

קהילה מקדמת מדע - מדע אזרחי והחינוך המדעי

ד"ר שרה קלצ'קו¹

מהם המאפיינים של תכניות מדע אזרחי ובתחומי פעולתן?
מה הופך תכנית מדע אזרחי למחקר מדעי טוב?
מהי התרומה שיכולה להיות למדע אזרחי לחינוך המדעי?

במאמר זה נדון בקצרה במאפיינים של תכניות מדע אזרחי ובתחומי פעולתן, נבחן מה הופך תכנית מדע אזרחי למחקר מדעי טוב ונדון בתרומה שיכולה להיות למדע אזרחי לחינוך המדעי באמצעות דוגמאות.

רקע כללי

הרוב המכריע של תכניות מדע אזרחי (מעל 90%) עוסק בביצוע סקרים מסוגים שונים שבמסגרתם מסייעים אזרחים למדענים באיסוף נתונים.

המונח **מדע אזרחי** נטבע אמנם רק לפני שנים אחדות, אבל פעילות של אזרחים כמדענים חובבים מוכרת מזה שנים רבות. אחת התכניות הראשונות היא **ספירת הציפורים של חג המולד** שאורגנה בארצות הברית עוד בחודש דצמבר של שנת 1900 על ידי האגודה הלאומית של אודובון (National Audubon Society). את התכנית יזם פרנק צ'פמן במטרה להחליף ציד מסורתי של עופות שהיה נהוג באזור כחלק מחגיגות חג המולד. מאז ועד היום מתבצעת ספירת הציפורים על ידי צוותי מתנדבים הפועלים באופן מתואם זה עם זה בספירת

המונח מדע אזרחי נכלל לראשונה במילון אוקספורד באנגלית בחודש יוני 2014. למונח ניתנה ההגדרה הבאה: **מחקר מדעי המבוצע על ידי האזרחים, לעתים קרובות בשיתוף פעולה עם מדענים או בניהולם של מדענים ומוסדות מדעיים. האזרח מוגדר כמדען חובב המבצע מחקר מדעי מתוך תחושת אחריות לשרת את האינטרסים של הקהילה הרחבה (ולא רק את הקהילה המדעית, ש.ק.).**

הגדרה זו מעוררת כמה שאלות:

- איזה עניין יש למדענים להיעזר באזרחים במחקרים שלהם?
- איזו הכשרה נדרשת מאזרחים הרוצים להשתתף במדע אזרחי?
- אילו קשיים מעורר שיתוף אזרחים במחקרים מדעיים?
- לאילו תחומי דעת מתאים מדע אזרחי והאם אינו פוגע במהותו של המחקר המדעי?
- איזו תועלת מביא מדע אזרחי לקהילה בכלל ולמערכת החינוך בפרט?
- עד כמה מתאים מדע אזרחי ללימודי המדעים בבתי הספר?

ש.ק: הערת המחברת ד"ר שרה קלצ'קו

¹ ד"ר שרה קלצ'קו היא מנחה סטודנטים לתואר שני במכללת סמינר הקיבוצים בתכניות "חינוך סביבתי" ו"טכנולוגיה בחינוך", מנחה מורים למדע וטכנולוגיה בבית הספר היסודי ומפתחת תכניות לימודים.
² סקירה מקיפה של תכניות מדע אזרחי ומאפייניהן אפשר למצוא במאמר הבא: גולומביק, י', ברעם-צברי, א', פישביין, ב'. (2015). מדע אזרחי - שיתוף הציבור בביצוע מחקר מדעי, אקולוגיה וסביבה 6 (1): 14-23.

התכניות פועלות בהיקפים שונים, החל במחקרים מקומיים (למשל, שימור אוכלוסיית הצבים בנחל אלכסנדר או ניטור איכות מים בנחלים ואוויר באזורים עירוניים מזהמים) דרך מחקרים ברמה הלאומית (למשל, חקר המגוון הביולוגי בכלל מדינה בעולם) ועד למחקרים המתבצעים בקנה מידה עולמי (למשל, השפעת השינויים באקלים על עולם החי בחמשת היבשות, חקר מינים פולשים ונדידת בעלי חיים ביבשות שונות).

הרוב המכריע של תכניות מדע אזרחי (מעל 90%) עוסק בביצוע סקרים מסוגים שונים שבמסגרתם מסייעים אזרחים למדענים באיסוף נתונים. ברוב התכניות, מדענים הם האחראיים על הגדרת מטרת המחקר, שאלות המחקר, תכנון וביצוע המחקר ואופן איסוף הנתונים ועיבודם, אבל יש תכניות (אם כי רק מעטות) שבהן המתנדבים לוקחים חלק פעיל גם בתכנון המחקר (Steven, Kristina & Rebecca, 2012).

הגורמים שהביאו לגידול מואץ במספרן של תכניות מדע אזרחי

לצד ההתפתחות הטכנולוגית, גברה ההכרה בקרב מדענים שלשיתוף ציבור האזרחים במחקרים יש עוצמה רבה.

הגידול המואץ במספר התכניות של מדע אזרחי נבע במידה רבה מההתפתחות המואצת של טכנולוגיות המידע והתקשורת בסוף המאה ה-20 ובמיוחד התפתחות רשתות חברתיות וטכנולוגיות ניידות (טלפונים סלולריים ומחשבי לוח) מתחילת המאה ה-21. לטכנולוגיות אלה כמה מאפיינים חשובים:

- נגישות וזמינות גדולה של מידע ולהשגתו בקלות על ידי כל אחד ואחת מכל מקום במרחב ובזמן (Levine, 2013). הזמינות של מידע ברשת מאפשרת לספק לאזרחים חומרי הדרכה הנחוצים לביצוע מחקרי שדה מסוגים שונים כמו למשל, מדריכים דיגיטליים ומגדירים למינים ספציפיים של צמחים ובעלי חיים המצויים באתרי המחקר ומסייעים למתנדבים לזהותם.
- תקשורת בין משתמשים רבים המסייעת להעברה קלה של מידע וליצירת קהילות מסוגים שונים. תרמה לכך במיוחד התפתחות רשתות חברתיות בעשור הראשון של המאה ה-21. השימוש ברשתות התקשורת וברשתות החברתיות מאפשר העברה מהירה של מידע על התכניות ועל הנתונים שהציבור מוזמן לסייע באיסופם.

ציפורים במעגלים ברדיוס של 15 מייל במשך יום אחד בתקופת חג המולד. בכל שנה מתועדים כ-2000 מעגלים כאלה. הנתונים הנאספים מוצגים במסד נתונים באתר של האגודה הלאומית של אודובן ועומדים לרשות כל המעוניין. בעשור הראשון של המאה ה-21 כבר השתתפו בספירת הציפורים עשרות אלפי אנשים שספרו יותר מ-60 מיליוני ציפורים. הנתונים שנאספים בתכנית במשך שנים רבות משמשים למעקב אחר מגמות במצבן של ציפורים בצפון אמריקה. עד כה פורסמו כ-350 מאמרים מדעיים על בסיס הנתונים שנאספו במחקר לאורך השנים.

תכנית ניטור דומה פועלת באנגליה כבר משנת 1932 בהנהגת הרשת הלאומית לשימור המגוון הביולוגי. נתונים שנאספו במשך כל השנים, ברובם על ידי אזרחים, נשמרים במאגר הנתונים שהרשת אחראית עליו. במאגר נמצאים היום עשרות מיליוני נתונים על יותר מ-27,000 מינים של בעלי חיים וצמחים החיים באי הבריטי, רובם נאספו על ידי אזרחים.

מה גרם, אם כן, לצורך בהגדרה פורמלית של תחום המתייחס לתכניות מחקר מדעי שאזרחים מעורבים בהן?

הצורך בכך עלה עקב גידול מואץ במספרן של תכניות ניטור ומחקר מדעי בהשתתפות אזרחים, מתחילת המאה ה-21 ובמיוחד מתחילת העשור השני של המאה ה-21. כיום מוצעות מאות רבות של תכניות במגוון גדול של תחומים:

- **אסטרונומיה:** פרויקטים של NASA - ספירת מטאוריטים כדי לזהות את מקורם, איסוף נתונים על רטיבות קרקע כדי לבחון אם מכשור המותקן בלוויין הוא מהימן ומספק תוצאות אמינות.
- **גיאולוגיה:** איסוף נתונים על רעידות אדמה.
- **ארכיאולוגיה:** חקר מאובנים.
- **אקולוגיה וסביבה:** שינויים באקלים כדור הארץ, חקר עופות, מינים פולשים, שימור המגוון הביולוגי, ניטור איכות מים ואוויר וגורמים המשפיעים עליהם ועוד.
- **רפואה:** חקירת חיידקים במערכת העיכול, חקירת תהליכים המתרחשים ברשתית בעין האדם) ועוד.

בשנים האחרונות מתפתחות תכניות מדע אזרחי גם בתחום הבוטניקה וחקר הזוחלים.

תכניות של מדע אזרחי מתאימות לחקירת תופעות ותהליכים רחבי היקף בטבע הדורשים איסוף כמות גדולה מאוד של נתונים בטווח רחב של מקומות ובתי גידול לאורך שנים רבות ואפילו כמה עשרות שנים (Bhattacharjee, 2005; Devictor, et al, 2010; Societize) (Project, 2013).



מטרתו של המחקר המדעי היא להסביר תופעות ותהליכים המתרחשים בטבע ויש לו מהלך מקובל. המחקר מתחיל בניסוח שאלות מחקר והשערות מחקר שבדיקתן מצריך איסוף נתונים. המחקר מתבסס על ידע קיים (תאוריה מקובלת בתחום) ובוחר אם ממצאי המחקר עולים בקנה אחד עם הידע הזה. כל מחקר צריך להתבצע בשיטות אמינות שמאפשרות חזרה עליהן וקבלת תוצאות חוזרות. אחד ההיבטים החשובים במחקר המדעי הוא פרסום הממצאים והעמדתם לבחינתם של מדענים אחרים (הערכת עמיתים – peer review).

נשאלת אפוא השאלה: האם כל תכנית של מדע אזרחי עומדת בדרישות של מחקר מדעי? מתי ייחשבו מחקרים המתבססים על מדע אזרחי למדע אמיתי? בפועל מתברר, שבמחקרים המתבצעים במתכונת של מדע אזרחי ומתבססים על איסוף נתונים על ידי אזרחים קיימים קשיים המעלים שאלות לגבי התוקף והמהימנות של ממצאיהם:

- תכניות רבות של מדע אזרחי אינן זוכות לפרסום מדעי בעיתונות מדעית המשמשת את הקהילה המדעית ומאפשרת בחינה ביקורתית של תהליכי המחקר ושל ממצאיהן.
- חוסר ניסיון מספיק של חוקרים בביצוע מחקרים מדעיים בעזרת הציבור. מדענים המשתתפים בביצוע תכניות מדע אזרחי מעידים על עצמם שהם לומדים תוך כדי עשייה (Silvertown, 2009).
- מחקרים המתמקדים באיסוף נתונים בעל היקף רחב מתבססים בעיקר על ניטור ותצפיות ולא על ניסויים שמאפשרים מהלך מבוקר הבודק קשר בין משתנים. כדי לתת תוקף לממצאיהם נעזרים החוקרים בניתוחים סטטיסטיים מורכבים.
- המעורבות העמוקה של אזרחים שאינם מומחים באיסוף הנתונים מעוררת שאלה עד כמה מהימנים הנתונים הנאספים על ידם (Galloway et al, 2006, Cohn, 2008, Haklai, 2010, Thornton et al, 2013) מהימנות הנתונים, חשובה במיוחד כאשר איסוף הנתונים כרוך במיומנויות ספציפיות, כגון זיהוי מדויק שלמינים. ייתכן גם חוסר דיוק בגלל חוסר הבנה של מושגים מדעיים (Hart et al., 2012). איכות הנתונים הנאספים על ידי מתנדבים תלויה גם בשונות בין המתנדבים: ברמת המיומנות שלהם, בפערים ביניהם (McCaffrey, 2005) ובגיל המתנדבים. תיתכן הטיית נתונים במקרים שבהם המתנדבים חסרי הכשרה מתאימה בפרוטוקולי המחקר והניטור, בעיקר בתכניות מחקר מורכבות. דו"ח מחקר שפורסם על

- נוחות באיסוף נתונים הנחוצים למחקר מכל מקום ובכל זמן באמצעות טלפון נייד ואפליקציות מתאימות או קישור לאינטרנט. השימוש בטכנולוגיות אלה מאפשר גם לראות תוצאות ולהגיב להן בזמן אמת (Cooper, Dickinson, Philips & Bonney, 2007); חקירת תבניות קרקע על המאדים – מחקר של NASA). אפליקציות שפותחו לטכנולוגיות הניידות מאפשרות איסוף נוח של נתונים תלויי מקום, לדוגמה, ניטור של בעלי חיים ועקבותיהם בחמש היבשות ומעקב אחר מסלולי נדידה.
- שימוש באפליקציות המתבססות על שימוש באזרחים ובסמלים ללא טקסט כתוב, מאפשר שיתוף קבוצות אזרחים (בעיקר שבטים באזורים מרוחקים) שחבריהם אינם יודעים קרוא וכתוב ולסייע במעקב אחרי בעלי חיים במקומות שהם גרים בהם.
- אפשרות לעבד כמויות גדולות של נתונים (Big Data) כמו אלה הנאספים על ידי מתנדבים רבים.

לצד ההתפתחות הטכנולוגית, גברה ההכרה בקרב מדענים שלשיתוף ציבור האזרחים במחקרים יש עוצמה רבה. הציבור מהווה מקור בלתי נדלה של כוח עבודה ושל מיומנויות בתחומים שונים. כמעט כל מחקר שזקוק לאיסוף כמות גדולה של נתונים בשדה בטווח גיאוגרפי רחב (כמו המעקב אחר שינויים באקלים, אחר מינים פולשים במדינות שלמות ובאזורים שונים בעולם) יכול להצליח רק בסיוע מתנדבים (Silvertown, 2009). הצלחת מחקרים מסוג זה דורשת יצירת שיתוף פעולה בין ארגונים וגופים רבים הפועלים על פי אותם פרוטוקולים לאיסוף נתונים (הפרוטוקולים מגדירים איך, היכן ומתי יש לבצע את איסוף הנתונים) וגם כאן יש לרשת האינטרנט תפקיד מרכזי.

מדע אזרחי ומחקר מדעי

ההסתייגויות שעוררו מחקרים שבוצעו במתכונת של מדע אזרחי הובילו למאמץ של גופים המובילים תכניות של מדע אזרחי לנסח כללים להתנהלות מדעית ראויה שתיתן תוקף מדעי למחקרים.

ריבוי התכניות של מדע אזרחי והצורך שהתעורר לתת להן הגדרה ושם עלולים לעורר רושם מוטעה כאילו נוצר כאן משהו חדש שלא היה קיים קודם לכן אך אין זה כך המדע האזרחי אינו חדש אלא שכיום נעשה מאמץ לעגן אותו בתהליכים וגישות המאפיינים את המחקר המדעי.

בדיקת מהימנות הנתונים הנאספים על ידי מתנדבים הפכה לנוהל נפוץ ומקובל. בוצעו כבר לא מעט מחקרים שבהם הושו נתונים שנאספו על ידי מדענים מומחים לאלה שנאספו על ידי מתנדבים. במחקרים שהיה בהם צורך בזיהוי בעלי חיים וצמחים התעוררו פערים. תוצאות מחקר שערכה ליפשיץ (2014) הראו שמתקבל מידע מהימן לגבי זיהוי של כ-41% מתוך 21 הציפורים הנפוצות בסביבה העירונית. מידת הדיוק בזיהוי של ציפורי סבך (כגון: צופית, ירגזי ובולבול) על ידי חובבנים הייתה נמוכה בהשוואה לזיהוין על ידי המומחים, אך במקרים אחרים נמצאה הלימה טובה. במקרים שהיו פערים כיסה ריבוי הנתונים שמתנדבים אספו על הפערים האלה (Shwartz et al, 2014).

להערכת ההישגים המדעיים של תכניות מדע אזרחי מציעה המעבדה לחקר העופות באוניברסיטת קורנל כמה מדדים (Bonney, 2009):

- מספר המאמרים שפורסמו בעיתונים מדעיים מקובלים שיש בהם הערכת עמיתים.
- מספר הציטוטים של המאמרים שפורסמו בעיתונות המדעית.
- מספר החוקרים שנעזרו במדע אזרחי ופרסמו את ממצאיהם בעיתונות מדעית מקובלת.
- תקציבים שמדענים מצליחים לקבל לצורך ביצוע תכניות של מדע אזרחי.
- מסדי נתונים המשמשים לתכניות של מדע אזרחי (מספרם, גודלם ואיכותם).
- מספר תלמידי המחקר המבצעים עבודות מחקר על בסיס תכניות של מדע אזרחי.
- תדירות החשיפה במדיות שונות של הממצאים שהושגו בתכניות מדע אזרחי.

ידי שירות הפארקים הלאומיים של ארצות הברית מראה שפרויקטים מסוימים עשויים שלא להתאים למתנדבים. למשל, כאשר הם משתמשים בשיטות מחקר מורכבות או דורשים עבודה מפרכת או כוז שחוזרת על עצמה. בנוסף, בחירת אתרי המחקר על ידי המתנדבים אינה אקראית מאחר שהם בוחרים לרוב לאסוף נתונים באזורים עירוניים או בשמורות טבע הסמוכות למקום מגוריהם.

יש גם לא מעט מקרים שבהם מדענים מצמצמים דרישות כדי לקבל נתונים רבים יותר ובכך יוצרים פשרה הפוגעת באיכות המחקר.

ההסתייגויות שעוררו מחקרים שבוצעו במתכונת של מדע אזרחי הובילו למאמץ של גופים המובילים תכניות של מדע אזרחי לנסח כללים להתנהלות מדעית ראויה שתיתן תוקף מדעי למחקרים. אחד המוסדות המובילים בתחום זה הוא המעבדה לחקר עופות באוניברסיטת קורנל (CLO= Cornell Lab of Ornithology) המשתפת כבר עשרות שנים את הציבור במחקרים שהיא מבצעת. חוקרים הפועלים במסגרת המעבדה טוענים שפיתוח ויישום של שיתוף הציבור בתכניות שמטרתן להשיג תוצאות בעלות ערך מדע וערך חינוכי דורש תכנון מוקדם. הם מציינים תפיסה לפיה יש לבנות צוות רב תחומי של מומחים ולשלב בתכניות של מדע אזרחי פרוטוקולים יציבים לאיסוף נתונים שכבר נבדקו והוכחה התאמתם לקהל היעד ולצורכי המדענים. יש לבדוק את מהימנות הנתונים הנאספים בעזרת מדענים מומחים בתחום הנחקר (Bonney, 2009). המעבדה מציעה דגם בן תשעה שלבים לתכנון וביצוע של תכניות מדע אזרחי (ראו פירוט של הדגם במסגרת).

שלבים בפיתוח תכנית של מדע אזרחי

- בחירת שאלת מחקר.
- הקמת צוות מומחים רב תחומי (מדענים/מידענים/מומחי מחשוב והערכה/אנשי חינוך).
- הכנת פרוטוקולים, טפסים לאיסוף הנתונים וחומרי הדרכה לציבור הרחב, וביצוע מחקר חלוץ עם אוכלוסיית מתנדבים מצומצמת לבדיקת איכותם.
- גיוס מתנדבים.
- הכשרת המתנדבים.
- איסוף הנתונים, עריכתם והצגתם.
- ניתוח הנתונים ומתן פרשנות לממצאים.
- הפצת התוצאות ופרסומן במסגרות שונות (עיתונים מדעיים נחשבים ומסגרות המיועדות לציבור הרחב).
- הערכת תוצאות התכנית.



תרומה אפשרית של תכניות מדע אזרחי לחינוך מדעי

השתתפות במחקרים מדעיים של ממש יכול לתרום רבות לפיתוח מיומנויות החקר של התלמידים ולמשיכתם לעיסוק במדע הן כחובבים והן כחוקרים מקצועיים בעתיד.

תכניות הלימודים במדעים מדגישות את הצורך לעסוק במסגרת תהליכי הלמידה בחקר מדעי שיהיה אותנטי ורלוונטי לעולמם של התלמידים, שיתבצע במתכונת דומה לזו שבה פועלים המדענים וישקף היטב את מהות המדע (Nature of Science).

רבים מהמורים יכולים להפיק תועלת רבה מקשר עם מדענים – בעיסוק בנושאים מדעיים אותנטיים ורלוונטיים שיעוררו עניין בקרב התלמידים. השתתפות במחקרים מדעיים של ממש יכול לתרום רבות לפיתוח מיומנויות החקר של התלמידים ולמשיכתם לעיסוק במדע הן כחובבים (למשל צפרים חובבים או חוקרי זוחלים ופרפרים חובבים) והן כחוקרים מקצועיים בעתיד. השתתפות בביצוע מחקרים המתוכננים על ידי מדענים במסגרת תכניות של מדע אזרחי יכול לתת מענה טוב לצורכי מערכת החינוך. אלא שכדי להפיק תועלת של ממש ממחקרים כאלה מן הראוי לבחור בתכניות שהן בגדר "מדע טוב" – יש להם בסיס תאורטי ושאלות מחקר ברורות ומובחנות. התכניות צריכות גם לתת מענה הולם לצורכי המורים והתלמידים כמפורט להלן:

- קבוצת הגיל של התלמידים המתאימים לביצוע התכנית מוגדרת באופן ברור.
- ניתן מענה לפיתוח מיומנויות החקר של התלמידים בהתאם לגיל ולתכנית הלימודים של אותה קבוצת גיל.
- מוצעות תכניות הכשרה מתאימות למורים ולתלמידים.
- ניתנים חומרי הדרכה מותאמים לגיל. הנחוצים לביצוע המחקר (רצוי גם באמצעים מקוונים)
- ניתנת תמיכה במהלך ביצוע המחקר. אם באמצעות קשר ישיר עם צוות החוקרים ואם באמצעות מענה על שאלות נפוצות.
- התכנית מתוכננת לכמה שנים לפחות ויש בה התפתחות דינמית.
- התכניות מציעות אפשרות לתרגול המידע הדרוש ולבחירת יכולת התלמידים לבצע את איסוף הנתונים כנדרש בשילוב אמצעים להמחשת הממצאים באופן אינטראקטיבי, תוך הצגת הנתונים הנאספים על ידי התלמידים עם נתונים קודמים.

תרומת מדע אזרחי ליחס של הציבור למדע ולסביבה

שיתוף האזרחים בביצוע מחקרים בתכניות של מדע אזרחי בתחומי הביולוגיה והסביבה יכול לקרב אותם לטבע, לפתח אצלם יחס חיובי יותר לסביבה ולשנות את תפיסותיהם ועמדותיהם של כלפי הסביבה.

מתנדבים המשתתפים במחקר אזרחי חווים חוויית למידה בלתי פורמלית התורמת לשיפור האוריינות המדעית שלהם (הבנת תכנים מדעיים ותהליך החקר המדעי ושיפור מיומנויות החקר) ומפתחים בהם עמדות חיוביות יותר כלפי המדע. פעילות כזו יכולה להביא הגדלת מספרם של האנשים הבוחרים לעסוק במדע כמקצוע.

שיתוף האזרחים בביצוע מחקרים בתכניות של מדע אזרחי בתחומי הביולוגיה והסביבה יכול לקרב אותם לטבע, לפתח אצלם יחס חיובי יותר לסביבה ולשנות תפיסות ועמדות של האזרחים כלפי הסביבה (Deaborn & Kark, 2009). שימור המגוון הביולוגי והממשק הנחוץ לניהול מושפעים, בין היתר, מפעולות של אנשים פרטיים, מגזרים עסקיים וקהילות שונות, שלוקחים חלק בניהול הממשק, הודות לתהליך חינוכי שהם עברו ותרם להם לפיתוח מודעות סביבתית ואזרחות פעילה ואחראית. הגדרה מקובלת של אזרחות סביבתית היא: טיפוח אזרחים בעלי כלים (ידע, מודעות וכלי חשיבה) שמאפשרים להם, ואפילו מעודדים אותם, לנקוט עמדה אחראית ופעילה למען ניהול נכון של הסביבה. על מנת לטפח אזרחות סביבתית יש לשלב תהליכי הוראה-למידה בגישת האוריינות הסביבתית שהיא אחת הדרכים להבניית ידע והרגלי חשיבה, אשר תומך באקטיביזם הסביבתי. חינוך בגישה זו מוביל להכשרת אזרחים מודעים ורגישים לסביבה, בעלי ידע והבנה בסיסית בנושאי סביבה, אכפתיים, בעלי עמדות חיוביות כלפי הסביבה, ומוטיבציה לפעול לשימור הסביבה ולשיפור באמצעות תהליכים של פתרון בעיות (טל, 2009). דיווחים של אזרחים בארצות הברית הראו כי חתולים כפריים הורגים יותר ממיליארד יונקים קטנים ומאה מיליון ציפורים בכל שנה. נתון זה, שנאסף על ידי אזרחים, פורסם לאחר מכן בכתיב עת מדעיים והופץ בין כל משתתפי המחקר, השפיע על עמדות של אזרחים ושל קובעי מדיניות.

דוגמה: השפעת שינויים באקלים על תהליכים אבולוציוניים בשבלולים מפוספסים

מובאת להלן דוגמה לתכנית מדע אזרחי המתאימה להגדרות אלה. התכנית עוסקת בחקר תהליכים אבולוציוניים ובהתאמה לסביבה - תחום שאין בו הזדמנויות רבות לתלמידים לבצע חקר מדעי.

תכנית ניטור רחבת היקף בשם *Evolution Megalab* בוצעה באירופה בשנת 2009 לכבוד יובל 300 שנים להולדת צ'ארלס דרווין. הניטור בדק ריבוי צורות (פולימורפיזם) בקונכיות של שבלולים מפוספסים (תמונה 1). אלה הם שבלולים קטנים המצויים בגינות ביתיות רבות ובפארקים, בדרך כלל מתחת לגדר חיה של שיחים. צבעי הקונכיה מקנים לשבלולים הסוואה כהגנה מפני טריפה.

מדענים החוקרים בעל חיים זה במשך יותר מ-30 שנים, צברו ידע מדעי רב שהתאים לעקרונות הברירה הטבעית שעליה מושתתת התאוריה המקובלת של האבולוציה:

- המדענים מצאו שקונכיות בעלות צבעים כהים נפוצות יותר ביערות שבהם צבע הרקע כהה בעוד שאצל שבלולים המתקיימים באזורים של צמחייה עשבונית צבע הקונכיה נוטה להיות בהיר יותר – צהוב או מפוספס יותר. החוקרים סבורים שהשינוי בצבע נובע מתהליך אבולוציוני של התאמה לסביבה.



תמונה 1: שבלולים מפוספסים

- השבלולים נטרפים בעיקר על ידי ציפור שיר בשם קיכלי (תמונה 2).



תמונה 2: איור של קיכלי

במקומות מסוימים באירופה הצטמצמה אוכלוסיית הקיכלים בשלושים השנים האחרונות. החוקרים שיערו שהירידה במספר הקיכלים תפחית את לחץ הטריפה על השבלולים ולכן תגדל תפוצתם בבתי גידול שבעבר לא נמצאו בהם.

- בנוסף, החוקרים יודעים ששבלולים בעלי קונכייה כהה נפוצים יותר באזורים צפוניים מאשר באזורים דרומיים. בקונכייה הכהה נבלע יותר חום בחשיפה לקרינת השמש בהשוואה לקונכייה הבהירה. צבע כהה של קונכייה מקנה לשבלולים יתרון לקיום באזורים צפוניים. ולכן בתהליך הברירה הטבעית, שורדים שבלולים בעלי קונכייה כהה יותר משבלולים בעלי קונכייה בהירה והם נפוצים יותר באזורים קרים. מאידך גידול באוכלוסיית השבלולים בעלי קונכייה בהירה באזורים צפוניים יותר יכול לשמש עדות למגמת התחממות האקלים באזורים אלה, משום שעם העלייה בטמפרטורה קל גם לבעלי קונכייה בהירה להתקיים באזורים אלה.

המחקר בדק שתי שאלות:

1. האם יש קשר בין השינויים בתפוצה של שבלולים בהירים לירידה בגודל אוכלוסיית הקיכלים?
2. האם השינויים באקלים בעקבות התחממות כדור הארץ גורמים לשינוי בתפוצה של שבלולים בעלי הקונכייה הבהירה?

התשובה לשתי שאלות אלה ניתנה באמצעות תכנית של מדע אזרחי. החוקרים מבקשים ממתנדבים ממדינות שונות באירופה לאסוף נתונים על השבלולים המפוספסים באזור מגוריהם או בסביבת בית הספר. הנתונים הנאספים על ידי כל מתנדב/ת מוזרמים לאתר התכנית ומושויים אוטומטית לאלפי נתונים שנאספו על ידי החוקרים במשך כל שנות המחקר. כל שינוי שאותר באזור שממנו מוזרמים הנתונים מוצגים לפני המתנדבים שאספו אותם.

הנתונים הנאספים על ידי מתנדבים מאפשרים לחוקרים לבחון אם חל גידול במספרם של השבלולים הבהירים באזורי יער בעלי רקע כהה. כל עוד חיו באזורי היער קיכלים, היו שבלולים בעלי קונכייה בהירה מתגלים בקלות ונטרפים על ידי הקיכלים, היעלמות הקיכלים מאפשרת גם לבעלי קונכיות בהירות לשרוד באזורי יער אלה.

שינויים באקלים המתבטאים בהתחממות כדור הארץ, גורמים לעלייה בטמפרטורה באזורי היער



בסיס תיאורטי מובחן וברור, היא מציגה שאלות והשערות מחקר ברורות, היא מציעה מסגרת מסודרת להצגת הנתונים בזמן אמת. הממצאים שהושגו על ידי החוקרים במהלך מחקרם פורסמו בעיתונים מדעיים ויש להניח שגם הממצאים שייאספו במסגרת התכנית של מדע אזרחי יפורסמו בהמשך. התכנית נותנת מענה גם להיבטים של לימודי המדעים. מוגדרת קבוצת הגיל ונושא הלימוד שהתכנית מציעה, היא נמשכת מספר שנים רב וצפויה להימשך עוד לאורך שנים. יש לה בסיס נתונים מסודר ואמצעים לניתוח הנתונים הנאספים והמחשבים, היא מספקת חומרי הדרכה מקוונים (מידע על הקיכלי ועל השבלולים, הסבר על אופן איסוף הנתונים ושליחתם לאתר) ותמיכה מקוונת.

וכתוצאה מכך גם שבלולים בעלי קונכיות בהירות יכולים לשרוד בהם. צבע קונכיה כהה נתן יתרון לשבלולים רק כל עוד הטמפרטורות באזורי היער היו נמוכות יותר ולכן בתהליך הברירה הטבעית הם שרדו ואילו השבלולים הבהירים נכחדו. עם העלייה בטמפרטורה אין כבר יתרון לשבלולים הכהים ולכן גדל מספרם של השבלולים בעלי הקונכיה הבהירה.

במחקר יכולים להשתתף תלמידים בגילים שונים כל עוד הם ממלאים בקפדנות אחר הוראות ביצוע הניטור המוצגות באתר התכנית.

תכנית החקר של השבלולים המפוספסים עונה על הדרישות של ביצוע מחקר מדעי "טוב". יש לתכנית

סיכום

אין עדיין תמימות דעים בין החוקרים על מידת המהימנות והאיכות של מחקרים מדעיים המתבצעים באמצעות תכניות של מדע אזרחי. נדרש ניסיון רב יותר בתחום שיאפשר לראות אם התכניות עומדות בסטנדרטים המדעיים הנדרשים.

בתחילת המאמר הוצגו כמה שאלות על מדע אזרחי. לסיכום נבחן אילו תשובות מוצעות במאמר לכל אחת מהן:

1. איזה עניין יש למדענים להיעזר באזרחים במחקרים שלהם?

תכניות של מדע אזרחי מוצעות בנושאים הדורשים איסוף נתונים רחב היקף מבחינת הזמן והמרחב. מדענים יכולים לבצע מחקרים כאלה רק בסיועם של אזרחים והודות להתפתחות הטכנולוגית המואצת, מתאפשר שיתוף אזרחים רבים מכל רחבי העולם.

2. איזו הכשרה נדרשת מאזרחים הרוצים להשתתף במדע אזרחי?

ההכשרה הנדרשת תלויה באופי התכנית. רוב התכניות מיועדות לקהל הרחב וכל המעוניין מוזמן להשתתף בהן. בהתאם לכך, הדרישות מהמשתתפים

אין מורכבות או מסובכות מדי. רוב התכניות מציעות תכניות הכשרה למשתתפים אם באמצעים מקוונים ואם במפגשים פנים אל פנים. כל התכניות מציעות חומרי הדרכה מתאימים המיועדים לסייע למשתתפים באיסוף הנתונים והעברתם לחוקרים.

3. אילו קשיים מעורר שיתוף אזרחים במחקרים מדעיים?

הבעיה העיקרית היא מהימנות הנתונים הנאספים על ידי המתנדבים שאינם מומחים בתחומים הנחקרים. המהימנות נפגעת מסיבות שונות: חוסר הבנה של הוראות איסוף הנתונים, קשיים בזיהוי מינים נחקרים, בחירת אתרי מחקר משיקולים של נוחות ולא משיקולים מדעיים, חוסר אחידות בדיווח על ידי משתתפים שונים, דיווח מוטא בגלל נטייה של מתנדבים לדווח על דברים מעוררי עניין (כמו הופעה של פרפר או ציפור נדירים) ולא לדווח על תופעות שגרתיות (הופעת מינים נפוצים או העדר פרטים בזמן התצפית). כדי להתמודד עם קושי זה פותחו אמצעים אחדים: תרגול המשתתפים בזיהוי מינים באמצעות משחקים מקוונים, בדיקת הנתונים הנאספים וסינון תוצאות בלתי סבירות, ביצוע מקביל של איסוף נתונים על ידי מומחים במקביל למתנדבים ובדיקת ההתאמה ביניהן.

לארגון הנתונים ולניתוח מדעי שלהם. נדרשת עבודה שיתופית של צוותים רב תחומיים, השקעה ניכרת של מומחיות ומשאבים שלא תמיד עומדים לרשות גופים שונים. נדרשת הכשרה טובה של המשתתפים במחקר כדי שיוכל להשיג את המטרות המדעיות והחינוכיות. עד כה לא נצבר די ניסיון בפיתוח והפעלת התכניות במסגרות הטכנולוגיות המתחדשות. גם אין עדיין תמימות דעים בין החוקרים על מידת המהימנות והאיכות של מחקרים מדעיים המתבצעים באמצעות תכניות של מדע אזרחי. נדרש ניסיון רב יותר בתחום שיאפשר לראות אם התכניות עומדות בסטנדרטים המדעיים הנדרשים.

עד כה בוצעו רק מחקרים מעטים על תרומתן של תכניות מדע אזרחי למסגרות חינוך שונות בכלל ולמידת מדעים כחלק מתכנית הלימודים בפרט. מחקרים מסוג זה יוכלו לסייע לפיתוח תכניות המתאימות לצורכי החינוך המדעי בבתי הספר בגילים שונים וגם במסגרות אחרות.



תמונה 3: סקרי ציפורים בשיתוף ציבור בישראל, באדיבות שלומית לפשיץ



תמונה 4: ההשפעה החינוכית של השתתפות במיזם הספירה על תלמידים, באדיבות שלומית לפשיץ

4. לאילו תחומי דעת מתאים מדע אזרחי והאם אינו פוגע במהותו של המחקר המדעי?

התכניות מוצעות רק בתחומי דעת המתבססים על ביצוע תצפיות, בדרך כלל פשוטות שאינן דורשות ציוד מתוחכם - חקר בעלי חיים, אקולוגיה, מדעי הסביבה ובמדעי האטמוספירה. לא ניתן לבצע תכניות אלה בתחומים של מדעים מדויקים, בנושאים הדורשים ביצוע ניסויים ובמקרים שבהם נדרש ציוד מדעי מתקדם. עם זאת מחקרים מראים שגם ביצוע תצפיות מדעיות פשוטות אינו פשוט לציבור הרחב הנשען על ידע שמקורו בהתנסות יום יומיות ודורש הכשרה מתאימה (Eberbachand & Crowley, 2009). אין עדיין תמימות דעים בין החוקרים על מידת המהימנות והאיכות של מחקרים מדעיים המתבצעים באמצעות תכניות של מדע אזרחי. נדרש ניסיון רב יותר בתחום שיאפשר לראות אם התכניות עומדות בסטנדרטים המדעיים הנדרשים.

5. איזו תועלת מביא מדע אזרחי לקהילה בכלל ולמערכת החינוך בפרט?

השימוש בטכנולוגיות חדשניות במסגרת התכניות והאפשרות ליצור קשרים עם קהלים ותרבויות שונות בעולם, מעוררות עניין והתלהבות רבה בקרב קהלים רחבים, במיוחד אצל הצעירים חובבי הטכנולוגיה. השתתפות בתכניות מדע אזרחי יכולה לתרום לקירוב הציבור הרחב בכלל, ושל תלמידים ומורים ללימודי מדעים בפרט, להגביר את העניין בטבע ואת המעורבות של הציבור בשמירה על הסביבה ולהשפיע על מקבלי ההחלטות בנושאים הנוגעים לשמירה על הסביבה.

6. עד כמה מתאים מדע אזרחי ללימודי המדעים בבתי הספר?

השתתפות במחקרים במסגרת המדע אזרחי יכולה לתרום לפיתוח מיומנויות חקר מדעי ולהבניית ידע מדעי. מדע אזרחי מציע מסגרת הולמת לפיתוח מסגרות של למידה שיתופית ועשוי לתרום למשיכת לומדים ללימודי המדעים. עם זאת, נדרשת בדיקה שקולה וזהירה בבחירת כל תכנית שרוצים לשלבה במסגרת לימודי המדעים בבתי הספר בקבוצות גיל שונות. חשוב להבטיח שיש לתכנית בסיס מדעי איתן וכי היא נותנת מענה לצרכים של המורים והתלמידים כדי לבצעה היטב ולהפיק ממנה תהליכי למידה מוצלחים.

תכנון וביצוע של תכניות מדע אזרחי דורשים שימוש בכלים טכנולוגיים מתקדמים לבניית מסדי נתונים

מקורות

- Haklay, M. (2010). **How good is volunteered geographical information? A comparative study of Open Street Map and Ordnance Survey datasets.** *Environment and Planning B: Planning and Design* 37(4): 682–703.
- Hart, A., Stafford, R., Goodenough, A., & Morgan, S. (2012). **The role of Citizen Science and volunteer data collection in Zoological research.** Hindawi Publishing Corporation International Journal of Zoology. Article ID 105345.
- Levin, I. (2013). **Academic Education in Era of Digital Culture.** Proc. of the Int. Conf. SMART 2013 – Social Media in Academia: Research and Teaching, June 6-9, Bacau, Romania, Medimond - Monduzzi Editore Int. Proc. Division, Bologna, Italy, ISBN 9788875876869
- McCaffrey, R.E. (2005). **Using Citizen Science in Urban Bird Studies.** *Urban Habitats*. 3 (1). p. 70-86.
- Silvertown, J. (2009). **A new dawn for citizen science,** *Trends in ecology and evolution*, Volume 24, Issue 9, p467–471
- Socientize Project (2013-12-01) (2013). **Green Paper on Citizen Science: Citizen Science for Europe - Towards a better society of empowered citizens and enhanced research.** Socientize consortium
- Steven, G', Kristina, N', & Rebecca, J'. (2012). **Lessons Learned from Citizen Science in the Classroom.** *Democracy & Education*. Vol. 20, no. 2.
- Shwartz, A', Turbé, A', Simon, L'. & Julliard, R'. (2014). **Enhancing urban biodiversity and its influence on city-dwellers: An experiment.** *Biological Conservation* DOI: 10.1016/j.biocon.2014.01.009
- Thornton, T', & Leahy, J'. (2012). **Trust in citizen science research: a case study of the groundwater.** *Journal of the American water resources association*. Vol. 48, no. 5.
- גולומביק, י', ברעם-צברי, א', פישביין, ב'. (2015). מדע אזרחי - שיתוף הציבור בביצוע מחקר מדעי. אקולוגיה וסביבה 6 (1): 14-23
- טל, ט', פלד, ע', אברמוביץ, ע'. (2010). פיתוח מאבחינים (אינדיקטורים) לבחינת ההשפעה של פעילות בחינוך סביבתי על מודעות והתנהגות סביבתית של תלמידים בבית הספר היסודי ובתיכון. דוח מחקר, המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים, טכניון.
- ליפשיץ, ש'. (2014). מיזם ספירת ציפורי בר בחצר בשיתוף ציבור - אמצעי ממשקי וחינוכי לשמירת מגוון ביולוגי בעיר, עבודת גמר לתואר מוסמך, אוניברסיטת תל-אביב.
- “Oxford English Dictionary List of New Words”. Oxford English Dictionary. Retrieved 13 September 2014.
- Bhattacharjee, Y. (2005). **Citizen Scientists supplement work of Cornell researchers.** *Science* 308: 1402-1403.
- Bonney, R., Cooper C .B., Dickinson, J., Kelling, S., Phillips, T., Rosenberg, K .V. & Shirk, J. (2009). **Citizen Science: A development Tool for Expanding Science Knowledge and Scientific Literacy.** *BioScience*, Vol 59 (No 11), pp 977-984
- Cohn, P. (2008). **Citizen Science: Can Volunteers Do Real Research?** *American Institute of Biological Sciences. Bio Science*. 58(3), 192-197.
- Cooper, B., Dickinson, J., Phillips, T., & Bonney, R. (2007). **Citizen Science as a tool for conservation in residential ecosystems.** *Ecology and Society* 12.
- Dearborn, D. C., & Kark, S. (2009). **Motivation for Conserving Urban Ecosystems.** *Conservation Biology*, DOI: 10.1111/j.1523-1739.2009.01328.x
- Devictor, V., Whittaker, R. J., & Beltrame, C. (2010). **Beyond scarcity: citizen science programmes as useful tools for conservation biogeography.** *Diversity and Distributions*, 16, 354-362
- Galloway, A. W. E., Tudor, M. T. & Vander Haegen, W. M. (2006). **The Reliability of Citizen Science: A Case Study of Oregon White Oak Stand Surveys.** *Wildlife Society Bulletin*, 34(5): 1425-1429.