

יעלה גולומביק

המחלקה לחינוך למדע וטכנולוגיה,
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

אילת ברעם-צברי

המחלקה לחינוך למדע וטכנולוגיה,
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

ברק פישביין

הפקולטה להנדסה אזרחית
וסביבתית, הטכניון – מכון טכנולוגי
לישראל

מאמר זה עבר שיפוט עמיתים

ציטוט מומלץ

גולומביק י, ברעם-צברי א ופישביין
ב. 2015. מדע אזרחי – שיתוף
הציבור בביצוע מחקר מדעי.
אקולוגיה וסביבה 6(1): 14–23.



Uintas Pika Watch – מחקר שימור טבע הנערך בהרי היואיטה בארה"ב, נעזר בתלמידי בתי ספר מקומיים לסקר מיני צומח וחי. בהתבסס על המחקר משוחזרים עם התלמידים על השפעות שינוי האקלים במערכות האקולוגיות בסביבתם | צילום: Erin Moulding / Flickr CC

מדע אזרחי – שיתוף הציבור בביצוע מחקר מדעי

11 באפריל, 2015

גיליון אביב 2015 / כרך 6(1)

[סקירות](#)

על קצה המזלג

- שיתוף הציבור בביצוע מחקר מדעי מקדם את הבנתנו המדעית את העולם, תורם למדען הנדרש לאיסוף כמויות גדולות של נתוני שדה על פני שטח גאוגרפי רחב, ולאזרח שלומד נושאים חדשים ומצטרף למעגל חברתי חדש.
- ההשפעה המשמעותית ביותר כיום של המדע האזרחי על המחקר האקולוגי היא בתחום ניטור המגוון הביולוגי.
- השתתפות של אזרחים במחקרים מדעיים וסביבתיים יכולה לתרום רבות להבנת העולם שאנו חיים בו, וכן לעזור במציאת פתרונות להגנה על הסביבה.
- לא רק שמיזמי מדע אזרחי תורמים משמעותית לטיב המחקר המדעי, אלא אף יש להם יכולת לקרב בין העולמות, המרוחקים בדרך כלל, של המדענים ושל הציבור הרחב.

המערכת

תקציר

מיזמים לשיתוף הציבור בביצוע מחקר מדעי מתרבים בעשור האחרון ברחבי העולם ומציעים הזדמנויות רבות לאזרחים-מתנדבים להיות מעורבים במדע באופן פעיל. שיתוף זה, המכונה "מדע אזרחי" (Citizen Science), מקיף תחומים מדעיים רבים ובהם אסטרונומיה, ביולוגיה, פיזיקה ואקולוגיה. המגוון הרב בנושאי המחקר וברמות המעורבות של הציבור הביאו להתגייסותם של מאות אלפי משתתפים ברחבי העולם, והובילו לגילויים מדעיים חדשים, כמו גלקסיות חדשות ותפוצת ציפורים. מתנדבים מהציבור משתתפים בתכנון מחקרים, באיסוף נתונים מהשטח ובניתוח נתונים, ונעזרים באתרי אינטרנט וביישומים ייעודיים המכילים חומרי לימוד, פרוטוקולים ומאגרי מידע מתוקשבים. תרומת המדע האזרחי משמעותית מאוד בתחום האקולוגיה והסביבה, והציבור משתתף באיסוף נתוני אקלים, בניטור אוכלוסיות של בעלי חיים וצמחים ובניטור מקורות מים. ניתוח מידע נרחב זה תורם לזיהוי מינים נדירים, להבנת מערכות יחסים בטבע, להבנת מבנה בתי גידול ומערכות אקולוגיות וכן לזיהוי השלכות שינוי האקלים על הטבע.

בסקירה זו נציג את התפתחות המדע האזרחי בעולם, ונסקור סוגי פעילות הכלולים בו ואת תרומתם למדע, לאזרחים המשתתפים ולחברה כולה. כמו כן, נציג את הקשיים והמגבלות שמדע אזרחי מעורר. זיהוי גלקסיות במיזם "גן החיות של הגלקסיה", מציאת חלופות לקיפול חלבונים במשחק Foldit ומדידת איכות האוויר בחיפה במיזם "חשים את האוויר" הם חלק מהמיזמים המוצגים בסקירה זו. תחום זה, שפרח בעולם בעשור האחרון נמצא עדיין בתחילת דרכו בארץ. הפוטנציאל הגדול של מדע אזרחי להבנת מערכות סביבתיות מורכבות ולשמירה עליהן מעודד אותנו לפתח ולהעמיק מחקר זה בישראל.

מבוא

מדע אזרחי משלב אזרחים-מתנדבים בביצוע מחקר מדעי בנושאים ובתחומים מגוונים מעולם המדע. מאמר זה עוסק במדע אזרחי כהתפתחות חדשה בנוף של המדע המודרני, המתאפיין כיום בהתמחות ובהתמקצעות. מיזמי מדע אזרחי אלה מכוונים לכלל הציבור, ובהם מתנדבים מרחבי העולם המשתתפים במיזמים של ניטור תופעות אקלימיות, איכות מים, תפוצת ציפורים וגילוי כוכבי לכת וגלקסיות חדשות [5, 25]. המיזם הוותיק והמוכר ביותר הוא ספירת הציפורים לכבוד חג המולד (Christmas Bird Count), שנוסד בדצמבר 1900 כחלופה לתחרויות ירי בציפורים, שהתנהלו בארה"ב בחג המולד בכל שנה. בתחילת המאה ה-20 המודעות לשימור המינים הייתה מזערית, ומשקיפים וחוקרי ציפורים רבים חששו לאוכלוסיית הציפורים שנמצאה בירידה מתמדת. המיזם זכה להצלחה רבה וממשיך להתקיים עד היום בהשתתפותם של עשרות אלפי תצפיתנים מדי שנה [4]. שיתוף פעולה שכזה, בין חוקרים מקצועיים לבין הציבור הרחב, במיזמים המתוכננים ומותאמים לצורכי שני הקהלים, הוא דוגמה להתאמה של המדע האזרחי לימינו: המדע אינו רק נחלתם של יחידים סגולה, אלא נגיש לכלל הציבור המעוניין.

יתרונם של מחקרי מדע אזרחי הוא בתרומתם הן למדען הן לאזרח. המדען זוכה לרוב לעזרה באיסוף נתונים או בניתוחם, תרומה מהותית מאוד עבורו, במיוחד כאשר מדובר על מחקר סביבתי בקנה מידה גדול, הדורש איסוף כמויות גדולות של נתוני שדה על פני שטח גאוגרפי רחב. האזרח זוכה להשתתף באופן פעיל במחקר מעניין, לתרום למדע, ללמוד נושאים חדשים ולהצטרף למעגל חברתי חדש. התועלת ההדדית יוצרת שיתופי פעולה חדשים בין החוקרים לציבור, ומחקרים הראו ששותפות ארוכת טווח מביאה עמה יתרונות רבים אף להגנת הסביבה, לחברה ולממשל [22, 23].

כיום, מתנהלים מאות מחקרים, המשלבים את הציבור בביצוע מחקר מדעי, באוניברסיטאות ובמכוני מחקר ברחבי העולם. התפתחויות טכנולוגיות חדשות, ובייחוד האינטרנט, תרמו רבות ליכולת איסוף נתונים ועיבודם על-ידי הציבור הרחב. אתרי אינטרנט נעשו כלי מרכזי בהסבר על מיזמים ובקידומם, וכן כלי נוח לאיסוף נתונים מהציבור ולהפצה של הנתונים ותוצאות המחקרים בחזרה לציבור. לטכנולוגיות ניידות, כגון טלפונים חכמים, יתרונות רבים במיזמים מסוג זה, שכן הן מאפשרות איסוף והזנה של נתונים בזמן אמת, קבלת מידע מבוסס מיקום (בעזרת טכנולוגיית הג'י-פי-אס), ויכולת להוסיף תמונות שעוזרות באימות הנתונים. כל אזרח שיש ברשותו טלפון חכם נעשה משתתף פוטנציאלי במחקר, ויכול בלחיצת כפתור להשתתף במחקרים העוסקים בניטור בעלי חיים, צמחים, מזג אוויר ועוד.

במאמר זה נסקור סוגים שונים של מיזמי מדע אזרחי שמתנהלים כיום בעולם, נציג את המודלים השונים לדרגת שיתוף הציבור במחקרים אלה ואת תרומתם למדע, לאזרחים ולחברה. מטרתנו היא להראות כי התפתחות המדע האזרחי, בייחוד בתחום האקולוגיה והסביבה, היא בעלת פוטנציאל גדול להבנת הביולוגיה והאקולוגיה של העולם שסביבתנו ולמציאת דרכים יצרניות לשמירה עליו.

זודלים לשיתוף הציבור בביצוע מחקר מדעי

מחקר מדעי הוא מחקר שיטתי, המתבסס על עקרונות של צפייה, ניסוי והסקת מסקנות, ונועד להגיע לגילויים חדשים ולספק הסברים מעשיים לתופעות הנראות בטבע. תהליך המחקר כולל שלבים רבים, ובהם: קביעת שאלות מחקר, פיתוח השערות מחקר, תכנון שיטות לאיסוף נתונים, איסוף נתונים, הסקת מסקנות ושאלות חדשות. מחקרים מדעיים המשתפים את הציבור נבדלים זה מזה ברמת המעורבות של הציבור בשלבי המחקר השונים וברמת השליטה שיש למשתתפים על מהלך המחקר [12, 5]. נהוג למיין את דרגות שיתוף הציבור בשלבים השונים של תהליך המחקר לשלוש רמות [5]:

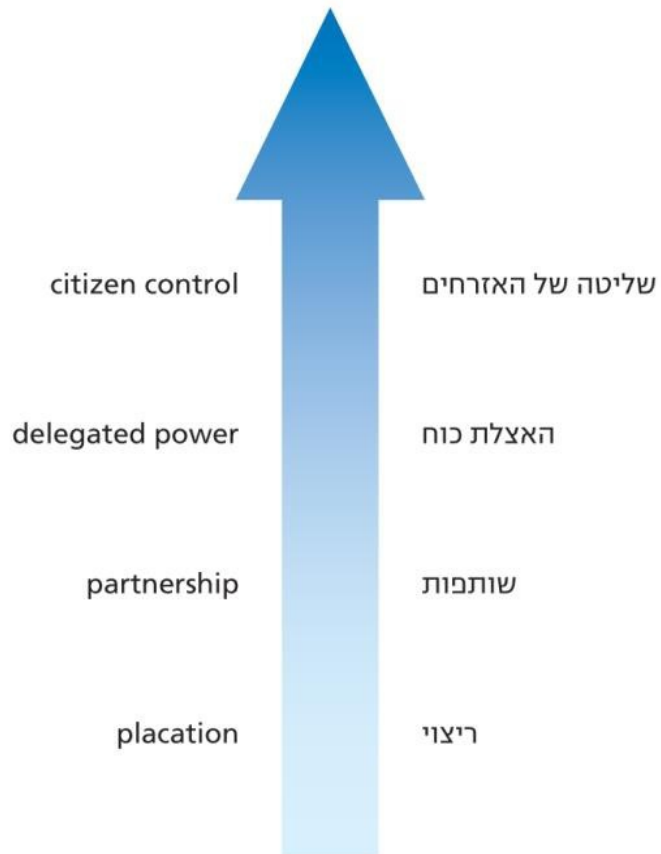
1. מחקר מסייע (contributory) – מחקר המתוכנן על-ידי מדענים, ומערב את הציבור בעיקר בשלב איסוף הנתונים.
2. מחקר שיתופי (collaborative) – מחקר המתוכנן לרוב על-ידי מדענים, אך מערב את הציבור גם בשלב איסוף הנתונים וגם בשלבי ניתוח הנתונים והסקת המסקנות. המשתתפים במחקר זה עשויים אף לסייע במידת מה בשלב התכנון.
3. מחקר ביצירה הדדית (co-created) – מחקר המתוכנן בשיתוף פעולה בין המדענים והציבור, והציבור (או לפחות חלק מהציבור המשתתף) מעורב ברוב שלבי המחקר או בכולם.

מעל 90% ממחקרי המדע האזרחי הפעילים כיום הם מחקרים מסייעים [21]. במחקרים אלה מנסחים החוקרים שאלות מדעיות שכדי לענות עליהן נדרשות כמויות נרחבות של מידע על פני שטח גדול ולאורך זמן. מתנדבים מהציבור מסייעים באיסוף נתונים מהשטח על פי הנחיות ופרוטוקולים, שנקבעו על-ידי המדענים מתכנני המחקר, ומשדרים נתונים בחזרה לחוקרים באמצעות אתרי אינטרנט או יישומים ייעודיים. החוקרים המקבלים את המידע, מבצעים ניתוח של הנתונים, ועל פי רוב מפרסמים את ממצאיהם חזרה למתנדבים בצורה ברורה ונגישה לציבור "לא מומחה". נמצא שרמת המעורבות של הציבור במחקרי מדע אזרחי גבוהה ביותר במיזמים מקומיים. משום כך, רוב המחקרים במודלים שיתופיים או ביצירה הדדית הם מיזמים קטנים באזורים מוגדרים [21]. ניקח לדוגמה מיזם ביצירה הדדית של ניטור איכות המים בנחל שרמן בפנסילבניה, ארה"ב, שייסדו מתנדבים המתגוררים סמוך לשמורה שחששו לפגיעה סביבתית בנחל הזורם באזור מגוריהם. כתוצאה משיתוף פעולה של הארגון עם חוקרים מהמחלקה ללימודי סביבה במכללת דיקינסון שבפנסילבניה, הוקם מערך מחקר ארוך טווח לניטור מדדי איכות המים בשמורה. המתנדבים שהוכשרו על-ידי המדענים, תרמו במציאת חומר רקע לתכנון המחקר, בבחירת שאלות מחקר וכן באיסוף ובניתוח של דגימות מים על-ידי בדיקות של פרמטרים פיזיקליים וכימיים של המים. הנתונים שנאספו גובשו יחד לדו"ח נרחב שכלל תמצית של הממצאים והמלצות להמשך. ארגון התושבים השתתף בפעילות ציבורית שכללה מפגשים עם הרשויות, פיתוח תכנית שימור ותכנית הגנה במקרה של זיהום, וכן היה שותף בעתירה למדינה לשדרוג מערכת המים בנחל [27].

יתן לסווג את רמת מעורבות הציבור גם לפי יכולת המשתתף להשפיע על הפעילות לפי מידת שיתוף הציבור ladder of (citizen participation) (איור 1), המאמץ שהושקע בפעילות [20, 9], מספר המשתתפים [21] או דרגת שיתוף המתנדבים במחקר [12] (איור 2). כמו כן, ניתן להגדיר בתוך כל מיזם רמת מעורבות אישית: למיזם בודד יכולים להצטרף משתתפים בעלי רמת מעורבות נמוכה לצד משתתפים המשקיעים זמן ומאמצים רבים [12]. מיזמים של מדע אזרחי ניתנים לחלוקה גם על פי גישות המיזם ומטרותיו (פעולה, שמירת טבע, חקר, וירטואלי, חינוכי) [26]. דרכים שונות לסיווג מיזמים של מדע אזרחי מודגמות בטבלה 1.

איור 1. סיווג רמת מעורבות הציבור על פי יכולת המשתתף להשפיע על הפעילות, לפי סולם שיתוף הציבור של Arnstein^[3]

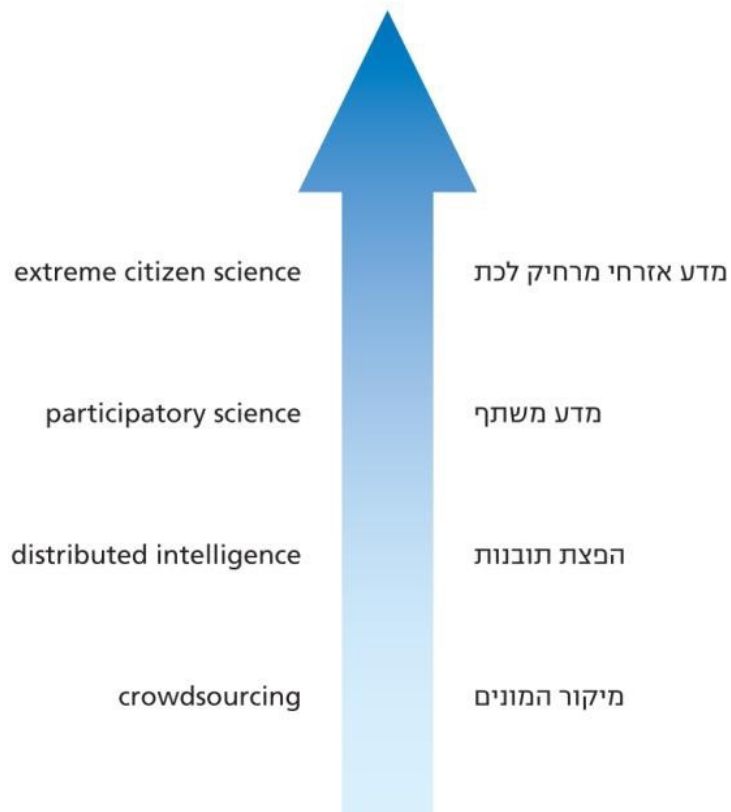
יכולת המשתתפים להשפיע על הפעילות



איור 1
סיווג רמת מעורבות הציבור על פי יכולת המשתתף להשפיע על הפעילות, לפי סולם שיתוף הציבור של Arnstein^[3]

איור 2. סיווג רמת מעורבות הציבור על פי דרגת שיתוף המתנדבים במחקר [12]

דרגת שיתוף המתנדבים במחקר



איור 2. סיווג רמת מעורבות הציבור על פי דרגת שיתוף המתנדבים במחקר [12]

טבלה 1. הצעות לדרכי סיווג של מיזמי מדע אזרחי

שם המיזם	דרך סיווג	דרגת שיתוף הציבור ^[12]	דרגת שיתוף המתנדבים במחקר ^[13]	גישות המיזם ומטרותיו ^[12]	מספר המשתתפים ודרגת המעורבות ^[12]	יכולת המשתתף להשפיע על הפעילות שהוא מעורב בה ^[12]
גן החיות של הגלוקסיה	מסייע	הפצת תובנות	וירטואלי	מסייע המוני	ריצוי	
FoldIt	מסייע	הפצת תובנות	וירטואלי	מסייע המוני	ריצוי	
ניטור מושיתיים	מסייע	הפצת תובנות	חקר	מסייע המוני	ריצוי	
חשים את האוויר	שיתופי	מדע משתף / מיקור המונים	חקר / פעולה	שיתופי מקומי	שותפות	
מיזם ניטור איכות המים בנחל שרמן	יצירה הדדית	מדע אזרחי מרחיק לכת	פעולה	יצירה הדדית מקומית	שליטה של האזרחים	

טבלה 1

הצעות לדרכי סיווג של מיזמי מדע אזרחי

דוגמאות לסוגי מיזמים של שיתוף הציבור בביצוע מחקר מדעי בעולם

מחקרים מדעיים בשיתוף הציבור נערכים בתחומי דעת רבים, בהם אסטרונומיה, ביולוגיה, בריאות, אקולוגיה, פיזיקה ומדעי הסביבה. המיזמים המגוונים מציעים לציבור בחירה רחבה לגבי נושא המחקר. אתרים כגון [Zooniverse](#) ו-[SciStrater](#) מציעים לציבור בחירה בין מאות מיזמים, המבקשים את עזרתם בקידום המחקר המדעי בעולם. המיזמים המוצגים באתרים אלה הם בעלי תפוצה גדולה במיוחד, ומשתתפים בהם אלפי אנשים מכל העולם. התפוצה הרחבה וכן המגוון הגדול של סוגי המיזמים הם גורמים משמעותיים בהצלחת המדע האזרחי. נוסף על הנושא הנחקר המשתנה בין המיזמים, המגוון במדע אזרחי בא לידי ביטוי גם בסוגים השונים של המיזמים ובצורת פעולתם – סיווג תמונות, איסוף דגימות ואפילו משחקים ברשת. הדוגמאות הבאות משקפות את המגוון הקיים בקרב מיזמים במדע אזרחי:

המיזם "גן החיות של הגלקסיה" (Galaxy Zoo), העוסק באסטרונומיה ומתאים למודל המסייע, הוא מאמץ מקוון שהושק בשנת 2007 וקבע סטנדרט חדש למיזמי מדע אזרחי^[7]. במהלך המיזם התבקשו משתתפים לסווג תמונות של גלקסיות לפי קטגוריות ולציין את כיוון סיבובן באמצעות יישום מקוון, וזאת כדי לתרום להבנת המבנה והאבולוציה של היקום. היענות הציבור הייתה עצומה, ועשרה ימים לאחר השקת האתר התקבלו שמונה מיליון סיווגים של גלקסיות, שביצעו אזרחים מתנדבים. החוקרים נדהמו מההיענות הגבוהה, אך גם מהדיוק המדעי שהתקבל בדרך זו – דיוק שהחוקרים לא הצליחו לקבל בכל ניסיונות הפיתוח של תוכנות מחשב לאותה המטרה. המתנדבים במיזם אף יכלו ליצור קשר עם החוקרים ולשלוח שאלות ותשובות ומדעיות באמצעות פורום מקוון, שהוסיף נדבך של מעורבות ותרומה של הציבור.

מחקרים רבים בתחום המדע האזרחי מבקשים מהמתנדבים ל"צאת לשטח" ולאסוף דגימות למדידה ולניטור. כזה הוא למשל מיזם מדידת המשקעים (CoCoRaHS) שסווג למודל המסייע, שיזם המרכז לבקרת אקלים באוניברסיטת קולורדו בארה"ב. מטרת המיזם היא לאסוף מספר רב של מדידות משקעים (גשם, שלג וברד) ברחבי ארה"ב וסביבתה כדי לספק מידע איכותי על משאבי הטבע למחקר, למטרות חינוך ולרשויות העירוניות. לאחר כ-15 שנות פעילות CoCoRaHS הוא כיום המאגר הגדול ביותר של נתוני משקעים בארה"ב, והוא מספק מידע לשירותים המטאורולוגיים וההידרולוגיים הלאומיים, למשרד החקלאות ועוד. כל המידע ניתן לצפייה בזמן אמת באתר המיזם, לשימוש הכלל^[8].

סוג נוסף של מדע אזרחי, שצובר פופולריות רבה בשנים האחרונות, משלב משחקי מחשב, המתוכננים לפתור חידות אמתיות במדע. המשחקים, המעוצבים ברמה גבוהה ומתוכננים לספק חוויה מהנה לשחקנים, נעזרים למעשה בשחקנים עצמם לפתרון בעיות מורכבות במדע. המשחק הפופולרי Foldit, שמשתייך גם הוא למודל המסייע, פותח באוניברסיטת וושינגטון בארה"ב, והוא דוגמה למשחק שצבר מעל 100,000 משתתפים מכל העולם, שעוזרים בבניית מודלים של מבנה חלבונים. במהלך המשחק מייצרים השחקנים מבנים של חלבונים, ומתפעלים אותם בעזרת ארגז כלים אינטראקטיבי הכולל נימור וערבוב רכיבים של החלבון. השחקנים יכולים לשתף את המבנים שבנו ולהמשיך לבנות מודלים של שחקנים אחרים, וכך לעזור אחד לשני ולמדענים בבניית מבנה החלבון התואם ביותר את צורכי המדענים. המשחק צבר לזכותו גילויים של מבני חלבון חדשים למדע, וכן אלגוריתמים מתוחכמים שנבנו על בסיס תבניות משחק, המשמשים לתכנון תרופות למחלות שונות (בהן איידס). בפרסומים המדעיים, שגם עיתונים מדעיים בעלי שם נכללים בהם (כגון Nature), מופיעים גם שחקני Foldit כמחברים^[9,17].

התפתחות טכנולוגיית הג'י-פי-אס בעשור האחרון הובילה ליצירת מאגרי מפות חדשים הנבנים על בסיס מידע גאוגרפי הנשלח ממתנדבים (VGIS – Volunteered Geographic Information System). טכנולוגיה זו מאפשרת איסוף מידע ויצירת מאגרי מידע מבוסס מיקום בתחום מדעי הסביבה, המגוון הביולוגי, ארכיטקטורה ועוד, והוספת שכבות מידע מגוונות המתעדכנות בזמן אמת. במחקר חלוץ שנערך בעיר קופנהגן בדנמרק הוצמדו חיישני איכות אוויר למספר זוגות אופניים בזמן נסיעתם בעיר. החיישנים דיווחו נתונים מבוססי מיקום של מזהמי אוויר שונים, ובעזרתם נבנתה מפה עירונית של רמות זיהום, נמצאו קשרים בין מזהמים שונים לבין הטמפרטורה וכן נמצאה השפעת טופוגרפיה על תנודות ברמות המזהמים^[16]. מחקר זה פותח חלון הזדמנויות נוסף לשיתוף אזרחים במחקר על מידע מבוסס מיקום.

טבלה 2 מציגה שלל מיזמים נוספים, המייצגים מדע אזרחי בתחומי מחקר שונים. כפי שניתן לראות, המבחר והגיוון במיזמים גדול, ועל כן הפוטנציאל שלהם לקידום המדע נרחב. ניתן לצפות באתרי האינטרנט של המיזמים בתוצאות המחקר, המוצגות בעזרת גרפים ומפות אינטראקטיביות, וכן ליצור קשר עם המדענים המעורבים באופן אישי. טכנולוגיות חדשות מאפשרות

שילוב נתוני חישה עם תצפיות, הצגת נתונים בזמן אמת, שילוב יכולות מתחום הרשתות החברתיות, ניתוח וזיהוי תמונה ועוד.

טבלה 2. דוגמאות מן העולם למיזמים של מדע אזרחי בתחומי מחקר שונים

שם המיזם	תחום	מטרת המיזם	דרגת שיחוף הציבור	אתר אינטרנט
American Gut	מיקרוביולוגיה	בדיקת הרכב החיידקים בגוף האדם	מסייע	www.humanfoodproject.com/americangut
Ancient Lives	ארכאולוגיה	בדיקת פיסות פפירוסים מצריים ותעתיק תוכנם	מסייע	www.ancientlives.org
Cell Slider	ביולוגיה	זיהוי גידולים סרטניים על-ידי ניתוח תמונות בעין בלתי מזוינת	מסייע	www.cellslider.net
eBird	אקולוגיה	ניטור תפוצת ציפורים	מסייע	www.ebird.org
Evolution MegaLab	אבולוציה	ביצוע סקר שונות של דגמי פסים על חלזונות כדי ללמוד על האבולוציה שלהם	מסייע	www.evolutionmegalab.org
Monarch Larva Monitoring Project	אקולוגיה	ניטור תפוצה של ביצים וחללים של פרפר דנאיית מלכותית (<i>Danaus plexippus</i>)	מסייע	www.mlmp.org
MySoil	גאולוגיה	הוספת שכבת מידע על תכונות הקרקע, על פני מפות גאולוגיות	מסייע	www.bgs.ac.uk/mysoil
PlantWatch	אקולוגיה	ניטור אירועי פריחה של צמחים כסמן לשינוי האקלים	מסייע	www.naturewatch.ca/plantwatch
Open Dinosaur Project	פלואנטולוגיה	יצירת מאגר של גודל עצמות דינוזאורים	שיתופי	www.opendino.wordpress.com
Corfe Mullen BioBlitz	אקולוגיה	יצירת תמונת מצב לגבי נוכחות חיות-הבר בשמורה במהלך 12 שעות ביום אחד	יצירה הדדית	www.dorsetwildlifetrust.org.uk/cm-bioblitz

טבלה 2

דוגמאות מן העולם למיזמים של מדע אזרחי בתחומי מחקר שונים

מדע אזרחי בתחום האקולוגיה והסביבה

מחקר מקיף שנערך בשנת 2012 סקר 234 מחקרים שונים ששיתפו את הציבור הרחב במחקר בתחום האקולוגיה והסביבה. המחקר מצביע על גיוון רחב במיזמים מסוג זה הן מבחינת היקף גאוגרפי הן מבחינת מספר התצפיות הרב. עם זאת, הסקר מצא שכ-80% מהמחקרים שנבדקו היו בתחום ניטור המגוון הביולוגי. שאר המחקרים התחלקו בין ניטור מקורות מים, ניטור הסביבה (אטמוספירה/אקלים/מזג אוויר) ויישומי מחשב שונים [21].

ההשפעה המשמעותית ביותר כיום של המדע האזרחי על המחקר האקולוגי, כפי שעולה מן הסקר, היא בתחום ניטור המגוון הביולוגי. הניטור שנעשה במחקרים אלה כולל מגוון רחב של אורגניזמים, בהם צמחים, פטריות, חרקים, סרטנים, דגים, ציפורים ועוד. המעבר מניטור מקומי ומהסקת מסקנות מצומצמות להיסק בקנה מידה נרחב פתח פתח לעולם חדש שמתקבלות בו כמויות עצומות של מידע שלא היה ניתן לאסוף ללא עזרת הציבור. מידע נרחב זה טומן בחובו אפשרויות רבות לניתוח ולהבנה של מערכות יחסים בטבע, בתי גידול ומערכות אקולוגיות. המדע האזרחי נמצא יעיל במיוחד במציאת אורגניזמים נדירים, כולל מינים נכחדים ומינים חדשים ופולשים, וזאת בזכות התפוצה הרחבה של התצפיתנים המשתתפים במחקר [10].

דוגמה לסיוע של מחקר אזרחי במציאת מינים נדירים ניתן לראות במיזם ניטור המושיתיים (משפחת Coccinellidae), שהחיפושית המכונה פרת משה רבנו נמנית עליה) – The Lost Ladybug Project, שמנהלת המחלקה לאנטמולוגיה באוניברסיטת קורנל, על פי המודל המסייע. המיזם נוסד כתוצאה מהירידה המתמשכת בתפוצת מינים מקומיים של מושיתיים, שהיו בעבר נפוצות ביותר בארה"ב, שהתרחשה בד בבד עם עלייה בתפוצת מינים פולשים של מושיתיים. מטרת המיזם לאסוף כמויות גדולות של מידע על תפוצת מושיתיים מכל המינים בארה"ב כדי ללמוד דפוסים בהרכב, בתפוצה ובבתי הגידול של חיפושיות אלה, ולסייע בביצוע ניסוי מעבדה מבוקרים לגילוי סיבת היעלמותן. במסגרת המיזם אוספים תצפיתנים מתנדבים תמונות של מושיתיים ומעלים אותן לאתר אינטרנט, יחד עם מידע לגבי מיקום התצפית, בית הגידול והצעה לזיהוי מין המושית. צוות המדענים מבצע זיהוי ודאי ומכניס את המידע למאגר לתפוצת מושיתיים. המאגר, שהוקם בשנת 2008 עם השקת המיזם, הוא כיום מהמאגרים הגדולים והנרחבים ביותר גאוגרפית לתפוצת מושיתיים בעולם. מאז אביב 2008 מצאו כ-3,000 תצפיתנים יותר פרטים של מושיתיים נדירים מכפי שנמצא בכל סקרי המדענים בעשרות השנים האחרונות [18]. מהנתונים שנאספו במהלך המיזם גילו החוקרים שתפוצת המושיתיים בארה"ב אכן השתנתה רבות בשנים האחרונות, ומכילה כ-50% פרטים ממינים פולשים.

שיתוף הציבור בביצוע מחקר מדעי בארץ

ספר המיזמים למחקר מדעי בשיתוף הציבור בארץ מועט, ועוסק בעיקר בניטור מגוון ביולוגי בהשתתפות הציבור (טבלה 3). נוסף על המיזמים שבטבלה, מרכזים כמו 'רת"ם' – מרכז מידע לצמחי ישראל של האוניברסיטה העברית והאתר 'מן השדה' מערבים את הציבור בביצוע תצפיות על מינים ביולוגיים מהחי ומהצומח, ואף מפרסמים את תוצאות תצפיות אלה לציבור הרחב. המידע הרב המצטבר מתצפיות הציבור משמש בסיס מידע למחקר, לשמירה על הטבע וכן למטיילים ולחובבי טבע. עם זאת, על אף קיומם של מיזמים אלה, תפוצתם בארץ – אפילו בקרב חובבי טבע – מועטה.

טבלה 3. דוגמאות למיזמים של מדע אזרחי בארץ

שם המיזם	תחום	מטרת המיזם	דרגת שיתוף הציבור	אתר אינטרנט
סקר ספירת ציפורי הבר בחצר	אקולוגיה	ניטור תפוצת ציפורים בישראל	מסייע	www.birds.org.il
זיהוי מינים פולשים	אקולוגיה	זיהוי מיני צמחים פולשים	מסייע	www.teva.org.il/polshim
מבצע איריס הסרגל	אקולוגיה	הרחבת המידע על איריס הסרגל, מין נדיר וייחודי לישראל	מסייע	www.parks.org.il/ConservationAndHeritage/irisSargel
תצפיות פרפרים	אקולוגיה	ניטור תפוצת פרפרים בישראל	מסייע	www.gluecad.com/buttdb/homepage.asp
האם החתול שלכם הוא נמר?	אקולוגיה עירונית	הערכת היקף תופעת הצייד בקרב חתולים בשטח העירוני	מסייע	www.teva.org.il/?CategoryId=197&ArticleID=3681

טבלה 3

דוגמאות למיזמים של מדע אזרחי בארץ

אחת היוזמות המוכרות ביותר של שיתוף הציבור במחקר בארץ היא "סקר ספירת ציפורי הבר בחצר" ביוזמת 'המרכז לטיפול ציפורי הבר בחצר הבית'. מטרת המיזם הן לעקוב אחר השתנות אוכלוסיות הציפורים במשך השנים, לשם שמירה על הציפורים עצמן, וכן לקרב את הציבור אל הציפורים והטבע. במהלך הסקר, הנערך אחת לשנה החל בשנת 2006, מוזמן הציבור הרחב לצאת ולספור את הציפורים בגינה או בחצר בקרבת משכנות האדם, בתצפית בודדת של חצי שעה. מדי שנה משתתפים מאות אנשים בסקר וכן מוסדות חינוך רבים. המידע שאוספים המתנדבים נמצא מהימן לגבי זיהוי של כ-80% מבין הציפורים הנפוצות בחצר, ועל כן נחשב אמצעי יעיל להערכת המגוון הביולוגי של אוכלוסיות ציפורי-הבר ביישוב. נוסף על כך, נמצא שההשתתפות חיזקה את האוריינות הסביבתית של התלמידים המשתתפים. חיזוק זה בא לידי ביטוי בשיפור של 15% בהישיג התלמידים בשאלון ידע ובשאלון התייחסות רגשית אוהדת בנושאי צפרות ושמירת טבע [2].

מיזם חדש של אוספי הטבע הלאומיים באוניברסיטה העברית בירושלים מזמין את הציבור בימי חמישי אחת לחודש להשתתף במיון ובזיהוי אוספים של פרוקי-רגליים שנאספו במהלך מחקרים. המיזם, המכונה "חמישי באוספים", זכה להיענות ציבורית, ומבוגרים וילדים מגיעים מדי חודש לעזור בעבודת המיון באוספים וללמוד על חשיבות האוספים והפעילות בהם. המשתתפים עוזרים, בין היתר, במיון מיני פרוקי-רגליים לחרקים, לעכבישים, לסרטנים רבי-רגליים ולנדלים, וכן נעזרים בחוקרים לזיהוי מיני פרוקי-רגליים שאספו בעצמם.

מיזם "חשים את האוויר"

יזם חדש וייחודי היוצא לדרך בימים אלה בישראל הוא מיזם "חשים את האוויר" [1] בשיתוף מיזם CITI-SENSE האירופי, הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית בטכניון והפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון, ומבוסס על שיתוף פעולה מחקרי בין המדענים לבין הציבור בנושא איכות אוויר. במסגרת המיזם מבקשים החוקרים את עזרת הציבור בהצבת חיישני איכות אוויר בבתי, בחנויות ובמשרדים בשכונת נווה שאנן בחיפה ובמעקב אחר נתוני איכות האוויר בסביבתם כדי לקבל תמונת מצב אמينة ומדויקת לגבי איכות האוויר בזמן אמת. מטרת המיזם לבצע ניטור "בגובה העיניים", בעשרות מוקדים בו-זמנית. ניטור שכזה יאפשר לציבור לדעת מה איכות האוויר במבנים ובשטחים הציבוריים בשכונה בכל זמן נתון. המידע שאוספים החיישנים יועלה באופן אוטומטי לאתר המיזם, וניתן יהיה לראות סיכום של תוצאות איכות האוויר לאורך זמן, לנתח נתונים ולדון במסקנות המחקר. ביחד, הציבור והחוקרים יוכלו ללמוד על איכות האוויר בשכונה ועל הבדלים בין אזורים ורחובות שונים ולגבש תכניות פעולה להבטחת אוויר נקי יותר לנשימה. מיזם "חשים את האוויר" הוא ראשון מסוגו בארץ. המיזם נועד להיות בשיתוף פעולה מלא בין החוקרים בטכניון לבין ציבור האנשים המתגוררים בשכונה, לשמוע את דעת הקהל המקומי ולסייע לו תוך כדי ביצוע מחקר סביבתי ברמה גבוהה.

השפעות של שיתוף הציבור על ציבור המשתתפים, על החברה ועל המדע

החשיבות של מיזמי מדע אזרחי גולשת מעבר לתרומתם המדעית. בחירות שנעשות בראשית המחקר, כמו סוג הנתונים הנאספים, זמינות הנתונים וצורת הפצתם לציבור, עשויות להשפיע על היבטים חינוכיים וציבוריים של המיזם. כדי לקדם תוצאות משמעותיות אלה תוגדרו לאחרונה קריטריונים שמשקללים את מכלול הצרכים והאינטרסים של כל מיזם, ומגדירים את התוצאות הרצויות בכל אחד מן ההיבטים [23, 14].

השפעות על הציבור (כפרטים בודדים)

להשתתפות הציבור במחקר השפעה ישירה על המתנדבים המשתתפים. בזכות המגוון הרב של מיזמים מסוגים שונים, כל משתתף יכול למצוא את המיזם שמעניין אותו ומהנה עבורו. נוסף על כך, ההזדמנות שניתנת למתנדבים להיות מעורבים במחקר מדעי אמיתי משמעותית ביותר עבור רבים, ולמידת תהליך ביצוע המחקר מעניינת ומרחיבת אופקים. משתתפים רבים רוכשים מיומנויות חדשות, לומדים תחומים חדשים ומגיעים להבנה של תהליכים מדעיים שלא הכירו [19, 5]. מתנדבים מעידים על עצמם, שבבקבות השתתפות פעילה במחקרים רכשו ידע לגבי מינים ביולוגיים, מינים בסכנת הכחדה, מיומנויות חקר ועוד [24].

השפעות על החברה בכללותה

למדע אזרחי פוטנציאל להשפיע על החברה ככלל על-ידי יצירת קשר הדוק יותר בין המדענים והמדע לבין הציבור. רבים בציבור רואים מדענים כשונים ומרוחקים ואת המדע כרחוק מחיי היום-יום שלהם [20]. שיתוף הציבור במחקר יחד עם המדענים יכול לקרב בין העולמות ולאחות פער זה. יצירת דו-שיח בין המדענים לציבור בתקשורת דו-כיוונית מגבירה את האמון ההדדי, תורמת להבנה של המחקר המדעי וחשיבותו, ועשויה לכוון את מהלך המחקר לצרכים של החברה.

השפעה נוספת שיש למדע האזרחי על החברה היא בשינוי עמדות והתנהגות כלפי מדע ככלל וכלפי הנושא המדעי הנחקר בפרט. לשינוי עמדות והתנהגות פרטני עשויות להיות השלכות נוספות: שינוי בקרב ציבור רחב יותר; העלאת המודעות ואף מעורבות בפעילות חברתית-סביבתית; השפעה על קביעת מדיניות ושינוי חקיקה. בעקבות השתתפות במיזמי מדע אזרחי, ציינו משתתפים כי עלתה רמת פעילותם הציבורית בפעילויות כגון הסברה, השתתפות בדיונים בנושאים סביבה והצטרפות לארגונים סביבתיים [19].

השפעות על המדע

המטרה העיקרית של מיזמי מדע אזרחי היא בתרומתם למחקר המדעי, ומטרה זו אכן מושגת. נמצא ששיתוף הציבור בביצוע מחקר מדעי תורם רבות לאיסוף ולניתוח של מידע רב מאזורים נרחבים ובזמן קצר. נוסף על כך, המדע האזרחי מסייע באיתור ממצאים נדירים וממצאים בלתי צפויים שמדענים אינם מחפשים או אינם יודעים היכן לחפש [10], מאפשר מיון של פריטים רבים במהירות והשוואה של ממצאי מחשב ואדם [20], וכל זאת במסגרת תקציבית שמאפשרת את קיום המחקר.

קשיים ומגבלות של המדע האזרחי

אחת השאלות העולות בעקבות באשר לאיסוף נתונים על-ידי ציבור לא מומחה היא שאלת מהימנות המידע הנאסף. מחקרים רבים, המבוססים על ניטור על-ידי מתנדבים, תיעדו את אפקט ה"לומד": המשתתפים הופכים להיות אוספי נתונים טובים יותר לאורך זמן [10]. המשמעות של אפקט זה היא שככל שיש יותר מתנדבים חדשים, איכות הנתונים הנאספים יורדת. מסקנה זו מחדדת את הצורך בהכשרת המתנדבים לביצוע המדידות והזיהוי שהם נדרשים לבצע.

מחקר שבדק את אמינות המידע המתקבל ממתנדבים, על-ידי השוואת נתונים של מתנדבים ומדענים לגבי הערכת אחוז צמחייה פגועה, מצא כי בממוצע, לנתונים שהתקבלו מהמדענים היה מתאם גבוה יותר לנתוני הערכה ממוחשבים. עם זאת, בנייתו פרטני נמצאו גם מתנדבים שנתנו הערכה מדויקת יותר ממדענים. לנוכח ממצא זה נראה כי יש לבחון את איכות הנתונים גם בקרב המדענים [15].

מידע גאוגרפי שנאסף ממתנדבים ליצירת מפות דיגיטליות במסגרת מיזם OpenStreetMap, נמצא כבעל מהימנות סבירה למדי (fairly accurate), עם מיקומים בעלי דיוק של כשישה מטרים יחסית לנתוני הסוכנות למיפוי לאומית [13]. עם זאת, במיקומים

שיש בהם נוכחות פחותה של מתנדבים או נוכחות גדולה של אוכלוסיות מוחלשות שאינן מיומנות בשימוש בטכנולוגיות המיפוי הדיגיטלי, יש פוטנציאל לשגיאות רבות יותר ולאמינות מופחתת^[11]. כדי להתמודד עם קשיים אלה התפתחו שיטות להערכת איכות נתונים, ולסינון מידע בעל אמינות מופחתת.



לאים על גגות בתים בחיפה על רקע בתי הזיקוק / צילום: ברק פישביין

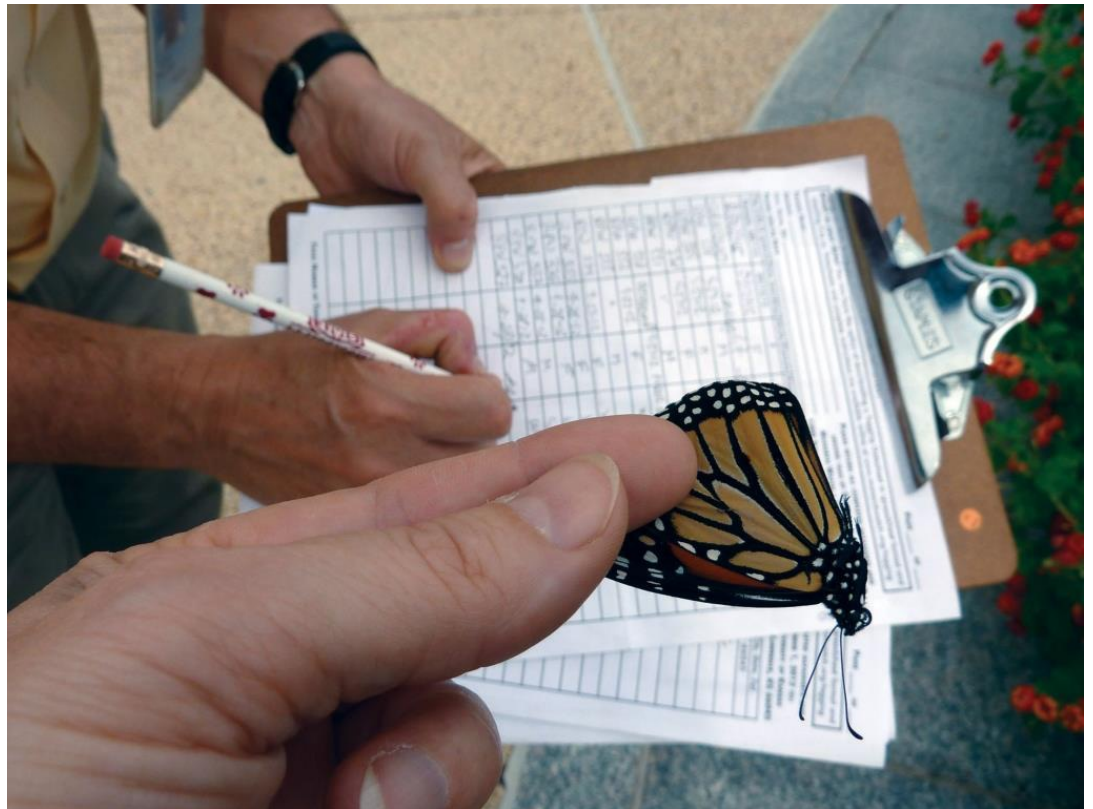
נטיות הנובעות מאפקט הלומד, משגיאות מעשה ידי אדם וממדגם לא מייצג של חתך אוכלוסייה ומקום מגורים, ניתנות לסינון באופן חלקי בשיטות סטטיסטיות, בעזרת ידע ביולוגי מעשי ותוך שימוש בהבנה שהטיה של נתונים מסוימים אינה בהכרח גורמת להטיה של מכלול הנתונים. שימוש בכלים לסינון מערכות נתונים גדולות (Big-Data), כגון אי-הכללת נתונים לא-סדירים או לא-הגיוניים וכן נתונים ממתנדבים בשנה הראשונה, עשוי לשפר את איכות המידע הנאסף בכמויות גדולות על-ידי אזרחים-מתנדבים ואת נגישותו^[10]. מחקר נוסף דרוש כדי לפתח שיטות סטטיסטיות להערכה ולסינון נתונים ממתנדבים חסרי ניסיון בתחום המדובר.

קושי נוסף קיים בגיוס מתנדבים להשתתפות במחקרים, בייחוד במחקרים המבוצעים באזורים מוגדרים ובעלי משאבים מוצמצמים. בחירת אמצעי גיוס המשתתפים עשויה להשפיע על תוצרי המחקר. לדוגמה, גיוס משתתפים באמצעים טכנולוגיים חדשים (כמו יישומים בטלפון חכם) יעילה בגיוס מתנדבים צעירים, אך עלולה להכשיל גיוס מתנדבים בעלי גישה מצומצמת לטכנולוגיות אלה^[22].

הזדמנויות לעתיד

יתרונות המדע האזרחי והשפעותיו על המדע, על החברה ועל הסביבה רבים ומשמעותיים. מאות מחקרים מסוג זה מתנהלים כיום ברחבי העולם, והפוטנציאל לשיתוף הציבור הולך וגדל ככל שהטכנולוגיה מתפתחת.

נושא האקולוגיה ושמירה על הסביבה, הוא נושא העומד בראש סדרי העדיפויות של אזרחים ומדענים כאחד. השתתפות של אזרחים במחקרים מדעים וסביבתיים יכולה לתרום רבות להבנת העולם שאנו חיים בו, להיכרות עם מגוון המינים הקיים בו ולהבנת תהליכים המתרחשים בטבע, וכן לעזור במציאת פתרונות להגנה על הסביבה. התרומה של מדע אזרחי לאקולוגיה יישומית ובסיסית טרם הובנה במלואה, אך ההזדמנויות מגוונות ורבות. הגדלת מעורבותם של אקולוגים מובילים בקביעת סדר עדיפויות במטרות מחקר, בהערכת איכות הנתונים ובעדכון שיטות דגימה כדי שיתאימו למדע האזרחי, תסייע בקידום התחום ובשמירה על הטבע.



מיון חרקים ופרפרים במעבדה על-ידי אזרחים / צילום: librocka

תודות

מחקר זה נתמך על-ידי תכנית מרכזי המצוינות של הוועדה לתכנון ותקצוב והקרן הלאומית למדע (1716/12), תכנית המחקר השביעית של האיחוד האירופי (מחקר מס' 308524) – מיזם CITI-SENSE, המרכז למצוינות בחשיפה סביבתית ובריאות של הטכניון (TCEEH) והקרן לבריאות וסביבה (EHF).

מקורות

1. [חשים את האוויר](#).
2. ליפשיץ, ש. 2014. מיזם "ספירת ציפורי בר בחצר בשיתוף ציבור". אמצעי ממשקי וחינוכי לשמירת מגוון ביולוגי בעיר (עבודת גמר לתואר מוסמך). תל-אביב: אוניברסיטת תל-אביב.
3. Arnstein SR. 1969. A ladder of citizen participation. *Journal of the American Institute of Planners* **35**(4): 216–224
4. [Audubon Christmas Bird Count](#)
5. Bonney R, Ballard H, Jordan R, et al. 2009. Public participation in scientific research: Defining the field and assessing its potential for informal science education. A CAISE Inquiry Group Report. July (2009).

6. Brossard, D, Lewenstein B, and Bonney R. 2005. Scientific knowledge and attitude change: The impact of a citizen science project. *International Journal of Science Education* **27**(9): 1099–1121.
7. Clery D. 2011. Galaxy Zoo volunteers share pain and glory of research. *Science* **333**: 173–175.
8. [Community Collaborative Rain Hail and Snow Network](#)
9. Cooper S, Khatib F, Treuille A, et al. 2010. Predicting protein structures with a multiplayer online game. *Nature* **466**(7307): 756–760.
10. Dickinson JL, Zuckerberg B, and Bonter DN. 2010. Citizen science as an ecological research tool: Challenges and benefits. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* **41**(1): 149–172.
11. Goodchild MF and Li L. 2012. Assuring the quality of volunteered geographic information. *Spatial Statistics* **1**: 110–120.
12. Haklay M. 2013. Citizen science and volunteered geographic information – overview and typology of participation. In: Sui DZ, Elwood S, and Goodchild MF (Eds). *Crowdsourcing geographic knowledge: Volunteered Geographic Information (VGI) in theory and practice*. Netherlands: Springer.
13. Haklay M. 2010. How good is volunteered geographical information? A comparative study of OpenStreetMap and ordnance survey datasets. *Environment and Planning B: Planning and Design* **37**(4): 682–703.
14. Haywood BK and Besley JC. 2014. Education, outreach, and inclusive engagement: Towards integrated indicators of successful program outcomes in participatory science. *Public understanding of science* **23**(1): 92–106.
15. Gollan J, Lobry De Bruyn L, and Reid N. 2012. Can volunteers collect data that are comparable to professional scientists? A study of variables used in monitoring the outcomes of ecosystem rehabilitation. *Environmental Management* **50**(5): 969–978.
16. Kamel Boulos MN, Resch B, Crowley DN, et al. 2011. Crowdsourcing, citizen sensing and sensor web technologies for public and environmental health surveillance and crisis management: Trends, OGC standards and application examples. *International Journal of Health Geographics* **10**(1): 67.
17. Khatib F, Cooper S, Tyka MD, et al. 2011. Algorithm discovery by protein folding game players. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **108**(47): 18949–18953.
18. Losey J, Allee L, and Smyth R. 2012. The lost ladybug project: Citizen spotting surpasses scientist's surveys. *American Entomologist* **58**(1): 22–24.
19. Overdevest C. 2004. Volunteer stream monitoring and local participation. *Research in Human Ecology* **11**(2): 177–185.
20. Raddick MJ, Bracey G, Carney K, et al. 2009. Citizen science: Status and research

- directions for the coming decade. Astro2010: The Astronomy and Astrophysics Decadal Survey, Position Papers, no. 46. NASA Astrophysics Data System.
21. Roy HE, Pocock MJO, Preston CD, et al. 2012. Understanding citizen science and environmental monitoring. Final Report on behalf of UK-EOF. NERC Centre for Ecology & Hydrology and Natural History Museum.
 22. Science Communication Unit, University of the West of England, Bristol. 2013. Science for Environment Policy In-depth report: Environmental citizen science. Report produced for the European Commission DG Environment December 2013.
 23. Shirk JL, Ballard HL, Wilderman CC, et al. 2012. Public participation in scientific research: a framework for deliberate design. *Ecology and Society* **17**(2): 29.
 24. Sickler J, Ed MS, and Cherry TM. 2012. Lost ladybug project summative evaluation report. March 2012.
 25. Silvertown J. 2009. A new dawn for citizen science. *Trends in Ecology & Evolution* **24**(9): 467–471.
 26. Wiggins A and Crowston K. 2011. From conservation to crowdsourcing: A typology of citizen science. Proceedings of the 44th Annual Hawaii International Conference on System Sciences; 4–7 Jan 2011; Koloa HI, USA.
 27. Wilderman CC. 2004. Shermans Creek: Portrait of a watershed. Technical Status Report.