

עריכת ניסויים אקולוגיים – הכיצד?

מאת: עמינדב ברנשטין*



(מילות מפתח: אקולוגיה, ניסויים מבוקרים)

החוברת "איך למדוד מה ולמה?", שנכתבה על ידי בהוצאת החברה להגנת הטבע, מיועדת לתלמידים העוסקים בעבודה אקולוגית – וגם למורים ולמדריכים – מציגה שיטות מדידה של משתנים אביוטיים.

"עובדות שגויות מזיקות מאד לקידום המדע, כי הן בדרך כלל מחזיקות מעמד זמן רב; אבל דעות שגויות, אם הן נתמכות עלידי ראייה כלשהי, מביאות נזק מועט, כי כולם נהנים מהעיסוק הבריא להוכיח את אינכונותן: וכאשר זה נעשה, נסגר נתיב אחד אל הלא-ינכון ובו זמנית נפתחת לעתים קרובות הדרך לאמת."

צ' דרווין "מוצא האדם" 1871

העבודה האקולוגית של תלמיד תיכון אינה יכולה לרוב להיחשב לעבודת מחקר מדעית. ובכל זאת, פעולותיו של התלמיד בשטח ובכתיבת העבודה, חייבות להעשות במידת האפשר לפי כללים מדעיים. יש חשיבות חינוכית עליונה למודעות לכללים אלה, אפילו אם מעשית הם לא מיושמים במלואם – מתוך מגבלות הזמן, האמצעים והידע.

אחת המטרות החשובות של העבודה האקולוגית היא המגע הישיר עם הטבע בשדה, כמשקל שכנגד מול הלימודים בכיתה ובמעבדה. תוך כדי מגע זה, התלמיד אמור לאתר בעצמו את המשתנים העשויים להיות רלוונטיים לחיים בשטח. על המדריך לסייע באיתור זה, אך אל לו להיות היוזם היחיד בבחירת המשתנים הראויים למדידה.

ניקח כדוגמה שטח חולי במישור החוף, ובו שיחי לענה חד-זרעית. בסוף הסתיו, לפני בוא הגשמים, שיחי הלענה נראים רעננים ואף פורחים. נשאלת השאלה: מניין הלענה לוקחת מים? סביר כי התלמידים יציעו לבדוק את תכולת המים של החול. התוצאה תהיה כי השכבה העליונה יבשה כמעט לחלוטין, אך בדיקה לעומק יכולה לגלות מים זמינים, מעל לנקודת הכמישה. שורשי הלענה, החודרים עד לעומק זה, עשויים אם כן לקלוט מים אלה (כדאי לצוין כי שורשי הלענה אינם מגיעים, בדרך כלל, עד למי התהום – בניגוד לדיעה הרווחת אפילו אצל מדענים...).

רצוי שעריכת מדידה של משתנה אביוטי (טמפרטורה, למשל) תיעשה יחד עם בדיקה של תופעה ביוטית (פעילות של נמלים, למשל). בדיקה משולבת כזאת עשויה לגלות למשל כי "כאשר הטמפרטורה

* עמינדב ברנשטין (03 6058012) – מורה גמלאי
ההרצאה ניתנה בכנס מורי הביולוגיה 2001

עולה, עולה גם פעילות הנמלים". ניתן, ואף רצוי, להציג זאת בגרף מתאים. עתה אמורות לבוא המסקנות. במקרה כזה, המסקנה היחידה היא קיום של קשר (מתאם) חיובי בין הטמפרטורה לבין פעילות הנמלים. אבל התלמיד (ולעתים גם המדריך) עלול לקפוץ מכאן למסקנה **סיבתית** (בלשון: "עליית הטמפרטורה **גרמה** להגברת פעילות הנמלים"). חייבים להיות ערים לעובדה כי בשטח פועלים בו זמנית גורמים רבים ומגוונים, חלקם גלויים לעין וחלקם סמויים, היכולים להשפיע על התופעה הביוטית – פעילות הנמלים במקרה הנידון. העובדה כי התלמיד בחר למדוד את הטמפרטורה דווקא, אינה מצדיקה לבחור בה כגורם המבוקש.

נר הלילה החופי הוא צמח גר, הנפוץ למדי באזור החוף הימ-תיכוני. פרחיו הצהובים הגדולים נפתחים לפנות ערב. פתיחתם המהירה והדרמטית היא מחזה מרהיב, שאין להחמיצו. נשאלת השאלה: מה גורם לכך שהפרחים ייפתחו לפנות ערב דווקא? אפשר לשער קיומם של מספר גורמים, כגון: ירידה בטמפרטורה, ירידה בעוצמת האור, שעון ביולוגי – ועוד. כדי לברר מהו הגורם המשפיע, חייבים לערוך **ניסוי מבוקר**. נניח כי ההשערה היא שהחלשת האור גורמת לפתיחת הפרחים. בניסוי המתוכנן אמורים להחליש את האור המגיע לקבוצת צמחים, כשקבוצה אחרת מקבלת אור מלא. עוצמת האור חייבת להיות ההבדל היחיד בין שתי הקבוצות – וזהו תנאי קשה מאד לביצוע בשטח. עליך עדיף לבצע ניסוי במעבדה. קוטפים, בשעות הצהריים, מספר כפתורי פרחים תפוחים – העתידים להיפתח באותו ערב – ומביאים אותם למעבדה, כשבסיסיהם טבולים במים כמובן. מעמידים חלק מהפרחים ליד חלון מואר (לא חשופים ישירות לשמש!), וחלק אחר במקום אפל סמוך. ליתר בטחון, מודדים את הטמפרטורה כדי לוודא כי היא שווה בשתי הקבוצות. פתיחת הפרחים המוצלים מוקדם יותר מאלה המוארים, תאשש את ההשערה.

ניסוי אקולוגי מלא חייב לכלול את כל המרכיבים של ניסוי מדעי: ריבוי פרטים, חלוקה אקראית של קבוצות, בקרה (בידוד הגורם הנבדק), חזרות, ניתוח סטטיסטי. במציאות, אין ביכולתו של התלמיד להקפיד על כל התנאים הללו.

כמה משתתפים במפגש בכנס המורים העירו כי אם תלמידים אינם מסוגלים לבצע ניסויים הכוללים את כל המרכיבים הנ"ל, מוטב שלא יערכו ניסויים כלל. דעתי היא כי בעבודה אקולוגית של תלמידים יש טעם בעריכת מספר מצומצם של ניסויים אפילו אם אינם מושלמים, **בתנאי שהם כוללים בקרה נאותה**. כאשר הניסוי אינו מושלם, על התלמיד לציין זאת בעבודתו הכתובה – תוך שימוש בלשון מסויגת כגון – **"ייתכן כי X משפיע על Y"**, וכדומה.

טענה נוספת הייתה כי ניסוי אקולוגי במעבדה אינו משקף בהכרח את המצב בשדה. ההסתייגות הזאת ידועה גם במחקרים מדעיים, אך עדיף לדעתי לקיים ניסוי מבוקר היטב במעבדה – תוך חיקוי מרבי של התנאים בשטח – מאשר לערוך ניסוי שדה ללא בקרה ראויה. טענות כאלה מוצדקות עקרונית, אך האם בניסויי המעבדה החוקרת התלמידים מקפידים תמיד על ריבוי פרטים, חזרות וניתוח סטטיסטי? לעתים קרובות נדרש מהתלמיד, בבחינת הבגרות במעבדה,

להסיק מסקנות מניסוי הכולל מספר טיפולים עם מבחנה אחת בלבד לכל טיפול. אם זה מותר, הרי גם מותר להסיק מסקנות (מסויגות!) מניסוי אקולוגי מבוקר, אך לא מושלם.

אחד הקשיים הרציניים בעריכת ניסויים אקולוגיים הוא משך הזמן של הניסוי. במקרים רבים חולפים כמה ימים או שבועות עד לקבלת תוצאות, או שיש צורך במעקב רצוף לאורך זמן. לתלמידים אין בדרך כלל היכולת לבצע פעולות כאלה, והן נופלות על כתפיו של המדריך... מה קורה כאשר לא מתגלה הבדל בין קבוצת הניסוי וקבוצת הבקרה? האם נסיק כי לגורם הנבדק אין השפעה על התופעה? זאת תהיה מסקנה נחפזת, כי אולי התנאים בהם בוצע הניסוי לא מאפשרים לגורם הנבדק לפעול. במקרה כזה, רצוי לציין כי בתנאי הניסוי הנוכחי לא נתגלתה השפעה כזאת.

בסיכום – מתצפיות וניסויים לא מבוקרים ניתן, במקרה הטוב ביותר, להסיק קיום קשר (לאוו דווקא סיבתי) או מתאם בין המשתנים. קשר סיבתי יכול להתגלות אך ורק בניסוי מבוקר כהלכה. רצוי שהתלמידים יערכו לפחות ניסוי אחד כזה, בשדה ו/או במעבדה, מתוכנן ומבוצע בקפידה.

"אין לנו למדים מתוך הניסיון, אלא בעזרת הניסיון"

(אפלטון, 428-348 לפסה"נ)