גיליון מספר 197 | ינואר 2019 תשע"ט

שמורת טבע

עלון מורי הביולוגיה ומורי מדעי הסביבה

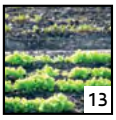


תוכן העניינים


3 **"התלמידים הציעו דברים שלא חשבתי עליהם"**
ראיון עם ד"ר אמיר מיטשל


7 **מותר להוציא ניידים**
אתרים ואפליקציות למדע אזרחי


9 **פתוח לציבור הרחב**
סקירה כללית על מדע אזרחי


13 **אלף גינות**
פרויקט מדע אזרחי בגרמניה לאיתור זני סויה מותאמים לסביבה


19 **אזרחים אוספים DNA**
ניטור תפוצת מינים באמצעות DNA סביבתי

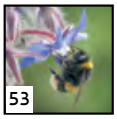

26 **מדע אזרחי - פרפראות**


31 **מדע אזרחי מותאם אישית**
כיצד מדע אזרחי מוביל למעורבות הציבור במדע
ולמענה על צרכים אישיים


39 **רשתות של מדע אזרחי בעולם ומיזמים בישראל**


45 **מדוע כדאי לבצע מדע אזרחי בכיתה?**
פרויקט ביוחקר בנושא אפיון תזונת תנשמות באמצעות צניפות


47 **חוזה שיתופי**
שאלות אתיות במדע אזרחי


53 **לשם מה להתבונן בדבורים?**
מניעים של מתנדבים בפרויקט מדע אזרחי בנושא חרקים מאביקים

לתיאום הסדרי נגישות, ניתן לפנות ל-gilatbrill@gmail.com



"התלמידים הציעו דברים שלא חשבתי עליהם"

ד"ר אמיר מיטשל, מנהל מעבדת מחקר בבית הספר לרפואה באוניברסיטת מסצ'וסטס, יזם מחקר בנושא עמידות חיידקים לאנטיביוטיקה, שבו מקבלי ההחלטות הם תלמידי תיכון. בריאיון שלהלן הוא מספר על תחומי המחקר שלו, על האופן שבו נולד הפרויקט, מה הפתיע אותו בעבודה עם תלמידים ומורים ומדוע הוא עוסק גם בחינוך מדעי.



דיוקן

ד"ר אמיר מיטשל

ד"ר אמיר מיטשל חוקר מנגנוני שינוי במיקרוביום ושונות טבעית בין תאים. לפני שלמד לתואר שלישי במכון ויצמן למדע למד בתוכנית הבינתחומית באוניברסיטת תל אביב, שם נחשף למגוון תחומים, ובהם ביולוגיה, מדעי המחשב, פסיכולוגיה ופילוסופיה. לאחר שסיים את לימודי התואר השלישי בתחום האבולוציה במעבדה של פרופסור צחי פלפל במכון ויצמן למדע המשיך לבתר-דוקטורט באוניברסיטת קליפורניה, שם חקר השפעות של לחץ אוסמוטי על שמרים. לפני כשנתיים הקים מעבדת מחקר משלו בבית הספר לרפואה באוניברסיטת מסצ'וסטס בארצות הברית.

מראיינת: גילת בריל

איך נולד הרעיון לפרויקט?

חינוך מדעי תמיד העסיק אותי. בכל המסגרות האקדמיות בארץ ובחו"ל שבהן למדתי וביצעתי מחקרים פגשתי ניסיונות לגשר בין האקדמיה לבין החינוך המדעי, אבל הרגשתי שיש איזשהו קצר. הטריד אותי שההיקף שבו האקדמיה יכולה לערב תלמידים הוא מצומצם מאוד. אפשר להביא כיתה פה, כיתה שם, אבל אי אפשר להגיע למספר משמעותי של כיתות ותלמידים. נוסף על כך, ברוב הפרויקטים האלה התלמידים לא נחשפים למחקר בצורה פעילה. כלומר, נערכת סדנה קצרה שבה הכול ידוע מראש, אך זו בוודאי לא הדרך שבה מתנהל מחקר מדעי. כשהקמתי את המעבדה שלי, והתחלתי לעסוק ברובוטיקה ובאוטומציה עלה בדעתי שהטכנולוגיה החדשה יכולה לגשר על הפער הזה, ולערב מאות ואלפי תלמידים. מכאן נולד הרעיון להשתמש בטכנולוגיות מודרניות כמו אוטומציה וקישור לאינטרנט ולהנגיש מדע[1] בצורה חדשה ואחרת לגמרי.

איך זה עובד?

בנינו מערכת לניסוי שבודק אבולוציה של עמידות לאנטיביוטיקה. במהלך כל יום של הניסוי החיידקים גדלים ומופיעות מוטציות באופן אקראי. במקרים שבהם המוטציות מועילות, כלומר משפרות את העמידות לאנטיביוטיקה, הן יתקבעו באוכלוסייה וקצב הגידול של החיידקים יעלה. על פי המדידות של קצב הגידול ביום הניסוי הנוכחי התלמידים מחליטים מה לעשות ביום הניסוי הבא. כל העבודה הרטובה - גידול החיידקים, הוספת אנטיביוטיקה, ריצוף ה-DNA - נעשתה אצלנו במעבדה בארצות הברית, והתלמידים ראו את הניסוי עובד בשידור חי ביוטיוב. הם קיבלו מאתר הניסוי באינטרנט דיווח על תוצאות בזמן אמת (נתונים מספריים, קינטיקה של גידול ותצלומים של צלחות החיידקים). פעם ביום נדרש כל תלמיד להחליט איזו הוראה לתת לרובוט ליום הבא, על סמך התוצאות שהתקבלו באותו יום. ההוראות ניתנות באמצעות טופסי גוגל שהרובוט שלנו מוריד מהאינטרנט ומבצע באופן אוטומטי. זהו ניסוי מתגלגל שנמשך שבועיים, ובו יש לעקוב כל יום אחרי התוצאות ולהחליט החלטות.

ואילו תוצאות התקבלו?

קיבלנו חיידקים עם מגוון של עמידויות לאנטיביוטיקה: כאלה העמידים לאנטיביוטיקה מסוג אחד בלבד, כאלה העמידים לסוג אחד של אנטיביוטיקה ורגישים מאוד לסוג אנטיביוטיקה אחר,

[1] science outreach

וכאלה העמידים לכל סוגי האנטיביוטיקה.

מצאנו שחיידקים מסוימים פיתחו עמידות רחבה מאוד לסוגי אנטיביוטיקה רבים. הם הפכו למה שאנחנו קוראים super bugs - חיידקים עמידים לכול. חיידקים כאלה הופיעו בפרק זמן קצר מאוד וזה כמובן מטריד למדי. ריצפנו את הגנום של הסופר באג הזה, החיידק העמיד, וניסינו להבין מה המנגנון המולקולרי העומד מאחורי העמידות הכללית הזאת. ניסינו לתת לתלמידים וגם למורים שלהם איזושהי טעימה ממה שהשתנה בחיידק והפך אותו לסופר באג.

מה נתנה לך העבודה עם התלמידים?

התלמידים שהשתתפו היו בעיקר מישראל. בגלגול הבא של הפרויקט ישתתפו תלמידים מכל העולם. האמת שהעבודה עם התלמידים נתנה לי הרבה מאוד הערכה למערכת החינוך בישראל. מערכת החינוך הישראלית ייחודית בגמישות שלה. ההירתמות והפתיחות לגַבות מורים המעוניינים לנסות משהו חדש שלא בטוח שיעבוד, אפילו אם הדבר ינגוס מתוכנית הלימודים חודש וחצי לפחות, היו יוצאות מן הכלל. אני רואה את זה במיוחד לעומת המערכת האמריקאית שאיתה עבדנו, ואליה היה קשה מאוד להכניס את הפרויקט. המורים היו הרבה פחות מעוניינים, הרבה פחות מעורבים בתהליך.

עניין אחר שעודד אותי במידה רבה היה שחלק מהמורות סיפרו כי התלמידים שגילו מעורבות בפרויקט היו דווקא תלמידים חלשים שמעולם לא הראו עניין, ופתאום הפרויקט עניין אותם. המורות לא ציפו שתלמידים אלה יהיו מעורבים, והדבר הפתיע גם אותן.

החשיבה הביקורתית של התלמידים והמורות בארץ הייתה מדהימה. אני חושב שהייתי מגייס את כל המורות כחוקרות למעבדה שלי. לפעמים הרגשתי שהלסת שלי נשמטת מהיכולת שלהם לראות בדיוק מה טפל ומה עיקר, ולהציע דברים שלא חשבתי עליהם.

יצרנו הרבה מאוד נתונים; מדי יום נערכו כמאה ניסויים במקביל, שבכל אחד מהם קרו דברים שונים. היה צריך לקחת צעד אחורה, להבחין במגמות כלליות ולבודד יוצאי דופן מעניינים. הדבר לא קל גם למדענים. אני חושב שהתלמידים והמורות עשו את עבודת הסינתזה הזאת: הם לקחו צעד אחורה ואמרו: יש פה משהו מעניין ביולוגית, לא משהו אקראי. למה זה קרה? ניסינו לבדוק למה מוטציות בגנים מסוימים יצרו עמידות ולשם כך נדרשה קריאה בספרות. נתתי להם את שמות הגנים, ובתוך מספר דקות המורה חזרה אליי עם תשובה אפשרית לשאלה הזאת. בדקתי, וזה היה נכון, הם צדקו! המנגנון שהם הציעו התאים.

זהו ניסוי מתגלגל שנמשך שבועיים, ובו יש לעקוב כל יום אחרי התוצאות ולהחליט החלטות



איזה מנגנון הם הציעו?

מצאנו מספר גנים שעברו מוטציות בחיידקים העמידים לכול. לפעמים מוטציות יכולות להיות קשורות לעמידות - ולפעמים הן התקבעו במהלך האבולוציה באופן אקראי. לכן העברנו את שמות הגנים לתלמידים ולמורים וביקשנו שיקראו על הגנים וינסו להבין אם יש ביניהם גנים היכולים לתרום לעמידות. הם מייד מצאו פתרון אפשרי: אחד הגנים שעברו מוטציה היה גן שמקודד לחלבון בקרה האחראי לביטוי של גן אחר, המקודד לתעלה בקרום התא. תעלה זאת, שאינה ספציפית[2], אחראית במקרים רבים להכנסת האנטיביוטיקה לתוך החיידק. כשגן הבקרה עבר מוטציה, הוא הפסיק להיות פעיל ולכן גרם לירידה בביטוי הגן המקודד לתעלה. בניסוי שלנו נוצר מנגנון עמידות כללי מפני שהיו פחות תעלות על פני קרום תא החיידק.

נקודה נוספת שהפתיעה אותי ביחס למורות הייתה שהן ראו דברים שאני לא ראיתי בנתונים. לדוגמה, מצב שבו חיידקים פיתחו רגישות יתר לאנטיביוטיקה מסוימת. אני בכלל לא שמתי לב. הסתכלתי והמשכתי הלאה, ואילו הן ביקשו לבדוק מה קורה פה.

הטריד אותך שהאנשים העומדים מולך אינם מיומנים בחשיבה מדעית?

חששתי מההחלטות שהם יקבלו, אבל הופתעתי לטובה. היו מקרים שבהם הייתי מחליט אחרת, אבל אם הייתי מחליט כך, לא היינו נחשפים למה שגילינו. אם חיידקים מסוימים פיתחו עמידות, הייתי ישר מחליט לתת להם יותר אנטיביוטיקה. אבל התלמידים החליטו להפחית את כמות האנטיביוטיקה ולכן הניסוי הגיע לכיוונים אחרים. עולמם של המדענים יכול להיות צר, כי הם לפעמים מניחים דברים לגבי המערכת שלהם ואיך נכון להשפיע עליה. אבל מי יודע מה ישפיע עליה? לראיה, דברים שלא הייתי מנסה לעשות נעשו בניסוי הזה, והניבו תוצאות מעניינות.

הבעיה שלי עם פרויקטים הפונים לציבור בבקשה לאסוף דגימות היא שבאיזשהו מקום זו גישה קצת פטרונית. הציבור אוסף את הנתונים והמדען מקבל את ההחלטות. אפשר להבין מאיפה זה בא, אבל אם אני הייתי הציבור שמשתתף בפרויקט,

[2] multidrug transporter

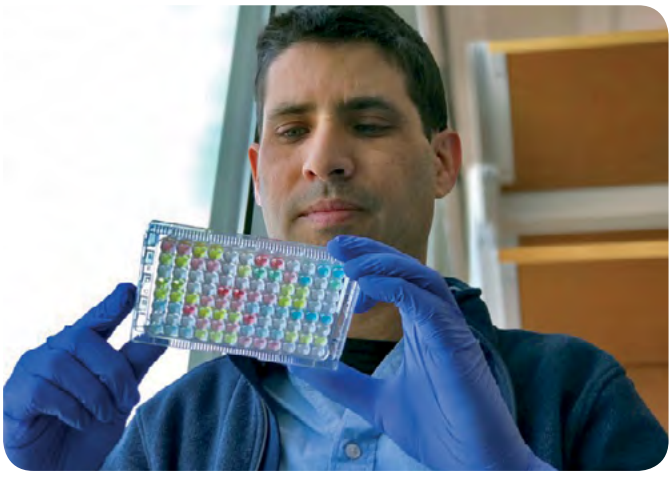
היו מקרים שבהם הייתי מחליט אחרת מהתלמידים, אבל אם הייתי מחליט כך, לא היינו נחשפים למה שגילינו

הייתי מרגיש שאני יכול לתרום מעבר, אולי גם בתהליך קבלת ההחלטות והסקת המסקנות. כשמאפשרים לציבור שמשתתף בפרויקט גם לקבל את ההחלטות, נוצר שיח בגובה העיניים בין שותפים שווים. כל אחד שמשתתף בניסוי מגיע עם המטען שלו, ואנחנו מסתכלים על בעיה מדעית אמיתית יחד. זו גם הגישה שלי עם הסטודנטים שאני מנחה במעבדה: לא אכפת לי מאיזה רקע הם באו. אני באתי ממדעי המחשב, פילוסופיה, ביולוגיה; היו לי הרבה פערים בהשכלה והייתי צריך להשלים אותם. חשוב בעיניי שאדם יהיה מודע למגבלות ולמטען שהוא בא איתו ולזה שהוא לא יודע הכול, אבל שכולנו נסתכל על בעיה קיימת אמיתית יחד. באמת יש משהו אחר בגישה שלנו למדע אזרחי, שהיא הרבה יותר שוויונית.

איך אתה מסביר את הנטייה שלך לעסוק גם בחינוך?

אני חושב שהעיסוק שלי בחינוך נבע מתסכול אישי במהלך לימודיי לפני שהגעתי לאקדמיה. רק באוניברסיטה הבנתי עד כמה ביולוגיה מרתקת ושונה ממה שהכרתי בבית הספר. הפרויקט נולד מתוך רצון לתת לצעירים לטעום עד כמה הביולוגיה מרתקת, עד כמה היא מדע טכנולוגי, עד כמה מדובר במדע של נתונים, במדע חישובי - ושזה קורה בזמן אמת. לדעתי ביולוגיה היא המדע של המאה ה-21, ואין לי ספק שהיא כבר משנה ועוד תשנה את החיים שלנו מהיסוד. את ההיבטים שחסרו לי כנער ניסיתי להכניס לפרויקט הזה.

אני באמת חושב שפרויקט כמו שפיתחנו יכול להיות השלב הבא בחינוך האינטרנטי להמונים, כדוגמת ה-mooc (massive online open courses), המשנה את פני הלימודים האקדמיים. אני חושב שהפרויקט שלנו בודק אם אפשר לבצע למידה בדרך חדשנית כזאת גם באמצעות מדע מעשי, כלומר ניסוי שמבצעים בפועל. הפוטנציאל של פרויקט כזה הוא אדיר, גם כפרויקט בחינוך וגם כפרויקט של מדע אזרחי. אפשר לגשר באמצעותו על מרחקים גיאוגרפיים, על פערים טכנולוגיים ועל פערי השכלה פורמלית.



האם קיים קשר בין הניסוי עם התלמידים לנושאי המחקר של המעבדה שלך?

כן. במעבדה שלי אנחנו חוקרים מנגנוני עמידות של חיידקים. אחת השאלות שלנו היא אם אפשר לפתור חלק מהבעיות של עמידות על ידי שימוש בסוגי אנטיביוטיקה שונים על פני רצף הזמן. כלומר, אם רצפי טיפול ספציפיים יעילים במיוחד להתמודדות עם חיידקים עמידים. התלמידים ניסו לתת סוגים שונים של אנטיביוטיקה ולהחליט באיזה סדר לתת את סוגי האנטיביוטיקה ובאילו ריכוזים. הם ניסו לבדוק אם ברצפים מסוימים של סוגי אנטיביוטיקה אנחנו מעודדים התפתחות של עמידות רחבה מאוד לסוגי אנטיביוטיקה שונים, או דווקא לא מעודדים התפתחות של עמידות.

המעבדה שלי עוסקת בשני נושאים עיקריים כרגע. נושא אחד הוא אבולוציה של המיקרוביום, והאופן שבו הוא משתנה כשחולים נוטלים באופן קבוע תרופות שלכאורה אינן אמורות לפגוע במיקרוביום, כלומר לא אנטיביוטיקה. כשאנחנו נוטלים אנטיביוטיקה, אנחנו מצפים שתהיה פגיעה במיקרוביום, שכן זו תרופה הפוגעת גם בחיידקים שאינם גורמים למחלות. אבל כשחולה סרטן נוטל תרופה כנגד הסרטן, אנחנו לא מצפים שהיא תפגע במיקרוביום. הרבה מחקרים מראים שלתרופות כאלה יש בכל זאת השפעה על המיקרוביום. נפתח כאן פתח לעולם שלם שעדיין לא נבחן בצורה טובה, לדעתי: כיצד תרופות משפיעות על תהליכים אבולוציוניים במיקרוביום. זה מעניין בעיקר מפני שידוע ששינוי במיקרוביום משפיע על החולה, ושינויים בחולה משפיעים על המיקרוביום, וחוזר חלילה.

סוגיה אחרת שבה עוסק המחקר במעבדה היא שונות בביולוגיה. אוכלוסיית חיידקים או אוכלוסיית תאים מבני אדם מכילה תאים בעלי מטען תורשתי זהה המגיבים בצורה שונה לתנאי סביבה מסוימים. זה קורה מאחר שתאים מבטאים RNA ברמות שונות, או מבטאים מגוון חלבונים מעט שונה. שונות כזאת מעניינת מאוד מפני שהיא יכולה לגרום לתופעות לא רצויות, כמו עמידות לאנטיביוטיקה או עמידות לתרופות נוגדות סרטן. אנחנו מנסים להבין מה המנגנון היוצר שונות כזאת ואם יש לשונות זו השלכות קליניות.

להרכיב מיקרוסקופ מחלקי לגו

רבים מהפערים בין הניסויים בבית הספר לניסויים במעבדות מחקר הם טכנולוגיים, והיום אפשר להתגבר עליהם בגישת עשה זאת בעצמך, הקיימת במדע: בניית מכשירים יקרים לבד. מאחר שבמעבדה שלי אנחנו מתעסקים גם בהנדסה בנינו מכשיר שיכול למדוד צפיפות אופטית. שלחנו את המכשור שבנינו מארצות הברית לתלמידים בארץ כדי להעמיד ניסוי בבית הספר. התלמידים היו זקוקים להתנסות בידיים, לבצע בזעיר אנפין ניסוי מקדים דומה מאוד לניסוי העיקרי של הפרויקט, כדי שיוכלו לגשת לניסוי האינטרנטי. הנתונים שנאספו על ידי קבוצת הביולוגיה במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן הראו שההתנסות המקדימה הייתה משמעותית מאוד. לכן הייתי רוצה לבוא לכיתה ולהראות שהמכשירים הכי מורכבים שהם לומדים עליהם, מיקרוסקופ, PCR, הם למעשה טכנולוגיות פשוטות מאוד. לדוגמה, PCR הוא מכשיר שמחמם ומקרר, מחמם ומקרר. החלום שלי הוא לשפוך קופסה של חלקים, כמו לגו, ולהגיד לתלמידים: זה מיקרוסקופ, בואו נבנה אותו יחד.

רצף של שינויים בזמן

בעבודה שעשיתי אצל פרופסור צחי פלפל במכון ויצמן למדע השאלתי תפיסה מפסיכולוגיה - התניה פבלובית - לעבודה בחיידקים. בדקנו שינויים בחיידקים בתגובה להחלפת סוג הסוכר במצע. כלומר, בדקנו מה מאפיין את השינויים הגנטיים המתפתחים באוכלוסיית חיידקים שעוברת שינויים של סוכרים שונים במצע הגידול בפרקי זמן קצובים. מצאנו שכל זמן שהשינויים של הסוכרים חוזרים על עצמם, נוצר יתרון לחיידקים המכינים מראש את החלבונים הדרושים לניצול הסוכר החדש, לפני שמתרחשת ההחלפה במצע. אוכלוסיית החיידקים האלו עוברת תהליך אבולוציה אנלוגי ללמידה פבלובית: היא מסתגלת לשרשרת אירועים האופיינית לעולמה.

המחקר שביצעתי באוניברסיטת קליפורניה בדק רעיון משלים, כיצד מתמודדים תאים עם גירויים המופיעים באופן מלאכותי, השונה מאוד מסביבתם הטבעית. בעבודה זאת בדקנו תגובת שמרים לפולסים קבועים של שינויים בריכוז המלחים בסביבתם הקרובה. ראינו שלמרות שהתאים מתמודדים היטב עם שינויים קבועים במליחות, הם מתפוצצים ומתים כאשר המליחות משתנה בתדירות קבועה כל שמונה דקות. לעומת זאת, אם תדירות השינויים איטית יותר או מהירה יותר - הם מצליחים לשרוד ללא בעיה. כלומר, אפשר היה לזהות תדר תהודה שבו השמרים אינם יכולים לעמוד בשינויים, ולנסות להבין מהו המנגנון שגורם לכך לקרות.

בפרויקט עם התלמידים בדקנו רעיון דומה של רצף שינויים לאורך זמן, הפעם עם סוגים שונים של אנטיביוטיקה. מבחינה זאת, לא משנה אם זה אנטיביוטיקה או סוכר, אלה גירויים חיצוניים, כלומר שינויים שאוכלוסיית החיידקים מגיבה להם. במחקר על החלפת הסוכרים במצע בדקנו שינויים מהירים מאוד, בתוך שעות; ואילו בפרויקט עם האנטיביוטיקה ניסינו לבדוק מה קורה בתהליך אבולוציוני שנמשך ימים ושבועות.



מהו המסר שתרצה להעביר למורים ולתלמידים?

אני חושב שיש פרויקטים מרתקים מעבר למסגרת הלימוד הפורמלית בעולם הביולוגיה, וגם מורים וגם תלמידים המתעניינים במחקר יכולים לנקוט יוזמה ולמצוא פרויקטים כאלה באופן עצמאי. מורים ותלמידים צריכים לדעת שהכוח נמצא גם בידיים שלהם. הם יכולים לייצר קשרים ולנתב את העניין שלהם לערוץ לימודי המותאם להם.

לעיתים נדירות אני מקבל אימייל מתלמיד בארצות הברית או בישראל. אני ממש נהנה מזה וכותב לתלמידים בחזרה ואז מתפתח דיאלוג. הייתי רוצה שתלמידים יֵדעו שאפשר לכתוב למדענים, ושלמדענים יש הרבה נכונות לתת. פשוט צריך ליזום, ועם קצת חוצפה ישראלית, שהיא נפלאה לדעתי, לשלוח אימייל ולשאול.

השאיפה הייתה לתת לתלמידים להתנסות בכלי מחקר עכשוויים ולהוביל מחקר פורץ דרך



מותר להוציא ניידים

אתרים ואפליקציות למדע אזרחי

פרויקט חשים את האוויר, הטכניון

מסמך עקרונות של מדע אזרחי

מדוזות בישראל

ניטור פרפרים בישראל

מאמר על מדע אזרחי בכתב העת "אקולוגיה וסביבה"

כתבה ב-ynet על מדע אזרחי

כתבה בעיתון "גלובס" על מדע אזרחי

גיוס מידע מאזרחים על ידי החברה להגנת הטבע

Foldit: כתבה (באנגלית) על משחק ברשת שסייע למצוא מבנה של חלבון

הצעה למחקר בגישת מדע אזרחי עם תלמידים על תזונת תנשמות וינשופים בישראל





פתוח לציבור הרחב

סקירה כללית על מדע אזרחי

מעובד על פי המאמר[1]:

Bonney, R., Shirk, J.L., Phillips, T.B., Wiggins ., Ballard, H.L., Miller-Rushing, A.J., & Parrish J.K. (2014): Next Steps for Citizen Science. Science 6178: 1436-1437.

אלפי פרויקטים של מחקר מדעי ברחבי העולם מעסיקים מיליוני מתנדבים, רובם ללא הכשרה מדעית רשמית, באיסוף נתונים, פתרון בעיות, העלאת שאלות מחקר, עיבוד וניתוח נתונים והוספתם למאגרי נתונים ממוחשבים. מחקרים אלה, המכונים מדע אזרחי, עוסקים במגוון נושאים, כמו חקר המיקרוביום, תפוצת מיני דבורים מקומיים, איכות המים וזיהוי גלקסיות. רוב הפרויקטים עוסקים בנתונים מדעיים בהיקפים או ברזולוציות שאינם זמינים לחוקרים יחידים או לצוותי מחקר קטנים המורכבים ממדענים בלבד: גיוס אלפי אנשים לאיסוף נתונים על פני כמה יבשות, הקמת צוותי עבודה הממיינים אלפי נתונים מתוך מאגר ממוחשב, או גיוס קבוצות קטנות של אנשים לפתרון בעיה מקומית. רוב הפרויקטים מנוהלים על ידי מדענים, ואף שהאזרחים המשתתפים בהם אינם מדענים, מחקרים מסוג זה נתונים לביקורת עמיתים בדומה לכל מחקר מדעי המבוסס על מדענים בלבד (Theobald et al., 2015).

הצימוד בין מעורבות מעמיקה של הציבור בתהליך החקר המדעי ובין מדענים היוצרים ידע חדש עם הציבור מוליד השפעות ייחודיות של המדע האזרחי שטרם נחקרו לעומק. החזון המתלווה למדע האזרחי עוסק בקשר שבין מדע וחברה, מתוך מחשבה ששיתוף פעיל של הציבור בחקר בעיות כמו שינויי אקלים וירידה במגוון הביולוגי עשוי לעודד שיתופי פעולה פוריים שיקדמו את פתרונן, ולתרום להערכת המדע והבנתו בקרב ציבור רחב יותר.

אולם גישת המחקר של מדע אזרחי אינה מקובלת על חלק מאנשי המדע, והעולם המדעי נוטה להטיל בה ספק. להלן כמה מאפיינים של הגישה המחקרית והצעות אפשריות לקידום מעמדה בעולם החקר המדעי.



שימוש בטכנולוגיה

מדע אזרחי קיים מאות שנים. נתונים רבים על אורגניזמים ועל הסביבה, כולל חלק מהידוע לנו על השפעות שינויי האקלים, נאספו על ידי חובבי טבע משוגעים לדבר (Miller-Rushing et al., 2012). לאחרונה עלה מאוד מספר הפרויקטים הנעזרים באופן מובנה ושיטתי בציבור הרחב ובתוך כך עלה מספר המשתתפים בקרב הציבור בפרויקטים כאלה. חלק מעלייה זאת מוסבר בכניסת המרשתת לחיי היום-יום שלנו, כך שהפרויקטים נראים יותר ונגישים יותר לציבור. אזרחים המתעניינים בנושא מסוים יכולים לאתר בנקל פרויקט מחקר רלבנטי, לקבל הנחיות באתר הפרויקט, לאסוף נתונים על פי ההנחיות, להוסיף את הנתונים למאגר ממוחשב ולהצטרף לקהילת המתנדבים בפרויקט. לדוגמה, הפרויקט האמריקאי eBird אוסף מדי חודש חמישה מיליון תצפיות על ציפורים ברחבי העולם הנוספים למאגר נתונים העוקב אחר שינויים בתפוצת ציפורים ושכיחותן.

נוסף על כך, הרשת מאפשרת לבצע פרויקטים של מדע אזרחי המבוססים רק על מידע ממוחשב. דוגמאות לכך הן פענוח תמונות של גלקסיות, זיהוי מכתשים על ירחים, או מיון אורגניזמים המופיעים בתמונות מקרקעית אוקיינוסים במגוון

> אלפי פרויקטים של מחקר מדעי ברחבי העולם מעסיקים מיליוני מתנדבים, רובם ללא הכשרה מדעית רשמית, ומכונים "מדע אזרחי"

[1] הגרסה המובאת כאן היא סקירה של תוכני המאמר המקורי, ונועדה להנגיש את המידע לציבור המורים לביולוגיה ולמדעי הסביבה. העיבוד כלל הוספת הסברים ואיורים לתכנים מורכבים, סינון מידע שאינו נקשר לרעיון המרכזי של הגרסה המעובדת, הגדרת מונחים מקצועיים, ובמידת האפשר קישור הדברים לתהליכי למידה והוראה. המעוניינים לקרוא את המאמר המקורי מוזמנים לפנות למקור המובא בתחילת הגרסה המעובדת.

חוכמת ההמונים

מדע אזרחי נשען על איסוף נתונים וניתוחם על ידי אזרחים שלא עברו הכשרה מדעית ואינם מיומנים באיסוף המידע המדעי. גישה זו קשורה לעיקרון של חוכמת ההמונים, שלפיו קבוצה גדולה של אנשים ללא הכשרה בתחום מסוים יכולה להגיע לפתרון בעיות העולה על פתרון שימצא מומחה ואף גאון באותו תחום, או לפתרון קרוב מאוד לזה של המומחה. העיקרון הוכח במחקרים שבהם התבקשו הציבור הרחב ומומחה לפתור בעיה כלשהי, ונמצא שהפתרון שהציע הציבור היה טוב יותר מזה שהציע המומחה. לעיתים הצליח הציבור למצוא פתרונות לבעיות שמומחים נכשלו בהן. יש להדגיש כי בחוכמת ההמונים אין אנשים בציבור הרחב שהגיעו לפתרון בעצמם, אלא שלאנשים רבים בקבוצה הייתה תרומה מסוימת לפתרון.

פרויקטים הנקראים Zooniverse.

אמינות מדעית

החשש העיקרי העולה ממבקרי המדע האזרחי הוא שאיכות הנתונים שאנשים חסרי הכשרה במדעים יכולים לאסוף היא נמוכה. במחקרים מסוג זה נעשים כמה צעדים שמטרתם לשפר את איכות הנתונים וכן לבדוק אותם. ראשית, החוקרים מקדישים אמצעים וזמן לשיפור הפרוטוקולים המדריכים את הציבור הרחב כיצד לאסוף נתונים, כך שיהיו ברורים יותר ויימצא האיזון המתאים בין פשטות הפרוטוקול לבין הדיוק המדעי הנדרש בדרך איסוף הנתונים. יש מחקרים שבהם משווים בשיטות סטטיסטיות נתונים שהתקבלו מהציבור לנתונים שהתקבלו ממדענים, ומוצאים את רמת המתאם ביניהם. בפרויקטים גדולים נערכות השוואות כאלה במגוון קריטריונים, כמו הטיה באיסוף הנתונים, זיהוי או טעות במדידה (Bird et al., 2013). ברבים מהמחקרים מוצאים שהנתונים שנאספו על ידי הציבור שווים באיכותם לאלה שנאספו על ידי מדענים (Danielsen et al., 2014).

ככל שהתחום מתפתח, התקווה היא שהכינוי "מדע אזרחי" יינתן לפרויקטים (ללא תלות בגודלם) אשר יפיקו נתונים אמינים, חשופים לכול, ויסייעו למדענים לגלות ידע חדש ולקובעי מדיניות ולציבור הרחב לקבל החלטות ולפתור בעיות מקומיות ועולמיות. כדי להבטיח שהמבקרים את גישת המדע האזרחי יוכלו לראות בו תחום אמין, המתבסס על עובדות מדעיות ולא על הנחות ללא יסוד, יש לתכנן מערך מחקר ברור ושיטות איסוף נתונים מבוקרות, ולדווח עליהם בפירוט כדי שהעמיתים למקצוע יוכלו לבקשם ולחפשם במחקרים המוגשים לפרסום. כדי לפתח את התחום יש לפתח כלים ממוחשבים לניתוח נתונים וכן כלים להתפתחות מקצועית ולבקרת איכות, כשם שקיימים בכל תחום מדעי אחר. כמו כן, יש לפתח כלים לניהול מאגרי נתונים ממוחשבים הפתוחים לכול ולפתח מדריכים מתאימים לציבור הרחב לאיסוף נתונים ולניתוחם.

תרומה מדעית

קשה להעריך תרומה מדעית של מחקרים הנקראים בשם הכולל "מדע אזרחי" אך עוסקים בנושאים מגוונים ושונים מאוד זה מזה.

מדד מסוים לתרומה המדעית של פרויקטים של מדע אזרחי

פרויקטים של מדע אזרחי נתונים לביקורת עמיתים, בדומה לכל מחקר מדעי המבוסס על מדענים בלבד

אפשר למצוא בעובדה שפורסמו כ-90 מאמרים בכתבי עת מדעיים ופרקים בספרים באורניתולוגיה, אקולוגיה, שינויי אקלים ומודלים סטטיסטיים הנשענים על נתונים מפרויקט eBird. פרויקט Zooniverse הניב 50 מאמרים בכתבי עת בנושאים מגוונים כמו גלקסיות ואוקיינוסים. כמו כן, נתונים מהציבור הרחב בנושא איכות המים והאוויר משמשים ארגונים לשמירה על הסביבה כדי לאתר נחלים או שכונות לשיקום.

תרומה חברתית וסביבתית

בראש ובראשונה, תרומתם של מחקרי מדע אזרחי היא לידע מדעי, אבל יכולה להיות להם גם השפעה על החברה ועל הסביבה. לדוגמה, בצפון מערב מקסיקו מתקיים פרויקט מעקב אחר צבי ים. הפרויקט תומך במחקר על דיאטת צבי הים, תפוצתם ומחלות התוקפות אותם (Peckham, 2008). שיתוף הפעולה שנוצר בין המדענים, הרשויות והקהילה המקומית הוביל להכרזה על שטחים ימיים מוגנים ופיתוח שיטות דיג בגישת קיימות השומרות על הסביבה, כך שנוצרה רגישות של הקהילה לסביבה ולצבי הים, יחד עם רגישות לצורכי הקהילה. בקליפורניה מתקיים פרויקט בשם The West Oakland Environmental Indicators Project, שבו אזרחים, חלקם תלמידי בתי ספר על יסודיים, מנטרים את איכות האוויר בשכונתם, בודקים את הקשר בינה לבין בריאות התושבים ופועלים להפחתת זיהום האוויר. בקונגו שבאפריקה מפעילים מדענים בריטים אפליקציות המיועדות לאזרחים שאינם אוריינים במובנים מערביים, ומשתמשים בדיווחים מטלפונים חכמים של מקומיים על כריתה בלתי חוקית של עצים, ציד בלתי חוקי או שביה בלתי חוקית של חיות (Ellul et al., 2013).

דוגמאות אלה ממחישות כיצד מדע אזרחי מאפשר לאזרחים מרקע תרבותי מגוון להשתמש במדע כדי לענות לשאלות העולות מהקהילה. פרויקטים המכוונים למטרות מדעיות וחברתיות צריכים לכוון מראש למטרות אלה, כולל התחשבות בכל בעלי העניין וכן הבנה טובה יותר מדוע יהיו אזרחים מעוניינים להשתתף בפרויקט מחקר מלכתחילה ואיך אפשר לשמר את מעורבותם לאורך זמן (Shirk et al., 2012). פרויקטים המעודדים פתרון בעיות מקומיות של קהילות יכולים להעלות את קרנם של חברי הקהילה או של מסורות מקומיות, שלרוב אינם מוערכים דיים ולכן אינם מעורבים בתהליכי הפתרון, ולהעשיר את השאלות שבהן עוסקים בגישת מדע אזרחי.



סדר וארגון ליצירת השפעה מרבית

כמות הפרויקטים בגישת מדע אזרחי הולכת וגדלה בשנים האחרונות. אולם לא כל הפרויקטים חדשים באמת, ופרויקטים שונים אוספים סוג נתונים זהה, לעיתים אף במקומות גיאוגרפיים זהים. העובדה שקיימים פרויקטים שונים בעלי מטרה זהה, כמו ניטור ציפורים, מבלבלת את המשתתפים הפוטנציאליים, ויוצרת מאגרי מידע ומסקנות מקוטעים, במקום מאגר מידע אחד שאפשר להסיק ממנו מסקנות משמעותיות. מכיוון שחלק מהפרויקטים הם פרטיים, מאגרי הנתונים אינם פתוחים לכול, או שקיומם אינו ידוע לכול.

פתרון אפשרי אחד הוא שמדענים ומנהלי פרויקטים יתחברו לפרויקטים קיימים ויוסיפו להם את מטרותיהם הייחודיות. פרויקט eBird, לדוגמה, פתח פורטלים המאפשרים למדענים חדשים להתאים את הפרויקט לדרכי איסוף נתונים ייחודיות, או לאזורים גיאוגרפיים שונים, כל עוד הנתונים מוזנים למאגר אחד משותף נגיש לכול.

פתרון נוסף הוא לאתר אפשרויות חבויות לאיסוף מידע חשוב במיוחד. לדוגמה, ב-2009 רשות המים בג'מאיקה גייסה את הציבור לצורך איסוף נתונים על גובה המים באזורים נידחים שאין אפשרות לבדוק אותם באמצעים טכנולוגיים. הפרויקט הכשיר מתנדבים לבדוק את גובה המים באתרים שנקבעו מראש, ומידע זה אפשר לשלטונות לבנות אמצעי הגנה מפני הצפות באזורים המועדים לכך (International Federation of the Red Cross and Red Crescent Societies, 2009).

כדי לסייע בארגון התחום הוקמה אגודה בינלאומית למדע אזרחי, שמטרתה לקדם נושאי מחקר, שיטות לבדיקת אמינות הנתונים, ניהול מאגרי נתונים ואתיקה של מדע אזרחי. אחת האפשרויות ליצור האחדה של פרויקטים, פרסום ונגישות של מאגרי נתונים היא ליצור מרכזי מדע אזרחי, שירכזו את זרימת הנתונים בנושאים שנקבעו מראש, כמו איכות המים, תופעות ביולוגיות מחזוריות, מגוון מינים, אסטרונומיה ובריאות. מרכזים כאלה יכולים לתווך שאלות שאפשר לשאול באמצעות מאגרי נתונים של מדע אזרחי, שיטות מענה לשאלות אלה, ודרכים לשפר חינוך ולקדם את הקהילה עבור האזרחים משתתפים.

רוב הפרויקטים עוסקים בנתונים מדעיים בהיקפים או ברזולוציות שאינם זמינים לחוקרים יחידים

מקורות

Bird, T.J., Bates, A.E., Lefcheck, J.S., Hill, N.A., Thomson, R.J., Edgar, G.J., Stuart-Smith, R.D., Wotherspoon, S., Krkosek, M., Stuart-Smith, J.F., Pecl, G.T., Barrett, N., Frusher, S. (2013): Statistical solutions for error and bias in global citizen science datasets. Biological Conservation, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320713002693?via%3Dihub

Danielsen, F., Jensen, P.M., Burgess, N.D., Altamirano, R., Alviola, Ph.A., Andrianandrasana, H., Brashares, J.S., Burton A.C., Coronado, I., Corpuz, N., Enghoff, M., Fjeldså, J., Funder, M., Holt, S., Hübertz, H., Jensen, A.E., Lewis, R., Massao, J., Mendoza, M.M., Ngaga, Y., Pipper, Ch.B., Poulsen, M.K., Rueda, R.M., Sam, M.K., Skielboe, Th., Sørensen, M., Young, R. (2014): A Multicountry Assessment of Tropical Resource Monitoring by Local Communities. BioScience, 64(3): 236–251.

Ellul, C., Gupta, S., Haklay, M. & Bryson, K. (2013): Progress in Location-Based Services, J.M. Krisp, Ed. (Springer-Verlag, Berlin, 2013) pp. 71–90.

International Federation of the Red Cross and Red Crescent Societies, World Disasters Report (IFRC, Geneva, 2009).

Miller-Rushing, A., Primack, R., Bonney, R. (2012): The history of public participation in ecological research Frontiers in Ecology and Environment, 10: 285–290.

Peckham, S.H., Maldonado-Diaz, D., Koch, V., Mancini, A., Gaos, A., Tinker, T.M., Nichols W.J. (2008): High mortality of loggerhead turtles due to bycatch, human consumption and strandings at Baja California Sur, Mexico, 2003 to 2007. Endangered Species, 5: 171–183.

Shirk, J.L., Ballard, H.L., Wilderman, C.C., Phillips, T., Wiggins, A., Jordan, R., McCallie, E., Minarchek, M., Lewenstein, B.V., Krasny, M.E. & Bonney, R. (2012): Public participation in scientific research: a framework for deliberate design. Ecology and Society, 17(2): 29.

Theobald, E.J., Ettinger, A.K., Burgess, H.K., DeBey, L.B., Schmidt, N.R., Froehlich, H.E., Wagner, C., HilleRisLambers, J., Tewksbury, J., Harsch, M.A., Parrish, J.K. (2015): Global change and local solutions: tapping the unrealized potential of citizen science for biodiversity research. Biological Conservation, 181: 236–244.





אלף גינות

פרויקט מדע אזרחי בגרמניה לאיתור זני סויה מותאמים לסביבה

מעובד על פי המאמר[1]:

Wurschum, T., Leiser, W.L., Felix J., Bachteler, K., Miersch, M., Hahn, V. (2018): The soybean experiment '1000 Gardens': a case study of citizen science for research, education, and beyond. Theoretical and Applied Genetics, 1-10.

מבוא

מדע אזרחי הוא גישת מחקר שבה אזרחים הם שותפים פעילים למחקר ומוערכים ביותר (Silvertown, 2009). רוב המחקרים הנוקטים גישה זו נערכים בתחומים כמו אקולוגיה, מגוון ביולוגי ושמירה על הסביבה, אך יש גם מחקרים העוסקים בנושאים אחרים, כמו אסטרונומיה (Kuchner, 2017). פרויקטים של מדע אזרחי נועדו לרוב לגלות ידע מדעי חדש או להשכיל את הציבור בנושא כמו שמירה על הסביבה. באופן אידיאלי - רצוי שפרויקט מדע אזרחי יתרום בשני ההיבטים.

נושא משמעותי לפרויקט מדע אזרחי יכול ליצור מסרים מעבר למטרות המוצהרות של הפרויקט, כך שהמשתתפים יוכלו לשתף בהתנסויותיהם ולהרגיש חלק מפעילות משותפת שיכולה לצבור תאוצה באמצעות הפצתה על ידי המשתתפים עצמם. אולי אף חשוב מכך, פרויקטים מסוג זה יכולים לעורר רגשות מוסריים, ולפתוח בפני הציבור ויכוחים מדעיים ואת השלכותיהם.

דוגמה לתחום כזה, שבו נדרש שינוי עולמי, הוא ייסודה של חקלאות בת קיימה. בשנת 2016 הכריז האו"ם על שנת הקטניות. בניגוד לדגנים, לקטניות יש יכולת סימביוטית לקבע חנקן אטמוספרי. הרכב החומרים שלהן ייחודי, ולכן הן מעשירות את הרכב האדמה ותורמות למגוון ביולוגי במערכות אקולוגיות חקלאיות ולתזונת בני אדם וחיות משק (Foyer, 2016). צריכת קטניות במקום צריכת בשר יכולה להקטין את השפעתה של אספקת הבשר ההולכת וגוברת על פליטת פחמן דו-חמצני לאטמוספרה.

סויה היא קטנית בעלת חשיבות רבה בעולם. מקורה במזרח אסיה, אך היא נפוצה כגידול חקלאי בברזיל ובארצות הברית. באירופה עיקר שוק הסויה תלוי ביבוא, בין השאר מאחר שהצמח רגיש לשינויים במשטר אור/חושך, וזקוק למעט מים יחסית. לָרוב סויה משמשת מזון לחיות משק, אבל עלייה בכמות הצמחונים והטבעונים בעולם וחיפוש אחר גיוונים בריאים בסל המזון גרמו לעלייה בצריכתה כמזון לבני אדם, ובעיקר כחומר גלם להכנת טופו. בגרמניה לא היה מעולם שוק סויה משמעותי מכיוון שתדמיתה כגידול מתורבת לצורכי מזון היא שלילית: סויה מזוהה כצמח שעבר שינויים גנטיים מכוונים[2], שגדל בשטחי חקלאות נרחבים כמין יחיד (וכך מקטין מגוון ביולוגי), וכגורם לכריתת עצים ביערות הגשם (לצורך הכשרת קרקעות לגידולו).

בשנת 2016 החל בגרמניה פרויקט מדע אזרחי ביוזמת אוניברסיטת הוהנהיים שנקרא "אלף גינות". מארגני הפרויקט גייסו אזרחים שיגדלו זני סויה בגינתם כדי לזהות זנים המותאמים לבתי גידול צפוניים יותר וכדי לשנות את תדמית הסויה בעיני הציבור. למדענים היה חשוב בעיקר להדגיש את הערך התזונתי החשוב של הסויה ואת תרומתה לחקלאות בת-קיימה.

על פי רוב, מדענים עורכים הכלאות של צמחים באזור שבו ממוקם מוסד המחקר שלהם, או באזור מסוים שבו המחקר מתמקד. לעומת זאת, הפנייה לציבור אפשרה למדענים יוזמי המחקר הנוכחי לאסוף נתונים על זני הסויה במספר חסר תקדים של אתרים ברחבי גרמניה כולה. החוקרים מתארים במאמר את תכנון פרויקט אלף הגינות, ביצועו והצעות לשיפור פרויקטים של מדע אזרחי בעתיד, מתוך אמונה שגישת המדע האזרחי עשויה לתרום למחקר ולהשכלת הציבור בתחום מדעי הצמח.



[1] הגרסה המובאת כאן היא סקירה של תוכני המאמר המקורי, ונועדה להנגיש את המידע לציבור המורים לביולוגיה ולמדעי הסביבה. העיבוד כלל הוספת הסברים ואיורים לתכנים מורכבים, סינון מידע שאינו נקשר לרעיון המרכזי של הגרסה המעובדת, הגדרת מונחים מקצועיים, ובמידת האפשר קישור הדברים לתהליכי למידה והוראה. המעוניינים לקרוא את המאמר המקורי מוזמנים לפנות למקור המובא בתחילת הגרסה המעובדת.

[2] מזון מהונדס גנטית: genetically modified organism (GMO)

שיטות

גיוס הציבור

החוקרים יצרו אתר בגרמנית ובו מידע על צמח הסויה, לרבות ההיסטוריה שלו, תרומתו לחקלאות בת-קיימה, נתונים על צריכה עולמית ודיאטה מומלצת הכוללת מוצרי סויה. כמו כן כלל האתר הסבר כיצד לבצע את הניסוי, ובלוג שבו יכלו המשתתפים לשתף בתוצאותיהם ובהתנסותם בפרויקט. הפרויקט החל בפרסום האתר בעלונים העוסקים בגינון, בפנייה לתקשורת ובפרסומות על עטיפות של מוצרי סויה של חברה מסחרית אשר ליוותה את הפרויקט.

צמחי הסויה

במחקר נערכו שני ניסויים ובהם 1710 קווי הכלאות (עד דור F9) של 20 זני סויה הנחשבים למהירי הבשלה. בניסוי הראשון קיבל כל משתתף צירוף שונה של 10 זנים כלשהם מצאצאי ההכלאות של צמחי סויה. בניסוי השני קיבלו כל המשתתפים צירוף זהה של 10 זני צמחים, וביניהם זן סויה אחד המאחר מעט בהבשלה, וזן של סויה שהבשלתו מוקדמת במיוחד בהשוואה ליתר הזנים. בתנאי ההשתתפות בפרויקט נקבע שהזכויות האינטלקטואליות על הזנים שייכות למארגני הפרויקט.

הערכת צמחי הסויה שנבטו

המתנדבים שהשתתפו בניסוי קיבלו הוראות כתובות, שתים-עשרה שקיות ובכל אחת מהן מאה זרעים עבור שתי שורות באורך שני מטרים, ושקית ובה ריזובקטריה[3]. ההוראות למשתתפים היו לזרוע את זרעי הסויה במרחקים של ארבעה סנטימטרים זה מזה, ולשמור על מרחק של כחצי מטר בין השורות. כמו כן היה עליהם להעשיר את הקרקע בריזובקטריה.

עד הקציר התבקשו המתנדבים לעקוב אחר שש-עשרה תכונות מורפולוגיות, פיזיולוגיות, ותכונות הקשורות ליבול, ובהן פריחה, הבשלה, גובה וכמות התרמילים לכל צמח. את הנתונים שהתקבלו מגינתם הזינו המשתתפים למאגר נתונים לשם ניתוח מדעי. כמו כן התבקשו המשתתפים לשלוח דגימות זרעי סויה מהצמחים שגידלו בגינתם, ובמעבדה נבדקו תכולת החלבון ותכולת השמן של הזרעים.



המדידות שביצעו הגננים סייעו לאתר זני סויה שלא זו בלבד שהיו מותאמים היטב לאזורים שונים בגרמניה, אלא אף היו בעלי תכולת חלבון ושמן גבוהה

ניתוח סטטיסטי

בשל מספר המתנדבים הגבוה נערכו שני ניסויים. הניסוי הראשון נערך עם 1710 תוצרי ההכלאות ו-20 זני ההורים (הזנים המקוריים), כלומר 1730 גנוטיפים. המתנדבים חולקו לעשרה אזורים שבכל אחד מהם 173 גננים. מערך הניסוי תוכנן כך שכל אחד מ-1730 הגנוטיפים ניתן באופן אקראי לאחד מ-173 גננים בעשרה אזורים (=עשר חזרות). בדרך זו, כל משתתף בניסוי הראשון ייצג צירוף שונה של 10 גנוטיפים.

עשרת האזורים חולקו לחמישה זוגות על פי קווי הרוחב. המטרה הייתה לאפשר ייצוג שווה של כל זן מצפון לדרום, מכיוון שמשטר אור/חושך ידועים ככאלה המשפיעים על ההתאמה של צמחי סויה ועל הבשלתם (Kurasch, 2017).

762 המתנדבים הנותרים השתתפו בניסוי 2, שבו קיבל כל משתתף צירוף זהה של זנים והכלאות.

תוצאות

השתתפות מדענים אזרחים

בסך הכול התנדבו להשתתף בפרויקט 2492 מדענים אזרחים. באזור אחד היה אחוז המתנדבים גבוה במיוחד, גם ביחס לאוכלוסיה באותו אזור, כנראה משום שממנו הגיעו שניים מהמדענים המנהלים את הפרויקט, ולכן התקשורת המקומית עסקה בפרויקט יותר מאזורים אחרים. מכאן שעבודה נכונה יותר מול התקשורת המקומית יכולה לגייס יותר אזרחים לפרויקט חקר. נוסף על כך, אחוז מתנדבים גבוה היה מהעיר ברלין, כנראה בשל אחוז הצמחונים והטבעונים הגבוה בעיר. אומנם סביר שעניין קודם בנושא יכול להיות גורם מניע להתנדבות, אך תגובותיהם של המשתתפים בפרויקט לא העידו על שייכות לקבוצת עניין כלשהי כמו צמחונות או פעילי סביבה. לָרוב המשתתפים ציינו שהניסוי הלהיב אותם וכי רצו ללמוד משהו ולתרום למדע.

רעיון מעניין לפרויקטים של מדע אזרחי אפוא הוא להעסיק מומחה במדעי החברה או פסיכולוג כדי לחקור יותר לעומק את המוטיבציה של המשתתפים, את הרקע שלהם ואת השלכות ההשתתפות בפרויקט מבחינתם.

הצלחת הפרויקט "אלף גינות" הראתה שאפשר להרחיב את גישת המדע האזרחי לתחום מדעי הצמח

[3] ריזובקטריה (Rhizobacteria): חיידקים מקבעי חנקן החיים בשורשי צמחים ויוצרים יחסי סימביוזה (מסוג הדדיות) עם מינים רבים של צמחים, כולל מיני קטניות.ובא בתחילת הגרסה המעובדת.



איכות הנתונים

מידת התורשתיות של תכונה מסוימת היא המידה שבה השונות הגנוטיפית משפיעה על השונות הפנוטיפית[4] של התכונה. ככל שהתורשתיות גבוהה יותר, כך הפנוטיפ מושפע יותר מגורמים גנטיים ופחות מגורמים סביבתיים או אקראיים. לכן תורשתיות יכולה לשמש מדד מסוים לאיכות הנתונים שנאספו על התכונה. מידת התורשתיות של התכונות השונות הייתה גבוהה לָרוב התכונות בניסוי השני, שבו צירוף הזנים היה זהה בכל גינה. לעומת זאת, בניסוי הראשון, שבו נזרע בכל גינה צירוף שונה של זנים, התקבל מגוון של ערכי תורשתיות, החל מ-0.28 למספר התרמילים לצמח ועד 0.69 לגובה הצמח.

אומנם המשתתפים קיבלו הנחיות כיצד למדוד את התכונות השונות וכן תזכורות בדואר האלקטרוני לקראת מועדי איסוף הנתונים, ואולם ניתוח הנתונים הראה שאפשר לשפר את איכותם. ערכי התורשתיות של תכולת החלבון ושל תכולת השמן היו גבוהים יותר מערכי התורשתיות של התכונות שנבדקו בידי המשתתפים. הבדל זה הצביע על חוסר עקביות בהערכות הגננים הבלתי מיומנים; והטעות במדידה או בהערכה לא נוצרה בהכרח בשל ההבדלים בין אזורי הגידול השונים. דוגמה לכך היא התכונה של צבע הפרחים: אף שתכונה זו בעלת ערכי תורשתיות גבוהים מאוד, המשתתפים זיהו ותיארו אותה בדרכים שונות לגמרי. עלי כותרת סגולים עם נקודה לבנה קטנה הוגדרו לעיתים כצבע פרחים סגול ולעיתים כערבוב של צבעים. מכאן שהמחשת התכונות על ידי הוספת תמונות או סרטונים להוראות באתר או ביישומון יכולה לשפר את הדיוק באיסוף הנתונים בפרויקטים של מדע אזרחי.

עם זאת, תכונות אחרות, כמו זמן הבשלה, המעיד על מנגנון התאמה לסביבה, הראו תורשתיות גדולה יותר (0.60). אלה העידו בכל זאת על ערכה החשוב של גישת המדע האזרחי, במיוחד בסדרי הגודל העצומים של אזורים ונתונים שאי אפשר להגיע אליהם בשיטה המסורתית למחקר במדעי הצמח.

מחויבות המתנדבים לפרויקט

מתוך כלל הגננים שנרשמו לפרויקט וקיבלו משלוח של זרעים (=2492), 30% (=757) מעולם לא הכניסו נתונים למאגר. לשם השוואה, בפרויקט מדע אזרחי אחר (Worthington, 2012) דווח על 62% שלא הכניסו נתונים למאגר. כלומר, נשירה היא חלק בלתי נמנע מגישת מחקר כזאת. בפרויקט גינות הסויה הנשירה גרמה לכך שכמות הנתונים עבור כל גנוטיפ הייתה שונה, וחלק מהנתונים אף היו חסרים בחלק מהאזורים בקווי אורך מסוימים.

אין להתעלם מכך ש-1790 אזרחים ביצעו את הניסוי והכניסו נתונים למאגר. גם מספר זה פחת במהלך הניסוי, לעיתים בשל חלזונות או ברד שהזיקו לצמחים, או כפי שדיווחו אותם אזרחים, גם בשל ירידה במוטיבציה, או היקף עבודה רחב יותר מהמצופה. שש-עשרה התכונות נקבעו לבדיקה כדי לשמור על מוטיבציה לכל אורך הפרויקט, ואכן 57% (=1027) מהמשתתפים המשיכו לאסוף נתונים עד להבשלה, ו-71% (=1273) שלחו דגימות להמשך אנליזה של תכולת שמן וחלבון.

המשתתפים השתמשו בתכיפות בבלוג שיצרו מארגני הפרויקט במיוחד עבורם. בסיום שנת איסוף הנתונים נרשמו 827 כניסות לבלוג שמקורן ב-463 מתנדבים. הם חלקו התנסויות ונתונים, אך גם העלו סיפורים מעבר לפרויקט עצמו. רובם העלו משוב חיובי על הפרויקט וציינו כמה נהנו להיות חלק ממנו ולראות צמחי סויה נובטים בגינתם. כלומר, הבלוג היה כלי טוב ליצירת תחושה של קהילת משתתפים. עם סיום איסוף הנתונים וניתוחם הפיקו מארגני הפרויקט חוברת מיוחדת עבור המשתתפים, ובה חלקו עימם את התוצאות והמסקנות מהנתונים שאספו.

סיקור הפרויקט בתקשורת

מתחילתו ועד סופו משך הפרויקט את תשומת לב התקשורת הכתובה, רשתות חברתיות, רדיו וטלוויזיה. 461 מאמרים נכתבו ב-344 עיתונים וכתבי עת, שהגיעו לכ-19 מיליון קוראים. בנוסף נכתבו 235 מאמרים ברשת, ו-14 דיווחים שודרו ברדיו ובטלוויזיה. הדיווחים בתקשורת ליוו את הפרויקט לכל אורכו. גם אם נתונים אלה הם הערכה בלבד, הם מעידים על התעניינות של ציבור רחב בפרויקט גם מעבר למתנדבים שגידלו את הצמחים בגינתם.



[4] השונות הפנוטיפית היא סכום של השונות הגנטית, השונות בסביבה ושונות אקראית. מידת התורשתיות של תכונה היא החלק היחסי של השונות הגנטית מסך כל השונות הפנוטיפית. ככל שחלקה של השונות הגנטית גדול יותר ביחס לשונות הסביבתית והאקראית - כך התורשתיות גדולה יותר; כלומר, מגוון הפנוטיפים של התכונה נקבע על ידי האללים השונים באוכלוסיה ומושפע פחות מאירועים אקראיים או מהסביבה.



דיון

באופן מסורתי, פרויקטים של מדע אזרחי עוסקים בעיקר בסקרים של תפוצה וגודל אוכלוסיות של אורגניזמים. לאחרונה התרחבו תחומי המחקר שנעזרים בציבור הרחב, כמו בדיקת איכות המים, שינויי אקלים או שאלות באבולוציה (Silvertown, 2009).

במאמר זה מציגים הכותבים פרויקט ראשון במדעי הצמח בגישת מדע אזרחי. מטרת הפרויקט הייתה לשפר את תדמית צמח הסויה בעיני הציבור, אך עם זאת לאסוף נתונים מדעיים הקשורים להתאמה של הצמח לאזורים צפוניים, בסדר גודל של שטחים וכמות נתונים שלא היו אפשריים בשיטות מחקר מסורתיות. בשלב הבא מתכננים החוקרים לשלב את הנתונים שהתקבלו מהאזרחים על הזנים שהבשילו מוקדם עם מחקר מולקולרי, וזאת כדי להבין את המנגנון המולקולרי של התאמתם לאזורי גידול חדשים ולהבין את השפעת הסביבה על איכות התנובה של הצמחים (תכולת חלבון ושמן בזרעים). לפרויקט הייתה גם חשיבות מבחינת שיטות השבחה והכלאות של צמחים, מפני שהזנים שנשלחו לגננים ברחבי גרמניה נוצרו על ידי הכלאות מכוונות שערכו החוקרים בחממות. המדידות שביצעו הגננים סייעו לאתר זני סויה שלא זו בלבד שהיו מותאמים היטב לאזורים שונים בגרמניה, שבהם לא גדלים צמחי סויה, אלא אף היו בעלי תכולת חלבון ושמן גבוהה - תכונה חשובה ביותר לגידולי סויה חקלאיים. זנים אלה יגודלו בהיקף רחב יותר באזורים שבהם הצליחו לגדול בגינות האזרחים, ויש להם פוטנציאל טוב להירשם כגידול סויה רשמי, כמזון לבעלי חיים או לבני אדם. גישה זו יכולה להיות טובה ליצירת זני צמחים מותאמים לאזורי גידול חדשים, אבל ייתכן שלמטרה זו מוטב לגייס חקלאים במקום אזרחים בעלי גינות, שכן אלה יכולים להעריך טוב יותר את תנובת הצמחים ומכירים טוב יותר את דרישות השוק באזור שבו הם נמצאים. שיתוף כזה של חקלאים מקומיים או אזרחים יכול לשמש שיטת הכלאות והשבחה שיתופית, במיוחד במדינות מתפתחות, שבהן אפשר ליצור זנים מותאמים למקום (Atlin, 2001).

הצלחת הפרויקט "אלף גינות" הראתה שאפשר להרחיב את גישת המדע האזרחי לתחום מדעי הצמח. בראש ובראשונה, יש לשכנע מדענים בתחום לקבל את הגישה, ולהיות מוכנים לבדוק את שאלת המחקר שלהם מזוויות חדשות כדי להתאים אותה למדע אזרחי. דוגמה לכך יכולה להיות הערכה פנוטיפית של גנים במגוון תנאי אקלים כדי לאתר גנים מבטיחים להכלאות; או חקר מנגנוני התאמה ואינטראקציות גנום-סביבה בצמחי גידול חקלאיים או בצמחי מודל. גישה כזאת מתאימה במיוחד לגידולי ירקות: גננים אוהבים לגדלם בגינתם הפרטית, ובגישת השבחה והכלאה שיתופית יוכלו להיות שותפים ליצירת תכונות חדשות בירקות או אף בהצגת מינים חדשים לשוק המקומי. גידול צמחי נוי יכול ליהנות אף הוא מגישה של מדע אזרחי, במיוחד לאור היעלמותם של חרקים שונים, כדי לזהות מינים של צמחים או גנוטיפים המושכים באופן מיוחד דבורים, פרפרים וחרקים מאביקים נוספים.

מחקרים בגישת מדע אזרחי צריכים להתאים את מערך המחקר ואת שיטות עיבוד הנתונים הסטטיסטיות לכמות נתונים גדולה במיוחד ולבדיקת איכותם. יש לפתח שיטות סטטיסטיות שיאפשרו לאמוד את איכות הנתונים של כל משתתף ולהשמיט נתונים[5] שאיכותם נמוכה במיוחד כדי לדייק יותר בניתוח הנתונים ובמסקנות.

החוקרים שיזמו את פרויקט "אלף גינות" מעידים שהבקשה למימונו באמצעות מענק מכספי ציבור נדחתה, שכן המדענים שדחו את הבקשה לא הכירו את התפיסה של מדע אזרחי וחשבו ששיטות מסורתיות במדעי הצמח עדיפות על גיוס הציבור. למרות זאת, לטענת החוקרים, תוצאות המחקר מוכיחות שאפילו מנקודת מבט מדעית יכולה גישת מחקר כזאת לספק נתונים ייחודיים ובעלי ערך. הם מציעים לקרנות למימון מחקרים להיפתח לגישת מדע אזרחי מפני שזו מאפשרת לשאול שאלות מחקר חדשות.

למדע אזרחי יכולה להיות תרומה לעיצוב תפיסת המדע בציבור ולעידוד מעורבות הציבור בפתרון בעיות כמו שינויי אקלים. גידול הסויה בגינה קירב בין הגננים לבעיות שמעוררים שינויי האקלים העולמיים והפך את הבעיה המורכבת לפשוטה יותר ואת תרומת האזרחים לפתרונה - לאפשרית עבורם. יתרה מזו, ההשתייכות לקבוצה גדולה של אזרחים התורמים לפתרון מעניקה כוח לאזרח היחיד, בהיותו חלק ממאמץ והישגים משותפים.

פרויקט "אלף גינות" הוא דוגמה לכך שרצוי שמדע אזרחי ימשוך את עניין הציבור, ירתק ויגרום הנאה, כך שהמוטיבציה תישמר. אין צורך להתיימר לפתור בעיה מורכבת או אתגר באמצעות הציבור, אלא רצוי שיעברו לציבור מסרים שהם מעבר לפרויקט עצמו, במיוחד אם הפרויקט מעלה שאלה פתוחה לדיון. זאת ועוד, אפשר שהפרויקט יכלול ילדים ונוער, כמקבלי החלטות בעתיד. פרויקט "אלף גינות" לא יפתור את בעיית שינויי האקלים, אבל לטענת החוקרים מארגני הפרויקט, ייתכן שהתוצאות שיתקבלו ממנו, תחושת הקהילה של המתנדבים והעניין שגילתה בו התקשורת יכולים להשפיע על מקבלי החלטות שונים ולהניע שינוי.

[5] הכוונה כאן היא להשמיט נתונים מוטעים שהם תוצאה של חוסר מיומנות של המשתתף, ולא נתונים יוצאי דופן שאינם מתאימים להשערת החוקרים.

מקורות

Atlin, G.N., Cooper, M., Bjornstad, A. (2001): A comparison of formal and participatory breeding approaches using selection theory. Euphytica, 122: 463–475.

Foyer, C.H., Lam, H-M, Nguyen, H.T., Siddique, K.H.M, Varshney, R.K., Colmer, T.D., Cowling, W., Bramley, H., Mori, T.A., Hodgson, J.M., Cooper, J.W., Miller, A. J., Kunert, K., Vorster, J., Cullis, C.h., Ozga, J.A., Wahlqvist, M.L., Liang, Y., Shou, H., Shi, K., Yu, J., Fodor, N., Kaiser, B.N., Wong, F-L, Valliyodan, B., Considine, M.J. (2016): Neglecting legumes has compromised human health and sustainable food production. Nature Plants 2: 16112.

Kuchner, M.J., Faherty, J.K., Schneider, A.C., Meisner, A.M., Filippazzo, J.C., Gagne J., Trouille, L., Silverberg, S.M., Castro, R., Fletcher, B., Mokaev, K., and Stajic, T. (2017): The first brown dwarf discovered by the Backyard Worlds: planet 9 citizen science project. Astrophysics Journal Letters 841: L19.

Kurasch, A.K., Hahn, V., Leiser, W.L., Vollmann, J., Schori, A., Betrix, C.A., Mayr, B., Winkler, J., Mechtler, K., Aper, J., Sudaric, A., Pejic, I., Sarcevic, H., Patrice, J., Balko, Ch., Marco, S., Miceli, F., Strijk, P., Rietman, H., Muresanu, E., Djordjevic, V., Pospišil, A., Barion, G., Weigold, P., Streng, S., Krön, M., Würschum T. (2017): Identification of mega-environments in Europe and effect of allelic variation at maturity E loci on adaptation of European soybean. Plant Cell Environ, 40:765–778.

Silvertown, J. (2009): A new dawn for citizen science. Trends in Ecology and Evolution, 24: 467–471.

Worthington, J.P., Silvertown, J., Cook, L., Cameron, R., Dodd, M., Greenwood, R.M. et al (2012) Evolution MegaLab: a case study in citizen science methods. Methods in Ecological Evolution, 3: 303–309.





אזרחים אוספים DNA

ניטור תפוצת מינים באמצעות DNA סביבתי

מעובד על פי המאמר[1]:

Biggs, J., Ewald, N., Valentini, A., Gaboriaud, C., Dejean, T., Griffiths, R. A., Foster, J., Wilkinson, J.W., Arnell, A., Brotherton, P., Williams, P., Dunn, F. (2015): Using eDNA to develop a national citizen science-based monitoring programme for the great crested newt (Triturus cristatus). Biological Conservation 183: 19–28.

מבוא

DNA סביבתי (eDNA) הוא DNA הנאסף מהסביבה - מהקרקע, ממקווי מים או מהאוויר, במקום ישירות מהאורגניזם. מקורו בהפרשות או חלקי רקמה של האורגניזמים החיים בסביבה: גללים, רקמת עור, ריר העוטה את האורגניזמים, תאי מין המופרשים לסביבה, קשקשים או שיער. אפשר לאסוף דגימות של קרקע או מים ולבצע אנליזת DNA בשיטות ריצוף חדישות (High throughput DNA sequencing) המאפשרות לנתח כמויות גדולות של רצפי DNA שמקורן באורגניזמים רבים. בשיטה זו אפשר לזהות לאילו אורגניזמים שייכים רצפי ה-DNA שבדגימה, בעיקר כדי לנטר מגוון ביולוגי ותפוצה של מינים שקשה לתפוס או לתצפת (Lodge et al., 2012). מחקרים שבדקו את היתכנות השיטה הראו ש- eDNA יכול לנטר היטב את נוכחותם של דו-חיים, דגים, חסרי חוליות, עופות מים ויונקים (Thomsen et al., 2012) ואת תפוצתם. במחקרים אלה נמצא כי שימוש ב- eDNA יכול להיות לא פחות יעיל לעומת שיטות מסורתיות לבדיקת תפוצה של מינים (Thomsen et al., 2012).

אחד היתרונות בבדיקת eDNA הוא בנטילת הדגימה מהסביבה, שהינה לרוב מהירה ופשוטה יותר מזיהוי היצורים או תפיסתם (Ficetola, 2008). עובדה זו פותחת את האפשרות לבצע דגימות eDNA באמצעות אנשים שאינם אקולוגים מומחים ואינם מיומנים כמוהם. פנייה לציבור וגיוס מתנדבים לניטור מים ולמדידת מגוון ביולוגי נעשית יותר ויותר מקובלת ברחבי העולם (Schmeller, 2009). כך יכולים פרויקטים מחקריים העוסקים בתפוצת אורגניזמים לשלב בין הרחבת הגבולות הגיאוגרפיים של המחקר עם הכרה בחשיבות מעורבותו של הציבור הרחב במחקר מדעי ובשמירה על הטבע. מטרת המחקר המתואר כאן הייתה אפוא לבדוק את התוקף של סקר מדע אזרחי המבוסס על eDNA ולבחון אם אפשר להסתמך על תוצאותיו.

במחקר המתואר, שנערך בבריטניה, השוו החוקרים בין סקר מתנדבים באמצעות דגימות eDNA לסקר מתנדבים בגישות מסורתיות של תפוצת Triturus cristatus - מין צפוני של טריטון[2]. מין זה של טריטון נחשב בסכנת הכחדה, וכדי לקבוע שהוא נעדר מסביבת גידול מסוימת דרושים לפחות ארבעה עד שישה ביקורים בשנה בסביבת הגידול והפעלת שלוש שיטות ניטור שונות לפחות (Sewell et al., 2010). המאמצים הגדולים הכרוכים בשיטות אלה מונעים את ייסודה של מערכת קבועה לניטור תפוצת מינים בבריטניה: ניטור על ידי גורמים פרטיים גורר הוצאה כספית לא מבוטלת, ופנייה למתנדבים אינה סבירה בשל המאמץ והזמן המרובים שעליהם להשקיע כדי לבצע ניטור שיטתי ועקבי בשיטות אלה (Wilkinson and Arnell, 2013).

המחקר המתואר הערך את מהימנות האנליזה של דגימות eDNA לבדיקת נוכחותם של טריטונים מהמין הנחקר בהשוואה לשיטות ניטור מסורתיות כמו ספירה בלילה באמצעות פנסים, לכידה בבקבוקים וחיפוש ביצים. כמו כן נבדקה יכולתם של מתנדבים לאסוף דגימות eDNA מהימנות כהכנה לרשת ניטור רחבה בבריטניה.

שיטות

שיטות ניטור מסורתיות

במחקר נערכה השוואה בין ניטור באמצעות eDNA לניטור באמצעות שלוש שיטות מסורתיות (Sewell et al., 2010): (1) ספירה לילית של פרטים במים באמצעות פנסים; (2) לכידת פרטים בבקבוקים (Griffiths, 1985). הבקבוקים מפוזרים במים פתוחים וקשורים לענפים במקומות שבהם סביר שהטריטונים עוברים בשטח המחיה הנבדק. לאחר הספירה הפרטים משוחררים למים במקום שבו נלכדו; (3) איתור ביצי טריטונים במים. דו-חיים מטילים לרוב את ביציהם בצברים גדולים של מאות עד אלפי ביצים ולכן קל יחסית לאתר את הביצים.

בעוד שההתאמה בין כמות eDNA נמוכה לאוכלוסיות קטנות הייתה טובה, כמות eDNA גבוהה יותר לא ניבאה בהכרח קיומן של אוכלוסיות טריטונים בינוניות

[1] הגרסה המובאת כאן היא סקירה של תוכני המאמר המקורי, ונועדה להנגיש את המידע לציבור המורים לביולוגיה ולמדעי הסביבה. העיבוד כלל הוספת הסברים ואיורים לתכנים מורכבים, סינון מידע שאינו נקשר לרעיון המרכזי של הגרסה המעובדת, הגדרת מונחים מקצועיים, ובמידת האפשר קישור הדברים לתהליכי למידה והוראה. המעוניינים לקרוא את המאמר המקורי מוזמנים לפנות למקור המובא בתחילת הגרסה המעובדת.

[2] טריטון: סוג של דו-חיים בעל זנב ממשפחת הסלמנדרות, המעדיף את החיים במים גם בבגרותו. בארץ מצוי מין יחיד - טריטון הפסים, הנמצא בסכנת הכחדה. המין שעליו נערך המחקר המתואר כאן מכונה באנגלית: Great Crested Newt.

אתרי הניטור

ההשוואה נערכה בשלושים וחמש בריכות טבעיות, עשרים מהן בדרום בריטניה (המפשייר) וחמש-עשרה באזור צפוני יותר (ווילס). אזורים אלה נבחרו מפני שדגם התפוצה של הטריטון שונה בכל אחד מהם: בדרום אנגליה הבריכות נדירות יותר, המרחקים ביניהן גדולים ואוכלוסיית הטריטון מפוזרת ופחות צפופה. באזור הצפוני יותר יש יותר בריכות, הן קרובות זו לזו במידה רבה יותר ואוכלוסיית הטריטונים צפופה יותר. ידוע מראש כי כל הבריכות מאכלסות טריטונים מהמין הנבדק, כך שהן שימשו רק מבחן לשיטה. בדרום נוטרו הבריכות על ידי צוות קטן של נוטרים מקצועיים. הבריכות הצפוניות יותר נוטרו על ידי צוות של 50 מתנדבים, בהנחיית חלק מאנשי הצוות המקצועי.

מערך הניטור

הביקורים בבריכות נערכו ארבע פעמים במהלך עונת הרבייה של הטריטון, מסוף אפריל ועד סוף יוני, אחת לשבועיים-שלושה. בסך הכול נערכו בבריכות 140 ביקורים. עם ההגעה לבריכה החלו הנוטרים בספירת פנסים לילית בשולי הבריכות שנמשכה כחצי שעה. לאחר מכן נלקחו דגימות מים לבדיקת eDNA ולבסוף פוזרו בקבוקי לכידה. הבקבוקים פוזרו בשולי הבריכות במרחקים של שני מטרים זה מזה, 17-62 בקבוקים לבריכה, לפי גודל הבריכות. הם נבדקו למחרת בבוקר, הפרטים שנלכדו נספרו, נערכה קביעת מגדר והערכת גיל, ואז הם שוחררו. בשלב זה נערך ניטור של ביצים. רצף זה של ניטור (ספירת פנסים, דגימות מים, לכידה בבקבוקים, איתור ביצים) נקבע כדי למזער פגיעה של שיטת ניטור אחת בשיטת ניטור אחרת.

אוכלוסייה שמנתה עשרה פרטים נחשבה לאוכלוסייה קטנה; אחד-עשר עד מאה פרטים - אוכלוסייה בינונית; מעל מאה פרטים - אוכלוסייה גדולה.

דגימות מים לניטור eDNA

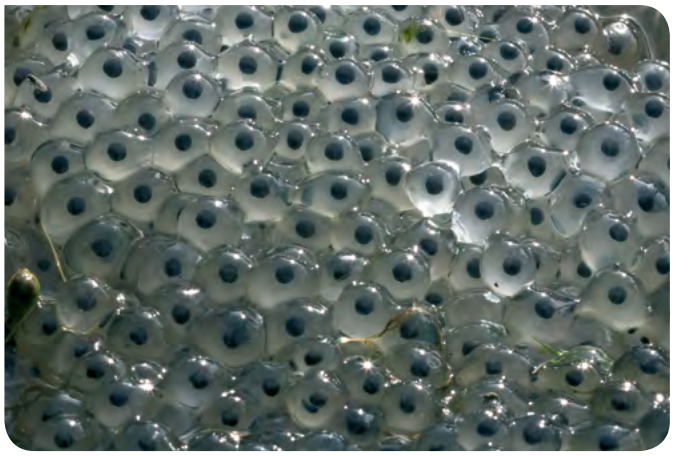
לצורך אנליזת eDNA נאספו לשקית סטרילית 30 מיליליטר מי בריכה מעשרים מקומות שונים בשולי הבריכה, כך שבסך הכול התקבלו 600 מיליליטר מי בריכה. כל נוטר שלקח דגימת מים עמד על גדת הבריכה בלי להיכנס למים, כדי לא לזהם את המים דרך המגפיים שנעל ולא להציף את המים בבוץ ומשקעים. הדגימות נלקחו משולי הבריכה בפיזור שווה עד כמה שאפשר, מאתרים שצפויים להימצא בהם טריטונים: למשל ליד צמחייה שבה הם מטילים ביצים.

90 מיליליטר מים מהדגימה המאוחדת חולקו לשש מבחנות אשר בכל אחת מהן חמישה-עשר מיליליטר מי בריכה. לצורך שימור ה-DNA הכילה כל מבחנה 33 מיליליטר של 100% אתנול ו-1.5 מיליליטר של 3M סודיום אצטאט. המבחנות נשמרו בחדר קור עד שנשלחו למעבדת הבדיקות לאנליזה, שם הוקפאו ב-20°C-. האנליזות נערכו עד חודש מיום איסוף הדגימות.

הכנות לאנליזת eDNA

אנליזת דגימות ה-eDNA נערכה ב-PCR[3] באמצעות תחלים[4] וגלאים[5] שנבחרו על-פי מאגר נתוני גנום של 56 מיני דו-חיים אירופאים. התחלים והגלאים נבדקו קודם לכן על DNA שבודד מטריטונים וכן על תאי רקמה של שישה-עשר טריטונים משלושה מקומות שונים בבריטניה. את תאי הרקמה לקחו מומחים מורשים לכך באמצעות העברת מטוש על גוף הטריטונים באופן חיצוני ולא חודרני. מיצוי ה-DNA וקביעת כמותו נערכו בעזרת ערכות מסחריות. כדי לוודא את ייחודיות הגלאים והתחלים לטריטון מהמין הנבדק נערכו עימם אנליזות PCR גם על DNA שבודד משני מיני טריטונים אחרים (Triturus marmoratus, Triturus carnifex). כדי למצוא את כמות ה-DNA המועטה ביותר שאפשר לזהות בדגימה באמצעות התחלים והגלאים[6], ואת כמות ה-DNA המועטה ביותר שעדיין יכולה להניב תוצאות אמינות ומדויקות באמצעותם[7], נערכו הגברה וכימות של סדרת מיהולים ידועה של DNA של טריטון, מ-10^{-1} ננוגרם למיקרוליטר ועד 10^{-10} ננוגרם למיקרוליטר, עם 12 חזרות לכל ריכוז.

לאחר בדיקה על DNA ועל תאים של טריטון נערכה בדיקה מקדימה על DNA מדגימות של מי בריכות שבהן היה ידוע גודל אוכלוסיית הטריטונים. תשע דגימות מים נאספו מבריכות כאלה בין אפריל למאי. שלוש דגימות נלקחו מבריכות שהתקבלו בהן ספירות נמוכות של אוכלוסיית הטריטונים, שלוש דגימות נלקחו מבריכות שהתקבלו בהן ספירות בינוניות של אוכלוסיית הטריטונים (בדרום בריטניה) ושלוש דגימות נלקחו מבריכות שלא נמצאו בהן טריטונים (בצפון סקוטלנד).



[3] Polimerase Chain Reaction: שיטה להגברת כמות DNA באמצעות תהליכי שכפול חוזרים ונשנים של קטעי DNA על ידי האנזים DNA פולימראז.

[4] primers

[5] probes

[6] limit of detection LOD

[7] limit of quantification LOQ

אנליזת eDNA מהדגימות

כל הדגימות סומנו בקוד מספרי ייחודי כך שלא ייחשפו פרטים על אתר הבריכה או על נוטלי הדגימה. מיצוי ה-DNA נערך בחדר ובו תנאים המונעים זיהומי DNA מיצורים אחרים (זרימת אוויר מהחדר החוצה, תאורת UV ותחלופת אוויר גבוהה לשמירה על סטריליות). אנשי המעבדה לבשו ביגוד סטרילי, כפפות, כיסוי ראש ומסכת פנים טרם כניסתם לחדר. מיצוי DNA ממבחנות בקרה שלילית נערך באופן קבוע יחד עם הדגימות מהבריכות ונועד לאתר זיהום של DNA. מיצויי ה-DNA עברו כימות באמצעות תגובת PCR כמותי ושימוש בגלאים ובתחלים מתאימים (Thomsen, 2012; זאת בטמפרטורה התחלתית של 50°C למשך חמש דקות, 95°C למשך 10 דקות ואחר כך 55 מחזורים של 95°C למשך שלושים שניות ו- 56.3°C למשך דקה אחת. לכל דגימה נערכו שתים-עשרה הרצות של תגובת PCR (שתים-עשרה חזרות). ה-PCR הכמותי הושווה לסדרת מיהולים ידועים של DNA מהמין הנחקר של הטריטון, מ-10^{-1} ננוגרם למיקרוליטר ועד 10^{-4} ננוגרם למיקרוליטר. הוספת סדרת המיהולים ל-PCR הכמותי נעשתה בחדר נפרד מחדר מיצוי ה-DNA כדי למנוע זיהומים ב-DNA. לתגובה נוספו ארבע בקרות שליליות. תגובת ה-PCR הכמותי נערכה בחדר שלישי המוקדש ומותאם לכך (זרימת אוויר מהחדר החוצה, תאורת UV ותחלופת אוויר גבוהה לשמירה על סטריליות). בכל המקרים, כמות ה-DNA המינימלית (LOQ) הייתה מתחת לגבול הכימות, כך שאי אפשר היה לכמת את ה-DNA בתגובה. לכן הדיווח על כמות ה-DNA בדגימות נעשה באמצעות מספר המבחנות שבהן התקבל DNA בתגובת ה-PCR מתוך 12 החזרות (מ-0 מבחנות מתוך 12 ועד 12 מבחנות מתוך 12).

בדיקה לתוצאות חיוביות כוזבות

כדי לקבוע אם שיטת ה-eDNA מניבה תוצאות חיוביות כוזבות, כלומר מדווחת על נוכחות DNA של הטריטון אף שאין טריטונים ממין זה בבריכה, נאספו דגימות משתי קבוצות של אתרים שהיה לחוקרים יסוד טוב להאמין שאין בהם טריטונים מהמין הנחקר. קבוצת אתרים אחת הייתה צפונית מעט מהטווח הצפוני ביותר של התפוצה הידועה של המין. קבוצת האתרים השנייה הייתה בטווח התפוצה, אך על פי דיווחים מקומיים לא נצפו בה פרטים מהמין הנחקר של הטריטון. האתרים כללו בריכה בגינות של המשתתפים בפרויקט המחקר שלא נראה בהן טריטון מעולם; בריכות במרכזי למידה שאנשי התחזוקה מעולם לא ראו בהן טריטונים, ובריכות שאוכלוסיית הדגים בהן צפופה ולכן אינן מתאימות לטריטונים. מכאן שאף על פי שהחוקרים לא ביקרו באתרים אלה, הם הניחו בביטחון רב שאין בהם טריטונים.

בדיקות ה-eDNA בדגימות מ-35 הבריכות שנוטרו בדרום בריטניה ובאזור הצפוני יותר איתרו טריטונים מהמין Triturus cristatus ב-139 מתוך 140 ביקורים

הפעלת שיטת ה-eDNA על ידי מתנדבים

כדי להעריך את דיוק השיטה הפעילו החוקרים רשת של מתנדבים באזור התפוצה של הטריטון בבריטניה. בתוך כך גויסו 86 מתנדבים, חלקם אנשי מקצוע וחלקם חובבים, רובם הגדול מעורב בפרויקטים של ספירת חיות בר. הם אספו דגימות מ-239 בריכות המפוזרות בכל אזור התפוצה של המין, קרוב ככל האפשר לשיא עונת הרבייה של הטריטון, בין אמצע מאי לאמצע יוני. המתנדבים קיבלו דף הנחיות פשוטות על שיטת הניטור (ראו תיאור לעיל, תחת הכותרת דגימות מים לניטור eDNA), אך לא אומנו ולא נערך פיקוח על עבודתם בשדה. צוות המחקר נטל דגימות חוזרות מ-26 אתרים (11%) כדי להשוותן לדגימות של המתנדבים.

נתונים נוספים על הבריכות

קיים מידע מועט מאוד על השפעת הסביבה על פירוק eDNA במים מתוקים. ידוע שבליית eDNA נוצרת בשל פעילות של נוקלאזות, מים, קרינת UV ופעולת חיידקים ופטריות (Dejean, 2011), ושבמתקני מחקר אקולוגיים גדולים במיוחד (mesocosms) eDNA של הטריטון הנחקר מתפרק רק לאחר שבוע עד שבועיים (Thomsen et al., 2012). לכן ניסו החוקרים לאסוף נתונים א-ביוטיים וביוטיים על הדגימות והבריכות ולמצוא מתאם בין נתונים אלה לתוצאות האנליזה: אזור הבריכה, מידת הצל, צפיפות הצמחייה, מדד סובייקטיבי של איכות המים, תנועה של גוף המים, איכות בית הגידול שלחופי הבריכה, מספר הבריכות הסמוכות לבריכה, נוכחות דגה ומפלים. כמו כן, שקלול כל הנתונים הביוטיים והא-ביוטיים שנאספו סייע לחשב מדד להתאמת הבריכה כבית גידול[8] לטריטונים מהסוג הנחקר.

DNA סביבתי (environmental DNA, eDNA)

DNA סביבתי (eDNA) הוא DNA הנאסף מהסביבה - מהקרקע, ממקור-מים או מהאוויר, במקום ישירות מהאורגניזם. מקורו בהפרשות או חלקי רקמה של שלל האורגניזמים החיים בסביבה: גללים, רקמת עור, ריר העוטה את האורגניזמים, תאי מין המופרשים לסביבה, קשקשים או שיער. מכיוון שהדגימות מהסביבה מכילות מולקולות DNA שמקורן באורגניזמים רבים משתמשים בגלאים ותחלים הנקבעים לפי מאגרי מידע ממוחשבים המכילים רצפים שלמים של גנום מאורגניזמים שונים, בהתאם למטרת האנליזה ולמגוון האורגניזמים שבבית הגידול. באמצעות שיטות ריצוף חדישות (High throughput DNA sequencing) המאפשרות לנתח כמויות גדולות של רצפי DNA שמקורן באורגניזמים רבים אפשר לזהות לאילו אורגניזמים שייכים רצפי ה-DNA שבדגימה. התוצאות מאפשרות לקבוע במהירות יחסית מגוון ביולוגי ותפוצה של מינים שקשה לתפוס או לתצפת, מינים פולשים, או מינים הנתונים בסכנת הכחדה. בדרך זו ממזערים את התערבות האדם ונמנעים מגרימת נזק או עקה לפרטים מהמינים הנחקרים. תרומת האנליזה של DNA סביבתי היא בעיקר לתהליכי שימור והצלה של בתי גידול ומינים בסכנת הכחדה. השיטה יעילה במיוחד עבור אוכלוסיות קטנות של מינים בשל רגישותה הגבוהה, אך היא תלויה בשימור ה-DNA בבית הגידול, כלומר, במידה שבה ה-DNA מתפרק בסביבה שבה הוא נמצא.

[8] Habitat Suitability Index (HIS)



ניתוח הנתונים

לשם השוואה בין שיטת הניטור באמצעות eDNA לשיטות הניטור המסורתיות עשו החוקרים שימוש במבחן של McNemar, שלפיו מחשבים אם ההבדל בין זוג משתנים שאינם בהתאמה גדול יותר מההבדל הצפוי ביניהם כאשר הסיבה להבדל היא אקראית (McNemar, 1947). במקרה של המחקר המתואר כאן, זוג משתנים שאינם בהתאמה יהיו כאשר ניטור באמצעות eDNA מאתר נוכחות של טריטון מהמין הנחקר, ואילו שיטות מסורתיות אינן מאתרות את נוכחותו, או להפך. מערך המחקר התאים למבחן כזה משום שלחוקרים היה ידוע מראש שבכל הבריכות שנבדקו היו טריטונים מהמין הנחקר.

תוצאות

אנליזת הדגימות מהבריכות בדקה שתי שאלות: (1) האם קיימת התאמה בין נוכחות פרטים מהמין Triturus cristatus בבריכות לבין זיהוי DNA של המין בדגימות מהבריכות? כדי לענות לשאלה זאת השתמשו החוקרים בתגובת PCR שבה נעשה שימוש בתחלים ובגלאים ייחודיים למין זה של טריטון: אם יש התאמה כזאת, החוקרים יצפו שבתגובת ה-PCR תהיה הגברה של כמות ה-DNA הייחודי למין רק בדגימות מבריכות שהיה ידוע מראש שקיימים בהן פרטים ממין זה. כמו כן, הם יצפו שלא תהיה הגברת DNA בדגימות מבריכות שהיה ידוע מראש שלא קיימים בהן פרטים ממין זה; (2) האם כמות ה-DNA הייחודי למין זה של טריטון מתאימה לגודל האוכלוסייה כפי שנקבע באמצעות ספירות ושיטות ניטור מסורתיות? כדי לענות לשאלה זאת ביצעו החוקרים PCR כמותי של הדגימות מהבריכות עם תחלים וגלאים ייחודיים למין זה של טריטון בהשוואה ל-PCR כמותי של סדרת מיהולי DNA של Triturus cristatus בריכוזים ידועים.

הערכת תוצאות השימוש בתחלים ובגלאים

הפעלת התחלים בלבד על הדגימות מהבריכות, ללא הגלאים, יצרה הגברה של 63 מינים על פי השוואה למאגר הרצפים GenBank. לפני הניטור, כשהוכנו התחלים והגלאים ונערכה בדיקה מוקדמת של היברידיזציה לרצפי DNA ידועים, התאימו התחלים והגלאים התאמה מלאה בהיברידיזציה לרצפי הטריטון מהמין הנחקר, אך כמו כן התאימו חלקית (עם כמה אי התאמות) למינים נוספים: לדג ממוצא אוסטרלי מהמין Melanotaenia splendida ; לטריטון מהמין Taricha torosa, לטריטון מהמין Triturus carnifex ולטריטון מהמין Triturus karelinii. מפאת אי ההתאמות של התחלים לרצפי המינים האלה, הסיכוי להגביר אותם בדגימות מהבריכות הוא קטן, אבל אי אפשר להתעלם מאפשרות כזאת. כל המינים האלה אינם נמצאים בבריטניה, מלבד הטריטון מהמין Triturus carnifex. מין זה אינו מותאם לתנאים בבריכות שנדגמו למחקר, והוא נמצא רק במספר מוגבל של אתרים בבריטניה (Jehle, 2011). נוסף על כך, בהכנות לאנליזת eDNA לא התקבלה הגברה של DNA כאשר התחלים והגלאים הופעלו על DNA של Triturus carnifex, מה שהוכיח את התאמתם לניטור Triturus carnifex.

בדגימות התקבלה הגברה של רצפי DNA בכל הבריכות שנמצאו בהן פרטים מהמין Triturus carnifex ולא התקבלה הגברה בבריכות שלא נמצאו בהן פרטים ממין זה. כמות ה-DNA המועטה ביותר שעדיין הניבה תוצאות כמותיות אמינות ומדויקות (LOQ)בתהליך ה-PCR הכמותי הייתה במחקר זה 3×10^{-3}ng, בעוד שה-DNA של Triturus cristatus אותר גם בריכוזים של 3×10^{-9}ng, עם לפחות מבחנה אחת מתוך שתים-עשרה שהראתה תוצאה חיובית בתהליך ה-PCR הכמותי. לכן נקבע ריכוז זה (3×10^{-9}ng) ככמות ה-DNA המועטה ביותר שאפשר לזהות בדגימה (LOD).

השוואה לשיטות ניטור מסורתיות

בדיקות ה-eDNA בדגימות מ-35 הבריכות שנוטרו בדרום בריטניה ובאזור הצפוני יותר איתרו טריטונים מהמין Triturus carnifex ב-139 מתוך 140 ביקורים (99.3%). לכידה בבקבוקים וספירה לאור פנסים איתרו נוכחות רק ב-76% ו-75% מהביקורים בהתאמה, ואילו איתור ביצים - ב-44% מהביקורים. ההבדלים בין eDNA והשיטות המסורתיות היו מובהקים ($p < 0.0005$, על פי מבחן McNemar).

נוטרים מקצועיים של דו-חיים משלבים פעמים רבות כמה שיטות ניטור כדי לקבוע גדול אוכלוסייה, ולכן צירפו החוקרים את התוצאות משיטת הבקבוקים עם תוצאות שיטת הפנסים. בשתי השיטות יחד אותרו טריטונים ב-95% מהביקורים, אחוז גבוה ודומה לשיטת ה-eDNA אך עדיין שונה ממנה באופן מובהק ($p < 0.05$, על פי מבחן McNemar).

באתרים שונים נספרו בשיטות המסורתיות (ספירת פנסים ולכידה בבקבוקים) בין 1 ל-45 פרטים לביקור, להוציא שני ביקורים שבהם לא נספרו פרטים כלל. 75 אחוזים מהספירות בביקורים נכנסו לקטגוריית אוכלוסיות קטנות, ו-25 אחוזים לקטגוריית אוכלוסיות בינוניות. לרוב, בדיקות ה-eDNA ב-PCR הכמותי התאימו לספירות הטריטונים. אולם בעוד שההתאמה בין כמות eDNA נמוכה לאוכלוסיות קטנות הייתה טובה, כמות eDNA גבוהה יותר לא ניבאה בהכרח קיומן של אוכלוסיות טריטונים בינוניות. לכן כימות eDNA אינו שיטה מתאימה לבדיקת שכיחות של טריטונים מהמין הנחקר.

תוצאות eDNA שנאסף על ידי מתנדבים

218 מתוך 239 האתרים (91 אחוזים) שבהם מתנדבים אספו דגימות eDNA הראו תוצאה חיובית. מכיוון שבכל 239 האתרים נמצאו טריטונים, המשמעות היא ש-9 אחוזים מהאתרים הראו תוצאה שלילית כוזבת. תוצאות שליליות אלה לא נמצאו קשורות לתאריך נטילת הדגימות או לתנאים ביוטיים ואו-ביוטיים מסוימים בסביבה, אלא למדד התאמת האתר כבית גידול לטריטונים שחושב על ידי שקלול כל התנאים בבריכה. כלומר, הגורם שהשפיע על מציאת DNA של טריטון בדגימות

היה מידת התאמתו של בית הגידול לטריטונים מהמין הנחקר.

בארבע מתוך 21 הבריכות שהראו תוצאות שליליות כוזבות נעשו טעויות באיסוף דגימות המים: איסוף דגימות רק מחלק מהיקף הבריכה, או מאזורים שאינם נגישים לטריטונים, כמו מים רדודים במיוחד או אזורים בעלי צמחייה צפופה במיוחד. בשש מהן נספרו טריטונים מעטים בשיטות המסורתיות. עבור התוצאות השליליות הכוזבות שהתקבלו משאר אחת-עשרה הבריכות לא נמצא הסבר סביר.

לעומת תוצאות שליליות כוזבות, לא התקבלו תוצאות חיוביות כוזבות מדגימות ה-eDNA שאספו המתנדבים - לא מבריכות בתחום המחיה של טריטונים ולא מבריכות מחוץ לו.

כבקרת איכות לדגימות ה-eDNA שאספו המתנדבים נאספו דגימות eDNA מ-26 אתרים על ידי מומחים חברי צוות המחקר. ב-25 מתוכם (96%) התקבלו אנליזות זהות של דגימות מתנדבים ודגימות מומחים.

דיון

יעילות שיטת ה-eDNA בקביעת נוכחות הטריטון או היעדרו

אנליזת eDNA הייתה שיטה יעילה ביותר, שאִבחנה באופן כמעט מושלם את נוכחות המין הצפוני של הטריטון במחקר שהתבצע ב-35 הבריכות. שיטה זאת הייתה אף יעילה יותר משיטות ניטור מסורתיות. התוצאות שהתקבלו במחקר זה דומות לתוצאות שהתקבלו במחקר אחר (Pilliod et al., 2013), שבו התקבל אבחון בשיעור של 83-100 אחוזים של שני מיני דו-חיים בשלושה-עשר אתרים. אחוזי הצלחה גבוהים כל כך בתוצאות אנליזת eDNA תומכים בהצעה ששיטה זו יכולה להפוך לשיטת ניטור מקובלת, במיוחד כדי לחסוך ביקורים תכופים בשטח כדי לקבוע את היעדר המין הנחקר מהאתר. למעשה, דרושה דגימת eDNA אחת בעונת הרבייה, שהיא שוות ערך לחמישה ביקורים באתר ולהפעלת שלוש שיטות מסורתיות בכל ביקור, כדי להסיק בביטחון של 95 אחוזים שהטריטון נעדר מהבריכה הנבדקת.

התוצאות שהתקבלו מדגימות שנטלו המתנדבים מצביעות על ישימות השיטה כשמעורבים צוותים גדולים יחסית של נוטרים בעלי ניסיון והכשרה מועטים. אומנם התקבלו תוצאות שליליות כוזבות באחוז גבוה יותר באנליזת הדגימות שאספו המתנדבים, ואולם התקבל אחוז גבוה (91 אחוזים) של תוצאות חיוביות, שהיה בהתאם לאחוזים גבוהים שהתקבלו במחקרים אחרים שהשתמשו באנליזת eDNA לניטור אורגניזמים (Thomsen et al., 2012; Pilliod et al., 2013), כך שהשיטה אחידה מאוד, גם כאשר היא מיושמת על ידי נוטרים חסרי ניסיון. למרות זאת, תוצאות של 91 אחוזים אינן מספיקות לניטור באמצעות ביקור יחיד באתר. בהינתן שהמתנדבים עבדו רק לפי דף הנחיות ולא קיבלו הדרכה כלשהי על שיטת האיסוף, החוקרים משערים שלאחר הדרכה פשוטה יחסית אפשר יהיה לאבחן נוכחות או היעדר של אורגניזם ברמה הדומה לזו שמתקבלת כאשר החוקרים מפקחים על האיסוף או מבצעים אותו בעצמם. אם מוצאים את הנתונים שהתקבלו בשל טעויות בהפעלת השיטה עולה אחוז הבריכות שנמצאו בהן טריטונים באמצעות eDNA ל-95 אחוזים.

מיעוט התוצאות השליליות הכוזבות לא אפשר אנליזה סטטיסטית של גורמי סביבה אפשריים התורמים לתוצאות כאלה, אבל מתוך שיחות עם המתנדבים אפשר לציין שלושה גורמים אפשריים לכך: (1) בריכות שמספר הטריטונים בהן היה נמוך במיוחד, ולכן לא היה בדגימות DNA של טריטונים מהמין הנחקר; (2) בריכות שבהן המתנדבים הצליחו להגיע רק לחלק מהמים הרדודים שבהיקף הבריכה; (3) בריכות שבהן אזור רחב מאוד של מים רדודים ביותר, ובהן המתנדבים לא הצליחו להגיע למים מעט יותר עמוקים החביבים על הטריטונים, משום שהונחו לא להיכנס למים. לפחות חלק מגורמים אלה אפשר לפתור באמצעים טכניים (כמו מוט ארוך שיאפשר גישה לאזורי מים רחוקים יותר כדי ליטול את הדגימה), או בהסבר מפורט יותר של ההנחיות (לדוגמה, מהם מאפייני האזורים החביבים על טריטונים בבריכה).

הערכת שכיחותו של הטריטון באמצעות eDNA

אנליזת eDNA יעילה ביותר בקביעת נוכחות של המין או היעדרו מאתר מסוים, אך פחות יעילה בקביעת שכיחותו באותו אתר. אף שהייתה התאמה כללית בין כמות eDNA בדגימות לבין ספירת הפרטים בשיטות המסורתיות, ההתאמה הטובה ביותר הייתה כאשר כמות ה-eDNA של הטריטון הייתה נמוכה יחסית: בכל המקרים שבהם התקבלה כמות נמוכה של eDNA של



הטריטון הייתה גם ספירה נמוכה בשיטות המסורתיות. לעומת זאת, כמות eDNA גבוהה של הטריטון התקבלה גם מאתרים שנספרו בהם מעט טריטונים וגם מאתרים שנספרו בהם טריטונים רבים. הערכת שכיחות הטריטון באמצעות ספירת פרטים בשיטות המסורתיות היא בעייתית, ועלולה להעריך גודל אוכלוסייה גבוה מהמצוי או נמוך ממנו (Sewell et al., 2013). לרוב, כדי לקבוע שכיחות של פרטים באוכלוסייה יש לגדר את השטח ולפרוס מלכודות צמוד לה, או לבצע לכידות, סימון, שחרור ולכידה מחדש של הפרטים באוכלוסייה. לכן אין פלא שהתקבלו אי התאמות בין כימות ה-eDNA לבין הספירות. נוסף על כך, החוקרים לא הצליחו לקשר בין כמות ה-DNA לשכיחות הפרטים משום שקביעת שכיחות DNA מדויקת התקבלה רק בריכוזי DNA שהיו מתחת לגבול הכימות בכלים שעמדו לרשותם במחקר הנוכחי. ייתכן כי שימוש עתידי בכלים שיאפשרו לכמת DNA בריכוזים נמוכים מאוד יעזור לקביעת השכיחות על פי כמות ה-eDNA. עם זאת יש לזכור שיכולים להיות גורמים נוספים המשפיעים על הקשר בין כמות eDNA לשכיחות, כמו פיזור הטריטונים בבריכות, דרכי איסוף דגימות המים וגורמים סביבתיים המשפיעים על פירוק DNA. על פי גורמים שנמצאו משפיעים על פירוק eDNA במעבדה (Strickler et al., 2015) יש יסוד

סביר להניח שבריכות קרות יחסית, מוצלות ומוגנות מקרינת UV ובעלות pH בסיסי יותר שומרות לאורך זמן רב יותר על eDNA, לעומת בריכות חמות יותר, חשופות לשמש ובעלות pH ניטרלי או חומצי. מכיוון שהבריכות שחיים בהן טריטונים מהמין הנחקר משתרעות על פני שטח מגוון מבחינת תנאים א-ביוטיים אלה, כדאי יהיה בעתיד לבדוק את הקשר ביניהם לבין כמות ה-eDNA של הטריטונים בדגימות.

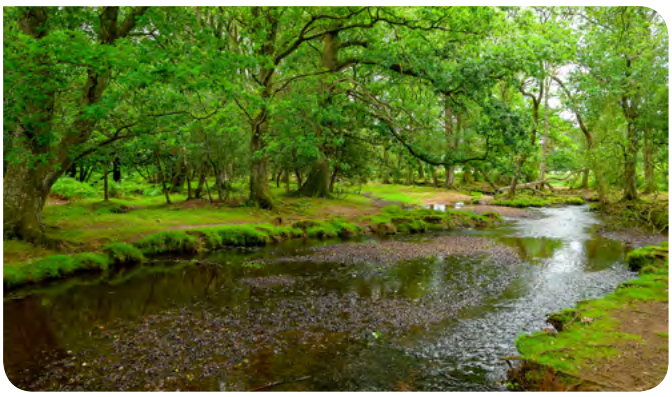
דרכים לשיפור השיטה

האופן שבו אפשר להפעיל את שיטת איסוף ה-eDNA עדיין חסר פרטים רבים: מהם המקומות המיטביים לאיסוף הדגימות? אילו הבדלים בייצור eDNA קיימים לאורך חייו של פרט ממין מסוים? כיצד משתנים ריכוזי eDNA של מין מסוים לאורך השנה? האם יעיל לאסוף eDNA גם ממשקעים בבריכה? כיצד מפוזר eDNA בבריכות והאם יש לכך השפעה על שימורו?

משקעי הבריכה יכולים להיות מקור מצוין ל-eDNA. במחקר שבדק eDNA של קרפיון נמצא שריכוזו במשקעים היה פי 8 עד 1800 יותר מאשר במים, ונשמר 152 ימים (Turner, 2015). לכן כדאי מאוד להימנע מזיהום של דגימות המים במשקעים מהקרקעית. בד בבד, באתרים שבהם ריכוז ה-eDNA במים נמוך ביותר, כמו אתרים שאוכלוסיית הטריטונים בהם קטנה במיוחד, דגימות מהקרקעית יכולות להיות חלופה אפשרית לדגימות המים.

גם אופן השמירה על הדגימות מהשטח ופרוטוקול מיצוי ה-DNA מהדגימות עשויים להשפיע על התוצאות המתקבלות. לדוגמה, במיצוי דגימות מים קפואות מתקבלת כמות נמוכה יותר של DNA (Takahara et al., 2014). חשוב ליצור אחידות בין שיטות מעבדה ושיטות בשטח בכל הנוגע לשמירת הדגימות ולפרוטוקול המיצוי, כדי שאפשר יהיה להשוות ביניהן. זאת במיוחד כשצפוי להתקבל שיעור נמוך של תוצאות שליליות או חיוביות כוזבות. לדוגמה, חדירה של מים ממקור מים אחר, נשאי DNA של דו-חיים כמו ציפורי מים, או תפעול שגוי של הפרוטוקול יכולים לגרום בשטח לזיהום של DNA ולהניב תוצאה חיובית כוזבת.

מכל אלה אפשר להבין עד כמה חשוב ליצור פרוטוקול עבודה אחיד בסטנדרטים גבוהים במיוחד במעבדה עבור דגימות eDNA, שיניב אפס תוצאות חיוביות כוזבות, כך שהתוצאות יהיו הדירות ומהימנות, בדומה לפרוטוקולים שפותחו לחקר DNA במאובנים ובממצאים היסטוריים (Knapp et al., 2012). שמירה על סטנדרטים גבוהים חשובה במיוחד בכל הנוגע להחלטות על מיזמים יקרים או משמעותיים בהיקפם, שקביעת השפעתם על הסביבה תלויה בנתונים על תפוצה של אורגניזמים וכמותם.



לאחר בדיקה על DNA ועל תאים של טריטון נערכה בדיקה מקדימה על DNA מדגימות של מי בריכות שבהן היה ידוע גודל אוכלוסיית הטריטונים

השלכות מעשיות על שימור הטריטון

כאמור, מחקר זה מראה שאיסוף eDNA הוא שיטה מהימנה לביצוע ניטור בהיקף רחב של תפוצת מינים הנמצאים בסכנת הכחדה באזורים נרחבים בבריטניה. די בדגימה אחת של eDNA כדי להחליף ארבעה ביקורים באתר והפעלת שלוש שיטות ניטור מסורתיות. איסוף הדגימה מהיר בהרבה מהפעלת שיטות מסורתיות, ועלות האנליזה במעבדה אינה גבוהה, בדומה לשיטות ניטור הנהוגות לבדיקת איכות המים מבחינה כימית. השיטות המסורתיות מסורבלות בשל כללי בטיחות המחייבים עבודה בזוגות וקבלת אישורים שונים ולכן מייקרים את עלות הפעלתן: עלות שיטת ה-eDNA בשדה ובמעבדה הייתה 140 יורו לאתר, לעומת 1450 יורו לאתר עבור הפעלת שיטות מסורתיות. בבדיקה שנעשתה בעבר הראו חוקרים שכדי לקבל תמונה מלאה על תפוצתו של הטריטון הנחקר יש צורך לנטר 110 בריכות באנגליה, 600 בריכות בוויילס ו-380 בריכות בסקוטלנד (Biggs et al., 2014). ארגון של ניטור בסדר גודל כזה הוא קשה ביותר כשיש צורך בארבעה ביקורים באתר והפעלת שלוש שיטות מסורתיות כדי לקבוע שהטריטון אינו נמצא באתר מסוים. כתוצאה מכך קשה להפעיל מערכים קיימים של תוכניות ניטור ומתנדבים וליצור מאגרי נתונים גדולים דים לניטור אוכלוסיית הטריטון בבריטניה. לעומת זאת, יצירת מערך ניטור באמצעות איסוף דגימות של eDNA יכול להיות חלופה ישימה גם למינים אחרים של אורגניזמים, כמו חסרי חוליות ודגים.

השלכות מעשיות על איסוף eDNA באמצעות מתנדבים

גיוס מתנדבים לניטור בשיטות מסורתיות כבר קיים והוכח כמוצלח (Botham et al., 2013), אולם איסוף eDNA יכול להגדיל באופן משמעותי את מגוון המינים המנוטר ואת שיתוף האוכלוסייה המקומית בניטורם. כרגע מבצעי ניטור באמצעות הציבור מוגבלים למינים מוכרים היטב מבחינה טקסונומית, כמו ציפורים, דו-חיים, צמחים, יונקים וחרקים. אורגניזמים שקשה להגדירם טקסונומית מוגדרים ברמות טקסונומיות גבוהות יותר, ולכן חלה פגיעה באיכות הניטור שלהם והם אינם נכללים בתוכניות ניטור או שימור. שימוש ב-eDNA יכול להעשיר את המינים שאפשר לנטר באופן שיטתי על ידי אנשים ללא הכשרה מקצועית בהגדרה טקסונומית, ולמנוע טעויות בהגדרה, שהן עיקר הדאגה של ניטור באמצעות הציבור הרחב. החוקרים מצפים שניטור באמצעות eDNA יגדיל את התעניינות הציבור בתיעוד ביולוגי במקווי מים, ויאפשר אבחון מהיר של מינים נדירים או בסכנת הכחדה, שלרוב דורשים השקעת זמן רב ומומחיות בשדה.

מקורות

Biggs, J., Ewald, N., Valentini, A., Gaboriaud, C., Griffiths, R.A., Foster, J., Wilkinson, J., Arnett, A., Williams, P., Dunn, F. (2014): Analytical and methodological development for improved surveillance of the Great Crested Newt. Defra Project WC1067. Freshwater Habitats Trust: Oxford.

Botham, M.S., Brereton, T.M., Middlebrook, I., Randle, Z., Roy, D.B. (2013): United Kingdom Butterfly Monitoring Scheme Report for 2012. Centre for Ecology & Hydrology, Wallingford.

Dejean, T., Valentini, A., Duparc, A., Pellier-Cuit, S., Pompanon, F., Taberlet, P., Miaud, C. (2011): Persistence of environmental DNA in freshwater ecosystems. PLoS ONE, 6:e23398.

Ficetola, G.F., Miaud, C., Pompanon, F., Taberlet, P. (2008): Species detection using environmental DNA from water samples. Biological Letters 4: 423–425.

Griffiths, R.A. (1985): A simple funnel trap for studying newt populations and an evaluation of trap behaviour in smooth and palmate newts, Triturus vulgaris and Triturus helveticus. Herpetology Journal 1: 5–10.

Jehle, R., Thiesmeier, B., Foster, J. (2011): The Crested Newt. Laurenti-Verlag, Bielefeld.

Knapp, M., Clarke, A.C., Horsburgh, K., Matisoo-Smith, E.A. (2012): Setting the stage–Building and working in an ancient DNA laboratory. Annals of Anatomy 194: 3–6.

Lodge, D.M., Turner, C.R., Jerde, C.L., Barnes, M.A., Chadderton, L., Egan, S.P., Feder, J.L., Mahon, A.R., Pfrender, M.E. (2012): Conservation in a cup of water: estimating biodiversity and population abundance from environmental DNA. Molecular Ecology 21 2555–2558.

McNemar, Q. (1947): Note on the sampling error of the difference between correlated proportions or percentages. Psychometrika 12 (153): 157.

Pilliod, D.S., Goldberg, C.S., Arkle, R.S., Waits, L.P. (2013): Estimating ccupancy and abundance of stream amphibians using environmental DNA from filtered water samples. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 70: 1123–1130.

Schmeller, D.S., Henry, P.Y., Julliard, R., Gruber, B., Clobert, J., Dziock, F., Lengyel, S., Nowicki, P., Deri, E., Budrys, E., Kull, T., Tali, K., Bauch, B., Settele, J., Van Swaay, C., Kobler, A., Babij, V., Papastergiadou, E., Henle, H. (2009): The advantages of volunteer-based biodiversity monitoring in Europe. Conservation Biology 23: 307–316.

Sewell, D., Beebee, T.J.C., Griffiths, R.A. (2010): Optimising biodiversity assessments by volunteers: the application of occupancy modelling to large-scale amphibian surveys. Biological Conservation 143: 2102–2110.

Strickler, K.M., Fremier, A.K., Goldberg, C.S. (2015): Quantifying effects of UV-B, temperature, and pH on eDNA degradation in aquatic microcosms. Biological Conservation 183: 85-92.

Takahara, T., Minamoto, T., Doi, H. (2014): Effects of sample processing on the detection rate of environmental DNA from the Common Carp (Cyprinus carpio). Biological Conservation 183: 64-69.

Thomsen, P., Kielgast, J., Iversen, L.L., Wiuf, C., Rasmussen, M., Gilbert, M.T.P., Orlando, L., Willerslev, E. (2012): Monitoring endangered freshwater biodiversity using environmental DNA. Molecular Ecology 21, 2565–2573.

Turner, C.R., Uy, K.L., Everhart, R.C. (2015): Fish environmental DNA is more concentrated in aquatic sediments than surface water. Biological Conservation 183: 93-102.

Wilkinson, J.W., Arnell, A.P. (2013): NARRS Report 2007–2012: Establishing the Baseline (HWM Edition). ARC Research Report 13/01.



מדע אזרחי - פרפראות

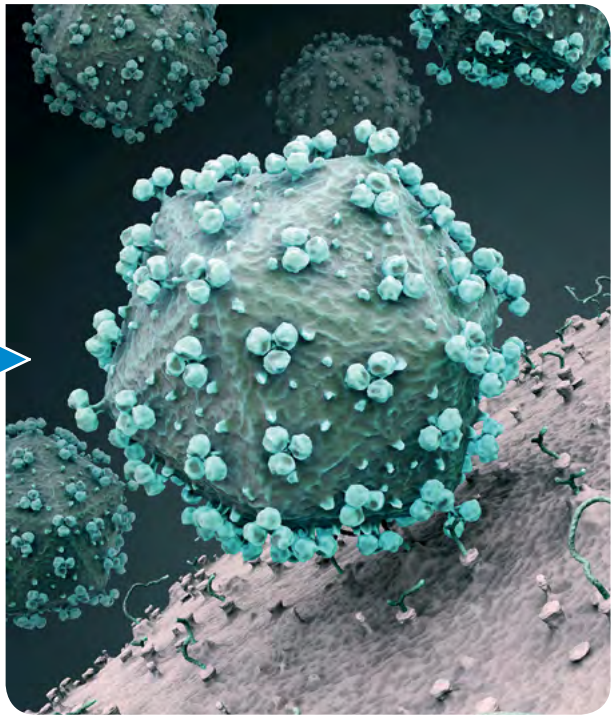


חלזונות בראי האבולוציה

בשנת 2009 הושק פרויקט מחקר בריטי בשם Evolution MegaLab, שגייס 6461 אזרחים מ-15 מדינות ברחבי אירופה לתיעוד פולימורפיזם בדגם הקונכייה של שני מיני חלזונות: Cepaea nemoralis ו-Cepaea hortensis. האזרחים שהתנדבו להשתתף בפרויקט (ובהם משפחות, תלמידי בתי ספר ויחידים) התבקשו לבחור שטח בסביבת מגוריהם או בסביבת בית הספר ולהזין למאגר מידע את מספר החלזונות שמצאו לפי תכונות הקונכייה: קונכייה צהובה, חומה או ורודה; דגם פסים או היעדר פסים; פס יחיד או פסים מרובים.

מטרת הפרויקט הייתה לבדוק אם חל שינוי בתכונות הקונכייה לאורך זמן, וזאת באמצעות השוואת תוצאות הספירה של האזרחים לנתונים במאגרי מידע על דגם הקונכיות של חלזונות אלה משנות השישים והשבעים של המאה הקודמת. החוקרים שיערו ששכיחות הדגם הבהיר והיעדר הפסים תהיה גבוהה יותר בנתונים החדשים שנאספו, זאת כתגובה לשינויי האקלים - אולי מפני שדגם בהיר מקנה יתרון בהגנה מפני קרינה. המשתתפים בפרויקט ערכו 7629 תצפיות ולהפתעת החוקרים, הממצאים הראו עלייה בשכיחות הפס היחיד. הסבר אפשרי לכך הוא תגובה לשינוי בלחץ טריפה, בעיקר על ידי הציפור קיכלי רונן.

חשיבותו של הפרויקט טמונה בעיקר בתרומתו להשכלת הציבור בנושא אבולוציה, והוא הושק לקראת ציון מאתיים שנה להולדת צ'ארלס דרווין.



אוריגמי של חלבונים

בשנת 2008 מדענים מאוניברסיטת וושינגטון העלו לרשת את המשחק Foldit, שבו מתבקשים השחקנים ליצור קיפולים במבנה ראשוני של חלבונים ייחודיים. השחקנים צוברים נקודות כאשר הם מגיעים למצבים אנרגטיים נמוכים של החלבון. מפתחי המשחק חשבו לגייס את חוכמת ההמונים לפתרון אחת הבעיות המורכבות ביותר בביולוגיה מולקולרית כיום: מספר האפשרויות לקיפול מבנה ראשוני של חלבון במרחב הוא עצום, ובעבור חלבונים רבים טרם נמצא הפתרון.

ההצלחה הגדולה ביותר של שחקני Foldit הייתה מציאת המבנה המרחבי של אנזים המיוצר על ידי נגיף ה-M-PMV של קופים, הדומה לנגיף ה-HIV. האנזים הוא פרוטאז רטרו-וירלי, המשתתף בתהליכי ההתרבות של הנגיפים. השחקנים, שאינם מומחים בנגיפים, פתרו את הבעיה בתוך שלושה שבועות, והתוצאות התפרסמו בכתב העת היוקרתי Nature Structural & Molecular Biology. הבנת המבנה המרחבי תסייע לפיתוח תרופות למחלות רטרו-וירליות.

שורשי גינה: פרויקט Gardenroots

העיירה הקטנה דיואי-המבולט שוכנת באזור נידח באריזונה. באחת מישיבות המועצה, שבה הועלה לדיון זיהום ארסן ממפעל קרוב, אמר אחד התושבים שכל רצונו הוא לדעת אם עדיין בטוח לגדל ירקות בגינתו הפרטית ולאכול אותם. מדענית שהוזמנה לאותה ישיבה אמרה שהשאלה מעניינת גם אותה.

כך נולד פרויקט המחקר Gardenroots. במשך כשלושה חודשים העבירו התושבים מגינותיהם הפרטיות דגימות קרקע וירקות לבדיקות כימיות, תכננו יחד עם המדענים את הניסויים והבדיקות שיש לבצע, סיפקו מידע חשוב על מקורות אפשריים לזיהום ואתרי דגימות אפשריים בגינות. המדענים בצוות המחקר העבירו הדרכות לתושבים, ביצעו יחד איתם את הניסויים וביקרו תכופות באירועים קהילתיים בעיירה. באירוע שנערך עם סיום הפרויקט קיבלו המשתתפים את התוצאות עבור גינתם הפרטית ובעזרתן ענו על שאלת המחקר. האירוע כלל הסברים על שיטות הבדיקה לארסן שבהן השתמשו החוקרים, וכיצד מחשבים את הסיכון באכילת הירקות ואת הכמות הרצויה לצריכה בהינתן תוצאות המעבדה.

אזרחים ברחבי העולם מעורבים בדרגות שונות בפרויקטים של מדע אזרחי, החל מאיסוף דגימות בלבד ועד מעורבות ברוב שלבי המחקר. Gardenroots הוא דוגמה לפרויקט מחקר שבו מעורבות הקהילה במחקר היא רחבה וכוללת את העלאת שאלת המחקר ואת תכנון הניסויים.





ארגוני גג לפרויקטים בגישת מדע אזרחי

תחום המדע האזרחי נמצא בצמיחה מתמדת וחוקרים יוזמים פרויקטים רבים בגישת מחקר זאת. כדי לרכז משאבים, בעיקר בניהול מאגרי מידע ובאיסוף נתונים, הוקמו ארגוני גג עולמיים לפרויקטים בגישת מדע אזרחי. הפרויקטים פתוחים לכול ואפשר לעניין תלמידים להשתתף בהם.

Zooniverse הוא ארגון עולמי לפרויקטים בגישת מדע אזרחי במגוון נושאים, כולל מדעי הסביבה, ביולוגיה, אסטרונומיה ורפואה. רוב הפרויקטים מבוססים על זיהוי פרטים בתמונות, כמו מעקב אחר נדידת חיות בשמורת סרנגטי באפריקה או זיהוי עצי מאכל ומקומות לינה של קופי אורנגוטן בתצלומים מרחפנים. לצידם אפשר למצוא פרויקטים הבודקים ידע באנטומיה בקרב אנשים מהציבור או מבקשים עזרה בהקלדת תוויות מאוסף ענק של חרקים במוזיאון טבע העובר תהליך של דיגיטציה.

eBird הוא ארגון גג עולמי המאגד למאגר מידע תצפיות בציפורים מכל רחבי העולם. המידע משמש להבנת תהליכים כלל-עולמיים באוכלוסיות של ציפורים, תפוצתן ומסלולי נדידתן. אזרחים רבים שאינם מדענים אוהבים לעסוק בצפרות כתחביב ולכן בעלי ידע רב בתחום. שיתוף הידע ואיגוד תצפיות ודיווחים מכל רחבי העולם מאפשרים לשאול שאלות מחקר ולהציע מודלים ופרויקטים לשימור.

תפקיד חשוב למוזיאוני טבע

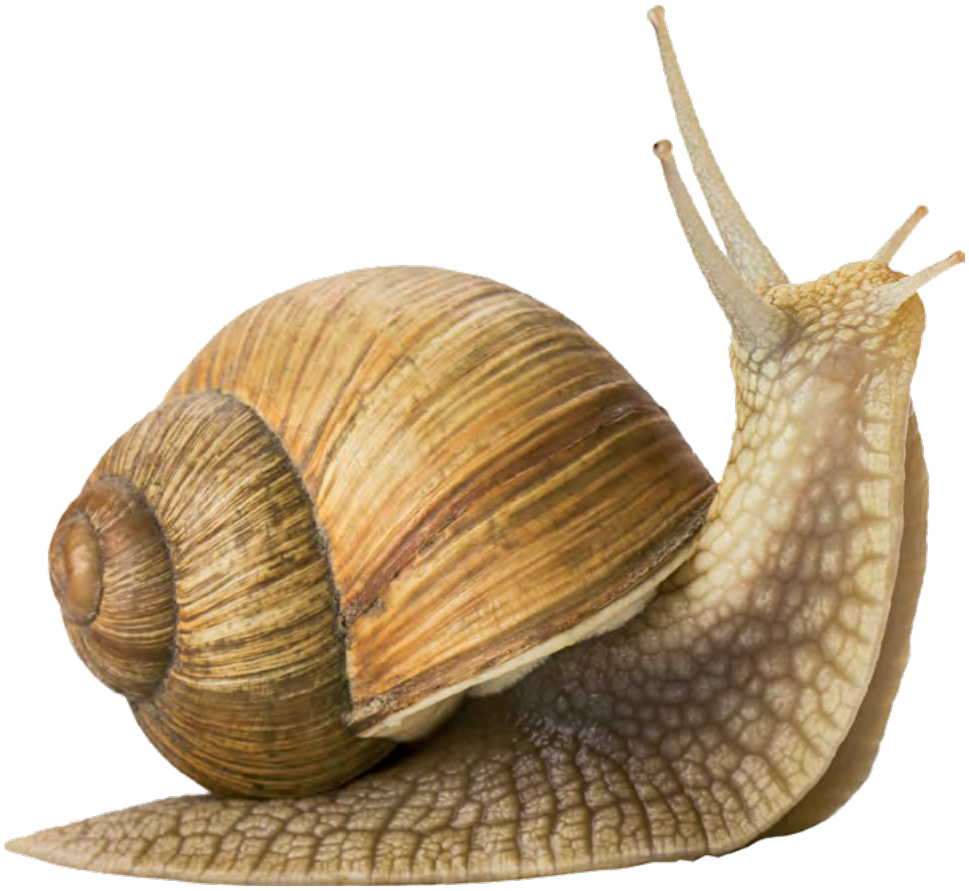
מוזיאוני טבע ברחבי העולם יוזמים פרויקטים רבים בגישת מדע אזרחי המתמקדים במגוון ביולוגי. מוזיאונים אלה מחזיקים אוספים ישנים ועתיקים של אורגניזמים ומקיימים קשר עם ציבור רחב. אוספי האורגניזמים הם מקור מידע מצוין על מורפולוגיה, תפוצה, תופעות ביולוגיות עונתיות והאבקה לאורך תקופות ארוכות ויכולים לענות על שאלות הקשורות לשינויים בסביבה והתערבות האדם והשפעתם על מגוון ביולוגי. שאלות כאלה מעמידות שני אתגרים: האחד, יצירת מאגרי מידע היסטוריים באופן שיאפשר מידע נגיש. השני, יצירת אוספים עכשוויים של אורגניזמים, אשר יאפשרו להשוות את המגוון הביולוגי הקיים כיום למגוון הביולוגי ההיסטורי ולתעד שינויים. שני האתגרים מקבלים מענה באמצעות מדע אזרחי: מוזיאוני טבע ברחבי העולם פונים לציבור הרחב בבקשה לסייע בדיגיטציה של אוספים, וכן בגיוס מידע על אורגניזמים הקיימים כיום. דוגמה לכך היא פרויקט Evolution MegaLab (ראו כאן, פרפראות, חלזונות בראי האבולוציה) שבו נבדקו שינויי מורפולוגיה בקונכיות של חלזונות מהמאה ה-19 ועד ימינו.





מדע אזרחי גם בתואר ראשון

מדע אזרחי נכנס גם לקורסים אקדמיים באוניברסיטאות, כפתרון המאפשר לערב את הסטודנטים במחקר אמיתי למרות מספרם הגדול של סטודנטים בקורסי מבוא בביולוגיה. לדוגמה, בקורס באקולוגיה באחת מאוניברסיטאות וינה שבאוסטריה התבקשו סטודנטים לתעד בעלי חיים דרוסים באמצעות אפליקציה בטלפונים הניידים. הסטודנטים דיווחו למאגר מידע משותף על מין החיה, על מיקומה ועל מאפייני הסביבה. בעקבות הרצאות שבהן למדו הסטודנטים על עקרונות באקולוגיה ושיעורי מעבדה שבהם עברו הכשרה בזיהוי ושיוך טקסונומי של אורגניזמים, זיהו הסטודנטים דגמי תמותה של אורגניזמים והעלו השערות הקושרות בין התוצאות לבין העקרונות שלמדו. דוגמה אחרת היא קורס מבוא לביולוגיה שהתקיים באוניברסיטת מערב אוסטרליה, ובו התבקשו סטודנטים לאסוף נתונים עונתיים על מינים נפוצים לפרויקט המדע האזרחי ClimateWatch, המאתר באמצעותם השפעות של שינויי אקלים. לאחר מכן קיבלה כל קבוצת סטודנטים גיליון נתונים על מין מסוים מתוך המאגר, והסטודנטים התבקשו לענות על השאלה אם הנתונים מראים שינויים בתפוצה או בתופעות עונתיות הקשורות למין זה. בהמשך כתבו הסטודנטים מאמרי מחקר שנבדקו בידי חבריהם לקורס ופורסמו בעיתון הסטודנטים.





מדע אזרחי מותאם אישית

כיצד מדע אזרחי מוביל למעורבות הציבור במדע ולמענה על צרכים אישיים

מאת: יעלה גולומביק, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל

מבוא

עולם המדע כפי שאנו מכירים אותו כיום נשען על אנשי מקצוע, מדענים אשר נחשבים למומחים בתחום הידע המדעי שלהם. המדענים מבצעים מחקר במוסדות מסודרים, אוניברסיטאות ומכוני מחקר, הם יוצרים ידע חדש שאותו הם מפיצים לקהילת המדענים בתחומם. זוהי מערכת מסודרת ומאורגנת היטב, הכוללת שיטות מחקר מקובלות, דרכים לאימות ובקרת נתונים, ניתוח נתונים וכן ביקורת עמיתים כדי לוודא את איכות המחקרים טרם פרסומם.

אך לא תמיד היו כך פני הדברים. מדענים רבים במרוצת ההיסטוריה לא עסקו במדע במסגרת מקצועית. המדע היה עבורם תחביב, עיסוק, או חלק מהעולם האינטלקטואלי שבו גדלו (Silvertown, 2009). אנו מכירים מדענים כמו צ'ארלס דרווין, בנג'מין פרנקלין, תומס ג'פרסון ועוד, אשר תרמו רבות לידע המדעי, אף שלא נחשבו "מדענים" לפי הגדרתנו כיום. למעשה, רק בסוף המאה התשע-עשרה התגבשה האקדמיה במוסדות מסודרים לשם עריכת מדע. במשך מאות שנים לפני כן התבסס המחקר המדעי על חובבים עם תשוקה מיוחדת למדע אשר פעילותם היתה הבסיס לגילויים המדעיים הגדולים ביותר (Miller-Rushing, Primack, & Bonney, 2012). מחקרים רבים נערכו בשיתוף מתנדבים אשר תרמו באיסוף, מיון וניתוח של נתונים מדעיים, בלי שניתן לכך שם ובלי שניתנה להם הכרה רשמית על כך. לדוגמה, בשנת 1835 זכה ויליאם ויוול (William Whewell) במדליית כבוד על עבודתו, אשר התבססה על כמעט מיליון תצפיות של גאות ושפל שאספו באופן שיטתי ומסונכרן מתנדבים משני צידי האוקיינוס האטלנטי (Cooper & Lewenstein, 2016), זאת ללא הכרה רשמית במתנדבים שאפשרו עבודה זו.

שיתוף מתנדבים במחקר המדעי אשר נעשה במשך דורות בעבר צובר בשנים האחרונות תנופה מחודשת באלפי מיזמים ובהם מאות אלפי משתתפים ברחבי העולם. שיטת מחקר זו אף קיבלה שם חדש - מדע אזרחי. התפתחויות טכנולוגיות חדשות כמו האינטרנט והטלפון החכם הצליחו למנף את המדע האזרחי ולחולל תופעה עולמית הולכת וגדלה. אנשים מעורבים באיסוף נתונים מדעיים, בסיווג וניתוח נתונים, אך גם בהגדרת שאלות מחקר ובבניית השערות מחודשות (Bonney et al., 2009). טכנולוגיות חדשות מאפשרות שילוב של אזרחים-מתנדבים בפיקוח על הסביבה הטבעית, בניטור המגוון הביולוגי, במיפוי מפגעים וזיהומים ובמעקב אחר תופעות מטאורולוגיות.

מחקרים רבים מדגימים תוצרי למידה משמעותיים בקרב תלמידים שהשתתפו במיזמי מדע אזרחי



לאנשים ניתנת ההזדמנות לעסוק במדע, להבין את המדע ולחברו לחיי היומיום שלהם. מדע אזרחי מוסיף גישה דמוקרטית, שבה המדע ודרכי פעולתו שקופים ונגישים לאנשים שאינם מומחים, ואלו יכולים לתרום ליצירת הידע המדעי ולקיום שיח בנושאי המחקר. בכך מדע אזרחי יוצר הזדמנות לערב את הציבור במדע ולשתפו באופן פעיל בסוגיות מדעיות אותנטיות המשלבות מדע וחברה (Zeidler, 2015). בסופו של דבר, מדע אזרחי מחבר אנשים למדע ומחבר את המדע לאנשים.

מדע אזרחי אף מספק הזדמנות חשובה לשלב תלמידים בחקר אותנטי ועשוי לתרום לגיבוש אוריינות מדעית בקרב תלמידים (גולומביק, 2018). מחקרים רבים מדגימים תוצרי למידה משמעותיים בקרב תלמידים שהשתתפו במיזמי מדע אזרחי, כגון למידת תוכן מדעי, שיפור החשיבה המדעית וכן עלייה במודעות ובאחריות אישית כלפי הסביבה (לדוגמה Ballard, Dixon, & Harris, 2017). מסיבות אלו נכלל לאחרונה מדע אזרחי כפדגוגיה חדשנית ללמידת חקר בבתי ספר (פרגסון ושות', 2017).

מטרות ושדה המחקר

המחקר הנוכחי בחן פרויקט בגישת מדע אזרחי בנושא איכות אוויר בישראל ככלי ליישום של עקרונות מעורבות הציבור במדע: יצירת שיח ציבורי בנושאים מדעיים, העלאת צרכים מהשטח ושיתוף הציבור בתהליכי קבלת החלטות בנושאים מדעיים. במהלך המחקר נבחנו הצרכים ונושאי העניין של הציבור ושל תלמידים, שיטות לעידוד השתתפות הציבור במדע ודרכים להצגת נתונים מדעיים, בהקשר של איכות אוויר בישראל - נושא בעל עניין וחשיבות גדולה בקרב כל שכבות הגיל של הציבור הישראלי.



המחקר נערך במסגרת "חשים את האוויר", פרויקט לניטור איכות האוויר בסביבה המקומית. חשים את האוויר מנגיש נתוני ניטור אוויר לציבור הרחב ומשתפו בביצוע מדידות, בדיווח על מפגעים, בשאילת שאלות מחקר ובניתוח ראשוני של נתונים. כחלק מהמיזם נפרסה רשת של חיישנים המודדים את איכות האוויר בבתים, בחצרות ובבתי ספר - מקומות שבהם אנשים מבלים את רוב זמנם. תלמידים ואזרחים השתתפו בתהליכי חקר סביב נושא איכות האוויר והנתונים שנאספו מהחיישנים שימשו לשתי מטרות: (א) הנגשת נתוני איכות האוויר לציבור, הגברת המודעות לנושא ומענה על שאלות הציבור; (ב) בניית מודלים של איכות אוויר ותפוצת מזהמים במרחב על ידי מדענים.

נושאי עניין בהקשר של איכות אוויר בישראל

על מנת להבין את נושאי העניין של הציבור בהקשר של איכות אוויר בישראל, ועל מנת להתאים את מיזם "חשים את האוויר" לצרכים אלו, נערך סקר ובו נשאלו המשתתפים במיזם: "אם היית יושב עם מומחים ובעלי עניין בנושא איכות האוויר בישראל, מה היית שואל אותם?" השאלות שהתקבלו בסקר היו מגוונות וכללו בקשות לקבלת מידע נוסף על מזהמים, שאלות על מערכת הניטור המקומית, שאלות על חשיפה לזיהום אוויר ושאלות הנוגעות להשלכות הבריאותיות של חשיפה זו. השאלות שהתקבלו חולקו לנושאים (לדוגמה מקורות זיהום, סיכוני בריאות, בקשת מידע וכולי), והתכנסו לארבעה נושאי-על עיקריים:

1. **מידע מעשי ועובדתי -** הצורך של משתתפים במידע עובדתי על איכות האוויר, על מערכות הניטור ועל מקורות הזיהום, ובפרטים מעשיים על הפרויקט.
2. **שורה תחתונה והשלכות בריאותיות -** הרצון להבין את השורה התחתונה בהקשר של זיהום אוויר (האם האוויר מזוהם?) ואת ההשלכות הבריאותיות של זיהום אוויר.
3. **פעולות** - רצון המשתתפים לפעול לצמצום הסיכונים האישיים ולהבנת הפעולות שמבצעות הרשויות.
4. **אחריות ואמון -** אחריות של הרשויות בנושאי איכות האוויר וחששות של משתתפים ביחס לאמינות הנתונים והמשרדים הרגולטוריים.

דוגמאות לשאלות שהעלו המשתתפים והנושאים העיקריים שבהן עסקו מסוכמות בטבלה 1.

השאלות שהעלו משתתפי "חשים את האוויר" עוסקות במידע עובדתי, בהשלכות בריאותיות ומעשיות, בהבנה של נתונים ובבעיות אמון. חלק מהשאלות עוסקות בנושאים חברתיים ואזרחיים, אך שאלות רבות עוסקות בנושאים מדעיים, ולרבות מהן אין כיום תשובה - גם לא למדענים העוסקים בנושא[1].

במחקר הנוכחי בדקנו את הצרכים ונושאי העניין של הציבור ושל תלמידים, שיטות לעידוד השתתפות הציבור במדע ודרכים להצגת נתונים מדעיים, בהקשר של איכות אוויר בישראל

טבלה 1: נושאי העניין של הציבור בהקשר של איכות אוויר

נושאי-על	דוגמאות
מידע מעשי ועובדתי	כמה נקודות ניטור יש בחיפה? היכן הן ממוקמות?
	מהם החומרים שאותם מנטרת המערכת של "חשים את האוויר"?
שורה תחתונה והשלכות בריאותיות	האם אכן האוויר מזוהם?
	האם מסוכן יותר לתינוקות לחיות באזור הפונה לכיוון המפעלים?
פעולות	אילו פעולות יכול "אדם מן השורה" לעשות כדי להפחית את זיהום האוויר בכלל ואת החשיפה האישית לזיהום אוויר בפרט?
אחריות ואמון	מי מפקח שלא ייפלטו חומרים מזהמים לאוויר?
	היכן מקבלים ממצאים אובייקטיביים?

[1] רוצים לדעת מה מעניין תלמידים בהקשר של איכות אוויר? היכנסו ל- http://air.net.technion.ac.il/questions/ ותגלו. הצביעו אילו שאלות מעניינות גם אתכם וכתבו הצעות לשאלות נוספות.

נושא איכות האוויר נחקר באופן מעמיק בישראל ובעולם כולו. תוצאות מחקרים אלו הובילו להבנת הסכנות הטמונות בזיהום האוויר, מקורותיו ולמציאת דרכים לצמצום מפגעים. מחקרים רבים אף מעריכים את הנזק הרב שנגרם מזיהום אוויר. לדוגמה, לפי דו"ח של ארגון הבריאות העולמי, בשנת 2012 נהרגו ברחבי העולם כשני מיליון בני אדם כתוצאה מזיהום אוויר. דו"ח המנהל הסביבתי של ה-OECD טוען כי בישראל לבד היו 2,240 מקרי מוות בשל זיהום אוויר בשנת 2015, מספר הנמצא בעלייה מאז 2010 (הקרן לבריאות וסביבה ומשרד הבריאות, 2017).

אף על פי כן, אופי המחקר המדעי אינו מאפשר השלכה ישירה של נתונים אלו למקרה פרטי (לדוגמה, קביעה שאתר מסוים מהווה מפגע בריאותי בשל זיהום סביבתי שהוא יוצר) ללא מחקר ממוקד בנושא. זאת מכיוון שבכל מקרה פרטי יש להביא בחשבון את כל הגורמים הסביבתיים העשויים להשפיע על המפגע, כמו כיווני רוח, פיזור ופירוק מזהמים במרחב וחשיפה אישית של אנשים באזור המפגע. נוסף על כך, שיוך ישיר של מקור זיהום (לדוגמה, תעשייה מזהמת או כביש סואן) לתוצר בריאותי (מחלה או מקרה מוות) הוא תהליך מחקרי סבוך אשר אומנם אפשרי, אך דורש מספר רב של מקרי תחלואה של אנשים בקרבת מקור הזיהום, ובמקרים רבים אף מעקב לאורך שנים רבות בהקשר זה. לעיתים רבות ביצוע מחקר מסוג זה אינו אפשרי וכך שאלות רבות בעלות עניין רב לציבור הרחב, כמו שאלות הנוגעות לאיכות אוויר בסביבה המקומית, אינן מקבלות מענה מהחוקרים בתחום.

מענה לצרכים אישיים באמצעות מדע אזרחי

עד כאן הוצגה דוגמה אחת של מיזם מדע אזרחי ישראלי למעורבות ציבור במדע, אך במדע אזרחי קיימים מודלים נוספים ושונים לשיתוף הציבור. מודלים אלו נעים על הרצף שבין איסוף נתונים בפרויקטים קיימים ובפרוטוקולים מוגדרים, לבין יצירה הדדית של מיזמים על פי צרכים העולים מהקהילה. דרגת השתתפות משמעותית יותר מאפשרת לאזרחים לקחת אחריות על הסביבה שבה הם חיים ולכוון את המחקר לתחומים ונושאים הרלבנטיים עבורם. ובאמת רבים מהמיזמים ביצירה הדדית נוצרו סביב נושאים בעלי עניין ציבורי רב, כמו קונפליקטים אזוריים וזיהומים סביבתיים (Ramirez-Andreotta, Brusseau, Artiola, Maier, & Gandolfi, 2015). לדוגמה, מיזם ניטור איכות המים בנחל שרמן בפנסילבניה, ארצות הברית, נוסד על ידי מתנדבים שהתגוררו סמוך לשמורה וחששו מפגיעה סביבתית בנחל הזורם באזור מגוריהם. בשיתוף פעולה עם חוקרים ממוסדות מחקר באזור פיתחו התושבים מערך מחקר לניטור מדדי איכות המים בשמורה, גיבשו דו"ח ובו תמצית הממצאים והמלצות וכן עתרו למדינה בבקשה לשדרוג מערכת המים בנחל (Wilderman, 2004).

חלק מהשאלות שהעלו משתתפי "חשים את האוויר" עוסקות בנושאים חברתיים ואזרחיים, אך שאלות רבות עוסקות בנושאים מדעיים, ולרבות מהן אין כיום תשובה



מיזם "חשים את האוויר" מציע מספר אפשרויות להשתתפות של אזרחים במחקר ואף מאפשר לאזרחים לקיים מחקרים אישיים בנושאים המעניינים אותם. לצורך כך מאפשר המיזם לשותפים בפרויקט לשאול חיישני איכות אוויר ולבצע מדידות במקומות ובזמנים שמעניינים אותם. זוהי השתתפות פתוחה הנותנת מענה לצרכים ונושאי העניין של הציבור בהקשר של איכות אוויר בסביבה המקומית, ומאפשרת לשותפים ללמוד על נושאים אלו ולקבוע את הרלבנטיות לחיי היום-יום שלהם.

בהקשר של השתתפות תלמידים, מיזם "חשים את האוויר" מספק פלטפורמה נוחה לביצוע חקר אותנטי על כל שלביו, החל משאילת שאלות מחקר, דרך תכנון וביצוע מדידות וכלה בניתוח נתונים והסקת מסקנות. פלטפורמה זו יכולה לשמש כלי לימודי חשוב בלמידת חקר ונותנת לתלמידים טעימה מהכלים, צורת החשיבה והמיומנויות הנדרשות לצורך ביצוע מחקר מדעי אמיתי. השתתפות של תלמידים במיזם "חשים את האוויר" תרמה להעלאת מודעותם והבנת מורכבות נושא איכות אוויר, ושיפרה את חשיבתם המדעית ואת יכולתם לפתח שאלות מחקר (Golumbic, Baram-Tsabari, & Fishbain, 2016).

מחקרים שביצעו משתתפי "חשים את האוויר" היו מגוונים למדי ובחנו את איכות האוויר בהקשר מקומי ואישי. רבים מהמשתתפים בחנו את איכות האוויר בביתם, השוו חדרים שונים בבית ופעילויות שונות המתרחשות בבית או בקרבתו אשר עשויות להשפיע על איכות האוויר. מספר משתתפים חקרו את איכות האוויר ברחובות הסמוכים לביתם ובשכונות אחרות או בנסיעה יומיומית ללימודים ולעבודה. שניים ממחקרים אלו מוצגים בהמשך המאמר ומדגימים את השימוש שנעשה בחיישנים כדי לענות על שאלות פרטיות. את המחקרים שנבחרו הובילו מורים אשר שיתפו את תלמידיהם בתהליך החקר סביב נושא איכות האוויר. המחקרים סוכמו על ידי המשתמשים בטופס לשיתוף הציבור במחקרים אישיים, זאת כדי לשתף את הקהילה כולה במחקרים שביצעו ובממצאיהם. סיכומים אלו נערכו ופורסמו באתר האינטרנט של "חשים את האוויר". הדוגמאות המוצגות כאן כתובות כחקר מקרה מדעי ומודגשות בהן השיטות המדעיות ששימשו בתהליך החקר, נוסף על תיאור תוצרי הלמידה של התלמידים.

מדידה של איכות אוויר בקרבת בית הספר

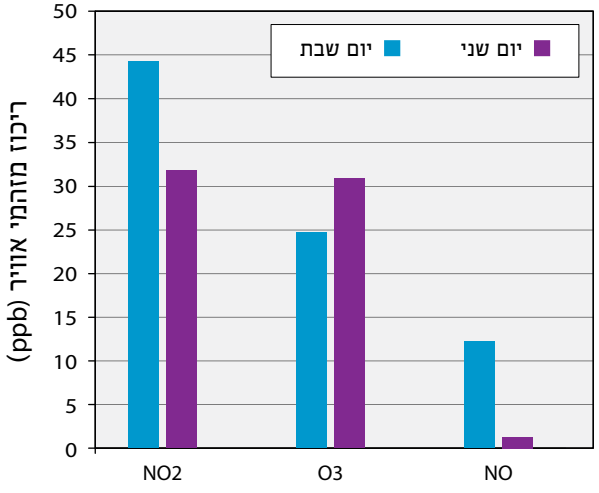
אחמד, מורה בבית ספר בצפון הארץ, ביצע עם תלמידיו מחקר שנועד לבדוק את רמת זיהום האוויר בסביבת בית הספר. הם בחנו את השאלה: מהי ההשפעה של תנועת כלי רכב על איכות האוויר בקרבת בית הספר?

על מנת לענות על שאלה זו ספרו התלמידים את המכוניות שעברו בקרבת בית הספר בשעות שונות במהלך היום וכן מדדו את איכות האוויר בכניסה לבית הספר. החיישנים שאיתם ביצעו התלמידים את המדידות ניטרו את המזהמים הגזיים חנקן דו-חמצני (NO2), חנקן חד-חמצני (NO) ואוזון (O3). מזהמים אלו הם חלק מהמזהמים הסטנדרטיים הנמדדים ברחבי העולם ולהם אף נקבעו תקנים בחוק אוויר נקי.

מהנתונים עולה כי מספר המכוניות שעברו ליד בית הספר בשעות השיא (8:10-7:40 בבוקר ו 13:20- 13:50 בצהריים) היה גבוה משמעותית ממספר המכוניות שעברו שם בשעות השפל. כך לדוגמה, בשעות השיא ספרו התלמידים 160 מכוניות שעברו בכביש בית הספר, ובשעות השפל ספרו 40 מכוניות בלבד. מספר מכוניות נמוך נמצא גם בשבת. על סמך נתונים אלו החליטו אחמד ותלמידיו לבצע השוואה של איכות האוויר בשעות השיא באמצע השבוע לעומת שעות שפל בשבת. מספר המכוניות שנספר בזמנים אלו מדווח בטבלה 2.

טבלה 2: שעות המדידה ומספר המכוניות הנספר בשעות השיא באמצע השבוע לעומת שעות שפל בשבת

יום	שעת מדידה	מספר מכוניות
שבת	12:00-11:30	35
שני	13:50-13:20	110



איור 1: רמות מזהמי אוויר ממוצעים בשעות המדידה בימים שבת ושני

תוצאות המדידה מדגימות כי בעוד מספר המכוניות בשעות השיא היה רב יותר משעות השפל, לא נמצא הבדל דומה מבחינת ריכוזי מזהמים: ריכוזי החנקן הדו-חמצני והחד-חמצני (NO_2, NO) היו גבוהים יותר בשבת יחסית לשני. לעומת זאת, ריכוזי האוזון (O_3) היו נמוכים יותר בשבת יחסית לשני (איור 1).

חנקן דו-חמצני וחנקן חד-חמצני נוצרים בתהליכי בעירה, ומקורות הזיהום העיקריים שלהם הם תחבורה ושרֵפות בתעשייה. אוזון, לעומת זאת, נחשב למזהם שניוני אשר נוצר בתגובות כימיות בין מזהמים הקיימים באוויר ואינו נפלט באופן ישיר ממקור זיהום. לרוב יימצא האוזון במרחק ממקורות זיהום האוויר המוכרים (לדוגמה, כבישים סואנים או ארובות פליטה). תוצאות המדידה אפוא מצביעות על כך שדווקא בשבת היו ריכוזי זיהום האוויר מעט גבוהים יותר מיום שני. כדי לבחון מהי הסיבה לעלייה בריכוז המזהמים בשבת נדרש לבחון מקורות זיהום נוספים, מעבר למספר כלי הרכב באזור. כמו כן, על מנת לוודא את תוצאות המחקר ולהגדיר ממצאים אלו כתופעה נדרש לבצע מספר מדידות חוזרות.

שתי מדידות שביצעו אחמד ותלמידיו לא הספיקו כדי להוכיח את השערתם כי כלי רכב הם הגורם העיקרי לזיהום אוויר בסביבת בית הספר. עם זאת הן היו כלי מצוין ללמידה על עקרונות זיהום אוויר ולתרגול מיומנות חקר בקרב תלמידים. מתוצאות המחקר אפשר ללמוד רבות על דרכים לשיפור המחקר בעתיד, ועל מושגי יסוד בתהליכי חקר, כגון משתנים, ביקורות וחזרות. נוסף על כך, השתתפות התלמידים תרמה להעלאת מודעות לצורך בשמירה על איכות האוויר ולחינוך לקיימות בקרב תלמידי בית הספר. תלמידים אף ציינו את נכונותם לשנות ממנהגיהם ולהתחיל ללכת ברגל לבית הספר או לארגן הסעות כדי להוריד את מספר המכוניות המגיעות לבית הספר בשעות העומס.

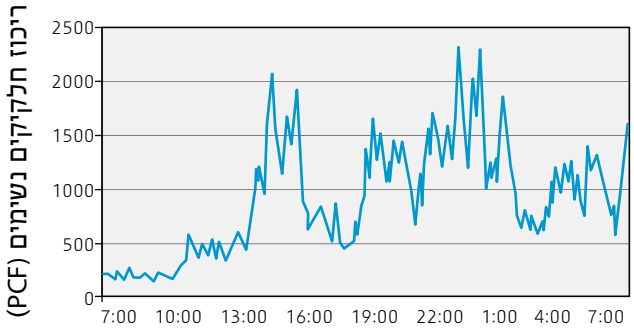
התלמידים סיכמו את המחקרים בטופס לשיתוף הציבור במחקרים אישיים כדי לשתף את הקהילה כולה במחקרים שביצעו ובממצאיהם

השפעות סביבתיות וביתיות על איכות האוויר באזור מגורים

רועי, מורה בבית ספר בדרום הארץ, ביצע אף הוא עם תלמידיו פרויקט חקר על איכות האוויר. התלמידים רצו לבחון השפעות סביבתיות על איכות האוויר באזורי מגורים, ולכן לקחו את החיישנים לביתם לביצוע המדידות. התלמידים אף ערכו יומן אירועים ובו ציינו אירועים סביבתיים שונים שהתרחשו בסביבת המדידה, כגון הפעלת מזגן, עישון סיגריה, בישול, רוח חזקה ועוד.

החיישנים שבאמצעותם ביצעו התלמידים את המדידות ניטרו חלקיקים נשימים (particular matter, PM) שהם חלקיקים קטנים בגודל 10-0.1 מיקרון החודרים למערכת הנשימה ועלולים לגרות אותה. חלקיקים נשימים הם במצב צבירה מוצק ושונים ממזהמי אוויר במצב צבירה גזי (כמו NO_2 ו-NO) הן במקורות היווצרותם והן בדרכי פיזורם.

עם סיום שלב איסוף הנתונים עברו התלמידים לניתוחם. ראשית הם הורידו את כל תוצאות המדידה מהחיישן למחשב והעבירו את הנתונים לקובץ אקסל. בשלב הבא התאימו התלמידים את נתוני המדידה לאירועים הסביבתיים שנרשמו ביומן האירועים. בחלק מהאירועים לא נרשמו כלל שינויים במדידות החיישן ובחלק היה שינוי משמעותי, כמו בדוגמה שלהלן:



איור 2: ריכוזי חלקיקים נשימים קטנים (PM2.5) בבית פרטי של תלמיד לאורך 24 שעות מדידה

טבלה 3: יומן אירועים של פעולות ואירועים סביבתיים במשך 24 שעות מדידה

שעה	פעולה/ אירוע סביבתי
7:20	קיבלתי את המכשיר בבית הספר וביצעתי מדידה בכיתה
14:30	שיעור ספורט בחדר קטן, אימון אירובי קשה
16:15	הגעתי הביתה והדלקתי מזגן
18:40	הרחתי ריח לא טוב מבחוץ, לא ברור של מה, ריח שרוף כזה אז סגרתי את החלון
19:00	אימא התחילה לטגן שניצלים בשמן עמוק, היה הרבה עשן בבית
19:30	ביקשתי מאימא לפתוח חלון ולהפעיל מאוורר כדי שיוציא את העשן
22:00	אח שלי הביא חברים והם הדליקו נרגילה, הנחתי את החיישן לידם כדי לבדוק מה נקלט
7:45	יצאתי לכיוון בית של חברה ברגל, היו הרבה רכבים בכביש בדרך לשם

התאמת נתוני המדידה בגרף 2 לאירועים הסביבתיים שנרשמו ביומן האירועים בטבלה 3 העלתה מספר ממצאים הנוגעים לעליית רמות החלקיקים הנשימים הקטנים. עלייה כזאת נצפתה בחדר קטן כאשר התקיימה בו פעילות ספורטיבית, בבית בזמן טיגון שניצלים, בעת עישון נרגילה וכן ליד כביש סואן. לעומת זאת, ריכוז החלקיקים ירד בבית בזמן הפעלת מזגן.

מיזם "חשים את האוויר" מספק לתלמידים פלטפורמה נוחה לביצוע חקר אותנטי על כל שלביו

על פי ממצאים אלה הציעו התלמידים מספר המלצות ופתרונות לצמצום החשיפה לחלקיקים[2]:

- בזמן בישול: לצמצם את זמן הבישול ככל שאפשר ולהתקין קולט אדים במטבח. התלמידים אף הציעו לעבור לשימוש נרחב יותר בשמן זית מאשר שמן קנולה עקב נקודת רתיחה גבוהה הרבה יותר של שמן הזית.
- עבור כלי רכב: להתקין מסנן על האגזוז של כלי הרכב (קיימים סוגים רבים אך רובם יקרים - החל מ-400 ש"ח למסנן מבדיקה שטחית), להמעיט נסיעה בשעות העומס, אם נוסעים בשעות העומס - לסגור חלונות ולהפעיל מזגן, לוודא שבכל טיפול שעובר כלי הרכב - מוחלף בו פילטר האוויר.
- מזגנים: להשתמש בבית במזגנים בעלי דירוג אנרגטי A על מנת שיהיה אפשר להפעילם לאורך זמן בלי לחשוש מעלויות חשמל גבוהות, התקנת מערכת מיזוג מרכזית לבית - זולה יותר ויעילה יותר להפעלה מבחינה אנרגטית ומטהרת את כל הבית.
- עישון: אם מעשנים - רק באזור פתוח, מומלץ גם מאוורר, ואם האזור אינו מאוורר כראוי - להניח מאוורר שיעיף את העשן. או פשוט לא לעשן.

המורה רועי מסכם את החוויה: "הניסוי לימד את התלמידים רבות אודות איכות הסביבה והנגיש להם את הנושא הגדול בצורה אישית וחווייתית". בנוסף מציין המורה כי לפני תחילת הפרויקט לא הבינו התלמידים את חשיבותו, ונשמעו הערות כמו: "למה אני צריך להיסחב עם זה?" ו"מה זה ייתן לי בחיים?". לאחר ההשתתפות התגובות היו חיוביות מאוד ונשמעו הערות כמו: "זה הדבר הכי שימושי שלמדנו השנה".

סוף דבר

מאמר זה מדגים את הצורך של אנשים במידע מדעי בהקשר של איכות אוויר, שלעיתים רבות אין לאנשים גישה אליו או שאינו קיים כלל. מיזם "חשים את האוויר" מנסה לענות על צורך זה ולהפוך את המדע לנגיש, זמין ורלבנטי לאנשים. המיזם מאפשר לאנשים לבצע מחקרים רבים ומגוונים, כך שכל המשתתפים - אזרח, מורה או תלמיד - יכולים להתאים את החקר המבוצע לנושאי העניין שלהם ולסביבה המקומית שבה הם נמצאים.

בספרם החדש מתארים היימנס וטימס (Heimans & Timms, 2018) את מעבר העולם מ"כוח ישן" ל"כוח חדש". הם מדמים את הכוח הישן לכסף (currency) אשר נמצא אצל מעטים ונשמר בקנאות. זהו כוח סגור, בלתי נגיש, ומונע על ידי מניגים. הכוח החדש, לעומת זאת, מדומה לזרם (current) אשר נוצר על ידי רבים. זהו כוח פתוח, משתף ומתפרץ שעוצמתו טמונה בהמון. שיתוף הציבור במחקר מדעי, ובתוכו המדע האזרחי, הוא חלק ממגמה זו אשר הופכת את המדע ואת יצירת הידע המדעי לזרם אשר כולנו שותפים ביצירתו ובהכוונתו.

[2] חשוב לציין כי המלצות אלו הועלו בידי תלמידים ולא נבחנו על ידי "חשים את האוויר" באופן מדעי.

מקורות

גולומביק, י. (2018). למידת חקר באמצעות מדע אזרחי. קריאת ביניים, 31, 19-22.

הקרן לבריאות וסביבה ומשרד הבריאות. (2017). בריאות וסביבה בישראל 2017.

פרגסון, ר., ברזילי, ש., בן-צבי, ד., צ'ין, ק., הרודוטו, כ., הוד, י., קלי, יקוקלסקהולם, א., קופרמינץ, ח., מק'אנדרו, פ., ריאנטיס, ב., שגיא, א., סקאלון, א., שארפלס, מ., וולר, מ., ווייטלוק, ד. (2017). דו"ח פדגוגיות חדשניות 2017: האוניברסיטה הפתוחה (בריטניה) דוח 6. מילטון קיינס: האוניברסיטה הפתוחה, בריטניה.

Ballard, H.L., Dixon, C.G.H. & Harris, E.M. (2017). Youth-focused citizen science: Examining the role of environmental science learning and agency for conservation. Biological Conservation 208, 65–75.

Bonney, R., Ballard, H., Jordan, R., McCallie, E., Phillips, T., Shirk, J., & Wilderman, C.C. (2009). Public Participation in Scientific Research: Defining the Field and Assessing Its Potential for Informal Science Education. A CAISE Inquiry Group Report (July), 1–58.

Cooper, C.B., & Lewenstein, B. (2016). Two Meanings of Citizen Science. In C. Darlene & E.B. Kennedy (Eds.), The Rightful Place of Science: Citizen Science (pp. 51–62). Tempe, AZ: Consortium for Science, Policy & Outcomes.

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.

Heimans, J. & Timms, H. (2018). New power : how power works in our hyperconnected world --and how to make it work for you. New York: Doubleday.

Miller-Rushing, A., Primack, R. & Bonney, R. (2012). The history of public participation in ecological research. Frontiers in Ecology and the Environment 10(6), 285–290.

Ramirez-Andreotta, M.D., Brusseau, M.L., Artiola, J., Maier, R.M. & Gandolfi, A.J. (2015). Building a co-created citizen science program with gardeners neighboring a superfund site: The Gardenroots case study. Int Public Health J. 7(1), 1–18.

Silvertown, J. (2009). A new dawn for citizen science. Trends in Ecology & Evolution, 24(9), 467–471. https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.03.017.

Wilderman, C.C. (2004). SHERMANS CREEK: Portrait of a watershed. Technical Status Report.

Zeidler, D. (2015). Socioscientific Issues. In Encyclopedia of Science Education (pp. 998–1003). Dordrecht: Springer Netherlands.





רשתות של מדע אזרחי בעולם ומיזמים בישראל

ד"ר נירית לביא אלון[1]

תחום המדע האזרחי מוכר בעולם זה שנים רבות. קיימים מאות אלפי מיזמים שבהם אזרחים ומדענים משתפים פעולה במגוון מחקרים. בישראל תחום המדע האזרחי נמצא בתחילת דרכו ועדיין לא ברור כמה מיזמים קיימים ובאילו תחומים. כדי לקבל תמונה ברורה נדרש ארגון שיכנס תחתיו את המיזמים השונים וייתן להם במה. בעולם קיימים פורטלים ואתרים ייעודיים המרכזים ומאגדים מיזמים של מדע אזרחי ובכך מאפשרים חשיפה למיזמים השונים ומקלים את הגישה אליהם.

בימים אלו מכנס תחתיו המוזיאון לטבע ע"ש שטריינהרדט בתל אביב את האוספים הלאומיים של המגוון הביולוגי בישראל ויחד עם החברה להגנת הטבע ומרכז המועצות האזוריות בישראל יש כוונה להקים בית משותף למיזמי מדע אזרחי בתחום המגוון הביולוגי. לקראת בניית הפלטפורמה הישראלית הוכנה סקירה קצרה על רשתות מדע אזרחי בארצות אחרות כדי ללמוד מהנעשה בעולם. במאמר זה נציג בקצרה מידע על רשתות בעולם ונתאר כמה מיזמי מדע אזרחי בתחום המגוון הביולוגי הפועלים בישראל.

רשתות מדע אזרחי בעולם

בשנים האחרונות מתפתחות מערכות שיתופיות, פלטפורמות של מיזמי מדע אזרחי, שמאוגדים בהן מיזמים בתחומים שונים, לרוב מאותה מדינה. רשתות אלו מאפשרות לקהל רחב להכיר מיזמים שונים ולאתר את המיזמים המעניינים את האנשים או נמצאים בסביבתם, להצטרף למיזמים ולהכיר את תוצאות המחקרים השונים ואת המידע שנוצר בפעילות המשותפת. הרשתות נותנות מענה גם למנהלי המיזמים ולמתנדבים: הן מזמינות אותם להיפגש וללמוד יחד ממומחים, או ללמוד זה מזה, לשתף פעולה ולעיתים מציעות משאבים משותפים כמו מערכות לתקשורת ברשת החברתית, פרסום משותף, מערכות להצגת נתונים ועוד. מאחורי הרשתות עומדים מוזיאוני טבע, גופים ממשלתיים ו/או מוסדות מחקר המגייסים תקציבים ממשלתיים וכן מימון מקרנות ומגופים השותפים ברשת.

כך למשל, רשת עולמית בארצות הברית שהוקמה ב-2011 כוללת כ-2700 מיזמים מהעולם בתחומים שונים ומציעה למנהלי המיזמים כלים ניהוליים וכלים לפרסום ולגיוס מתנדבים, כל זאת ללא תשלום; הרשת של צרפת הוקמה אף היא ב-2011 וכוללת כ-200 מיזמים מתחום המגוון הביולוגי; הרשת של שוויץ הוקמה ב-2015 וכוללת כעת כ-40 מיזמים מתחומים שונים; ב-2017 הושקו אתרי הרשתות של אוסטריה ושל גרמניה המציגות אף הן עשרות מיזמים בתחומים שונים.

בדרך כלל מוצגים המיזמים ברשתות אלו בתבנית אחידה כדי להקל על הציבור להכיר אותם ולבחור את אלה המתאימים להם. התבנית כוללת על פי רוב תמונה והסבר: איש קשר, מטרת הפרויקט, מקום הפעילות, תיאור המשימה, אופן ההצטרפות, מועד הפרויקט, תכיפות הפעילות הנדרשת ומשך הזמן הממוצע, גיל מומלץ, מיומנויות נדרשות ופרטים נוספים, וכמובן הפניה לאתר הפרויקט. ברשתות אלה קיימת מערכת חיפוש המאפשרת לחפש מיזמים לפי מספר קריטריונים (כגון מילות חיפוש, מקום, סוג הפעילות, קהל היעד, נושא וקריטריונים נוספים).

מהם המיזמים הנבחרים המוצגים ברשתות? האם יש תנאי סף או קריטריונים לבחירת המיזמים? ברוב הרשתות שהוזכרו לעיל אין התייחסות לתנאי קבלה ולא ברור אם המיזמים המוצגים נבחרו על פי תנאי קבלה מסוימים. לאחרונה, בעקבות צורך משותף להבין מה נחשב מיזם מדע אזרחי ומהם הקריטריונים לקבלה לפלטפורמה, התקיים תהליך משותף לצוות האוסטרי ולצוות הגרמני שבו הוגדרו עשרים סטנדרטים למיזמי מדע אזרחי והחל תהליך שבו מיזמים ייבחנו ויתקבלו בהתאם לקריטריונים אלו. להלן הקריטריונים כפי שפרסמה הרשת האוסטרית (בתרגום לעברית):



[1] הכותבת מרכזת את תחום המדע האזרחי בחברה להגנת הטבע ובמוזיאון הטבע על שם שטיינהרט וחברה בצוות המרכז לקידום מדע אזרחי בבית הספר.

תחום	קריטריון
סטנדרטים מדעיים	1. חייבת להיות מנוסחת שאלת מחקר מדעית, היפותזה או מטרה שאפשר לענות עליה, המקבלת מענה או מושגת בפרויקט. 2. המתודות מוצגות במסגרת תחום המחקר באופן מתאים ומובן. 3. בפרויקט נוצר ידע חדש או מפותחות דרכי מחקר חדשות.
שיתופי פעולה	4. חייב להיות ערך מוסף לכל המשתתפים, הן למדענים האזרחים והן למדענים המקצועיים. 5. לא ניתן להשיג את מטרות הפרויקט ללא שיתוף פעולה של מדענים אזרחים. 6. מדענים אזרחים חייבים להיות שותפים ברכיב אחד לפחות של הפרויקט. רכיבים שכיחים של מחקר מדעי: איתור נושא וגיבוש שאלת מחקר; תכנון שיטות מחקר; איסוף נתונים; ניתוח נתונים ופרשנות; פרסום ותקשורת של תוצאות; ניהול פרויקטים. 7. הגדרת פרויקט ובו מטרות פתוחות, ברורות, קלות למציאה ולתקשורת בהירה. 8. המטלה במשימה מוגדרת באופן ברור ושקוף.
מדע פתוח	9. כל הנתונים ומטה-נתונים נגישים לציבור, בתנאי שאין מניעה משפטית או אתית לפרסמם. 10. התוצאות מתפרסמות בפורמט פתוח לציבור, בתנאי שאין מניעה משפטית או אתית לפרסמן. 11. אפשר למצוא את התוצאות ולהשתמש בהן, הן מובנות ושקופות.
תקשורת	12. נעשית פנייה המותאמת לקבוצות עניין שונות. 13. קל למצוא פרטי קשר (מייל, טלפון או טופס "צור קשר" באתר) אם רוצים לשאול שאלה או לתת משוב. חייבת להיות אפשרות לקיומו של קשר ישיר בכל עת בין מנהלי הפרויקט למדענים האזרחים. 14. המדענים האזרחים מקבלים משוב על התקדמות הפרויקט. 15. תוצאות הפרויקט מפורסמות באופן מובן וברור.
אתיקה	16. מטרות הפרויקט צריכות לעמוד בבחינה אתית (כלומר, בהתאם לזכויות האדם ולזכויות היסוד). 17. על הפרויקט לעמוד בעקרונות אתיים שקופים בהתאם לסטנדרטים אתיים, הכוללים בין היתר קבלת הסכמה מדעת מהמשתתפים או מהורי הילדים המשתתפים. 18. יש לפרסם מידע ברור על מדיניות ניהול הנתונים במסגרת הפרויקט (לגבי נתונים אישיים של משתתפים ונתוני המחקרים), והמשתתפים חייבים להסכים למידע זה לפני ההשתתפות. 19. ניהול הפרויקט חייב לשקף ולשקול היבטים אתיים (למשל, גיוון, הכללה, שוויון בין המינים, שיקוף אי הכללה של קבוצות ספציפיות).
ניהול נתונים	20. לפני איסוף הנתונים חייבים לבסס בכל פרויקט תוכנית ניהול נתונים התואמת את המדיניות האירופית להגנה על נתונים.



מיזמי מדע אזרחי בתחום המגוון הביולוגי בישראל

לחברה להגנת הטבע, למוזיאון הטבע ולשותפים הנוספים יש עניין בשמירת הטבע והמגוון הביולוגי בישראל. על כן הוחלט להתמקד במיזמים העוסקים בתחום זה בלבד, והם אלו שיתוארו להלן. בישראל קיימים מיזמים נוספים של מדע אזרחי בנושאי סביבה (למשל, חשים את האוויר, סקר הראדון ונוספים) וכן מיזמי מדע אזרחי בנושאים אחרים (למשל, פענוח המגילות הגנוזות מקהיר, פענוח רצפים גנטיים ועוד).

סופרים ציפורים ומנטרים פרפרים

נדמה שהמיזם הראשון בישראל ואולי המוכר מכולם הוא מיזם "ספירת הציפורים הגדולה" - ספירה שנתית של ציפורי הבר בחצר הבית, הפועל ביוזמתה של שלומית ליפשיץ מהמרכז לטיפוח ציפורי הבר בחצר ובגינה. החל מ-2016 שותפה גם החברה להגנת הטבע במיזם ויחד הן מקדמות ומנסות להרחיב את קהל המשתתפים ולהגדיל את מאגר הנתונים המצטברים. ספירת הציפורים נעשית בהשראת "ספירת חג המולד" האמריקאית שנחנכה עוד בשנת 1900 (!) ובהשראת ספירות דומות בעולם. במיזם מוזמנים המשתתפים, גם ללא ידע מוקדם, להביט בסביבה הקרובה להם (רצוי באמצעות משקפת) במשך עשר דקות ולספור את כל מיני הציפורים הנצפים. הספירה מאפשרת למדענים לעקוב אחר שינויים באוכלוסיות ציפורים, בעיקר בקרב הציפורים העירוניות שפחות מדווחים עליהן, כמו העורבים, הדרורים, הבולבולים, החוחיות ועוד. כמו כן, מאפשרת הספירה לעקוב אחר מגמת ההתפשטות של מינים פולשים, כמו מיינה, דררה ותוכי נזירי, ולבחון אם יש להם השפעה על האוכלוסיות המקומיות וכיצד. בספירה המתוכננת בינואר 2019 ייעשה לראשונה שימוש במערכת הדיווח העולמית של eBird וכך נתונים שידווחו בישראל ישמשו מדענים בעולם כולו. כל המידע על ספירת הציפורים הגדולה נמצא באתר הכולל את תמונות הציפורים השכיחות והנחיות לדיווח, חומרים ומידע ייעודי למחנכים, כגון הצעות לפעילויות לקראת הספירה ואחריה וכן פרסומי סיכומים של דיווחים ותוצאותיהם מדי שנה.

מרכז הצפרות הישראלי של החברה להגנת הטבע מזמין את הקהל לדווח על כל ציפור הנצפית בכל מקום בארץ ולכל אורך השנה. לאחרונה השיק המרכז אפליקציית eBird בגרסה עברית[2] המאפשרת לדווח על התצפיות ישר מהטלפון, ומכניסה אותן למאגר הנתונים העולמי. בעזרת המידע שמצטבר נערכים דוחות על מצב ציפורי ישראל (לאחרונה גם עודכן הספר האדום של הציפורים בישראל), נכתבים סקרי דעת אקולוגיים ביחס לתוכניות בנייה ופיתוח ונעשה שימוש בנתונים גם ליצירת מפות רגישות עבור טורבינות הרוח המתוכננות בישראל. מערכת מקבילה לאיסוף תצפיות ציפורים היא מאגר המידע הלאומי לציפורי ישראל ע"ש יהורז כשר.

עוד מיזם של מדע אזרחי, הפועל עוד מ-2012 ותופס תאוצה בשנים האחרונות, הוא התוכנית הלאומית לניטור פרפרים בישראל שמקיימת אגודת חובבי הפרפרים. במיזם זה אפשר לדווח על תצפיות אקראיות בפרפרים באפליקציית "ראיתי פרפר", אך ייחודה של התוכנית בהקמת רשת מסלולי ניטור שבה מוזמנים המתנדבים לנטר באותו מקום לאורך זמן, וכך לאפשר ניתוח משמעותי של הנתונים ולהבין שינויים בתפוצה ובהרכב אוכלוסיות הפרפרים. על פי פרוטוקול הניטור הישראלי, המתנדבים מסמנים מסלול של כ-300 מטר ויוצאים אליו מדי שבועיים, ותוך כדי הליכה לאורכו רושמים את כל מיני הפרפרים הנצפים בו. יש מנטרים הפועלים באופן עצמאי ויש הפועלים במסגרת קהילות מנטרים שקמו ברחבי הארץ, חלקן בשיתוף החברה להגנת הטבע. בנוסף מקיימת האגודה בסיוע מתנדבים גם סקרים של מיני פרפרים נדירים, כמו כחליל הקדד וכחליל הגליל, ומתכננת להשיק במרץ 2019 בפעם הראשונה בישראל את ספירת הפרפרים הגדולה. את אגודת חובבי הפרפרים מלווים מדענים המנתחים את הנתונים שמצטברים מדיווחי הקהל לדוחות ופרסומים. כל הפרטים על תוכנית הניטור, כולל נתוני התצפיות ותוצאות ראשוניות, מפורסמים באתר המיועד לכך.



בשנים האחרונות מתפתחות מערכות שיתופיות המאפשרות לקהל רחב להכיר מיזמים שונים ולאתר את המיזמים המעניינים את האנשים או נמצאים בסביבתם

[2] אפשר להורידה חינם מחנות האפליקציות.

מגוון מינים מקומי וארצי

לצד מיזמי מדע אזרחי ארציים המכוונים לדיווח על חי או צומח מכל הארץ, קיימים לעיתים מיזמים ייעודיים לתא שטח מסוים. כך למשל תצפיטבע היא מערכת לדיווח על תצפיות בחי ובצומח על ידי תושבים ומטיילים ברמת הגולן, שהשיקה ב-2016 המועצה האזורית גולן ועתידה להתרחב למועצות אזוריות נוספות. במערכת זו המדענים האזרחים לא רק מדווחים על תצפיות אלא גם שותפים באימות התצפיות - חברי הקהילה מאשרים את זיהוי המינים בתמונות המועלות למערכת. התצפיות באתר משמשות את החוקרים למגוון ניתוחים. לדוגמה, נבחן הקשר שבין שימושי קרקע שונים כגון נחלים, כבישים, שטחים נטועים, גידולי שדה, שטחי חורש ושימושים אחרים לבין נוכחותם של מינים שונים. רק לאחרונה פורסם באתר דוח סיכום וניתוח תצפיות מינואר 2016 ועד מאי 2018.

מן השדה היא מערכת מידע שיתופית מבוססת מידע מרחבי (GIS) בנושא מגוון המינים שמפעילה עמותה בשם זה. המערכת מזמינה את הציבור לדווח על מגוון קבוצות - יונקים, זוחלים, דו-חיים, חרקים, פטריות בכל הארץ, באמצעות אפליקציית הוואטסאפ או טופס באתר.

יש טבע בעיר היא יוזמה של החברה להגנת הטבע המעודדת את תושבי הערים לדווח על מיני חי וצומח, כמו גם על מטרדים ותשתיות קליטת קהל (ספסלים, תאורה, דרכים) באתרי טבע עירוני. מערכות טבעיות הנמצאות בגבולות העיר או במרכזה הן שרידים של טבע שהיה לפני הקמת העיר, כמו חוף הים של תל אביב-יפו, הוואדיות של חיפה, גבעת הכורכר של נס ציונה, חולות חולון, בריכות החורף של חדרה ונתניה. מערכות טבעיות אלו משמרות את המגוון הביולוגי המקומי. הן תורמות להורדת טמפרטורות ולהקטנת נזקי שיטפונות, כמו גם לדימוי העיר כעיר ירוקה, וכמובן משמשות לפעילויות חינוך ופנאי עבור תושבי הערים. יחידת הסקרים של טבע עירוני בחברה להגנת הטבע מזמינה את תושבי המקומות שבהם נערכים סקרים אלו להשתתף ולדווח, והמידע נכלל בדוחות ובפרסומים. נתונים אלה משמשים אחר כך את קובעי המדיניות העירוניים בקבלת החלטות הנוגעות לתכנון ופיתוח השטח העירוני, ובשאיפה בהחלטות הנוגעות לשימור שטחי הטבע העירוני והגנה עליהם.

מינים בסכנה

סלמנדרה היא דו-חי הנמצא בסכנת הכחדה ומוגדר כמין מוגן. הכרמל הוא תחום תפוצתה הדרומי של הסלמנדרה בישראל. החברה להגנת הטבע, בשיתוף עמותת ירוק בלב, עורכת סקר בוואדיות העיר חיפה, במטרה ללמוד על אוכלוסיית הסלמנדרות שחיה בהם. מתנדבים אמיצים יוצאים בלילות גשומים לביצוע סקר סלמנדרות בוואדיות העיר. בהיתר מיוחד של רשות הטבע והגנים, הם מודדים ושוקלים את הסלמנדרות, מצלמים אותן לשם זיהוי (לכל סלמנדרה דגם כתמים ייחודי לה המאפשר זיהוי אישי, בדומה לטביעות האצבעות שלנו). כמו כן הוכן טופס דיווח ייעודי לתושבים ולמטיילים על מנת לדווח על תצפיות בסלמנדרות ובראשנים וכן על מפגעים העלולים לסכן אותם. הממצאים מחורף 2017-2018 מלמדים על אוכלוסייה מפתיעה בגודלה.

עד לפני שנה היה גם הבז האדום מין שהוגדר בסכנת הכחדה, אך לשמחתנו מצבו השתפר והוא מוגדר כעת כ"מין בסיכון". הבז האדום הוא דורס יום קטן המגיע לקנן בישראל החל מאמצע פברואר ועד סוף יוני. הבז צד בלהקות, פרטיו מתכנסים ללינה משותפת ודוגרים במושבות קינון הנמצאות תמיד בסמיכות לאתרי חיפוש המזון. כמחצית מאוכלוסיית הבז האדום בישראל מקננת ביישובי רמות מנשה. כל אתרי הקינון נמצאים ביישובים, בעיקר על גגות הבתים, וחלקם בתיבות קינון מיוחדות שנבנו במסגרת פרויקט שימור הבזים. סקר קינון הבזים מכוון לתושבי האזור והם מוזמנים לדווח על בזים אדומים הנצפים בתוך היישובים, כמו גם להשתתף בניטור קינים מסודר. אתר הפרויקט מכיל את כל המידע, תוצאות סקר 2018 ודוח הבוחן שינויים בהיקפי הקינון לאורך השנים.

החברה להגנת הטבע מזמינה את הציבור לדווח גם על תצפיות בצבאים במיזם ראיתי צבי. גם הצבי הארץ ישראלי (וכן צבי הנגב וצבי השיטים) הוא מין בסכנת הכחדה, וכל תצפית מספקת מידע על פיזור האוכלוסיות בישראל. ניתוח ראשוני העלה שכ-37 אחוז מהצבאים נצפו בשטחים שהוגדרו כבעלי קישוריות נמוכה או שטחים כלואים. שטחים אלו מצויים בעיקר במרחב קו התפר וירושלים ובשטחים ושמורות במישור החוף התחומים במערכות כבישים ארציים ראשיים. הקיטוע יוצר אוכלוסיות מבודדות שאינן יכולות ליצור קשר ביניהן לצורך רבייה ולהחליף מטען גנטי. לכן יהיו אוכלוסיות אלה רגישות יותר למחלות ופחות עמידות לשינויים בסביבה, ובתוך כמה דורות הן עלולות להיכחד. המידע הנאסף בעזרת הציבור עשוי לסייע בהעלאת המודעות לתופעת האוכלוסיות הכלואות ולעודד את מקבלי ההחלטות לפעול לפתרון הבעיה.

הצמחים בסכנת הכחדה הוא מיזם של רשות הטבע והגנים הקורא לציבור חובב הבוטניקה לדווח על מיני צמחים נדירים באופן המאפשר מעקב רב-שנתי אחר האוכלוסיות של מינים אלו. האתר מנגיש את המידע על צמחים מהספר האדום (בסכנת הכחדה) בצורה נוחה.

מדע אזרחי גם בים

מיזמים אחדים עוסקים בים התיכון ומסייעים לחוקרים לאסוף מידע על אוכלוסיות ימיות או לקבל נתונים שיסייעו בניהול וממשק המרחב הימי. את אתר המדוזות הישראלי מפעילים חוקרים מאוניברסיטת חיפה העוסקים באקולוגיה ימית. דיווחים על מדוזות הנצפות בחוף וגם דיווחים על חוף שאין בו מדוזות, או דיווחים על מים צורבים יסייעו לחוקרים להקטין מעט את פערי הידע שיש לנו על המדוזות בישראל, ולענות על שאלות כמו אילו מיני מדוזות נמצאים בים, מתי יופיעו נחילי מדוזות וכמה זמן הם ישהו בחופינו.

החברה להגנת הטבע השיקה את אפליקציית SeaWatch המחוברת למוקד המטפל בדיווחים מקרב הציבור על מפגעים בים התיכון. משתמשי הים השונים מוזמנים לדווח על מפגעים כגון דיג בשמורות ימיות, דיג לא חוקי, דיג או מכירה של מינים מוגנים, צב או יונק ימי פגועים או מתים, פסולת או זיהום ימי וכדומה, והמידע מועבר בזמן אמת לטיפולם של גורמי האכיפה. כל המידע והדוחות המסכמים את הדיווחים, כמו גם סיפורי הצלחה, אפשר לראות באתר החצי הכחול של הים התיכון.

דווחו לנו ב-Waze

החברה להגנת הטבע השיקה אתר המהווה במה לכל המיזמים שהיא מובילה בתחום המדע האזרחי. נוסף על מיזמים שנסקרו לעיל, הנוסעים בכבישים בינעירוניים מוזמנים (בתנאי שאינם

נוהגים) לדווח על חיות בר דרוסות, באמצעות אפליקציית Waze. הדיווח פשוט - שלוש לחיצות באפליקציה: סכנה >> על כביש/בשולי הכביש >> בעל חיים. הנתונים נאספים ומוצגים במפה המראה את ריכוזי הדריסות ברחבי הארץ לאורך זמן. מומחי החברה להגנת הטבע משתמשים במידע לאיתור "כבישים אדומים" שיש בהם ריכוז של חיות בר דרוסות, מתוך כוונה לפעול למציאת פתרונות ומעברים במיקומים בעייתיים אלו.

מיזם נוסף, חדש למדי, פונה לתושבים באזור מודיעין-רעות בקריאה להשתתף במחקר עם חוקרת מאוניברסיטת בן-גוריון בנגב, העוסק בקשר שבין חיות בר ומטרדי פסולת. בתקופה האחרונה מתרחבות התצפיות על צבועה בשם רותי המסתובבת במרחב העירוני[3] והמחקר כולל מספר שלבים שבסופם ינסו לגרום לרותי להישאר בשטחים הפתוחים מחוץ לעיר. המתנדבים ממודיעין ומסביבותיה יערכו סקר על מטרדי פסולת ביישובם; המידע על מטרדי הפסולת יוצלב עם דיווחים על תצפיות בחיות בר שהגיעו למוקד 106 של העירייה ולאנשי החברה להגנת הטבע; באתרים נבחרים שנמצאו בסקר מטרדי פסולת יוצבו מצלמות "שביל" - מצלמות העוקבות אחר תנועת בעלי החיים הליליים ומתעדות אותם. האתרים ייבחרו בשיתוף המתנדבים והם יסייעו בניתוח התמונות לזיהוי חיות הבר שנמשכות למטרדי הפסולת; המידע על מטרדי הפסולת שמושכים בעלי חיים יועבר לטיפול העירייה; לאחר הטיפול במטרדים יוצבו שוב מצלמות "שביל" על מנת לבחון אם הוא השפיע על נוכחות חיות הבר.

ומה הלאה?

ראשית, קרוב לוודאי שיש יוזמות נוספות של מדע אזרחי בתחום מגוון ביולוגי בישראל שאינן מוכרות למחברי המאמר וראוי שייכללו ברשת המדע האזרחי הישראלית. שנית, לא ברור אם כל המיזמים שהוזכרו עומדים בקריטריונים של מדע אזרחי שהוצגו לעיל ושאלה זו תיבחן לקראת הקמת הפלטפורמה הישראלית. רוב המיזמים המוכרים בישראל הם מדָגם Top-down, כלומר כוללים יוזמות של מדענים או ארגונים המעודדים את הציבור להשתתף במחקר, ונדמה שאין כיום בישראל מיזמי מדע אזרחי בתחום המגוון ביולוגי (ובכלל) הנובעים מרצון הציבור (מדָגם Bottom-up). כמו כן, ברוב המיזמים, המדענים האזרחים שותפים באיסוף נתונים וכמעט שאינם שותפים ברכיבים אחרים של המחקר המדעי. היבטים אלו ראויים לטיפול.

תחום המדע האזרחי כמעט ואינו מוכר בישראל ונדרשת השקעה רבה בחשיפה למיזמים ובגיוס קהלים חדשים ומתנדבים פעילים, כולל שילוב מדע אזרחי במסגרות חינוך פורמלי ובלתי פורמלי. בהקשר זה ראוי להכיר את המרכז למדע אזרחי בבתי הספר, המשותף לטכניון ולאוניברסיטת חיפה, המנסה לקדם מדע אזרחי במערכת החינוך וזכה לתקצוב הקרן הלאומית למדע ומשרד החינוך. המרכז מזמין מורים להצטרף לקהילת מדע אזרחי ולהשתתף עם תלמידיהם במיזמים השונים המתבצעים במסגרתו.

לכשיקום גוף מרכז, ראוי שייתן סיוע למפעילי המיזמים באיתור מתנדבים, גיוסם, הכשרתם ושימורם. יתרה מכך, תחום המדע האזרחי אינו מוכר דיו למדענים בישראל, ונדרשים חשיפה ואולי תמריצים לשיתוף פעולה מצד המדענים.

לא כל המיזמים שנסקרו לעיל מציגים באופן בהיר ונגיש את מטרותיהם, את אופי המשימה, את נתוני המחקרים, דרך ניתוחם ותוצאותיהם, ונדמה שטרם התפרסמו פרסומים מדעיים המתבססים על מחקרי מדע אזרחי בישראל. כל אלו הן נקודות חשובות לשיפור בתחום המדע האזרחי בישראל. בנוסף, לכל מיזם ומיזם מערכת נתונים עצמאית, ואין בסיס נתונים אחד המרכז את כל נתוני מיזמי המדע האזרחי בישראל באופן ברור ונגיש הן לציבור הרחב והן למדענים. כתוצאה מכך רוב הנתונים אינם מועברים למאגרי מגוון ביולוגי בינלאומיים, כפי שראוי שייעשה. גם בתחום זה אפשר ללמוד מהנעשה בעולם וחשוב להכיר בסיסי נתונים של מיזמי מדע אזרחי לפני שתיבנה מערכת ישראלית.

תחום המדע האזרחי בישראל חייב לקבל הכרה ולגייס שותפים ומשאבים על מנת לבצע את השיפור הדרוש ולהתקדם בהתאמה להתקדמותו בעולם. נדרשת השקעה ניכרת על מנת שמיזמי מדע אזרחי בתחום המגוון הביולוגי בישראל יצליחו להגשים את ייעודם - לקדם את שמירת הטבע והשטחים הפתוחים, לשמר את המגוון הביולוגי, להגביר את המודעות והזיקה של אזרחים לטבע ולמגוון ביולוגי וליצור מעורבות בהקשר זה.

מרכז המצוינות המחקרית מדע אזרחי בבית הספר

מרכז המצוינות המחקרית מדע אזרחי בבית הספר הינו מרכז בין-אוניברסיטאי הכולל חוקרים מאוניברסיטת חיפה והטכניון. המרכז הוקם באוקטובר 2017 כאחד מחמשת מרכזי המצויינות המחקרית לקידום למידה משמעותית במימון הקרן הלאומית למדע ומשרד החינוך.

המרכז בוחן כיצד פריצה של גבולות מסורתיים בתוך בית הספר ובין בית הספר והחברה מעודדת למידה משמעותית. אנו עושים זאת בגישה היוצרת קשרים עמוקים בין תלמידים, מורים, מדענים ואזרחים, למידה פורמאלית ובלתי פורמאלית, אוריינות מדעית ומתמטית, סביבות למידה בית ספריות וחוץ בית ספריות, מרחבי למידה פיזיים ודיגיטאליים, בין טכנולוגיות מסוגים שונים, ובין עובדי הוראה וחוקרי חינוך.

פרוייקטים לדוגמה: "חשים את האוויר", תצפיטבע בגולן, פרויקט הראדון, פרויקט אירוס הארגמן בשרון, אלרגנים באוויר.

למרכז יש אתר אינטרנט, ובו מידע על הפעילות, מידע רקע ומידע על פעולות המרכז והקהילה.

אתר המרכז https://www.tcss.center

[3] אפשר לעקוב אחר הצבועה בדף הפייסבוק "רותי הצבועה".



מדוע כדאי לבצע מדע אזרחי בכיתה?

פרויקט ביוחקר בנושא אפיון תזונת תנשמות באמצעות צניפות

מאת: נתה בר-אור-פרי, בית הספר המקיף על שם שז"ר, בת-ים

"אמור לי ואשכח, למד אותי ואזכור, שתף אותי ואלמד."
בנג'מין פרנקלין

בבית הספר שבו אני מלמדת, כמו בכל בית ספר, מבצעים תלמידי כיתה י"ב במגמה לביולוגיה את פרויקט הביוחקר המשמש אותנו המורים ככלי להוראת תהליך החקר.

הגעתי להוראת ביולוגיה לפני חמש שנים, לאחר שעסקתי במחקר יישומי במשך כעשור. בעולם המחקר היישומי תהליך החקר מבוסס בראש ובראשונה על פתרון בעיות. לאחר הגדרת הבעיה שואלים את השאלה המתאימה לחקר הבעיה או לפתרונה. תהליך זה כולל כמובן הבנה של הבעיה, הכרת החומר התאורטי הרלבנטי, ניסוח שאלת החקר, ביצוע החקר, ניתוח התוצאות וכיוצא באלה. מסגרת זו דומה למה שהמורים מלמדים בביוחקר, למעט הבעיה שעליה מבוסס כל התהליך: בפרויקטים השונים במסגרת הביוחקר שביצעתי עד עכשיו עם התלמידים במעבדה נבעה הבעיה תמיד מהחומרים והשיטות הזמינים לנו במעבדה ולא מבעיה אותנטית, אמיתית. כתוצאה מכך גם שאלת המחקר והשערת המחקר היו כמעט תמיד מובנות מאליהן. בתוך כך, הדגש היה תמיד על **תהליך** החקר, מכיוון שהבעיה אינה "אמיתית" או שנויה במחלוקת ופתרונה ידוע מראש.

לאחר מספר שנים הרגשתי שמיציתי את כל מה שאפשר לבצע במעבדה. עוד פעם שמרים, עוד פעם אנזימים, עוד פעם הנבטה. שוב ושוב תהליכים שאינם מהווים אתגר מבחינה מחקרית. התחלתי לפתח תחושה כללית שאני מנציחה פער: מעצבת תלמידים המכירים את התהליכים ואת הפרוצדורות, אבל חסרים את החיבור לעולם שנמצא שם מחוץ למעבדת בית הספר, ומקיים את כל החוקים האלו.

למה זה חשוב? כי אחת מהסיבות לכך שהחלטתי להיות מורה הייתה להעביר את חדוות המחקר לתלמידים. היה לי חשוב להשתתף בבניית דור של תלמידים שמבינים שמדע עוסק בשאלות מעשיות, מנסה למצוא פתרונות אמיתיים לבעיות אמיתיות. היה לי חשוב לנצל את כל מה שיש למדע להציע על מנת לענות לשאלות ולפתור בעיות.

כאן נכנס לתמונה ד"ר מוטי צ'רטר מאוניברסיטת חיפה. פגשתי אותו בהשתלמות קיץ שהתקיימה במוזיאון הטבע בתל אביב. הוא הרצה על עופות דורסים והסביר שהם בולעים את טרפם בשלמותו (מכרסמים, יונקים קטנים, זוחלים, דו-חיים ופרוקי רגליים). במערכת העיכול שלהם הטרף מתעכל, חומרים שאפשר לעכל נספגים בדם ומופרדים מחומרים שאינם מתעכלים (פרווה, עצמות, ציפורניים, מקור וכדומה). האחרונים נפלטים מגוף הדורס כצנֵיפה, בשונה מחולייתנים אחרים המפרישים חומרים אלו בצואה.

איסוף הצניפות וחקירת תכולתן מאפשרים למפות את תזונת התנשמות באזורים שונים בארץ, ומכאן נסללת הדרך להשפיע בצורה פרואקטיבית על אופן ההדברה הביולוגית של מזיקים והערכת הנזקים או התועלות שהם מביאים לשדות ולחקלאים.

ד"ר מוטי צ'רטר אוסף צניפות ומחטא אותן לצורך פעילות יזומה לפירוק הצניפות על ידי תלמידי ביולוגיה, פרויקט שממומנת השגרירות האמריקאית בישראל. לאחר הבנת התהליך הביולוגי וניסוח שאלת המחקר הרלבנטית התלמידים מפרקים את הצניפות בידיהם, אוספים את העצמות שנמצאו ומשתמשים במגדיר (שמסופק בערכה של ד"ר צ'רטר) כדי להרכיבן לשלד ולזהותן. על ידי השוואה בין עצמות מכרסמים שונים שנמצאו בצניפות מאזורים שונים בארץ אפשר לקבל תמונה כוללת על אופן השימוש בתנשמות להדברה ביולוגית של מזיקים לחקלאות באזורים שונים בארץ.

למותר לציין שמעבר ללימוד על אורחות חייהם של דורסי הלילה והממשקים שלהם עם החקלאות באזורים השונים בארץ, התלמידים נחשפים למחקר ביולוגי יישומי, המעורר את סקרנותם, מבהיר להם את הפוטנציאל העתידי הטמון בתחום שהם לומדים, מצית בהם את ההתלהבות ממחקר מדעי יישומי, ואולי, כך אני רוצה להאמין, בונה להם תשתית ערכית של מדענים.

ללא ספק, מדובר בחוויה חינוכית עם מעלות רבות, המשלבת למידה משמעותית וחווייתית. אני ממליצה בחום לבצע את הביוחקר בנושא זה עם קבוצות תלמידים נוספות.





חוזה שיתופי

שאלות אתיות במדע אזרחי

מעובד על פי המאמר[1]:

Resnik, D.B., Elliott, K.C., Miller, A.K. (2015): A framework for addressing ethical issues in citizen science. Environmental Science & Policy, 54: 475–481.

מדע אזרחי הוא מגוון פעילויות מחקר שיתופיות בין מדענים מומחים בעלי משרה רשמית במחקר שעברו הכשרה לכך, לבין אנשים - אזרחים - שלא עברו הכשרה כזאת. כחלק מפרויקט מחקר אזרחים יכולים להשתתף בפעילות שיתופית אחת או יותר, כמו איסוף הנתונים, תכנון מערך המחקר, ניתוח ופירוש נתונים או פרסום המחקר (Riesch & Potter, 2014). האזרחים זוכים לא רק להשתתף באופן פעיל בפרויקט המחקר, אלא גם להכיר עקרונות מדעיים, שיטות מחקר, תיאוריות מדעיות, מסורת וערכים של עולם המדע.

מידת המעורבות של האזרחים במחקר מתבטאת בפרויקטים השונים במגוון צורות. פרויקטים שבהם האזרחים משתתפים באיסוף נתונים בלבד עוסקים לרוב בסקרי תפוצה של מינים. מדי שנה, זה 115 שנים, מתבצעת ספירת חג המולד של ציפורים (Christmas Bird Count), ובה מאמצע דצמבר עד תחילת ינואר, מתנדבים ממגוון אתרים מדווחים על ספירת ציפורים ממינים שונים. גם בישראל מתבצעת ספירת ציפורים במועדים אלה. הפרויקט Garden BirdWatch בבריטניה מעסיק אלפי צפרים בצפייה בציפורים ובחיות אחרות בגינות הבתים (British Trust for Ornithology, 2015). בפרויקט "מעבדות באוויר הפתוח" (open air laboratories, OPAL) מבקשים מאזרחים לאסוף נתונים על חזזיות ופטריות בעצי אֵדֶר, על חסרי חוליות במאגרי מים, או נתונים מטאורולוגיים (Davis et al., 2011) לצורך פרויקטים שונים. פרויקטים רבים מסוג זה אינם בודקים היפותזת מחקר, אבל בהחלט יכולים להיכלל בגישת מדע אזרחי פרויקטים שהם מבוססי היפותזה. דוגמה לכך היא Evolution MegaLab, פרויקט שבו התבקשו אזרחים לאסוף נתונים על דגם הקונכייה של חלזונות כדי לבדוק היפותזה על שינוי הדגם הנפוץ באוכלוסייה כתגובה לשינויי אקלים או ללחץ טריפה (Silvertown et al., 2011).

מודל אחר של מעורבות אזרחים במחקר נקרא מחקר מבוסס השתתפות קהילתית (Community-based participatory research, CBPR), שלרוב עונה על צורכי בריאות הציבור. במחקרים אלה עובדים המדענים באופן צמוד לקהילה על נושא שיש לו חשיבות לחברי הקהילה, כמו מקור זיהום בסביבת המגורים או שיפור איכות המים. מעורבות האזרחים במחקר מסוג כזה רבה יותר, והם לרוב עוזרים למדענים בהעלאת שאלת המחקר, תכנון מערך המחקר, גיוס מתנדבים, תכנון שאלונים או סקרים וכן ניתוח הנתונים (O'Fallon & Dearry, 2002). דוגמה למחקר כזה היא פרויקט The GULF STUDY, החוקר את השפעת אסון הנפט האקולוגי שפקד את מפרץ מקסיקו ב-2010 על האנשים בקהילה המקומית שעסקו בניקוי הנפט ונזקיו (Kwok et al., 2017). המחקר כולל ועדה מייעצת, שבה יושבים אנשי בריאות הציבור, אנשי עסקים, פעילי תרבות ודת ואנשים שהשתתפו בניקיון בפועל, כולם בני הקהילה באזור שסבל מהדליפה.

מחקר של קבוצות עניין (Interest group research) הוא מודל נוסף, שבו קבוצות של אזרחים בעלי עניין יוזמות מחקר וממממנות אותו. לדוגמה, Environmental Working Group ו-Public Citizen הן קבוצות אזרחים המקיימות פרויקטים ללא מטרת רווח למימון מחקרים בנושאי סביבה ובריאות הציבור, ומנסות להשפיע על החלטות ממשל וחקיקה.



יתרונות מדע אזרחי

היתרון המרכזי בגישת מדע אזרחי בעבור מדענים הוא עזרה בסדרי גודל של שטח או נתונים שאין אפשרות להתמודד איתם במחקר בגישות קלאסיות, מפני שהמימון, כוח האדם והזמן מוגבלים. עזרת האזרחים מְפנה למדענים זמן לביצוע חלקים אחרים של המחקר, כמו ניתוח הנתונים. במודלים שמעורבת בהם הקהילה, אזרחים תורמים למדענים עצות משמעותיות המסייעות בתכנון המחקר ובביצועו. מעורבותם בתהליך החקר יכולה להבטיח שהמחקר יענה על צורכי הקהילה ויוצרת התחשבות בתרבות המקומית.

[1] הגרסה המובאת כאן היא סקירה של תוכני המאמר המקורי, ונועדה להנגיש את המידע לציבור המורים לביולוגיה ולמדעי הסביבה. העיבוד כלל הוספת הסברים ואיורים לתכנים מורכבים, סינון מידע שאינו נקשר לרעיון המרכזי של הגרסה המעובדת, הגדרת מונחים מקצועיים, ובמידת האפשר קישור הדברים לתהליכי למידה והוראה. המעוניינים לקרוא את המאמר המקורי מוזמנים לפנות למקור המובא בתחילת הגרסה המעובדת.

יתרון נוסף במדע אזרחי הוא עידוד מעורבות הציבור, השכלתו המדעית ונגישות לדעת הקהל (Dickinson et al., 2012). אזרחים המשתתפים במדע אזרחי לומדים על עקרונות מדעיים, על שיטות מדעיות ועל ערכי עולם המדע. מדענים בפרויקטים מסוג זה יכולים לעודד מודעות לאחריות על הטבע, דעת קהל חיובית למחקר מדעי ותהליכי קבלת החלטות ציבוריות על סמך עובדות מוצקות. נוסף על כך, מעורבות בפרויקט מחקר קהילתי יכולה לפתח בקהילה תחושת מסוגלות וכוח לשנות מציאות (Danielsen et al., 2005).

לבסוף, מדע אזרחי יכול לתרום לדמוקרטיזציה של המחקר המדעי. אזרחים יכולים ליזום או להשתתף במחקרים בעלי חשיבות עבורם, מתוך עניין או כמענה לצורכי הקהילה. במקום להרגיש מנוכרים מעולם המחקר המדעי הם נקראים להשתתף בתהליכי המחקר ואף להשפיע עליהם, כך שמחקרים יכולים להתאים לאינטרסים של הציבור הרחב ולצורכי המיעוטים (Riesch & Potter, 2014).

שיקולים אתיים

למרות היתרונות לשני הצדדים, שיתוף בין אזרחים למדענים מעלה שאלות אתיות שיש לתת עליהן את הדעת.

איכות הנתונים

השאלה הראשונה עוסקת באיכות הנתונים שאזרחים אוספים. אף שבכל מחקר עלולה להיווצר בעיה כזאת, במחקר בגישת מדע אזרחי יש עניין מיוחד בבדיקת איכות הנתונים, משום שהמתנדבים האוספים אותם אינם מומחים בשיטת האיסוף, בטיפול בנתונים מדעיים או ביושרה של מחקר מדעי. לכן המתנדבים עלולים לבצע שגיאות שיטתיות באיסוף הנתונים, ואלה עלולות להשפיע לרעה על איכות הנתונים (Wiggins, 2011). במחקר שבו השוו בין היכולת של מדענים ושל מתנדבים לזהות מינים פולשים של צמחים, למפות אותם בשטח ולבדוק את פיזורם, קיבלו המדענים והמתנדבים הדרכה על זיהוי צמחים פולשים ועל שיטות ספירה ומיפוי (Crall et al., 2011). במחקר נמצא שהמדענים זיהו מינים פולשים בהצלחה רבה יותר בהשוואה למתנדבים (88 אחוז לעומת 72 אחוז בהתאמה). 28 אחוז מנתוני המתנדבים כללו זיהוי צמחים מקומיים כפולשים (זיהוי חיובי כוזב), לעומת 12 אחוז בקרב המדענים. כמו כן, נמצא בקרב המתנדבים אחוז אחד של זיהוי צמחים פולשים כמקומיים (זיהוי שלילי כוזב) ופחות מאחוז בקרב המדענים.



במקרים חמורים יותר יכולים מתנדבים להמציא תוצאות או לשנות אותן כדי שיתאימו למצב רצוי בעיניהם, או כדי לעמוד בלוח זמנים. כמו כן מתנדבים עלולים לבכר שימוש בשיטה מסוימת משום שהיא נתפסת בעיניהם כבטוחה יותר, או מסיבות לא ענייניות, לדוגמה, משום שהם סבורים שהשיטה זולה יותר.

דרך אחת לנסות לטפל בבעיית איכות הנתונים היא לפתח הדרכה מתאימה למתנדבים לפני תחילת המחקר בפועל. הדרכה כזאת צריכה לכלול הוראות ברורות, המופנות לקהל היעד בדרך מתאימה, עוסקות בקשיים העלולים להיווצר בשיטת איסוף הנתונים ומדגימות כיצד להשתמש בכלים מיוחדים וכיצד לנהל רישום אמין ומדויק של הנתונים. כמו כן, ההדרכה צריכה לכלול גם הסברים על יושרה מדעית, על כללי מחקר מדעי ועל האחריות המוטלת על מבצעי המחקר.

תוך כדי המחקר יכולים המדענים לבצע בקרת איכות לחלק מהנתונים, לאתר נתונים חריגים העלולים להצביע על טעות או בעיה בדרך האיסוף, ולראיין את המתנדבים. לדוגמה, בפרויקט צפרות שנערך בין השנים 2008-2009 קיבלו המדענים מעל מיליון תצפיות, כ-400 מהן היו בלתי צפויות (0.01 אחוזים). המדענים חזרו למתנדבים וביקשו תיעוד נוסף או תימוכין לתצפית החריגה. 77 אחוז מהמתנדבים השיבו לפנייה, מחציתם אישרו את התוצאות החריגות, 15 אחוז תיקנו את הנתונים, ואילו כ-30 אחוז לא סיפקו תשובה שאפשרה אישור של החריגה (Dickinson et al., 2010). כלומר, מדענים יכולים לבקש מהמתנדבים תיעוד נוסף של הנתונים, או אף חזרה על התצפית או האיסוף.

בסיום המחקר מדענים יכולים לעבור שוב על הנתונים ולבדוק את איכותם. הם יכולים להוציא נתונים שהתקבלו בדרך מוטעית או שהם מזהים בעיה בדרך שבה נאספו (Riesch, 2014). במקרים מסוימים מדענים יכולים להחליט לשנות את הסטנדרטים של איסוף הנתונים או ניתוחם בהתאם להערות מוצדקות של המתנדבים לגבי בטיחות השיטות (Ottinger, 2010).

שיתוף נתונים וקניין אינטלקטואלי

שיתוף נתונים הוא ערך מרכזי במחקר מדעי. שיתוף מאפשר לבנות מחקרים חדשים המסתמכים על תוצאות מחקרים קודמים, לבקר את איכות המחקר, ליצור שיח מדעי ויויכוח. השיטות שבהן התבצע פרויקט מחקר בגישת מדע אזרחי והנתונים שנאספו במהלכו חייבים להיות נגישים לציבור לאחר המחקר (Riesch & Potter, 2014). עם זאת, חשיפה מוקדמת מדי של הנתונים עלולה להיות בעייתית, שכן פעמים רבות מדענים צריכים לעבד את הנתונים, לארגן ולערוך אותם לפני הפרסום. מדענים צריכים להבהיר למתנדבים מהם הכללים לשיתוף הנתונים, עם מי משתפים אותם, מתי ומדוע (Riesch & Potter, 2014). כדאי לאפשר למתנדבים לשמור עותק של הנתונים, אבל לסכם איתם מראש שהמקור יישלח למדען האחראי על הפרויקט. כמו כן, חשוב להבהיר שכל שיתוף נתונים על אנשים חייב להיעשות בעילום שם (Shamoo & Resnik, 2015).

מידת המעורבות של האזרחים במחקר מתבטאת בפרויקטים השונים במגוון צורות

אחת הבעיות שעלולות להיווצר במדע אזרחי היא השאלה למי מהצדדים שייכת זכות הקניין על הנתונים (לדוגמה, במקרה של הכרה כפטנט). בעיה זו רגישה במיוחד משום שאזרחים יכולים לטעון לבעלות על מידע, בייחוד כשהוא נובע מתרבות מקומית או מידע על מינים מקומיים. אחד המקרים המדגימים את הבעיה הוא הכרה כפטנט במיצוי שיצרה חברה אמריקאית מזרעי אזדרכת הודית (Azadirachta indica) להדברת פטריות מזיקות ליבולים. החברה קיבלה את המידע על פעולת המיצוי מחקלאים הודים, המשתמשים בו מאות שנים להדברת פטריות מזיקות. מדענים הודים ואירופאים הגישו לבית המשפט האמריקאי ערעור על ההכרה כפטנט (Hellerer & Jarayaman, 2000), בטענה שהמידע על פעולת המיצוי אינו חדש, ובית המשפט קיבל את טענתם. לטענת המערערים הייתה זו החלטה משפטית חשובה במלחמה נגד מה שהם מכנים פיראטיות ביולוגית.

הקביעה למי שייך המידע הנאסף בפרויקט מחקר חייבת להיקבע בין האזרחים למדענים בטרם החל המחקר, אך יש לרענן את ההסכם על כך לאורך כל פרויקט המחקר, ועל פי צורך, כדי לוודא הבנה הדדית. כדי לבצע זאת, בייחוד בשעה שהצדדים מעוניינים בהכרה בזכויותיהם של כל בעלי העניין, רצוי שמדענים יסדירו את ההסכם עם נציגים של קהילות מקומיות ועורכי דין המבינים את שפתם ואת תרבותם.

ניגוד עניינים

במחקר מדעי נבדקים קשריהם של המדענים המנהלים את המחקר עם בעלי עניין שונים, לדוגמה, חברות תרופות, מתוך הנחה שקשרים כאלה עלולים להשפיע על האובייקטיביות בפענוח התוצאות ולפגוע בתדמית המדע בעיני הציבור.

הסיכוי שאזרחים הם בעלי ניגוד עניינים לנושא מחקר מסיבות כספיות או אחרות הוא נמוך, אך יכולים להיות אזרחים המקבלים מימון מארגונים פוליטיים, כמו ארגוני שמירה על הסביבה, או משמשים כיועצים לארגונים כאלה. אזרחים יכולים להיות מעורבים בתביעות משפטיות העוסקות בנושאי המחקר (לדוגמה, תביעה בעניין מטרד סביבתי). ניגוד עניינים שאינו מסיבות כספיות הוא נפוץ יותר: לעיתים אזרחים משתתפים בפרויקט מחקר כדי לקדם מטרות פוליטיות החשובות להם, כמו התנגדות לפרויקט פיתוח כדי לשמור על איכות הסביבה; התנגדות להקמת מפעל, מתוך אמונה שהשיטה המופעלת בו תזהם את הסביבה או להפך - תמיכה בהקמת מפעל למטרות פיתוח מקומיות אף שהמפעל עלול לזהם את הסביבה (Riesch & Potter, 2014).





פתרון אפשרי לבעיות של ניגוד עניינים הוא שקיפות, כלומר הצהרה שבה משתתפי המחקר מדווחים על האינטרסים שלהם ומצהירים על קיום ניגוד עניינים או על היעדרו. אף על פי ששקיפות אינה הפתרון המלא לבעיה, שיתוף בניגוד אינטרסים עשוי לסייע לקוראי המחקר להעריך את תרומת ניגוד העניינים להטיה כזו או אחרת של הנתונים (Resnik & Elliott, 2013). נוסף על כך, הצהרה מראש מונעת גילוי של ניגוד העניינים לאחר מעשה שעלול להעיב על יושרת המחקר כולו. הצהרת האזרחים המשתתפים במחקר על ניגוד עניינים צריכה להישלח לחוקרים המנהלים את הפרויקט, ואלה יחליטו למי להעביר את המידע (קרנות למימון המחקר, רשויות המוסד האקדמי או כתב העת שבו מתפרסם המחקר). ניגוד האינטרסים יכול להיות משמעותי או מזערי, אבל בכל מקרה חייבים המדענים לדווח עליו, והם יכולים לפרסמו כדיווח כללי, למשל להודיע כי מספר מאות של מתנדבים בפרויקט הצהירו שהם מתנגדים להקמת המפעל.

אפשרות נוספת היא לנתח את הנתונים באופן הפתוח לקהל הרחב. כלומר, עיבוד הנתונים יהיה שקוף, וכל אדם יוכל לבקר את אופן הניתוח. ראוי לזכור שאפשרות כזאת אינה מתאימה לכל מחקר, שכן ניתוח הנתונים עשוי להיות מורכב מאוד וקשה להבנה.

לעיתים ניגוד העניינים מורכב מאוד, ובשל השפעתו על אופן ניתוח הנתונים או איסופם כדאי להימנע ממנו מלכתחילה. לדוגמה, סביר שאדם המעורב בתביעה משפטית נגד מפעל מזהם בסביבת מגוריו, ומשתתף במחקר על מפעל זה, יאסוף נתונים או ינתח אותם באופן מוטה. במקרים כאלה יכולים החוקרים להחליט לא לקבל אדם כזה כמתנדב במחקר. מטבע הדברים, החלטה גורפת להוציא קבוצת אנשים מהמחקר בשל ניגוד עניינים אינה מתאימה למחקרים מבוססי השתתפות קהילתית, שהרי במחקרים כאלה יש לכל הקהילה ניגוד עניינים מלכתחילה, והדבר עלול לפגוע בקהילות ייחודיות ובמיעוטים. ללא ספק יש לבדוק לגופו כל מקרה של ניגוד עניינים.

תוך כדי המחקר יכולים המדענים לבצע בקרת איכות לחלק מהנתונים

ניצול

מכיוון שברוב הפרויקטים אזרחים מתנדבים להשתתף במחקר ללא תשלום עבור עבודתם, קיים חשש מניצול (Riesch & Potter, 2014). ניצול מורכב משלושה רכיבים: (1) היעדר הסכמה; (2) פגיעה; (3) אי שוויון או חוסר הגינות. אין הכרח בקיומם של שלושת הרכיבים כדי שיהיה מצב של ניצול. לדוגמה, אם מתנדב הסכים לדרישה מסוימת אך דרישה זו אינה הוגנת והוא נפגע ממנה - מתקיים מצב של ניצול למרות ההסכמה. ניצול עלול להתקיים גם במצב של רווח הדדי, שבו שני הצדדים לא נפגעו ואף הסכימו על הדברים מראש, אבל הרווחים (כספיים או רוחניים) אינם מתחלקים ביניהם בדרך הוגנת (אי שוויון או חוסר הגינות). דוגמה לכך היא מקרה המיצוי מזרעי האזדרכת שהוזכר לעיל: החקלאים ההודים והמדענים טענו למצב של ניצול מפני שהחקלאים לא קיבלו חלק הוגן ברווחי החברה שהגישה את מיצוי האזדרכת להכרה כפטנט (Shiva, 1999).

כדי להימנע מניצול, מדענים יכולים להציע חלק הוגן בהטבות שהן תוצאה של המחקר, כמו קניין אינטלקטואלי, קרדיט בפרסומים, הכרה רשמית בכתב או בתעודה רשמית, השכלה בנושא המחקר או תשלום. על אלה נוספת תחושת הסיפוק שיוצרת התרומה למחקר משמעותי בעיני האזרחים, הערכת הסביבה שבה הם חיים, תהליך ההעצמה שהם עוברים והתפתחות תחושה של יכולת לנקוט צעדים בנושאים החשובים להם (Riesch & Potter, 2014). על המדענים לוודא שהאזרחים המתנדבים מרוצים מהשתתפותם במחקר וכי הם מרגישים שיוכלו לעמוד בתאריכי היעד. עליהם להקפיד לא לסכן את בטיחות האזרחים המתנדבים בפרויקט ולא להעמיס עליהם מטלות שלא יאפשרו להם לסיים בנחת את המשימה בתאריך שנקבע, במיוחד בהתחשב בעיסוקיהם הנוספים.

עניין נוסף הקשור למצבי ניצול הוא רישום המשתתפים כמחברים בפרסומים הנובעים מהמחקר. רישום זה חשוב מאוד עבור מדענים, משום שהוא בסיס לקידומם במוסדות אקדמיים ותורם ליוקרה של המדען, להגינות וליושרה במדע (Shamoo & Resnik, 2015). אף שאזרחים המתנדבים בפרויקט מדעי אינם זקוקים לרישום כמחברים למטרות קידום קריירה, ראוי שיקבלו מהמדענים את הקרדיט הראוי שיביע הערכה לעבודתם ויכיר בתרומתם למחקר. אזרח אשר תרם תרומה ניכרת לתכנון מחקר או לאיסוף נתונים, ראוי לציין את שמו בין מחברי המאמר שיתפרסם. על פי רוב, תרומתם של האזרחים אינה עומדת בקריטריונים לתרומה ניכרת למחקר, בייחוד בפרויקטים שמשתתפים בהם אלפי אזרחים והתרומה של כל אחד מהם לנתונים היא קטנה, יחסית. במקרים אלה אפשר להודות למתנדבים כקבוצה, וראוי לשלוח לכל אחד מהם את המאמר ומכתב תודה או תעודת הוקרה.

זכות ראשונים למדע אזרחי

עד למהפכה התעשייתית במאה ה-19, מדענים רבים עסקו במחקר מדעי כתחביב ולא כיהנו בהכרח במשרת חוקר רשמית. דוגמאות בולטות לכך הן אנטוני ואן לוונהוק (1632–1723), שהיה סוחר, בנג'מין פרנקלין (1706–1790), שהיה פוליטיקאי, וגרגור מנדל (1822–1884), שהיה נזיר. הרעיון שלפיו מדענים מומחים הם אלה שצריכים לנהל מחקר מדעי במוסדות המיועדים לכך הוא אפוא חדש, יחסית.

ניצול עלול להתקיים גם במקרים של כשלון בתיאום ציפיות. אזרחים עשויים להצטרף למחקר מתוך מחשבה שהשפעתם תהיה משמעותית, ומגלים שמצופה מהם לאסוף נתונים בלבד. כדי למנוע זאת יש לבצע תיאום ציפיות מוסדר לפני תחילת כל פרויקט ולאפשר לאזרחים לפרוש אם הם מעוניינים בכך. לעיתים בפרויקטים קהילתיים ההסבר המדעי על נושא המחקר ומעורבות הקהילה דועכים, וכך האזרחים אינם זוכים בהטבות הנובעות מהמחקר. למותר לציין כי במקרים אלה על המדענים לקיים קשר הדוק עם הקהילה עוד בטרם קיום הפרויקט ולאתר דרכים מתאימות להסברה ולהמשך מעורבות.

סיכום

מדע אזרחי הוא גישת מחקר הפועלת בתפר שבין מדע לחברה. לגישת מחקר כזאת יתרונות רבים, אך היא מעלה שאלות אתיות שראוי להתייחס אליהן, כמו איכות הנתונים, ניגוד עניינים וניצול. כמו בגישות מחקר אחרות, גם במדע אזרחי נחוצה הגדרה של כללי אתיקה אשר יסדירו את העקרונות הראויים במחקר המשתף אזרחים. ראוי לדאוג כי הקשר בין המדענים לאזרחים המתנדבים יחל עוד לפני תחילת הפרויקט, באופן שיאפשר תיאום ציפיות ועבודה משותפת מוצלחת. יש להקפיד על פרסום הולם, כמו שתואר לעיל, לקבוע נהלים למניעת ניצול, לאתר ניגודי עניינים ולטפל בהם וכן להעניק לאזרחים את הידע המדעי וההכשרה הדרושים להם כדי לנהל מחקר מדעי אחראי.



מקורות

British Trust for Ornithology, 2015. Garden BirdWatch. Available at: http:// www.bto.org/volunteer-surveys/gbw (accessed 14.04.15).

Crall, A.W., Newman, G.J., Stohlgren, T.J., Hofelder, K.A., Graham, J., Waller, D.M. (2011): Assessing citizen science data quality: an invasive species case study. Conservation Letters, 4: 433–442.

Danielsen, F., Burgess, N., Balmford, A. (2005): Monitoring matters: examining the potential of locally-based approaches. Biodiversity and Conservation, 14: 2507–2542.

Davies, L., Bell, J.N., Bone, J., Head, M., Hill, L., Howard, C., Hobbs, S.J., Jones, D.T., Power, S.A., Rose, N., Ryder, C., Seed, L., Stevens, G., Toumi, R., Voulvoulis, N., White, P.C., (2011): Open Air Laboratories (OPAL): a community-driven research program. Environmental Pollution, 159 (8–9): 2203–2210.

Dickinson, J.L., Zuckerberg, B., Bonter, D.N. (2010): Citizen science as an ecological research tool: challenges and benefits. Annual Review in Ecology, Evolution and Systematics, 41: 149–172.

Dickinson, J.L., Shirk, J., Bonter, D., Bonney, R., Crain, R.L., Martin, J., Phillips, T., Purcell, K., (2012): The current state of citizen science as a tool for ecological research and public engagement. Frontiers in Ecology and the Environment, 10(6): 291–297.

Environmental Working Group (2014): About Us. Available at: https:// www.ewg.org/about-us (accessed 30.12.14).

Hellerer, U., Jarayaman, K.S. (2000): Greens persuade Europe to revoke patent on neem tree. Nature, 405: 266–267.

Kwok, R.K., Engel, L.S., Miller, A.K., Blair, A., Curry, M.D., Jackson, W. B., Stewart, P.A., Stenzel, M.R., Birnbaum, L.S., Sandler, D. P. (2017): The GuLF STUDY: A Prospective Study of Persons Involved in the Deepwater Horizon Oil Spill Response and Clean-Up for the GuLF STUDY Research Team. Environmental Health Perspective, 125(4): 570–578.

O'Fallon, L.R., Dearry, A. (2002): Community-based participatory research as a tool to advance environmental health sciences. Environ. Health Perspective, 110 (Suppl. 2): 155–159.

Ottinger, G. (2010): Buckets of resistance: standards and the effectiveness of citizen science. Science, Technology & Human Values, 35(2): 244–270.

Resnik, D.B., Elliott, K.C. (2013): Taking financial relationships into account when assessing research. Accounting Research, 20 (3): 184–205.

Riesch, H., Potter, C., (2014): Citizen science as seen by scientists: methodological, ethical, and epistemological dimensions. Public Understanding of Science, 23(1): 107– 120.

Shamoo, A.E., Resnik, D.B. (2015): Responsible Conduct of Research, 3rd ed. Oxford University Press, New York.

Shiva, V. (1999): Biopiracy: the Plunder of Nature and Knowledge. South End Press, Brooklyn, NY.

Silvertown, J., Cook, L.M., Cameron, R.A.D., Dodd, M.E.,McConway, K.J., Jones, J.S., Worthington, J.P., Skelton, P., Anton, C., Bosdorf, O., Baur, B., Schilthuizen, M., Fontaine, B., Sattmann, H., Bertorelle, G., Correia, M., Oliveira, C., Pokryszko, B., Ozgo, M., Stalazs, A., Gill, E., Rammul, U., Solymos, P., Feher, Z. & Xavier, J. (2011): Citizen science reveals unexpected continental-scale evolutionary change in a model organism. PLoS ONE, 6, e18927.

Wiggins, A., Newman, G., Stevenson, R.D., Crowston, K. (2011): Mechanisms for data quality and validation in citizen science. In: Seventh IEEE International Conference on e-Science Workshops.



לשם מה להתבונן בדבורים?

מניעים של מתנדבים בפרויקט מדע אזרחי בנושא חרקים מאביקים

מעובד על פי המאמר[1]:

Domroese, M.C., Johnson, E.A. (2016): Why watch bees? Motivations of citizen science volunteers in the Great Pollinator Project. Biological Conservation, 208: 40-47.

מבוא

אחד התחומים שבהם תורם מדע אזרחי תרומה ניכרת לידע ולתהליכי קבלת החלטות הוא שימור סביבתי (Theobald, 2015): תיעוד תפוצה ושכיחות של אורגניזמים; תיעוד שינויים בתופעות עונתיות כמו פריחה או נדידה; והשלכות ניטור איכות מים, קרקע או אוויר על בריאות הציבור ועל איכות הסביבה (Bonney et al., 2014). גיוס מתנדבים שאינם מדענים מאפשר לחוקרים בפרויקטים אלה להגיע לנתונים שאי אפשר להגיע אליהם במחקרים מסורתיים: סקירת אזורים גיאוגרפיים נרחבים, איסוף נתונים לאורך זמן, או ניטור רכוש פרטי כמו גינות ביתיות (Bonney et al., 2009). בד בבד, האזרחים המשתתפים במחקרים אלה זוכים לרכוש ידע מדעי ומיומנויות, כמו ידע על מינים ובתי הגידול שלהם; לשפר יכולת התבוננות וזיהוי; לבצע מדידות; וליטול דגימות באופן שיטתי (Jordan et al., 2011). כתוצאה מכך מתנדבים עשויים לתמוך בתוכניות שימור ולנקוט צעדים ועמדות בנושאי שימור אף מעבר לפרויקט המחקר.

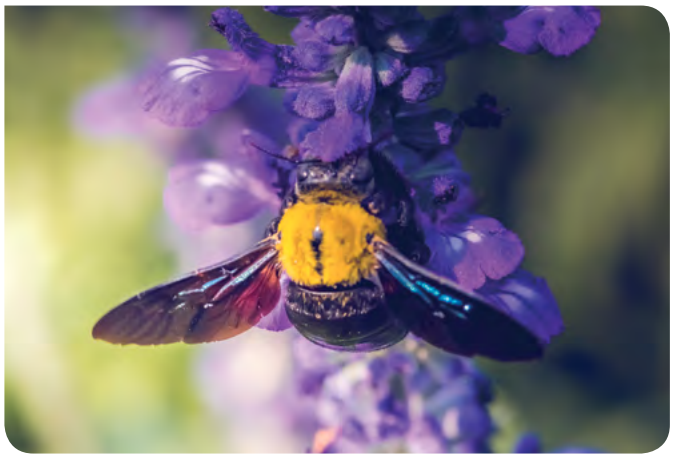
לאור יתרונות המדע האזרחי בתחום השימור, רצוי להבין מדוע אנשים מתנדבים להשתתף בפרויקטים מסוג זה. על פי אחת התיאוריות, התנדבותם של אנשים בפעילות מסוימת תלויה בהתגשמות המניעים האישיים שלהם (Clary & Snyder, 1999), ואלה לא תמיד משתייכים לקטגוריות ברורות של עזרה לזולת או אגואיזם. מחקרים אכן מראים שכאשר חוויית המתנדבים בהתנדבות תואמת את המניעים להתנדבותם, נוצרת תחושת סיפוק והם נוטים להמשיך להתנדב (Jacobson et al., 2012).

אנשים שונים יכולים כמובן להתנדב ממניעים שונים, ולכל מתנדב יכולים להיות כמה וכמה מניעים. מחקרים שבדקו מניעי משתתפים במיזמים לשימור סביבה (שאינם מחקר) מצאו מניעים כמו עזרה לסביבה, יישום ערכים ושיפור הערכה עצמית, למידה, מניעים חברתיים, קידום קריירה ויציאה מהבית לטבע (Jacobson et al., 2012; Bruyere & Rappe, 2007). במחקרים אלה נמצא כי המניעים העיקריים שיצרו מחויבות לפרויקט לאורך זמן היו עזרה לסביבה ומניעים חברתיים, בד בבד עם התחושה שזמנם של המתנדבים נוצל ביעילות בפרויקט.

מניעים דומים נמצאו גם במחקר שנערך בקרב מתנדבים בפרויקט מדע אזרחי שעסק בתפוצת מיני ציפורים (Wright et al., 2015). המתנדבים דיווחו בעיקר על מניעים ערכיים (תחושת תרומה לפרויקט משמעותי), הזדמנות לצאת לטבע ולמידה. בפרויקט מדע אזרחי אחר שעסק במינים פולשים דיווחו המתנדבים על מניעים כמו למידה על נושאים סביבתיים ורכישת מיומנויות כמו ניטור מינים פולשים וזיהויים. מעטים בלבד דיווחו על עניין במדע (Crall et al., 2013).

המניע הנפוץ ביותר בשאלוני השנה הראשונה לפרויקט היה ללמוד על דבורים

המחקר המתואר כאן מנסה לבחון מהם המניעים של מתנדבים בפרויקט המדע האזרחי "פרויקט המאביקים הגדול" (Great Pollinator Project), וזאת כדי לסייע לצוות הפרויקט למשוך מתנדבים נוספים ולעודד אזרחים שהתנדבו להמשיך בכך. לשם כך העלו החוקרים שתי שאלות מחקר עיקריות: (1) מהם המניעים של המתנדבים להשתתף בפרויקט? (2) עד כמה הגשים הפרויקט את המניעים הללו ועודד את המשך השתתפותם? ניתוח שאלונים שנשלחו למתנדבים סיפק מידע על מניעי המתנדבים ועל תפיסתם ביחס ליתרונות והרווח מהשתתפותם בפרויקט. בד בבד עלו מהנתונים תובנות על דרכים אפשריות לגיוס מתנדבים ושמירה על קשר עימם בעניין הפרויקט, והובילו לגיבוש המלצות לתכנון פרויקטים של מדע אזרחי מתוך הבנת ההתנסות של המתנדבים.



[1] הגרסה המובאת כאן היא סקירה של תוכני המאמר המקורי, ונועדה להנגיש את המידע לציבור המורים לביולוגיה ולמדעי הסביבה. העיבוד כלל הוספת הסברים ואיורים לתכנים מורכבים, סינון מידע שאינו נקשר לרעיון המרכזי של הגרסה המעובדת, הגדרת מונחים מקצועיים, ובמידת האפשר קישור הדברים לתהליכי למידה והוראה. המעוניינים לקרוא את המאמר המקורי מוזמנים לפנות למקור המובא בתחילת הגרסה המעובדת.

שיטות

פרויקט המאביקים הגדול

פרויקט המאביקים הגדול החל בשנת 2007 כשיתוף פעולה בין מוזיאון הטבע של ניו-יורק למחלקת הפארקים של עיריית ניו-יורק. מטרות הפרויקט היו לשפר את הגינות הציבוריות בעיר כך שישמרו ואף יעודדו האבקה על ידי חרקים; להעלות מודעות למינים מקומיים של דבורים ולאתר ברחבי העיר אתרים המעודדים האבקה באמצעות מדידת מהירות הגעתן של דבורים להאבקת פרחים.

כדי לאתר אתרים המעודדים האבקה גייסו המדענים מנהלי המחקר מתנדבים שהיו "תצפיתני דבורים", ואספו נתונים על ביקורי דבורים בפרחים ממינים מסוימים. מתנדבים גויסו באמצעות אתרים של העירייה ודפי מידע שחולקו בשווקים של מזון אורגני ובאירועים עירוניים. לעיתים הגיעו החוקרים לקהל יעד רחב יותר, על ידי דיווחים על הפרויקט באמצעי התקשורת: כתבות בעיתונות הכתובה וראיונות ברדיו.

הכשרת המתנדבים התבצעה מדי שנה בחודש מאי, בכל אחד מרובעי העיר ניו-יורק. במהלכה המדענים האחראים על הפרויקט הסבירו את מטרותיו, וכן סיפקו מידע ותרגול שאפשרו למתנדבים להתאמן בזיהוי המינים המשתתפים בפרויקט. למתנדבים בעלי גינות פרטיות סיפקו המדענים שתילים או זרעים של מיני הצמחים לשתילה בגינותיהם הפרטיות. מתנדבים ללא גינות פרטיות התבקשו לצפות בדבורים בגינות ציבוריות או בצמחים שגדלו באופן טבעי ברחבי העיר. הוראות מדויקות והדרכה פורסמו גם באתר הפרויקט.

בחודשים מאי עד אוקטובר אספו המתנדבים נתונים על חמישה מיני דבורים שהופיעו על אחד מתשעה צמחים. לפרויקט נבחרו צמחים הנפוצים בכל רחבי העיר, וחמישה מיני דבורים שקל יחסית לזהות, ובהם דבורת הדבש ודבורת הבולבוס. כל התבוננות הסתיימה כאשר חמש דבורים הגיעו להאביק את הצמח או בתום שלושים דקות. כדי לעודד שליחה של הנתונים שמרו מנהלי הפרויקט על קשר עם המתנדבים במשך כל העונה באמצעות דואר אלקטרוני ובלוג, וציינו תצפיות חשובות ומעניינות מהפרויקט או "חדשות האבקה" אחרות.

במשך שנתיים הועברו למתנדבים שאלוני סקר, לפני איסוף הנתונים ולאחריו, ונערכו קבוצות מיקוד[2]. מטרת השאלונים וקבוצות המיקוד הייתה לאפיין את המתנדבים מבחינה דמוגרפית; להבין טוב יותר מה למדו, מדוע התנדבו וכיצד; ולקבל משוב על הפרויקט. במחקר המתואר כאן התמקדו החוקרים בהבנת מניעי המתנדבים, "תצפיתני הדבורים", להשתתף בפרויקט.

שאלוני סקר

שאלונים שהועברו למתנדבים לפני איסוף הנתונים כללו שאלה על הסיבה העיקרית להתנדבותם לפרויקט. השאלונים היו זהים בשתי השנים, אלא שבשנה השנייה שינו החוקרים את השאלה על הסיבה להתנדבות לשאלה פתוחה, בעיקר כדי לקבל תשובות מפורטות שיניבו מגוון מניעים גדול יותר. השאלונים שחולקו לאחר איסוף נתונים כללו עשר שאלות על הרווח שהפיקו המשתתפים מהשתתפות בפרויקט ועל אתגרים שניצבו בדרכם במהלכו.

השאלונים בדקו נתונים דמוגרפיים (לדוגמה: מגדר, גיל, מוצא אתני, הכנסה, השכלה). נוכח האחידות שהתקבלה בנתונים הדמוגרפיים של המתנדבים בשאלוני השנה הראשונה, הוכנסו לשאלוני השנה השנייה (אלה שלאחר איסוף הנתונים) שש שאלות נוספות, אשר מיפו את יחס המתנדבים לטבע. המתנדבים התבקשו לדרג את מידת הסכמתם להיגדים שהופיעו בשאלון מדרגה 1 (לא מסכים כלל) ועד דרגה 5 (מסכים בהחלט).

ניתוח הנתונים התבצע באופן אנונימי, תוך השוואה בין מתנדבים מתחילים למתנדבים חוזרים. שאלונים שחולקו לפני איסוף הנתונים חולקו לאנשים שהגיעו לעמדות ההדרכה ברובעי העיר ונאספו מהם (74 שאלונים בשנה הראשונה, 78 שאלונים בשנה השנייה); או באמצעות דואר אלקטרוני למתנדבים שנרשמו לפרויקט אך לא הגיעו להדרכה (21 בשנה הראשונה, 45 בשנה השנייה). בסך הכול התקבלו 95 שאלונים לפני איסוף הנתונים בשנה הראשונה, ו-123 שאלונים לפני איסוף הנתונים בשנה השנייה.

השאלונים שחולקו לאחר איסוף הנתונים היו מקוונים, ובשנה הראשונה השיבו עליהם רק 25 אחוזים מהמתנדבים (76 שאלונים). כדי לשפר את אחוז המשיבים בשנה השנייה נשלחו שאלונים מקוונים רק למתנדבים ששלחו את הנתונים שאספו, ואכן אחוז המשיבים עלה לחמישים (61 שאלונים). המתנדבים האחרים קיבלו שאלון מקוצר, שבו התבקשו לציין בקצרה מדוע לא שלחו נתונים לפרויקט (62 השיבו לשאלון המקוצר, שהם שמונה-עשר אחוז מכלל המתנדבים שלא שלחו נתונים לפרויקט).

המניעים שעלו בשאלות הפתוחות מוינו פעמיים, על ידי שני חוקרים, וחושבה תדירות הופעתם בשאלונים (מספר הפעמים שמניע מסוים הופיע מתוך סך כל השאלונים, באחוזים).



[2] קבוצת מיקוד היא שיטה שמקורה בתחום השיווק, שבה מראיינים קבוצת אנשים שהתבקשו להשתמש במוצר חדש טרם שיווקו, כדי להבין מה דעתם עליו, במה התאים להם ומה יש לשפר.

קבוצות מיקוד

שתי קבוצות מיקוד התכנסו בשנה הראשונה לפרויקט והרחיבו את המידע מהשאלונים על התנסויות המתנדבים. מתוך 22 מתנדבים ששלחו נתונים באופן עקבי ויצרו קשר מתמיד בדואר אלקטרוני עם מדעני הפרויקט, 13 הגיעו לאחת משתי קבוצות המיקוד. במהלך הפגישות העלה המתווך שאלות שנועדו לעודד דיון על ההתנסויות שעברו המתנדבים כתצפיתני דבורים, כולל מה הניע אותם להשתתף בפרויקט. השיחות הוקלטו, תומללו, ונותחו על ידי קבוצת חוקרים.

תוצאות

נתונים דמוגרפיים

רוב המתנדבים שמילאו את השאלונים השתתפו בפרויקט שנה עד שנתיים (ארבעים ואחד אחוז ושלושים ושישה אחוז בהתאמה). שבעה-עשר אחוז השתתפו בפרויקט במשך שלוש שנים, ושבעה אחוזים השתתפו בכל ארבע שנות הפרויקט. רוב המשתתפים היו לבנים (שמונים ותשעה אחוז), נשים (שבעים ושישה אחוז) ובני חמישים ומעלה (שישים וארבעה אחוז). יותר משבעים וחמישה אחוז בעלי השכלה גבוהה (קולג' או אוניברסיטה), ורובם בעלי הכנסה בינונית עד גבוהה. עשרים וחמישה אחוז מהם ציינו שהשתתפו בעבר בפרויקט מדע אזרחי. יחס המתנדבים לטבע היה חיובי מאוד (בעבור מחציתם התקבלה תוצאה כוללת של 27 מתוך 30 נקודות אפשריות, ואף לא אחד מהם קיבל תוצאה הנמוכה מ-15 נקודות).

מניעים על פי השאלונים

בתגובה לשאלונים שלפני איסוף הנתונים ציינו המתנדבים מניעים כמו למידה, מניעים ערכיים ומניעים הקשורים לפעילות מחוץ לבית. המניע הנפוץ ביותר בשאלוני השנה הראשונה לפרויקט היה ללמוד על דבורים (עשרים ושבעה אחוז). מניעים ערכיים היו הבאים בתור: השתתפות בפרויקט שימור או בפרויקט מדעי (ארבעה-עשר אחוז), משיכת מאביקים לגינה (ארבעה-עשר אחוז), דאגה למחלות הדבורים[3] (שנים-עשר אחוז) ועזרה בשיפור גינות ציבוריות ושטחים ירוקים בעיר (שנים-עשר אחוז). כארבעה אחוזים דיווחו על מניעים חברתיים, כמו פעילות משותפת משפחתית או פעילות עם חברים. בשנה השנייה, כתשובה לשאלה הפתוחה על מניעים להשתתף בפרויקט שלושים ואחד אחוז מהמשתתפים השיבו כי רצו ללמוד על דבורים, אחד-עשר אחוז רצו לתרום למדע או למחקר ואחד-עשר אחוז רצו הזדמנות לצאת לטבע או לצאת מהבית. חמישה אחוזים ציינו כי חיפשו פעילות משפחתית משותפת.

תוצאות הסקר בנושא יתרונות ורווח

בסיום כל עונת איסוף נתונים נשאלו המתנדבים מה היה הרווח החשוב ביותר שהפיקו מההשתתפות בפרויקט. בשאלוני השנה הראשונה העלו המתנדבים את ההזדמנות לתרום למחקר מדעי (שלושים אחוז) ואת הידע על הביולוגיה של הדבורים (עשרים ושמונה אחוז). כמו כן ציינו המתנדבים את ההזדמנות לצאת ולהתבונן בטבע (שבעה-עשר אחוז) וידע על דבורים מקומיות (חמישה-עשר אחוז). בשאלוני השנה השנייה התקבלה חלוקה שווה יותר בין היתרונות השונים: תרומה למחקר, ידע על ביולוגיה של דבורים וידע על דבורים מקומיות צוינו כל אחד בשיעור של עשרים ושניים אחוז. הזדמנות לצאת לטבע צוינה בשיעור של שבעה-עשר אחוז.

באמצעות תשובה לשאלה: עם מי נהגתם לבצע את התצפית על הדבורים? הסתבר לחוקרים שאף שרוב המתנדבים ביצעו תצפיות בדבורים כיחידים, כשישה-עשר אחוז מהם דיווחו כי ביצעו תצפיות עם בני משפחה, עם חברים או עם אדם אחר נוסף.

כדי לבדוק אם מניעים ראשוניים להתנדב לפרויקט שונים מהמניעים להשתתפות ארוכת טווח בפרויקט, השוו החוקרים את השאלונים של משתתפי השנה הראשונה לשאלונים של מתנדבים חוזרים, כלומר כאלה שהשתתפו בפרויקט שנתיים או יותר. בשנה הראשונה שבה הועברו השאלונים הייתה למידה (ידע על דבורים) המניע השכיח ביותר (שלושים ואחד אחוז) בקרב משתתפי שנה זו בפרויקט. לעומת זאת, המניע השכיח ביותר בקרב משתתפים חוזרים היה תרומה למחקר מדעי (ארבעים ואחד אחוז). אומנם בשנה השנייה שבה הועברו השאלונים התקבל הבדל דומה, אולם הפער בין הקבוצות היה קטן יותר: למידה (ידע על דבורים) הייתה המניע השכיח ביותר (עשרים ותשעה אחוז) בקרב משתתפי שנה בפרויקט. המניעים השכיחים ביותר בקרב משתתפים חוזרים היו תרומה למחקר מדעי ולמידה על דבורים (עשרים ושישה אחוז כל אחד מהם).

תוצאות פרויקט המאביקים הגדול

תוצאות התצפיות בדבורים נוגעות באופן כללי לכל הצמחים, אף שתשעת מיני הצמחים שנכללו בפרויקט הראו הבדלים במהירות משיכת המאביקים ובעקביות משיכתם.

צמחים פורחים במקומות טבעיים (גינות ציבוריות, גינות פרטיות וגינות קהילתיות) משכו דבורים ביתר הצלחה לעומת מקומות מלאכותיים כמו גינות גג, אדניות או שולי רחוב. כמו כן, דבורים רבות יותר ביקרו צמחים שגדלו בגינות שבהן מגוון רחב של מקורות לצוף (יותר ממאה פרחים בגינה) לעומת צמחים שגדלו בסביבות שבהן פחות מקורות צוף. באופן תיאורטי אפשר לשער שמקורות צוף רבים יותר יתחרו ביניהם על המאביקים, ומספר המאביקים לצמח ירד. ואולם בניגוד לכך, תוצאות הפרויקט מראות שפרחים רבים בסביבה מעלים את מספר המאביקים לצמח. כלומר, נוצרת "תופעת מגנט", שבה מקורות צוף מגוונים מושכים לאזור מגוון מאביקים ומעלים את הסיכוי להאבקת צמחים יחידים וצמחים באזור כולו.

בדיקת שטחים ירוקים בעיר העלתה כי שיעור המאביקים היה גדול בנקודות תצפית שהיתה מסביבן כסות צמחייה של כ-100 מטרים רבועים (בערך גוש בניינים יחיד בניו-יורק). מסקנת החוקרים היא שיש לפעול להגדלת הכסות הירוקה של העיר בכל דרך, כמו עידוד הקמת גינות קהילתיות וגינות גג, הוספת כרי צמחים פורחים בגינות קדמיות ואחוריות של בתים והקמת גינות ציבוריות בכל מקום אפשרי.

[3] המתנדבים הזכירו במפורש את הפרעת התמוטטות המושבה,Colony Collapse Disorder, שבה דבורים פועלות עוזבות את הכוורת בפתאומיות וגורמות להתמוטטותה.

אתגרים במהלך ההשתתפות בפרויקט

גם כאשר נשאלו המתנדבים באילו אתגרים נתקלו במהלך ההשתתפות בפרויקט התקבלו מעט הבדלים בין השנים. בשנת המחקר הראשונה דיווחו המתנדבים על קושי למצוא זמן פנוי (עשרים ותשעה אחוז) ועל מזג אוויר קריר וגשום שאיחר את מועדי הפריחה והשפיע על האפשרויות לצאת ולהתבונן בדבורים (עשרים אחוז). מעטים (פחות מאחוז אחד) הזכירו קשיים בזיהוי הצמחים או הדבורים, או קשיים בהזנת הנתונים. לעומת זאת, בשנת המחקר השנייה הקושי העיקרי שציינו המתנדבים היה לזהות או לאתר את הצמחים לשם ההתבוננות בדבורים (שלושים ושמונה אחוז) וקשיים במציאת זמן פנוי (עשרים ותשעה אחוז). מעטים הזכירו קשיים בהבנת ההוראות לאיסוף הנתונים שכללו זיהוי הדבורים או אופן הזנת הנתונים.

אזרחים שנרשמו לפרויקט אך לא סיפקו נתונים העלו קשיים דומים: קשיים במציאת זמן פנוי (חמישים אחוז), צורך בהכשרה ואימון נוספים וקשיים במעקב אחר הוראות (עשרים וחמישה אחוז). מעטים ציינו שהם גרים רחוק מרבעי העיר ניו-יורק שבהם התבקשו לתצפת.

כעשרים אחוז מהמתנדבים שהשתתפו בפרויקט ציינו שהם מעוניינים להמשיך להתנדב שנה נוספת, אף על פי שלא נשאלו על כך. היו ביניהם שציינו את הערכתם לארגון הפרויקט ולעזרה שהפרויקט הציע. אחד מהם כתב: "הייתי מעורב בפרויקטים של מדע אזרחי בעבר, והפרויקט הנוכחי היה ללא ספק המספק ביותר, הודות להוראות ברורות, חומרי קריאה וטיולים, ובמיוחד העזרה המיידית ומסבירת הפנים של כל המעורבים בו". לעומת זאת, שני מתנדבים ציינו שהמשך השתתפותם מותנית בתוצאות הפרויקט והמסקנות שיתקבלו על פיזור המאביקים בעיר.

כאשר חוויית המתנדבים בהתנדבות תואמת את המניעים להתנדבותם, נוצרת תחושת סיפוק והם נוטים להמשיך להתנדב

דיוני קבוצות המיקוד

הדיונים בקבוצות המיקוד עזרו לחזק תוצאות מהשאלונים ולהרחיב אותן. כשנשאלו על מניעיהם להשתתף בפרויקט ומה אהבו בו, העלו המתנדבים את רצונם ללמוד, את העניין החזק שהיה להם בסביבה עוד לפני הפרויקט, את דאגתם לדבורים ולבית גידולן ואת רצונם לעזור בדרך כלשהי למצבן. הם העידו על התפתחות סקרנותם ביחס לדבורים וציינו כי החלו להתבונן בהן גם כשלא היו בתצפית רשמית לאיסוף נתונים. אחד המשתתפים העיד שהפרויקט היה עבורו מנוף לעידוד למידה, שבעזרתו למד להשתמש בסקרנותו ולפתח אותה לצרכים חיוביים ולהרגיש שהוא עושה דבר מה בעל ערך.

המשתתפים ציינו את הערכתם לטבע ואת ההזדמנות שנוצרה עבורם לפגוש טבע באזור עירוני. לדוגמה: "מעניין לראות שיש טבע בניו-יורק... בכל הבטון הזה והרחובות... יש די הרבה פעילות כשמסתכלים על הפרטים". חלק מהמשתתפים ציינו את הנאתם מחצי שעה שקטה אך תורמת בגינה הציבורית. ההתבוננות בדבורים אפשרה להם לצאת להפסקה מריבוי המטלות המאפיינות את חייהם ולהתרכז במשימה אחת.

במהלך הדיונים העלו המשתתפים את הערכתם למארגני הפרויקט. אחד המתנדבים ציין שהוא לא היה לומד הרבה או מתעניין כל כך אלמלא התכתב בדואר האלקטרוני עם אחד החוקרים. עם זאת הם ציינו את רצונם לדעת יותר על התוצאות והמסקנות מהנתונים שאספו.

חלק מהמשתתפים סיפרו שביצעו את התצפיות עם בני משפחה או חברים, ואחד מהם דיווח על תצפית בדבורים עם קבוצת גינה קהילתית. כמו כן, הם שמחו על ההזדמנות להיפגש ולהכיר זה את זה בקבוצת המיקוד.

דיון

דמוגרפיה

הדיוקן השליט בקרב מתנדבי פרויקט המאביקים הגדול היה נשים לבנות, בנות חמישים ומעלה, בעלות השכלה גבוהה. דיוקן זה דומה לדיוקן מתנדבי פרויקטים אחרים בגישת מדע אזרחי (Crall et al., 2013), אם כי קיימים גם פרויקטים שדיווחו על רוב גברי (לדוגמה, פרויקט שעסק בתפוצת מיני ציפורים; Wright et al., 2015) מאפיין נוסף הוא אהבה לטבע, שעלתה גם בפרויקטים אחרים של שימור (Guiney & Oberhauser, 2009). האחידות היחסית בדיוקן המתנדבים בפרויקט המאביקים הגדול לא אפשרה להשוות מניעים בין קבוצות של משתתפים בפרויקט, או להכליל את הממצאים לקבוצות אחרות של מתנדבים, שלא היו מיוצגות באופן משמעותי באוכלוסיית המתנדבים בפרויקט המאביקים הגדול.

התאמה בין מניעים לחוויית ההתנדבות

כאמור, תחושת סיפוק מהתנדבות ורצון להמשיך ולהתמיד בה מתרחשים כאשר חוויית ההתנדבות מגשימה את המניע להתנדבות (Jacobson et al., 2012). כלומר, התשובה לשאלה מה הניע אותך להתנדב? והתשובה לשאלה מה הרווחת מההתנדבות? צריכות להתאים זו לזו. ממצאי המחקר מראים שהמניעים העיקריים להשתתפות בפרויקט נקשרו ללמידה ולערכים. מניע הלמידה דווח גם בפרויקטים אחרים (לדוגמה, פרויקט שעסק במינים פולשים; Crall et al., 2013). חוויית ההשתתפות בפרויקט המאביקים הגדול התאימה למניע זה, שכן כמחצית מהמשתתפים ציינו למידה כרווח מהפרויקט. הם דיווחו על הרחבה משמעותית בידע על מאביקים ועל תשומת לב רבה יותר אליהם, שיפור במיומנויות הדרושות לביצוע ההתבוננות ועלייה בביטחון ובעניין לספר לאחרים על דבורים מקומיות. לעומת זאת, המתנדבים לא דירגו את הבנת תהליך החקר המדעי כחוויית למידה משמעותית בפרויקט, כנראה משום שעסקו בעיקר באיסוף נתונים ולא היו שותפים לתכנון המחקר או לניתוח הנתונים.

את המקום השני בדירוג מניעי המתנדבים להשתתף בפרויקט קיבלו מניעים ערכיים. הרצון לתרום למחקר מדעי ולעזור לסביבה, במיוחד על ידי משיכת חרקים מאביקים לגינות, היה מניע חזק, ואחריו בדירוג - הרצון לשפר את גינות העיר ואת שטחיה הירוקים. דיווחי המתנדבים הראו עלייה גוברת והולכת בשתילת צמחים מעודדי חרקים מאביקים, שהעידה על רצון המתנדבים ליישם את מה שלמדו בפרויקט כדי לשפר את בית הגידול של המאביקים.

העובדה שלמידה הייתה המניע והרווח בעלי הדירוג הגבוה ביותר בקרב המתנדבים ורק אחר כך הרצון לתרום לסביבה עשויה להיות מאפיין ייחודי של מתנדבים בפרויקטים של מדע אזרחי לעומת מתנדבים בפרויקטים של יישום תהליכי שימור. בשל מיעוט השאלונים והנתונים בפרויקט המאביקים הגדול ממליצים החוקרים לבדוק אם אכן למידה היא מניע ורווח המאפיינים מתנדבי מדע אזרחי בפרויקטים אחרים.

יציאה לאוויר הפתוח הייתה אף היא מניע להתנדבות ורווח שהמתנדבים ציינו מהשתתפותם בפרויקט. התצפיות בדבורים הפכו את ההתבוננות בטבע לזמינה בתנאים עירוניים. הקשר לטבע תוך כדי ההשתתפות בפרויקט עלה לא רק בשאלונים אלא גם בקבוצות המיקוד, שבהן ציינו המתנדבים עד כמה ההתבוננות בדבורים מרגיעה אותם, וזאת בהתאמה לממצאים על מתנדבי מדע אזרחי בפרויקטים אחרים (Wright et al., 2015).

המלצות ומסקנות

התאמת התנהלות הפרויקט למניעים

סקר התחלתי של מניעי ההשתתפות בפרויקט מדע אזרחי עשוי לסייע למנהלי הפרויקט לקשר את ההתנסות בפרויקט למימוש המניעים במהלך פרסום הפרויקט. ואכן, לאחר שאספו החוקרים את מניעי המשתתפים בשנה הראשונה למחקר והשתמשו בהם לפרסום הפרויקט בשנה השנייה, עלה מספר המתנדבים בעשרים וחמישה אחוז.

כדי לשפר את יכולת הלמידה של המתנדבים ואת יכולתם לבצע את ההוראות בשנה השנייה שיפרו מנהלי הפרויקט את מדריך הצמחים, באמצעות תמונות ותיאורים נוספים, יצרו באתר הפרויקט שאלונים ממושבים לזיהוי דבורים כדי לתרגל את מיומנות הזיהוי, וארגנו שני ימי שדה, שבהם הצטרפו המתנדבים למומחים וזיהו דבורים בשטח. המשובים והשאלונים שמילאו המתנדבים הראו הערכה רבה לכל אלה.

כדי לממש את רצון המתנדבים לתרום למחקר מדעי חשוב להחצין את תרומתם ולהסביר כיצד הנתונים שנאספו תרמו למטרות הפרויקט (Land-Zandstra, 2016). מסיבות טכניות בעיקר לא השלימו החוקרים בפרויקט המאביקים הגדול את ניתוח הנתונים ולכן לא היה אפשר לעדכן את המתנדבים על תרומתם להבנת מפת ההאבקה בעיר ניו-יורק. חשוב שמנהלי פרויקט יתכננו מראש צעדי ביניים בניתוח נתונים ויעדכנו את המתנדבים בתוצאות באופן מתמשך. למרות זאת, היו מתנדבים שהקדישו את עצמם לפרויקט, הראו נכונות להמשיך ואף דיווחו על אתרי דבורים, שלחו תמונות והשתתפו בפעילויות התבוננות אחרות גם לאחר שהפרויקט הסתיים רשמית.

כדי לחזק את מניע העזרה והתרומה, המדענים שלחו למתנדבים מידע על פעילויות שימור נוספות שהמתנדבים יכולים לבצע, כמו להשאיר קרקע חשופה בגינות למען דבורים המקננות באדמה, לנטוע צמחי בר פורחים ולהפחית את השימוש בקוטלי מזיקים.

אומנם מתנדבי הפרויקט לא העלו סיבות חברתיות כמניע עיקרי להשתתפותם, אבל הם הביעו הערכה רבה לפעילויות החברתיות שהתקיימו, כמו ימי השדה שארגנו המדענים וחגיגות סוף עונה שבהן הביאו המשתתפים מאכלים המתקשרים לדבורים. מומלץ אפוא ליצור קשר חברתי בין המתנדבים לבין עצמם ובינם לבין המדענים, באמצעות המרשתת אך גם במפגשים פנים אל פנים.

עידוד מוטיבציה ומחויבות לאורך זמן

מניעי המתנדבים והרווח שלהם מפרויקט המחקר יכולים לסייע בתכנון הפרויקט, במיוחד אם הם מתאימים למטרותיו (Shirk et al., 2012). אומנם פרויקט מדע אזרחי אינו יכול להלום את כל מניעי המתנדבים, אבל מגוון של פעילויות עשוי להתאים למניעים של מתנדבים רבים יותר (Jacobson et al., 2012). לדוגמה, בפרויקט המאביקים הגדול היה אפשר לאסוף נתונים יחד עם אנשים אחרים, חברים או בני משפחה, ליצור קשרים עם מרכזי טבע עירוניים שאירחו את התצפיתנים בגינותיהם, להגיע לימי שדה, או לאסוף נתונים על מגוון שאלות מחקר נוספות הקשורות לפיזור דבורים מאביקות בעיר ניו-יורק.

הנתונים שהניבו השאלונים במשך שנתיים לא הצביעו על הבדל משמעותי בין מתנדבים מתחילים למתנדבים מתמידים. ייתכן שמעקב ארוך טווח אחר קבוצת מתנדבים גדולה יותר עשוי למצוא הבדלים ביניהם. הבדלים כאלה עשויים לסייע למדענים להתאים את הפרויקט לשינויים במניעים של המתנדבים לאורך זמן, כמו יצירת עלייה הדרגתית בהתנסויות, בידע ובמיומנויות, ואף באחריות, כך שמתנדבים ירצו להישאר בפרויקט בטווח הארוך. ראוי לטפח את המוטיבציה של המתנדבים ואת התפתחותם האישית, בייחוד כאשר מטרת הפרויקט היא עידוד תהליכי שימור (Lewandowski & Oberhauser, 2016).

סקרים מתמשכים של מניעי המתנדבים

סקרים על מניעי המתנדבים בפרויקט מדע אזרחי יכולים לעזור לחזק את הפרויקט: כשם שהנתונים שאוספים האזרחים במחקרים בנושאי שימור הם קריטיים לקבלת החלטות ולתכנון מיזמים, כך גם הנתונים על מניעי המתנדבים הם קריטיים לניהול פרויקט מדע אזרחי באופן מבוסס עדויות. חשוב לבצע סקרים אלה לכל אורך הפרויקט כדי לקבל מידע עשיר ויכולת השוואה, ובתוך כך לענות למניעים משתנים של המתנדבים. יש להגדיר קטגוריות למניעי ההתנדבות להשתתף במדע אזרחי ולגבש שאלות שיבדקו קטגוריות אלה ויאפשרו הבנה מדויקת יותר של המניעים. כמו כן, אמות מידה משותפות יכולות לאפשר השוואה בין פרויקטים שונים. לאור התרחבות תחום המדע האזרחי, הערכה שיטתית לאורך כל שנות קיומם של פרויקטים תאפשר לתכנן את הפרויקטים כך שמטרות שימור יושגו ביתר יעילות באמצעות התאמה לציבור המתנדבים.



מקורות

Bonney, R., Cooper, C., Dickinson, J., Kelling, S., Phillips, T., Shirk, J.L. (2009a): Citizen science: a growing tool for increasing science knowledge and scientific literacy. Bioscience 59 (11): 977–984.

Bonney, R., Shirk, J.L., Phillips, T.B., Wiggins, A., Ballard, H.L., Miller-Rushing, A.J., Parrish, J.K. (2014): Next steps for citizen science. Science 343: 1436.

Bruyere, B., Rappe, S. (2007): Identifying the motivations of environmental volunteers.Journal of Environtal Planning and Management 50 (4): 503–516.

Clary, E.G., Snyder, M. (1999): The motivations to volunteer: theoretical and practical considerations. Psychology Science 8 (5): 156–159.

Crall, A.W., Jordan, R., Holfelder, K., Newman, G.J., Graham, J.,Waller, D.M. (2013): The impacts of an invasive species citizen science training program on participant attitudes, behavior, and science literacy. Public Understanding of Science 22 (6): 745–764.

Guiney, M.S., Oberhauser, K.S. (2009): Conservation volunteers' connection to nature. Ecopsychology 1 (4): 187–197.

Jacobson, S.K., Carlton, J.S., Monroe, M.C. (2012): Motivation and satisfaction of volunteers at a Florida natural resource agency. Journal of park and recreation administration 30 (1): 51–67.

Jordan, R.C., Gray, S.A., Howe, D.V., Brooks, W.R., Ehrenfeld, J.G. (2011): Knowledge gain and behavioral change in citizen-science programs. Conservational Biololgy 25 (6): 1148–1154.

Land-Zandstra, A.M., Devilee, J.L.A., Snik, F., Buurmeijer, F., van den Broek, J.M. (2016): Citizen science on a smart phone: participants' motivations and learning. Public Understanding of Science 25 (1): 45–60.

Lewandowski, E.J., Oberhauser, K.S. (2016): Butterfly citizen scientists in the United States increase their engagement in conservation. Biological Conservation 208: 106–112.

Shirk, J.L., Ballard, H.L., Wilderman, C.C., Phillips, T., Wiggins, A., Jordan, R., McCallie, E., Minarchek, M., Lewenstein, B.V., Krasny, M.E., Bonney, R. (2012): Public participation in scientific research: a framework for deliberate design. Ecology and Society 17 (2).

Theobald, E.J., Ettinger, A.K., Burgess, H.K., DeBey, L.B., Schmidt, N.R., Froehlich, H.E., Wagner, C., HilleRisLambers, J., Tewksbury, J., Harsch, M.A., Parrish, J.K. (2015): Global change and local solutions: tapping the unrealized potential of citizen science for biodiversity research. Biological Conservation 181: 236–244.

Wright, D.R., Underhill, L.G., Keene,M., Knight, A.T., 2015. Understanding the motivations and satisfactions of volunteers to improve the effectiveness of citizen science programs. Society & Natural Resources 28 (9).

