

הגיליון האלקטרוני בהוראת הביולוגיה: הרבה יותר

ממחשבון משוכלל

עמוס דריפוס, בנימין פיינשטיין, יוסף מזוז

מבוא

בשנים האחרונות קיימת מודעות רבה לתרומתו הפוטנציאלית של הגיליון האלקטרוני להוראת המדעים. מחד גיסא, הוא מבטל במידה רבה את השעמום, הנובע מפעילויות חשבוניות חוזרות או מפעילויות מכניות מונוטוניות, כגון ציור גרפים רבים. מאידך גיסא, הוא מאפשר לתלמידים לבחון ביעילות ובמהירות את המשמעות של שינויים בערכי נתונים, כי שינויים אלה מביאים להשתנות מותאמת של כל התוצאות הקשורות אליהם בנוסחאות, ושל כל הגרפים הקשורים אליהם (מה היה... אילו? What... If; ראה, למשל, Pogge and Lunetta, 1987; Graham, 1987). יכולת זו של הגיליון מאפשרת לתלמיד להתנסות בזמן קצר בתרגילים רבים ובווריאציות רבות על אותם התרגילים. הגיליון האלקטרוני יכול לשחק תפקיד חשוב בכל פעילות חקר, כי תחכמו מאפשר לטפל בכיתה במדגמי נתונים מציאותיים, עניין המצריך זמן רב מדי ללא סיוע מחשב.

יתר על כן, גיליונות אלקטרוניים יכולים להוות, לדעת חוקרים רבים, גשר בין התנסות קונקרטית לבין תרגומה לאופרציות מופשטות, גשר שבאמצעותו הגרף המתקבל הוא מעין "הפשטה מידית" (Mokros and Tinker, 1987, Instant Abstraction). לפי Kozma (1991), תוכנות מסוג הגיליון האלקטרוני מסוגלות להפוך מידע המוצג בשיטה אחת למידע המוצג בשיטה אחרת (הפיכת משוואה לגרף, למשל). יכולת הטרנספורמציה הזאת, לדברי אותו חוקר, היא בעלת ערך רב לגבי הקישור שבין תחומים מופשטים לבין העולם הממשי. טיעון זה מתייחס אצל רוב החוקרים למעבדה הממוחשבת, שבה נקלטים הנתונים ישירות במחשב ושם הם מנותחים על-ידי הלומד; אך הוא תקף גם במצבים, שבהם נאספים נתונים בכל דרך שהיא ומועברים אחר כך לגיליון באמצעות הקלדה (ראה, למשל, Chamberlain and Vincent, 1989).

על אף תרומתו הפוטנציאלית של הגיליון להוראה ועל אף העובדה שאפשר להגביר את עירנותם של המורים לתרומה זו, החדרת הגיליון האלקטרוני לכיתה איננה קלה. ראשית, כללית קשה להביא את המורים לשינוי ההתנהגות הדרוש להוראה נתמכת מחשב (ראה, למשל, Baird, Ellis and Kuerbis,

1989), ויש מכשולים רבים בדרך להחדרת המחשב לכיתה. שנית, וספציפית יותר, בהוראה הנתמכת בתוכנה יישומית מסוג הגיליון האלקטרוני, על הלומד ועל המלמד לדעת להשתמש בתוכנה. הגיליון עצמו אינו "יוזם" את מהלך העניינים, הוא רק "נענה" להנחיות המשתמש המיומן. אפילו כאשר הגיליון ידדתי למדי, הדרישה ללמוד וללמד אותו נתפסת לעתים קרובות כעול בלתי רצוי, החורג מההתחייבויות הלגיטימיות של המורה לביולוגיה. אפילו נניח, אומרים המורים, שאנחנו מוכנים ללמוד ומסוגלים ללמד את הגיליון, אין לנו פנאי לכך, בגלל העומס הנובע מתכנית הלימודים. אנחנו זקוקים לשעות נוספות להוראה בעזרת המחשב (Dreyfus and Feinstein).

עם דעות ועמדות מסוג זה התמודדנו תוך פיתוח והפעלה של סדרת פעילויות, המבוססת על הגיליון האלקטרוני לוטוס123-, ומאוחר יותר – על גיליון מקומי המכונה "פסיפס" (ראה רשימה ביבילוגרפית). פעילויות אלו נועדו לתמוך בתהליך ההוראה-למידה של תכנית הביולוגיה "מדעי החיים והחקלאות" (משרד החינוך והתרבות, תשנ"ב). התכנית נלמדת בכיתות החטיבה העליונה בהתיישבות העובדת. הרעיון המרכזי בתכנית זו הוא: ללמד מושגים ועקרונות ביולוגיים בזיקה אל יישומם בטכנולוגיות חקלאיות. התכנית עוסקת גם בנושא הכלכלה ובבעיות שונות, הנובעות מהתערבות האדם בטבע.

השיקולים שעליהם התבסס פיתוח סדרת ה"פעילויות נתמכות-מחשב במדעי החיים והחקלאות" (דריפוס ופיינשטיין, 1990) נבעו משני תחומים עיקריים:

א. תכונות של הדיסציפלינות הרלוונטיות (ביולוגיה, חקלאות ותחומים נלווים) ומטרות הוראת המקצוע כפי שהן מוגדרות על-ידי משרד החינוך.

ב. אסטרטגיות ההוראה המתאימות להוראת המקצועות הנדונים.

התועלת הפוטנציאלית ללמידה של הגיליון האלקטרוני תלויה בניצול נכון של תכונותיו הייחודיות, במסגרת אסטרטגיות ההוראה, המתאימות להשגת מטרות ההוראה.

תכונות הדיסציפלינה ומטרות ההוראה

ביולוגיה, מטבעה, היא מקצוע אמפירי-כמותי-סטטיסטי, שבו אי אפשר להתייחס לנתונים ולתוצאות אלא על-פי מדגמים. כפי שמבטא זאת Shayer (1987), ערכי המשתנים מבוטאים על-פי שני ערכים: הממוצע ומדד כלשהו של הסטייה מהממוצע (משתנים סטוכסטיים). מתוך הכרת האופי הייחודי של הביולוגיה, תכניות הלימודים בביולוגיה (משרד החינוך, תשנ"א, תשנ"ב) מדגישות את המיומנויות האינטלקטואליות הקשורות בעיבוד נתונים, באיסוף, בנייתו ובפירוש נתונים (Tobin, Pike and

(Lacy, 1984; Shayer, 1987), ומיומנויות אלו נחשבות היום כחלק אינטגרלי בכל למידה משמעותית של תכנים ביולוגיים.

עקרונות ביולוגיים מבוססים על היחסים שבין משתנים ועל הקו-וריאציה של משתנים. מורים וספרי לימוד משתמשים בניסוחים מילוליים ובשיטות שונות של המחשה ותצוגה של היחסים בין משתנים, כגון תאורים גרפיים. ברוב המקרים התאורים הגרפיים אינם מיועדים להוראת הערכים המדויקים של המשתנים, אלא להמחשת **מתכונת ההשתנות** של משתנים אלה. לדוגמה: בגרף המתאר את השפעת עוצמת האור על תהליך הפוטוסינתזה, התלמיד אינו נדרש לזכור ערכים מדויקים, ולעתים קרובות ערכים אלה אינם מופיעים כלל על הצירים. מצפים מהתלמיד שהוא יבצע "פירוש איכותי" של הגרף, כלומר יתבונן בו "וירכוש משמעויות ביחס למתכונת ההשתנות" (Gain meaning about the pattern of covariation). כדי לעשות זאת, עליו להבין את "המתכונת הגלובליות" של הגרף ("Global Features"), כלומר לדבר בשפתו. שפה זו היא מורכבת ומופשטת. גרף איננו ציור, אלא תיאור מופשט במידת-מה, ולפעמים אנטי-אינטואיטיבי, של מתכונת ההשתנות. במלים אחרות, מורים וספרי לימוד משתמשים באמצעי מופשט כדי להמחיש, ואינם מרגישים, שמתפקידם ללמד "מתמטיקה" או מחשבים. (הציטוטים בקטע האחרון הם מתוך מאמרם של Leinhart, Zaslavsky and Stein, 1990).

ביקשנו להדגים, שאין לראות בגיליון האלקטרוני רק מחשבון יקר ולא ידידותי. ביקשנו להראות, שמנקודת ההשקפה של הוראת הביולוגיה, הגיליון יכול לעזור בפיתוח תפיסה משמעותית של מושגים בסיסיים מתוך ה"שפות" הקשורות ליחסים שבין משתנים, קרי: שפת הטבלאות והגרפים.

אסטרטגיות הוראה

התקשורת עם המחשב מתבצעת באמצעות הוראות הניתנות באמצעות מקשי המקלדת. למידה בעל-פה של סדרות שלמות של הוראות כאלו, לפני שהתלמיד נזקק להם, גורמת לשכחה, לתסכול ולעמדות המורים שתוארו לעיל. הגענו למסקנה, שאין ללמד "הוראות מקלדת" באופן שרירותי וברצף שהגיונו אינו קשור לתכנים הנלמדים. יש להביא את **מושגי שפת הגיליון** בגישה פונקציונלית כמו כל מושג אחר, כלומר: א) במסגרת הקשר תוכני מתאים, המקנה להם משמעות ו-ב) רק במצבים שבהם הלומד חש, אישית, את הצורך בהם ואת משמעות המסרים הכרוכים בהם. יתר על כן, אין למנוע קונפליקטים, הנובעים משימוש בלתי נכון במקשים על-ידי התלמידים. אדרבה, מצבי קונפליקט אלה, שבהם המחשב כאילו "מאכזב" את הלומד (נוצר פער בין כוונות הלומד לבין ביצועי המחשב), ניתנים לניצול להבהרת משמעות "הוראות המקלדת".

הגישה החינוכית של הפעילויות שתוצגנה כאן מבוססת על אסטרטגיה של פיתוח קונספטואלי או של שינוי קונספטואלי, שבה הרעיונות הקיימים אצל התלמידים לפני הלמידה (Preconceptions) נחשפים ומנותחים. התלמידים יכולים לתאר את תפיסותיהם באופן מילולי או בדרך אחרת. המורה יוזם אירועים חריגים (Discrepant Events) בעת הצורך. באירועים כאלה מבחין הלומד בפער שבין כוונותיו לביצועיו, או בין תפיסותיו לבין תפיסות המתאימות יותר למציאות המתגלה. בהמשך מעודד המורה את התלמיד בחיפושיו אחרי פתרון לאי-התאמות שנחשפו (Champagne et al., 1983; Nussbaum and Novick, 1982). כפי שנראה בהמשך, יישום אסטרטגיות אלו בלמידה נתמכת גיליון אלקטרוני, הולם את הגישה של "ניבוי (השערה), תצפית (המציאות), הסבר (העשוי להיות פתרון לאי-ההתאמה שבין הניבוי לבין המציאות)", המומלצת זה זמן רב על-ידי Ausubel (1969).

המאפיין העיקרי של השיטה שתואר כאן הוא רעיון הדו-שיח בין התלמיד לבין המחשב. בדו-שיח כזה התלמיד יכול, ביוזמתו, לתת הוראות מדויקות למחשב. בדו-שיח מוצלח המחשב "מבין" את התלמיד ופועל בהתאם להוראותיו. יתרונות המחשב, כפי שתיארו אותם Driver and Scanlon (1989) מנוצלים היטב בשיטה זו: המחשב "דורש" מהתלמיד להביע באופן מנוסח (Explicit) את רעיונותיו, והתלמיד יכול לראות את השתמעויות אופן החשיבה שלו, שכן המחשב מבצע את ההוראות ואפילו מציג את התוצאות באופן גרפי (אם אכן התלמיד יידע לבקש זאת ממנו).

עם זאת, לא המחשב הוא המלמד, אלא הדו-שיח מחשב-תלמיד, המתנהל בהנחיה צמודה של המורה. כפי שביטא זאת De Corte (1990), הטכנולוגיות לבדן אינן מכשיר לרכישת ידע; עליהן להיות מושרשות בתוך סיטואציות, המעוררות בתוך הלומד את תהליכי הלמידה הדרושים. מבחינתנו, למידה משמעותית התרחשה, כאשר תלמידים היו מסוגלים לקשור באופן הגיוני את מושגי השפה הנלמדת עם סיטואציות שהבינו (לפי Novak, 1977).

במסגרת הפרוייקט "למידה נתמכת-מחשב במדעי החיים והחקלאות" פותחו שני סוגי פעילויות: בסדרה העיקרית (סדרת מדעי החיים והחקלאות) מוצגת לתלמיד בעיה בתחום ביולוגי כללי, או בתחומי הכלכלה, תזונת בעלי-חיים או מדעי-הקרקע. על התלמיד להציע דרך פתרון ולבחון את פתרונו באמצעות הגיליון האלקטרוני.

בסדרה השנייה (סדרת "אשכול") פותח אשכול (ומכאן שם הסדרה) של פעילויות מיוחדות לשיפור המיומנויות הגרפיות אצל תלמידים, המתקשים בשימוש בגרפים או בהבנת היחסים שבין משתנים. מכיוון שנושא מאמר זה הוא אסטרטגית השימוש בגיליון, ומכיוון שהאסטרטגיה שתוצג תקפה לשתיהן של פעילויות, נעסוק כאן בעיקר בסדרה השנייה. סדרה זו נוחה יותר להדגמה, כי היא אינה מחייבת את הקורא להבין את הנושאים המדעיים.

פעילויות אשכול

בסדרה עשרים וארבע פעילויות, שדרגת הקושי שלהן הולכת וגדלה בשני מובנים: מפעילות לפעילות גדלה המורכבות של הגרפים הנדונים ומתחזק הקשר לתכנים הביולוגיים, ורמת הידע המדעי הנדרש עולה. מושגים הנלמדים בפעילויות המוקדמות מיושמים בפעילויות המאוחרות יותר.

הפעילות הראשונה מתייחסת לסוג גרף פשוט ($y=ax$). אנחנו מתייחסים כאן בעיקר לפעילויות הראשונות, אבל מתכונת הפעילויות כולן היא פחות או יותר אחידה: כל פעילות מתחילה ב"סיפור פשוט", המתאר במלים את השתנות משתנה תלוי אחד לפחות כתלות במשתנה בלתי תלוי. לכל פעילות ארבעה שלבים:

שלב א' – "על הנייר": בשלב זה מוצגת לתלמיד מערכת צירים על נייר חלק. אין שנתות ואין ערכים על הצירים, זולת ציון נקודת $(0,0)$, אבל שמות המשתנים מסומנים נכון על הצירים המתאימים. אסור לתלמיד להשתמש בנייר טיוטה. מבלי להוסיף שנתות או סימונים אחרים, על התלמיד לשרטט את הקו הנראה כמתאים לו ביותר לסיפור.

שלב ב' – טבלה וגרף "על הגיליון האלקטרוני": בנויה טבלה, בצורה נכונה, המוצגת על הצג (אגב, הכול מופיע גם ב"דף לתלמיד", כלומר בדפים הכתובים שהתלמיד מקבל). בטבלה מופיעים ערך או שני ערכים מכריעים של המשתנה/ים התלוי/ים, וכל הערכים הרלוונטיים של המשתנה הבלתי תלוי. על התלמיד להשלים את הטבלה באמצעות הגיליון. פעולה זו ניתנת לביצוע רק על-ידי תלמיד המבין את היחסים שבין המשתנים. אחר-כך התלמיד נותן לגיליון הוראות ליצור גרף ההולם את הטבלה.

נערך **דיון**, שבו הגרף שכל תלמיד הציע בשלב א' משווה עם הגרף שהתקבל בשלב ב'. כוונות התלמידים, כפי שהתבטאו בגרף של שלב א', משווה עם כוונותיהם, כפי שהתבטאו בטבלה שבשלב ב' (האם הגרף והטבלה מספרים אותו הסיפור?). מותר לתלמידים לשנות ערכים בטבלה, על מנת לקבל גרף ההולם את כוונותיהם.

שלב ג' – "טבלת המורה" בגרף "בגיליון האלקטרוני": הנתונים הנכונים נמסרים לתלמידים, הממלאים טבלה נוספת (המעבר משלב לשלב נעשה בקלות, כי הוא מתוכנת ב"מקרו"). התלמיד יוצר גרף על-פי הטבלה החדשה באמצעות הגיליון.

נערך **דיון**, שבו הגרף והטבלה החדשים מושווים עם קודמיהם. דנים בהתאמת הגרף, הטבלה והסיפור.

שלב ד' – "על הנייר": שאלות סיכום, המופיעות בשתי דרגות קושי (כך הרמה הכללית של התרגיל ניתנת להתאמה לאוכלוסיות הטרוגניות).

פעילויות אשכול נוסו לראשונה ב-4- כיתות י' (כ-80 תלמידים) של תלמידים "טעוני טיפוח". תלמידים אלה התקשו מאוד לטפל בהיבטים כמותיים של הביולוגיה. מאוחר יותר הוחדרו הפעילויות לכיתות בית ספר תיכון ברמה רגילה, כאשר התברר שקיימות בעיות רבות בהבנת שפת הגרפים (Dreyfus and Mazouz, 1992; דריפוס ו-מזוז, תשנ"א). בהמשך נוסו הפעילויות בכיתות בית ספר יסודי (ה'-ו') רגילות (כ-160 תלמידים).

מסיבות מובנות, נוסו פעילויות מסדרת "מדעי החיים והחקלאות" רק בכיתות בית הספר התיכון.

נתאר כאן אירועים אופייניים, אשר התרחשו, כאמור, בעיקר תוך הפעלת סדרת אשכול. האירועים שיתוארו חזרו על עצמם, במתכונת דומה, בכל סוגי הכיתות, אין זה מפתיע במיוחד, מכיוון שמתכונת התערבות המורה הייתה אחידה. הניסוי התבצע תמיד בשילוב הוראה של חבר בצוות הפיתוח בנוכחות מורה הכיתה והוראה של מורה הכיתה בנוכחות חבר צוות הפיתוח. רישום האירועים נעשה על-ידי חבר נוסף מהצוות.

כפי שיובהר בהמשך, הוצגו פקודות "שפת הגיליון" כמושגים בעיבוד וניתוח נתונים, וכך הפכה למידתן לחלק בלתי נפרד של התכנים. נדגים זאת בעזרת דוגמאות אופייניות.

פקודות שפת הגיליון כמושגים בעיבוד נתונים

הפעילות הראשונה בסדרה היא פשוטה, כאמור. איור 1 מציג את הטבלה להשלמה, שעל בסיסה היו התלמידים אמורים ליצור גרף. תיאור הפעילות הראשונה מתייחס לניסוי בכיתות ה'-ו'.

הסיפור: "חקלאי נבון...בחן את רישומי הפדיונות ממכירת התוצרת שלו. החקלאי טען: ככל שאמכור יותר קילוגרמים פרי, אקבל פדיון כללי גדול יותר." (השימוש במלה פדיון אינה מקרית לגבי תכנית ביולוגיה, הכוללת פרקים בכלכלה).

ככל שהגרף המתאים נראה פשוט, מספר המושגים הדרושים כדי "לרכוש משמעויות" ממנו אינו זניח: **משתנה בלתי תלוי** (כמות נמכרת); **משתנה תלוי**: הפדיון; **קו ישר**, הנשאר כך כל עוד המחיר **קבוע**; **שיפוע** התלוי במחיר (כלומר, בקבוע); **ערכי אפס** משמעותיים (אפס מכירה, אפס הכנסה).

[לקורא שאינו אמון על סודות הגיליון האלקטרוני: כמסתבר מאיור 1, ערכים ושמות (תוויות, מחרוזות) נכתבים ב"תאים", הניתנים להגדרה על-ידי העמודה והשורה – A1 B5, וכד'. תאים אלה הם למעשה תאים בזיכרון המחשב.]

הפעילות היא פעילות פתיחה, שניתנה לתלמידים בשלב שבו ידעו רק להכניס ערכים או מחרוזות לתאים ולבצע חישובים על פי סימני פעילויות החשבון היסודיות: +, -, * (כפל) / (חילוק). המטלה הראשונה הייתה למצוא את מחיר הטונה. התלמידים הציעו, כצפוי, לתת למחשב הוראה לחלק 14000 ב-7 (14000/7 בשפת הגיליון) ולכתוב את התוצאה בעמודה D11 (ראה איור 1). ההצעה הייתה סבירה ונתנה תוצאה נכונה. אבל אנחנו, המורים, טענו, כי אף שהתוצאה נכונה מבחינה חישובית, היא לא הייתה סבירה מבחינה "גיליונית". הסיבה לכך היא, שאם המחיר ישתנה, הביטוי שנכתב לא יתאים עצמו למחיר החדש. יש למצוא דרך כתיבה, אשר תתאים בכל מקרה ומקרה, יהיו אשר יהיו הערכים המוצבים בתאים. הפתרון הוא: לתת למחשב הוראה: "קח מה שיש בתא B12, חלק זאת במה שיש בתא C12, ורשום את התוצאה בתא A12". ניסוי מהיר הראה, שבאופן כזה, כאשר משנים את הערך בתא B12, ההוראה שניתנה למחשב נשארה נכונה (בו בזמן שההוראה 14000/7 כבר לא התאימה).

איור 1

הטבלה להשלמה בשלב ב' של הפעילות הראשונה. (הערך המחושב למחיר של טונה, המופיע בתא A12, לא הופיע בטבלה. התלמידים היו צריכים לחשב ערך זה.)

בשלב זה הפך רעיון ה"משתנה" למשמעותי לתלמידים: הערכים המופיעים בתאים C12 ו-B12 (איור 1) נקראו "משתנים", מהסיבה הפשוטה, שהם יכולים להשתנות, כפי שניסחו זאת התלמידים. אבל הקניית משמעות מלאה יותר באה בשלב הנוסף, המדגים את אסטרטגיות ההוראה בכל עצמתה. הצעד הבא היה להורות למחשב לחשב את הפדיון לגבי כל השורות של הטבלה, כלומר לכפול בכל כמות נמכרת במחיר הטונה (2000 ש"ח) שנרשם בתא A12. בשורה הראשונה של הטבלה (שורה 5) רשמו התלמידים את הביטוי "C5*A12" וקיבלו תוצאה נכונה: 0 ש"ח ל-0 טונות. ומה הלאה? עכשיו, כאשר התעורר הצורך, התוודעו התלמידים לפקודה "שכפול" בגיליון הפסיפס המקומי (או COPY בגיליון LOTUS). הפעלת הפקודה השאירה את התלמידים מופתעים מאוד: עמודת הפדיון התמלאה באפסים. (אם לא ניתנת פקודה מיוחדת, הגיליון משכפל את הנוסחה על-פי המקום היחסי של התאים, על-פי "כתובות יחסיות", כך שהפקודה שניתנה למעשה הייתה לבצע C5*A12, C6*A13, C7*A14 וכו'. אבל התאים A12, A13 וכו' היו ריקים, וכך אפוא המכפלה בהם נתנה תוצאה 0). המכפלה בתאים ריקים נתנה סדרה של אפסים ואפילו ביטלה את החישוב הראשון, שכבר בוצע קודם. לא היה קשה להבין מה קרה, כי הגיליון מראה בצורה ברורה מהו החישוב שהוא מבצע. התלמידים הציעו פתרונות שונים לבעיה. הפתרון הנפוץ היה לכתוב את המחיר של טונה בכל אחד מתאי עמודה A. ומדוע לכתוב זאת 10 פעמים? הם "שכפלו" את הערך 2000 לאורך העמודה. כאשר נעשה הדבר, נעלמו האפסים והופיעו ערכים נכונים. התעורר דיון מעניין: התלמידים השתמשו פעמיים בפקודה "שכפול" (ראה איור 2): בעמודה A, שכפול ערך, והוא נשאר זהה בכל השורות (2000). לעומת זאת, בעמודה B שוכפל ביטוי, והתוצאות השתנו לאורך העמודה.

איור 2

תבניתה של הטבלה, על פי רעיונות תלמידים: התלמידים טיפלו בבעיית המחיר הקבוע, על ידי רישום המחיר בכל שורה (עמודה A), לפני שלימדו אותם את הסימון "\$".

הנקודה המרכזית כאן היא: שביטוי כזה, המוסיף לתפקד נכון כאשר משנים את הערכים המוצבים בתאים, נושא בתוכו את עצם רעיו ה"נוסחה". מצאנו שתלמידים, המתקשים בתפיסת המשמעות של נוסחה אלגברית מסוג $y=ax$, מבטאים בקלות את היחס שבין המשתנים בשפת הגיליון (למשל, "קח מה שיש בתא A5, הכפל זאת במה שיש בתא C5 ורשום זאת בתא B5). הניסוח "הגיליוני" איננו פחות פורמלי מהניסוח האלגברי, אבל הוא כנראה פחות מופשט לגבי תלמידים, שהתפתחותם הקוגניטיבית לא הגיעה לשלבים הפורמליים המאוחרים. ומהו ההבדל בין השתנות המחיר לטונה בטבלה לבין השתנות הכמות הנמכרת והפדיון? התלמידים אמרו: "הכמות והפדיון משתנים, והמחיר נשאר קבוע". עכשיו נתפס המושג "משתנה" על-ידי התלמידים כערך המשתנה משורה לשורה, והמושג "קבוע" התאים לערך שנשאר זהה בכל השורות. עכשיו, ורק עכשיו, הראו להם את ה"מלה" בשפת הגיליון, המאפשרת להחזיק ערך קבוע (הסימון \$). משתנה, קבוע, נוסחה, שכפול, "\$", הגיעו עתה למעמד של מושגים לגבי התלמידים. התלמידים זיהו אותם, הגדירו אותם במלים שלהם והשתמשו בהם בצורה נכונה בהזדמנויות רלוונטיות (McGuire and Johnstone, 1987). עכשיו התלמידים שיחקו את משחק ה-What If..., כששינו, לפי רצונם, את הערכים בטבלה ובחנו את השפעת מעשיהם. זה השלב בו התפתחו תובנות חשובות, ומושגים נתפשו כה יפה, עד שהתלמידים הגיעו להגדרות אישיות כגון: "תא הוא מקום בו אתה יכול לשנות את הערכים ולקבל תוצאות חדשות בלי לתת הוראות חדשות למחשב", או הביטוי המעניין והמגלה היטב את תפיסת התלמיד: "נותנים הוראות לתא, לא למספר הרשום בתא".

אחרי השלמת הטבלה היה על התלמידים ליצור גרף. בהתאם לאסטרטגיה שלנו, לא נאמר להם איך לעשות זאת. היה עליהם למצוא מה הם רוצים "לבקש" מהמחשב. התלמידים לא הגיעו מעצמם לטרמינולוגיה הרשמית "משתנה תלוי או בלתי תלוי". הם "המציאו" מונחים כגון "משתנה משפיע

ומשתנה מושפעת" (אלה היו הביטויים הנפוצים; היה גם משתנה "קובע" ועוד). עצם השימוש במונחים אלה הראה, שמאחורי המלים הייתה משמעות. בהתחלה אפשרנו להם להשתמש במלים שהם בחרו. הם למדו לשים את המשתנה המשפיע על הצייר האופקי. החלטה – לא מקרית – על סוג הגרף הדרוש (דיון אשר התקיים כאשר התעורר הצורך בהכרעה) הייתה כל הדרוש לקבלת גרף ראשוני על הצג.

הנקודה החשובה היא, שאחרי שהתלמידים התוודעו לרעיון של תפריט ופגשו ושבו ופגשו את התפריט "גרפים" (Graph, מודל גרפי בהתאם לגיליונות), הם ניסו לגלות את אפשרויות אופן הפעולה בתפריט והבינו, שאין צורך לזכור בעל-פה, איך עושים גרף. מספר רב של תלמידים נהנו כל-כך מהמשחק, עד שהגיעו לביצועים שחרגו ממה שהתכוונו ללמד אותם; וזאת, אפילו בלוטוס, שבו התפריטים כתובים באנגלית.

כאשר היה הגרף על הצג, יכלו התלמידים לשנות את מחיר הטונה ולראות, שהשיפוע משתנה בהתאם לערך הקבוע. (שוב, ברוב המקרים, התלמידים לא הציגו את המונח "שיפוע", אלא "מדרון, עלייה", "מורד", ולא עמדנו מיד על השימוש במונח המקובל).

מושג "השיפוע" פותח ויושם בפעילות "עמי ויעל". "עמי ויעל נולדו באותו היום ובאותו המשקל. עד גיל 5 עלה עמי במשקל במהירות גדולה מיעל, ומגיל 5 עד גיל 10 קרה הדבר ההפוך. בגיל 10 השתווה משקלה של יעל לזה של עמי. (הערכים הניתנים בטבלה להשלמה: משקל התחלתי (גיל 0): יעל 3.0 ק"ג, עמי 3.5 ק"ג; גיל 1: 9.5 ק"ג ו-10.2 ק"ג בהתאמה; גיל 5: 16.5 ק"ג ו-21.1 ק"ג; ובגיל 10: 34.8 ק"ג לשניהם.)

בניית הגרף, בשלב א', נראתה בעייתית. כפי שציין זאת Shayer (1987), תלמידים מטפלים היטב בתיאור הגרפי של היחס שבין משתנים "כאשר, ורק כאשר, קיימת התאמה אחת לאחת בין צורת הגרף לבין המציאות שהוא מדגים". במקרה של משקלה של יעל, הקו של יעל נשאר נמוך מזה של עמי עד גיל 10, למרות שמהירות העלייה במשקל גבוהה אצלה מאצל עמי מגיל 5 עד גיל 10. הרבה תלמידים ציירו גרף סביר מגיל 0 עד 5, ואז הקו של יעל "זינק" בבת-אחת מעל לקו של עמי, ובהמשך נשאר פחות או יותר אופקי עד גיל 10, ששם הוא חתך **שנית** את הקו של עמי (ראה איור 3). אבל הטבלאות לא הראו וריאציה מסוג זה, כיוון שהנתונים החלקיים מנעו זאת (כללו משקל לגיל 5). בשלב זה היו התלמידים במצב, שבו השלימו את הטבלה מבלי להבחין באי-ההתאמה, שבינה לבין הגרף שהציעו בראשית התרגיל ("על הנייר"). אבל כאשר יצרו את הגרף (שלב 2, בגיליון), היה הקונפליקט שבין הגרף "על הנייר" לבין גרף-הגיליון ברור ביותר. אחד ההיבטים המעניינים של

הדיון שהתעורר היה, ש"המחשב לא טעה, אבל הגרף של המחשב נכון, רק אם נתנו לו את ההוראות הנכונות", או "לא המחשב 'צודק' או 'לא צודק', אלא התלמידים".

איור 3

רישום עיקום השתנות המשקל של יעל אצל חלק מהתלמידים.

מאפיין נוסף של אותו התרגיל היה, שאצל רוב התלמידים שציירו נכון את הגרף בשלב ההתחלתי היו הקווים **ישרים**: קו ישר מגיל 0 עד 10 בשביל עמי, ושני קטעים ישרים 0-5 ו-5-10 בשביל יעל (ראה גרף נכון באיור 3). רובם לא הציבו בטבלה, עבור כל שנה, ממוצעים של גדילה שנתית לתקופות הנדונות, אלא ערכים מקורבים סבירים, שהם חישובו ללא מחשב. כתוצאה מכך, בגרף שנוצר על בסיס הטבלה של התלמידים (שלב ב') לא היו קטעים ישרים: השיפוע השתנה משנה לשנה באופן שלא תמיד הלם את ה"סיפור".

התלמידים ניסו לתקן את המצב בהתאם לרמת התחכום שלהם. חלקם שינו ערכים בטבלה ובדקו מיד את השפעת השינויים על הגרף; אחרים (בעיקר בכיתות בית ספר תיכון) התמודדו עם המושג הפורמלי של ממוצע הגדילה השנתי. בבסיס ההתמודדות הייתה קיימת התפיסה, שרק עלייה שנתית **קבועה** בתחום שנים נתון תתבטא בקו ישר – לגבי אותו התחום. תפיסת יסוד זו נבעה מהקונפליקט שנוצר בין התיאור הטבלאי לבין התיאור הגרפי של אותה הפונקציה. שוב, ההנחיה לגבי אופן הביצוע הטכני של חישוב הממוצעים באה רק כאשר עלה הצורך בביצוע החישוב אצל התלמידים. בעייתם העיקרית של התלמידים לא הייתה **איך** "לומר" למחשב, אלא **מה** לבקש ממנו.

דוגמה נוספת מובאת כאן (למרות שמקורה אינו בפעילויות אשכול, אלא בסדרת "מדעי החיים והחקלאות" המיועדת לבית ספר תיכון), כי היא מבהירה היטב את הרעיון המרכזי של השיטה המוצגת. נושא הפעילות היה הומיאוסטאסיס וליתר דיוק – השפעת העלייה בטמפרטורת הסביבה על טמפרטורת הגוף של תרנגולות. השינוי בטמפרטורת הגוף היה מזערי (פחות משתי מעלות צלסיוס) לעומת טווח רחב של טמפרטורת סביבה (כ-30 מעלות). אבל מכיוון שבררת המחזל של הגיליון (לוטוס) הציגה על הציר האנכי (משתנה תלוי, טמפרטורת גוף) רק את טווח שתי המעלות הרלוונטיות, נוצר רושם חזותי של שינוי גדול מאוד (איור 4). התלמידים לא היו מרוצים מהגרף, שלמעשה הטעה חלק מהם. הם שאלו אם יש דרך לשנות את קנה המידה של הציר האנכי, ואכן, כאשר עשו זאת, נוצר הרושם "הרצוי" של שינוי קטן מאוד. שוב נוכחנו לדעת, שלמידת הדרך הטכנית לשינוי קנה המידה לא נראתה לתלמידים כמאמץ שרירותי, אלא ענתה על צורך שלהם – צורך שהם היו מסוגלים לבטא בצורה הפורמלית המדויקת "שהגיליון מסוגל להבין".

הדוגמה האחרונה מתבססת על תרגיל פשוט לכאורה (המקור ב-Swan ללא תאריך) ומדגימה היטב את מקום הדיאלוג עם המחשב בתהליך השינוי הקונספטואלי. "חקלאי אומר: 'ככל שאעסיק יותר קוטפים, אסיים את הקטיפה יותר מהר'." (יחס הפוך בין המשתנים).

בשלב א' זיהו רוב התלמידים את היחס ההפוך וציירו, בצדק, גרף יורד. עם זאת, הקו היה **ישר**, ברוב המקרים (לפעמים אפילו נגע בשני הצירים, כשהשתמע מכך הוא, שיש די והותר פועלים כדי שהזמן הדרוש לקטיפה יהיה אפס, ולהיפך – ראה איור 5).

בטבלה ניתנו שני ערכים מכריעים: 5 ימים עבור 2 פועלים ו-2 ימים עבור 5 פועלים. (לעתים קרובות הוספנו יום אחד ל-10 פועלים).

איור 4

הגרף השמאלי יוצר את הרושם, שיש השפעה חזקה לטמפרטורה החיצונית של טמפרטורת הגוף של תרנגולות. בגרף הימני הרושם הוא, שהתרנגולות הומאוסטטיות. ההבדל היחיד הוא קנה המידה של הציר האנכי.

איור 5

הגרף המתאר נכונה את היחס בין זמן לבין מספר הקוטפים (גרף שמאלי), לעומת הגרף כפי שחזו אותו תלמידים רבים (גרף ימני).

התלמידים מילאו את הטבלה בהתאם לדרגת התחכום שלהם במספרים סבירים, ההולכים וקטנים ככל שעלה מספר הפועלים. המתחכמים יותר הבחינו (בעצמם או כתוצאה מדיון מונחה), שהמכפלה קבועה ומספר הימים הוא המנה של 10 חלקי מספר הפועלים.

10

$$\frac{\text{מספר הימים}}{\text{מספר הפועלים}} = 10$$

הגרף שנוצר בסיוע הגיליון לא היה ישר, כמובן, אלא אסימפטוטי (הזמן הדרוש הולך וקטן, אבל אינו מגיע לאפס). (ראה תיאור של התבטאויות תלמידים ב-Dreyfus and Mazouz, 1992). אחרי החיזוי והתצפית בא ההסבר ברמות שונות של תחכום (לא יכולים להגיע לאפס פועלים, או בחילוק לא

מגיעים לאפס וכד'). התלמידים בחנו בשלב זה דוגמאות נוספות של יחסים המבוססים על מכפלה קבועה, ותמיד התקבל אותו סוג של גרף.

להפתעה דומה הגיעו התלמידים במסגרת פעילות של סדרת מדעי החיים, העוסקת בהשפעת גודל הגוף של בעלי חיים שונים על סדרת תהליכים הקשורים לקצב חילוף החומרים ולוויסות הטמפרטורה. כדי לבחון השערה לגבי היחס שבין שטח פנים לבין נפח, בחנו התלמידים, באמצעות הגיליון, את השינוי ביחס שטח הפנים לנפחה של קובייה, עם הגידול באורך הצלע של הקובייה.

לשם כך היה על התלמידים: א. להגיע אל ההשערה; ב. לנסח בצורה מדויקת, הכוללת הגדרה מדויקת של המשתנים הנבדקים; ג. לבנות טבלה בגיליון ולתת לגיליון הוראות פורמליות מדויקות, כדי ש"יבין" את ההוראות ויבצע את החישובים הדרושים; ד. לנסח את ההוראות בצורת נוסחאות הניתנות לשכפול לאורך הטבלה; ה. "להזמין" גרף, תוך קביעה מדויקת של המשתנים התלויים והבלתי תלויים ושל כל יתר המאפיינים והמרכיבים של הגרף; ו. לפרש את הטבלה ואת הגרף ולהסיק מסקנות, תוך ביצוע בדיקות שונות, המנצלות את הנוחות של הגיליון.

התלמידים "שיחקו" בערכי אורך הצלע (ניצול רעיון הנוסחה הכללית, המתפקדת ללא הוראות נוספות, כאשר מציבים בה ערכים נוספים). הם מצאו, שיש מתכונת קבועה ביחס שבין גודל הצלע לבין היחס שטח/נפח (צלע גדלה פי X , יחס קטן פי X). אבל צורת הגרף האסימפטוטית הפתיעה תלמידים רבים, שציפו לקו ישר. הייתה דרושה השערה משלימה, ועל-ידי טיפול בערכי אורך הצלע בעמודות השונות, או על-ידי מתן הוראות להתייחס רק לחלק מהערכים, הגיעו התלמידים לממצאים מעניינים.

הדוגמה האחרונה מבהירה היטב את התפיסה, שעל-פיה תרגום הרעיונות לשפת הגיליון מחייבת את התלמיד להבהיר לעצמו במדויק את רעיונותיו ומאפשרת לו לבחון את משמעותם ואת אמיתותם. המלים של שפת הגיליון מבטאות מושגים, כמו כל שפה אחרת, ויש ללמדם באופן פונקציונלי-משמעותי, כמו כל מושג אחר, במסגרת הקשר המשמעותי לתלמיד.

סיכום

בכל המקרים שבהם נתמך הזיכרון בלמידה משמעותית, ההיבטים הטכניים של השימוש בגיליון לא היוו עומס יתר על זיכרוןם של התלמידים. בכל כיתות הניסוי פגשנו את התלמידים פעם בשבוע או פעם בשבועיים. לא הצלחנו עד כה לתת שיעורי בית בגיליון (גם כשהיו מחשבים בביתם של חלק מהתלמידים, אי אפשר היה לחייבם לרכוש את תוכנת הגיליון). למרות התדירות הנמוכה של הפגישות, רוב התלמידים בכל הכיתות זכרו את העקרונות הבסיסיים של השימוש בגיליון. מן הרגע

שהתלמידים למדו לחפש בתפריט וידעו מה הם יכולים לחפש (מה הם רוצים לבקש ומה המחשב מסוגל לבצע עבורם), בעיית הזיכרון איבדה מחשיבותה.

כצפוי, ההבדל העיקרי בין התלמידים הטובים (גם הצעירים) לבין החלשים יותר היה יתר עצמאות. היו להם רעיונות משלהם. הם היו לעתים קרובות מסוגלים לחזות מראש אירועים מכריעים ולהציע פתרונות (לדוגמה: "תהיה לך עמודה של אפסים, אם לא תכתוב את המחיר בעמודה נפרדת"). במקרים רבים הם ניסו את רעיונותיהם מבלי לערב את המורה. התלמידים החלשים היו יותר פסיביים והסתמכו הרבה יותר על תמיכתו והנחייתו של המורה. הבדלים אלה ואחרים בין התנהגות הלמידה של התלמידים המצליחים לבין זו של הפחות מצליחים ניתנים לחיזוי והם רלוונטיים, בהחלט, להוראה נתמכת-גיליון, אך הם חורגים מתחום עיסוקו של מאמר זה.

לגבי פעילויות נתמכות-מחשב, המתבססות על אסטרטגיות של שינוי קונספטואלי, כפי שמומלץ על-ידי חוקרים שונים (Driver and Scanlon, 1989; Zietsman and Hewson, 1986; De Corte, 1990), הגיליון האלקטרוני יכול לשחק תפקיד חשוב מאוד. כפי שהראינו זאת, הוא יכול להציג בפני הלומד, באופן ברור ביותר, את ההבדל שבין התפיסות שלו לבין "מה שקורה באמת". בכל שלבי הלמידה הוא יכול לסייע ללומד בתהליך הבהרת הרעיונות ובחינתם ובבנייה מחודשת של רעיונותיהם. החדרה הדרגתית ופונקציונלית של הגיליון האלקטרוני בהקשר של פעילויות קוריקולריות (ללמד "איך לעשות" רק כאשר הדבר עונה על הצורך של הלומד, כלומר, כשהוא מבין "מה לעשות"), יש בה כדי לסייע בהשגת יעדים קוגניטיביים חשובים. הספרות מבליטה את חשיבות המחשב בגלל שהוא מאפשר פעילויות חשיבה מסוג "מה היה... אילו" (What... If), הדורשות רמות חשיבה גבוהות.

ביקשנו להראות, ששימוש נכון בגיליון האלקטרוני יכול לעזור לתלמיד להתמודד עם הדרישות הבאות: היכולת לתפוס את טבעם של משתנים; היכולת להבחין בין "תא" לבין תוכנו; היכולת לתת למחשב הוראות פורמליות חד-משמעיות, שאותן "יבין" המחשב ויבצע; לבקש מהמחשב שהוא "יעתיק, ישכפל" מתכונת חישוב לגבי נתונים שונים (במילים אחרות, היכולת לבנות נוסחה ולהשתמש בה בדרך נכונה); היכולת להבין את הקשר שבין אופי של נתונים ותהליכים לבין התכונות העיקריות של גרף המתאר אותם, ועוד. זהו תוכנה של שפת הגיליון האלקטרוני, אלה הם מושגי השפה.

סוג הפעילויות שתוארו כאן מביא את הלומד למצב של דיאלוג אישי, משמעותי עם המחשב (המחשב מבצע רק מה שהתלמיד מזמין, הוא אינו עושה דבר ביוזמתו). הגורם העיקרי, המגביל את מספר

"הוראות המקלדת" שהתלמיד יכול ללמוד, איננו הזיכרון, אלא רמת המורכבות והמופשטות של הפעולות הנדרשות. יש ללמד רק הוראות המייצגות פעולות קוגניטיביות, שאתן מסוגל התלמיד להתמודד. לגבי תלמידי כיתות ה'-'ו' בלט גורם מגביל זה לכל אורך השיעורים. בדיאלוג מסוג זה הגיליון האלקטרוני הוא יותר מאשר "עוד מכונת חישוב משוכללת". תפקידו איננו רק להקטין את העומס והשעמום של פעולות רבות החוזרות על עצמן. הוא "מדבר" בשפת המיומנויות האינטלקטואליות שאנחנו מנסים להקנות. במלים אחרות, למידת שפת הגיליון איננה רק הכנה ללמידה עתידית, אלא היא עצמה חלק אינטגרלי מתהליך הלמידה. הגיליון איננו רק המדיום, הוא המסר עצמו.

ביבליוגרפיה

ע' דריפוס, י' מזוז (תשכ"א), בדיקת מיומנויות גרפיות אצל תלמידי כיתה י' בבתי ספר התיישבותיים. דוח מחקר מוגש למשרד החינוך, האגף לחינוך התיישבותי.

ע' דריפוס, ב' פיינשטיין (1990), פעילויות נתמכות-מחשב במדעי החיים והחקלאות – שילוב פעילויות בתהליך ההוראה-למידה. דוח למשרד החינוך, האגף לחינוך התיישבותי, האוניברסיטה העברית, לימודי חינוך חקלאי והדרכה, רחובות.

משרד החינוך והתרבות (תשנ"א), ביולוגיה. תכנית הלימודים לכיתות ז'-י"ב. האגף לתכניות לימודים, ירושלים.

משרד החינוך והתרבות (תשנ"ב), תכנית לימודים – מדעי החיים והחקלאות. האגף לתכניות לימודים, האגף לחינוך התיישבותי, ירושלים.

פסיפס, סביבות בע"מ מושב עולש, ד"נ לב השרון.

Ausubel and Robinson (1969), **School Learning: An Introduction to Educational psychology**. Holt, Rinehart and Winston, Inc. (Chapter 12).

Baird, W; Ellis, J. and Kuerbis, P.J. (1989), Enlist micros: Training science teachers to use microcomputers. **Journal of Research in Science Teaching**, 26(7), pp. 587-598.

Chamberlain, P. and Vincent, R. (1989), Using a spreadsheet to analyse the thermal performance of a model house. **School Science Review**, 71 (255), pp. 39-47.

Champagne, A.B.; Gunstone, R.F. and Klofer, L.E. (1983), Naive knowledge and science learning. **Research in Science and Technological Education**. 1(2), pp. 173-183.

- De Corte, E. (1990), Learning with new information technologies in school: Perspectives from the psychology of learning and instruction. **Journal of Computer Assisted Learning**, 6, pp. 69-87.
- Dreyfus, A. and Feinstein, B. (1990), The acceptability of new education technologies: Enthusiasm and refusal. **Paper presented at the ATEE annual conference**, Limerick. Ireland.
- Dreyfus, A. and Mazouz, Y. (1992), Assessing the judicious use of the language of certain types of graphs by 10th grade biology pupils. **Research in Science and Technology Education**, 10(1), in press.
- Driver, R. and Scanlon, E. (1989), Conceptual change in science. **Journal of Computer Assisted Learning**, 5(1), pp. 25-36.
- Graham, I. (1987), The application of spreadsheets data analysis in biology. **Journal of Biological Education**, 23(1), pp. 27-39.
- Kozma, R.B. (1991), Learning with media. **Review of Educational Research**, 61(2), pp. 179-211.
- Leinhart, G.; Zaslavsky, O. and Stein, M.K. (1990), Functions, graphs and graphing: Tasks, learning and teaching. **Review of Educational Research**, 60(1), pp. 1-64.
- MacGuire, P.R.P. and Johnstone, A.H. (1987), Techniques for investigating the understanding of concepts in science. **International Journal of Science education**, 9(5), pp. 565-577.
- Mokros, J.R. and Tinker, R.F. (1987), The impact of micro-computer-based labs on children's ability to interpret graphs. **Journal of Research in Science Teaching**, 24(4), pp. 369-383.
- Novak, J.D. (1977), **A Theory of Education**, Cornell University Press.
- Nussbaum, J. and Novick, S. (1982), Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: toward a principled teaching strategy. **International Science**, 11, pp. 183-191.
- Pogge, A.A. and Lunetta, V.N. (1987), Spreadsheets answer "What... If". **The Science Teacher**, 54(8), pp. 46-49.

- Shayer, M. (1987), Data processing and scienc investigation in school. **Research Papers in Education**, 1(3), pp. 237-253.
- Swan M. (ed.) (no date), **The Language of Functions and Graphs**. Shell Center for Mathematical Education.
- Tobin, K.; Pike, G. and Lacy, T. (1984), Strategy analysis procedures for improving the quality of activity oriented science. **European Journal of Science Education**, 6(1), pp. 79-89.
- Zietsman, A.I. and Hewson, P. (1986), Effect of using microcomputer simulations and conceptual change strategies on science learning. **Journal of Research in Science Teaching**, 23(1), pp. 27-39.