכן, דרך למידת

1 יעלה גולומביק, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית, הטכניון.

2 לסקירה נרחבת על מדע אזרחי ראו: גולומביק, י., ברעם צברי, א., פישביין, ב., (2015). מדע אזרחי - שיתוף הציבור בביצוע מחקר מדעי. אקולוגיה וסביבה אפריל 2015, 235-226.



המשלבים איסוף נתונים מדעיים עם תוכנית הלימודים בבתי הספר. ברם, איסוף נתונים הוא רק שלב אחד במחקר המדעי, שהוא מורכב בהרבה ומשלב בין היתר שאלות, העלאת השערות, ניתוח נתונים וגיבוש מסקנות. רצוי אם כן לשלב תלמידים לא רק באיסוף הנתונים, אלא בכל שלבי המחקר המדעי. דבר זה יאפשר הסתכלות הוליסטית על תהליך החקר וגילוי אופיו המורכב והרב-גוני.

דוגמה לשילוב שכזה ניתן לראות במערכי שיעור אשר נבנו במיזם BirdSleuth<sup>3</sup> (בלשי הציפורים) של האגף החינוכי של מעבדת הצפרות באוניברסיטת קורנל, המחבר בין מיזמי מדע אזרחי של המעבדה לבין מורים ברחבי העולם. מערכי השיעור תוכננו לתמוך בפיתוח מיומנויות מדעיות בקרב תלמידים ולתת השראה לחיבור לטבע ולבתי הגידול המקומיים, ולחקר המגוון הביולוגי באמצעות מדע אזרחי. מערכי השיעור של המיזם משלבים את שלושת עמודי היסוד של ה-NGSS: רעיונות ליבה במדעי הטבע וכדור הארץ, מושגי-על כגון דפוסים ותבניות, סיבה ותוצאה ומבנים ותפקידם, וכן מיומנויות מדעיות כגון שאלות, שאלות מדעיות, פיתוח ושימוש במודלים, תכנון וביצוע חקר מדעי ועוד.

שילוב תלמידים במיזמי מדע אזרחי, אגב שימת דגש על כל שלבי החקר ועמודי היסוד המתוארים ב-NGSS, מאפשר להם לראות את החקר המדעי בשלמותו ולהגיע להבנה מעמיקה של תהליך החקר. הוא מאפשר הסתכלות הוליסטית על נושא המחקר מנקודת מבט של מדענים מחד ושל תלמידים-אזרחים מאידך. הסתכלות זו מציפה סוגיות סוציו-מדעיות - סוגיות הקשורות למדע אך שנויות במחלוקת מבחינה חברתית (כגון נושאים סביבתיים ובריאותיים) - המאפשרות הכנסת תוכן מדעי להקשר סביבתי, חברתי ואישי. קישור התוכן המדעי לבעיות, לחוויות ולאינטרסים של התלמידים הוא בעל חשיבות עליונה ומשמש לאתגור עקרונות קיימים ולקידום חשיבה מעמיקה ושיח בנושאים אלה (Zeidler, 2015). עיסוק בנושאים אלה יסייע בגיבוש אוריינות מדעית בקרב תלמידים ובהתמודדות עם מצבי חיים שתלמידים עשויים להיתקל בהם כאזרחים בוגרים.

תהליכים ומיומנויות מדעיים וכלה בלמידה על מהות המדע. השתתפות בתהליך חקר יכולה אף להקנות יכולות לגיבוש טיעונים מדעיים, שאותם יוכלו התלמידים ליישם גם בפרויקטים ובמצבים נוספים.

3. **אחריות אישית** - השתתפות בחקר אותנטי מעלה מודעות לנושאים הנחקרים ומעודדת לקיחת אחריות אישית פעילה. היא מעצימה את המשתתפים ומעודדת חשיבה מערכתית וסוכנות (agency) - תחושה כי המעשים הפרטיים של משתתף יעילים ובעלי השפעה ומשמעות). בטווח הארוך חשיבה כזו יכולה להוביל לפעלתנות של תלמידים וללקיחת חלק בפעילויות ממשק.

שלושת התחומים האלו קשורים ותלויים זה בזה. כך לדוגמה, לומדים שגיבשו זהות מדעית (Jordan et al., 2015), נוטים יותר להפנים את הלמידה המדעית. ככל שרמת המעורבות של תלמידים גדלה, כך הם מתפתחים בכל אחד מהתחומים. לכן לקיחת בעלות על תהליך החקר, פיתוח שאלות חקר חדשות וקישור המיזם ומטרותיו לחיי היומיום של התלמידים יעצימו את התהליך אף יותר (Ballard, Dixon, & Harris, 2017).

הסטנדרטים האמריקנים החדשים במדע (NGSS) (Next Generation Science Standards) מגדירים סטנדרטים להוראת מדע בבתי הספר. הם מציגים חזון שמטרתו למקסם את הלמידה המדעית על ידי שילוב ידע תוכן עם מיומנויות של חקר מדעי (National Research Council, 2014). בנוסף הם קוראים לאנשי חינוך לעצב הרגלים מדעיים אצל תלמידים, לפתח את חשיבתם המדעית ואת יכולתם לגבש טיעונים מדעיים. זאת במטרה לטפח הערכה של התלמידים למגוון הגישות המשמשות לחקר, למידול ולתיאור העולם שסביבם. מיזמי מדע אזרחי המשלבים משתתפים בביצוע חקר אותנטי בזמן אמת במטרה לענות על שאלות מדעיות אמיתיות, הינם אידיאליים ליישום סטנדרטים אלה (Bonney, Phillips, Enck, Shirk, & Trautmann, 2014).

קיימים מספר מיזמים של מדע אזרחי אשר פיתחו מערכי שיעור

<http://www.birdsleuth.org/> 3

## חשים את האוויר

דוגמה למיזם שכזה המופעל בארץ הוא מיזם המדע אזרחי **חשים את האוויר**<sup>4</sup>, אשר משתף את הציבור במחקר על איכות אוויר ומנגיש נתוני ניטור לציבור הרחב. שותפים מקרב הציבור (ובכלל זה תלמידים) מסייעים במדידות, בדיווח מפגעים, בשאלת שאלות מחקר וכן בניתוח ראשוני של נתונים.

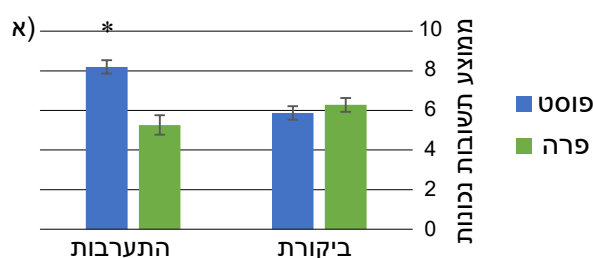
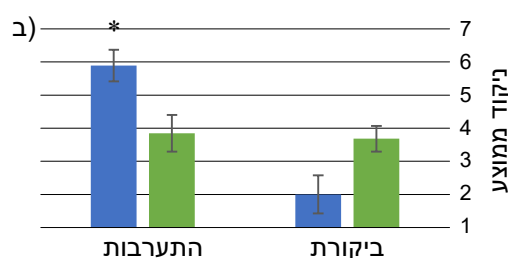
מחקר שנעשה בבתי ספר בחן את תוצרי הלמידה של תלמידים אשר השתתפו במיזם "חשים את האוויר". כחלק מהשתתפותם של בתי הספר במיזם, הותקנו חיישני איכות אוויר בחמישה בתי-ספר ברחבי העיר חיפה. מורה וקבוצת תלמידים מכל בית-ספר (סה"כ כ-50 תלמידים) השתתפו במשך כחצי שנה בשלבים שונים של המחקר המדעי, כולל תכנון מיקומי החיישנים בבית-הספר, שאלת שאלות מחקר וכן ניתוח והשוואת נתונים בין בתי-הספר ובתוכם.

במהלך המחקר נבחנו ידע, עמדות והתנהגות התלמידים כלפי נושאי איכות האוויר, וכן נבחנה חשיבתם המדעית והביקורתית באמצעות שאלונים שהועברו לפני ואחרי המחקר ובשילוב תצפיות וראיונות. ממצאי המחקר מעידים כי העובדה שתלמידים השתתפו במיזם וביצעו עבודות חקר במסגרתו, הגדילה את הידע של התלמידים על איכות האוויר ושיפרה את חשיבתם המדעית ואת יכולתם לפתח שאלות מחקר (Golombic, Baram-Tsabari, & Fishbain, 2016) (איור 1). תלמידים ציינו כי השתתפותם במיזם הגבירה את מודעותם לבעיות זיהום האוויר בארץ, להבנתם את הנושא המורכב ותרמה ללקיחת אחריות אישית. דוגמה לכך ניתן לראות בדברי אחד התלמידים: "השתתפותי בפרויקט

תרמה לי ידע נרחב ומודעות על זיהום האוויר בעיר, והיא חשובה לי. אני אלך לעיתים קרובות ברגל ולא ברכב, אשמור על איכות הסביבה ואעביר את המידע שרכשתי הלאה". שתי פעילויות שצינו התלמידים כמהנות במיוחד היו מפגש עם מדען איכות אוויר מהטכניון ופעילות ניטור שביצעו בקבוצות על מנת לבחון את השערותיהם המוקדמות לגבי איכות אוויר בהתבסס על מפת האזור. פעולות אלו אשר מחברות את התלמידים למחקר שנעשה כיום בתחום איכות האוויר בארץ, היו המשמעותיות ביותר עבורם, העצימו אותם ותרמו לחוויה הכללית של השתתפותם במיזם. ממצאי המחקר מצביעים על תרומתם של התלמידים בהבניית ידע ובגיבוש עמדות המבוססות על ידע ועל חשיבה ביקורתית, ומצביעות על יתרונות אפשריים בשילוב אזרחים רבים בפרויקט מסוג זה. קיימים מיזמים נוספים ורבים של מדע אזרחי המקרבים את התלמידים למחקר המדעי. אלו כוללים מיזמים בתחום הניטור האקולוגי, ניטור סביבתי, סיווג זיהוי תמונות ועוד (גולומביק, ברעם צברי, ופישביין, 2015).

## מבט קדימה

כאמור, ישנם יתרונות רבים לשילוב מדע אזרחי בבתי ספר. הוא תורם לתלמידים במישורים רבים ומכשיר אותם להיות אזרחים מודעים, אוריינים, אשר מסוגלים לקבל החלטות מושכלות ולהתחשב במגוון שיקולים: מדעיים, חברתיים וסביבתיים. אך כמו בכל תהליך חינוכי, על מנת להשיג את מגוון התוצאות שצינו במאמר זה, דרושה עבודה לא מבוטלת. חשוב להגדיר מטרות בתחומים ובכיוונים המעניינים את התלמידים, להכווין את התלמידים לקראתן, ללוות אותם לכל אורך הדרך, לאפשר להם



איור 1 - ציון ממוצע בשאלוני ידע בנושאי איכות אוויר (א) ובשאלוני חשיבה מדעית (ב) לפני ואחרי השתתפותם במיזם חשים את האוויר.

Bonney, R., Shirk, J., & Phillips, T. B. (2013). Citizen Science. *SpringerReference*, 1-3.

Golumbic, Y. N., Baram-Tsabari, A., & Fishbain, B. (2016). Increased knowledge and scientific thinking following participation of school students in air-quality research. In *Proceedings of Indoor Air 2016*.

Haywood, B. K., & Besley, J. C. (2014). Education, outreach, and inclusive engagement: Towards integrated indicators of successful program outcomes in participatory science. *Public Understanding of Science*, 23(1), 92-106. <http://doi.org/10.1177/0963662513494560>

Jordan, R., Crall, A., Gray, S., Phillips, T., & Mellor, D. (2015). Citizen science as a distinct field of inquiry. *BioScience*, 65(2), 208-211. <http://doi.org/10.1093/biosci/biu217>

Kullenberg, C., & Kasperowski, D. (2016). What is citizen science? - A scientometric meta-analysis. *PLoS ONE*, 11(1), 1-16. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0147152>

National Research Council. (2014). *Developing Assessments for the Next Generation Science Standards*. Washington, DC: The National Academies Press. <http://doi.org/https://doi.org/10.17226/18409>.

Shirk, J. L., Ballard, H. L., Wilderman, C. C., Phillips, T., Wiggins, A., Jordan, R., ... Bonney, R. (2012). Public Participation in Scientific Research: A Framework for Deliberate Design. *Ecology and Society*, 17(2). <http://doi.org/10.5751/ES-04705-170229>

Silvertown, J. (2009). A new dawn for citizen science. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(9), 467-71. <http://doi.org/10.1016/j.tree.2009.03.017>

Zeidler, D. (2015). Socioscientific Issues. In *Encyclopedia of Science Education* (pp. 998-1003). Dordrecht: Springer Netherlands. [http://doi.org/10.1007/978-94-007-2150-0\\_314](http://doi.org/10.1007/978-94-007-2150-0_314)

לקחת חלק פעיל בכל שלב ושלב ולפתח אחריות להתפתחות החקר.

מחקר חדש בחן השתתפות תלמידים בשלושה מיזמי ניטור של מדע אזרחי בארצות הברית במסגרות בית ספריות ובפעילויות קיץ. החוקרים זיהו בפעילותם של התלמידים שלושה תהליכים מרכזיים אשר תרמו לגיבוש אמצעים להשגת מטרה משותפת בקרב תלמידים: איסוף נתונים קפדני, הפצת ממצאים מדעיים בקרב קהלים חיצוניים וחקירה של מערכות חברתיות-אקולוגיות מורכבות (Ballard et al., 2017). ממצאים אלו מחזקים את הטענה כי שילוב תלמידים במדע אזרחי הנו יעיל ביותר כאשר התלמידים מעורבים בשלבים רבים ככל האפשר של החקר המדעי ומשלבים זאת עם שיח מדעי-חברתי.

אנו נמצאים כיום בתחילתו של תהליך של שילוב מדע אזרחי בבתי הספר<sup>5</sup>. כגודל הפוטנציאל של המדע האזרחי, כך גם גודלו של האתגר בשילוב נושא מורכב שכזה בבתי הספר. על המורים להיות לא רק צינור להעברת הידע המדעי, אלא שותפים, מנחים ומדריכים בתהליך ארוך טווח, תהליך אשר מחבר בסופו של דבר את המדע לחיים.

## רשימת ספרות

גולומביק, י., ברעם צברי, א., ופישביין, ב. (2015). מדע אזרחי - שיתוף הציבור בביצוע מחקר מדעי. *אקולוגיה וסביבה*, אפריל 2015, 226-235.

פרגסון, ר., ברזילי, ש., בן-צבי, ד., צ'ין, ק., הרודוטו, כ., הוד, י., ... ווייטלוק, ד. (2017). דו"ח פדגוגיות חדשניות 2017: האוניברסיטה הפתוחה (בריטניה) דוח 6. מילטון קיינס: האוניברסיטה הפתוחה, בריטניה.

Committee on Out-of-School Time STEM. Washington, DC. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.675.5590&rep=rep1&type=pdf>

5 לצורך כך מוקם בימים אלו מרכז מצוינות לשילוב מדע אזרחי בבתי הספר (TCSS - Taking Citizen Science to Schools) המרכז מוקם בשילוב הטכניון ואוניברסיטת חיפה ומטרתו לבחון כיצד מדע אזרחי יכול להוות בסיס לפריצת גבולות מסורתיים בתוך בית הספר ובין בית הספר והחברה, ולעודד למידה משמעותית. לפרטים נוספים על המרכז ולהצטרפות לפעילותה - <https://www.tcass.center>, ראו כתבה בסוף גיליון זה.