

מדע אזרחי מותאם אישית

כיצד מדע אזרחי מוביל למעורבות הציבור במדע ולמענה על צרכים אישיים

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

מבוא

עולם המדע כפי שאנו מכירים אותו 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 שרם 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 לידיע 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 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 הזדמנות 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.

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 בנושא¹.

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



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, בשאלות שאלות מחקר ובניתוח ראשוני של נתונים.
כחלק מהמיזם נפרסה רשת של חישנים המודדים את איכות
האוויר בבתיים, בחצרות ובבתי ספר - מקומות שבהם אנשים
מבלים את רוב זמנם. תלמידים ואזרחים השתתפו בתהליכי חקר
סביב נושא איכות האוויר והנתונים שנאספו מהחישנים 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,

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 מנסרת 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 השמונות 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 אזרחיים 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 חיישי 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 בנייתוח נתונים והסקת מסקנות. פלטפורמה זו יכולה לשמש כלי לימודי חשוב בלמידת חקר ונותנת לתלמידים טעימה מהכלים, צורת החשיבה והמימוניות הנדרשות לצורך ביצוע מחקר מדעי אמיתי. השתתפות של תלמידים במיזם "חשים את האוויר" תרמה להעלאת מודעותם והבנת מורכבות נושא איכות אוויר, ושיפורה את חשיבתם המדעית ואת יכולתם לפתח שאלות מחקר (Golubic, 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 המשתתפים 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

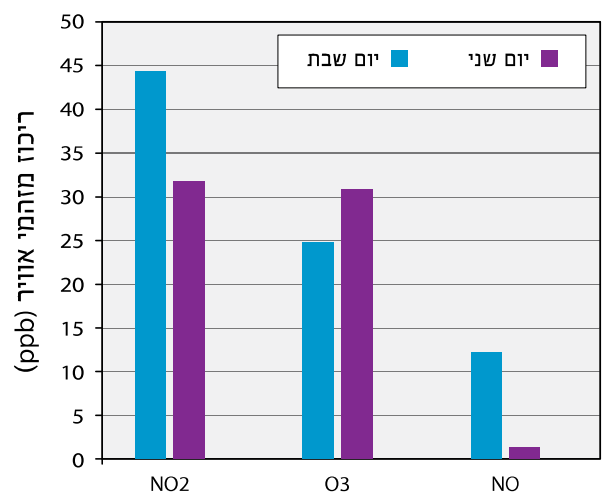
אחמד, מורה בבית ספר בצפון הארץ, ביצע עם תלמידיו מחקר שנועד לבדוק את רמת זיהום האוויר בסביבת בית הספר. הם בחנו את השאלה: מהי ההשפעה של תנועת כלי רכב על איכות האוויר בקרבת בית הספר?

על מנת לענות על שאלה זו ספרו התלמידים את המכונות שעברו בקרבת בית הספר בשעות שונות במהלך היום וכן מדדו את איכות האוויר בכניסה לבית הספר. החישובים שאיתם ביצעו התלמידים את המדידות נישרו 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 המכונות שעברו ליד בית הספר בשעות השיא (7:40-8:10 בבוקר ו 13:20-13:50 בצהריים) היה גבוה משמעותית ממספר המכונות שעברו שם בשעות השפל. כך לדוגמה, בשעות השיא ספרו התלמידים 160 מכונות שעברו בכביש בית הספר, ובשעות השפל ספרו 40 מכונות בלבד. מספר מכונות 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 המכונות שנספר בזמנים אלו מדווח בטבלה 2.

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

יום	שעת מדידה	מספר מכונות
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 המכונות בשעות השיא היה רב יותר משעות השפל, לא נמצא הבדל דומה

מבחינת ריכוזי מזהמים: ריכוזי החנקן הדו-חמצני והחד-חמצני (NO₂, NO) היו גבוהים יותר בשבת יחסית לשני. לעומת זאת, ריכוזי האוזון (O₃) היו נמוכים יותר בשבת יחסית לשני (איור 1).

חנקן דו-חמצני וחנקן חד-חמצני נוצרים בתהליכי בעירה, ומקורות הזיהום העיקריים שלהם הם תחבורה ושקפות 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 ממנהגייהם ולהתחיל ללכת ברגל לבית הספר או לארגן הסעות כדי להוריד את מספר המכונות המגיעות לבית הספר בשעות העומס.

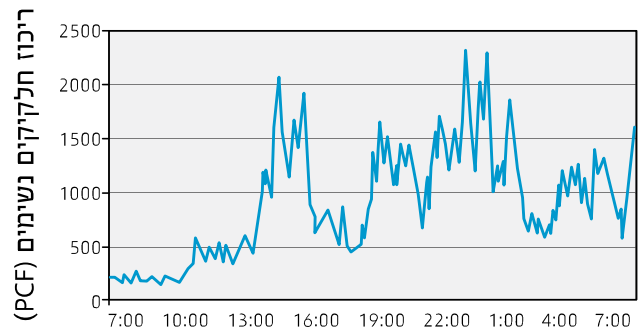
התלמידים סיכמו את המחקרים בטופס לשיתוף הציבור במחקרים אישיים כדי לשתף את הקהילה כולה במחקרים שביצעו ובמצאיהם

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 החישובים 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.

החישובים שבאמצעותם ביצעו התלמידים את המדידות נישרו חלקיקים נשימים (particulate matter, PM) שהם חלקיקים קטנים בגודל 0.1-10 מיקרון החודרים למערכת הנשימה ועלולים לגרות אותה. חלקיקים נשימים הם במצב צבירה מוצק ושונים ממזהמי אוויר במצב צבירה גזי (כמו NO₂ 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

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

בחדר קטן כאשר התקיימה בו פעילות ספורטיבית, בבית בזמן שיגון שניצלים, בעת עישון נרגילה וכן ליד כביש סואן. לעומת זאת, ריכוז החלקיקים ירד בבית בזמן הפעלת מזגן.

על פי ממצאים אלה הציעו התלמידים מספר המלצות ופתרונות לצמצום החשיפה לחלקיקים²:

- 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 האגוז 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 וחוייתית". בנוסף מציינ 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 שאינם 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 מנהיגים. 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., שארפלט, מ., וולר, מ., וויטלוק, 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.