תוכן הגליון

מאמר המערכת 2

המורכבות האבסורדית של העולם הדיגיטלי

יהושפט (שפי) גבעון 3

מורה הוא לא רק מלמד, מורה הוא גם לומד

תמי לפידות 14

סמינר למורים מובילים במדעי המחשב 29

טופס משוב 33

קראתם את העיתון?

אל תשכחו למלא את טופס המשוב

הנמצא בעמוד האחרון

ולשלוח אותו אל מינהלת מל"מ.

משתתפי סמינר מורים מובילים 2018

מאמר מערכת

קוראים יקרים

לפניכם הגליון הראשון של "הבטים בהוראת מדעי המחשב" לשנת תשע"ט. אתם מוזמנים לקרוא אותו באתר ללא תשלום ולאחר מכן למלא את טופס המשוב ולשלוח אותו למינהלת מל"מ. שליחת דפי המשוב היא התנאי להמשך קיומו של העיתון.

מה בגיליון הפעם?

המאמר של פרופ' יהושפט (שפי) גבעון, **המורכבות האבסורדית של העולם הדיגיטלי** מציג את הטענה לפיה העולם הדיגיטלי, קרי, עולם המחשבים והחישובים הדיגיטליים, הוא בעל מורכבות גדולה. ומושג ה"אלגוריתם" או "תהליך חישובי" הם לא רק לא מוגדרים, אלא גם אבסורדיים. הוא מקווה שהמאמר יצליח לעורר כמה הדים בקהילת המורים למדעי המחשב, שכן זאת **בעיה לא פתורה** (עדיין) של יסודות מדעי המחשב, ושל הוראתם גם יחד.

המאמר של תמי לפידות עוסק ב**מורה לא רק כמלמֵד, אלא גם כלומד** ובוחן את המנגנון של ההוראה מנקודת מבט של המורה.

עוד בגליון, תוכלו למצוא דיווח מסמינר מורים מובילים שנערך ביולי 2018 בניר עציון.

מומלץ לעקוב אחר ההודעות השוטפות על פעילויות המרכז הארצי באתר האינטרנט שלנו. אתם מוזמנים להמשיך לגלוש באתר, לקרוא ולהוריד קבצים.

נשמח גם לקבל מכם חומרים מפרי עטכם בכל נושא שיכול לעניין את קוראי העיתון.

קריאה מהנה,

ממערכת העיתון

ומצוות המרכז הארצי

משתתפי סמינר 2018 בסיור בעין הוד

המורכבות האבסורדית של העולם הדיגיטלי

פרופ' יהושפט (שפי) גבעון

חברת ג. ידע בע"מ

מבוא

שנים ביטאתי, בהזדמנויות אישיות שונות, את הטענה, שבשעה שברור למדי שהניסיונות להגדיר את **מושג האלגוריתם** הוא מה שאִפשר לעולם הדיגיטלי להתפתח ולשגשג, מושג **זה** אינו מוגדר דיו ואיננו ברור. אני חושב שהנפגעים הראשונים מהמצב הזה הם תלמידי מדעי המחשב. המורים והמורות למדעי המחשב מנסים להסביר, ללמד או לזמן לתלמידיהם ולתלמידותיהם תכנים שאינם מובהרים מספיק ואלו הם תכנים הנחוצים להוראת מדעי המחשב מן הפרק הראשון. זאת איננה בעיה שפדגוגיה יכולה לפתור.

היום, אחרי ניסיונות רבים לגלות היכן ואיך מוגדרת משמעות המונח "**אלגוריתם**", אני משוכנע שהבעיה מורכבת לעילא ולעילא. התבהר לי שמושג האלגוריתם הוא לא רק לא מוגדר, אלא גם אבסורדי.

חמשת המשפטים, הפותחים את הספר ששימש מופת ברחבי העולם להוראת מדעי המחשב במשך כמה שנים טובות, יכולים להמחיש לנו מעט מהבעיה:

"אנחנו ניגשים כאן ללמוד את הרעיון של ***תהליך חישובי***. תהליכים חישוביים הם ישויות מופשטות המאכלסות מחשבים. כאשר הן מתפתחות, התהליכים מעבדים דברים מופשטים אחרים הנקראים ***נתונים***. ההתפתחות של תהליך מונחֵית על ידי תבנית של כללים הנקראת ***תכנית***. בני אדם יוצרים תכניות כדי להנחות תהליכים. למעשה, אנו מעלים באוב את הרוחות של המחשב באמצעות הלחשים שלנו."
(Abelson et al, 1996: p. 1).

במשפטים מקסימים אלה משתקפות נקודות בעייתיות רבות בנוגע לתכנים שהספר מיועד לעזור בלמידתם. ראשית, המונח "**אלגוריתם**" אינו מופיע במשפטים אלה בכלל, למרות שבהם מוצהרת כוונת כתיבת הספר. בספר כולו, מונח זה מוצנע ולא נדון בכלל כמייצג מושג בסיסי של מדעי המחשב. לדוגמה, המונח "**אלגוריתם**" מופיע ב"**הקדמה למהדורה הראשונה**" שתי פעמים בלבד (שם: עמ' xvii) וזאת, אך ורק בהתייחסות אל נושאים שאינם מכוסים בלימוד הנושא לפי הספר. במבוא של הספר, נמצא "בין התכניות שאנו כותבים, כמה (אבל אף פעם לא מספיק) מבצעות פונקציה מתמטית מדויקת... אנו קוראים לתכניות כאלה אלגוריתמים, ... תכנת חייב לרכוש אלגוריתמים טובים ... למרות שכמה תכניות מתחמקות מפירוט מדויק..." (שם: עמ' xiii). גם הביטוי "**תהליך חישובי**", המודגש במקור, מופיע בספר, בדיוק שתי פעמים – בשני המשפטים הראשונים של הספר **ותו לא**. אין בספר הגדרה ברורה, לא לאלגוריתמים ולא לתהליכים אלה. האם אלגוריתם הוא "הרעיון של תהליך חישובי"? המחברים לא גילו לנו. הדיון המפורט לכאורה, במושג "**טיפוס נתונים**" בעמ' 90-92 (כולל הערה 5 בעמ' 91,) רק חושף את העובדה שעדיין לא נתפרה כסות מוסכמת והולמת למושגים חשובים במדעי המחשב.

וקודם לכן, בשנת 1976, יצא לאור ספר מכונן שכותרתו "**אלגוריתמים** + **מבני נתונים** = **תוכניות**" (Wirth, 1976). בספר חשוב זה, המונח "**אלגוריתם**" מופיע לפחות פעם אחת בכל שני עמודים, איננו מופיע באינדקס של הספר, ואין לו הגדרה כלשהי בספר. אפשר למצוא רמז להתנצלות על כך במבוא, אחרי הסתמכות על מאמר קודם של המחבר, "הוא הבהיר את העובדה שההחלטות אודות הבניית נתונים אינן

יכולות להיעשות ללא ידיעת האלגוריתמים המיושמים על הנתונים, ולהיפך, המבנה והבחירה של האלגוריתמים לרוב תלויה בחוזקה במבנה של הנתונים שבבסיסם. בקיצור, הנושאים של חיבור תכניות ומבני נתונים קשורים זה בזה מבלי שיהיה ניתן להפריד ביניהם" ווירת' ממשיך:

"ובכל זאת, הספר מתחיל בפרק על מבנה נתונים משתי סיבות. הראשונה, יש לך תפיסה אינטואיטיבית שנתונים קודמים לאלגוריתמים: אתה חייב שיהיו לך עצמים כלשהם לפני שאתה יכול לבצע פעולות עליהם. שניה, והמידית יותר, הספר הזה מניח שהקורא מכיר את הרעיונות הבסיסיים של תכנות מחשבים..." (שם: עמ' xii-xiii).

על כך, ב-1982, אסף קפורי, רוברט מול ומיכאל ארביב (Kfoury, et al, 1982), העירו במפורש: "אם אנו לא משתמשים לעיתים קרובות במלה 'אלגוריתם', זה בגלל שיש לנו מבחר גדול של מונחים שקולים: 'סדרה של הוראות', 'מתכון', 'מרשם', 'שיטה', 'תכנית' וכו'. בהקשרים יותר טכניים אנו פוגשים במונחים שקולים אחרים: 'תוכנה', 'פרוצדורה יעילה' וכו'. הריבוי הזה של המילים והביטויים משקף את העובדה שלמושג האלגוריתם, בניגוד למושג הפונקציה, כנראה אין הגדרה פשוטה ואחידה" (שם: עמ' 6). בעמוד שאחריו, במקום להגדיר מהו אלגוריתם, הם ניסו להגדיר מהו "**תהליך אלגוריתמי**" ומודים שההגדרה שלהם מתבססת על משהו שאינו מדויק בעליל (שם: עמ' 7). אם כך, בשלבים די מוקדמים של פיתוח מדעי המחשב, המונח "**אלגוריתם**" לא הוגדר באופן ברור, וראוי להכיר בעובדה שמצב זה לא תוקן עד עצם היום הזה.

עלי להודות שאין בידי פתרון שיאיר אור על הסבך שבתוכו חבויים המונחים כמו "אלגוריתם", "תהליך חישובי" ודומיהם. אני רק מקווה שבהצבעה בוטה על הסבך הזה, כאן, במאמר הזה, אצליח לעורר כמה הדים בקהילת המורים למדעי המחשב. זאת **בעיה לא פתורה** (עדיין) של יסודות מדעי המחשב, ושל הוראת מדעי המחשב גם יחד.

אתנחתא פיסיקלית

כאשר ריצ'ארד פיינמן פתח את הרצאותיו בניו-זילנד על התורה האלקטרו-דינמית של הקוואנטים לקהל הרחב, הוא כינה תורה זו "**התיאוריה המוזרה של אור וחומר**". כך בדיוק גם נקרא הספר שבו פורסמו הרצאות אלה בתרגום לעברית, שהודפס כמה פעמים, למשל, בשנת 1996. פיינמן הודה בפה מלא, שקשה להבין אותה. אני מצטט (פיינמן, 1996: עמ' 17): "אך האמת היא שאיש אינו מבין זאת. אינני יכול להסביר מדוע הטבע פועל בדרך זו דווקא. ... מקווה אני כי תוכלו לקבל את הטבע כפי שהוא – אבסורד.".

אני זוכר, ב-1960 בקורס בתולדות המחשבה הפיסיקלית, פרופ' שמואל סמבורסקי, לימד אותנו שאיזק ניוטון האמין בכל ליבו שקרני האור בנויות מחלקיקים (כמובן, אמונתו נסמכה על עדויות אמפיריות, חד משמעיות,) ואילו כריסטיאן הויגנס, בר הפלוגתא שלו, טען שקרני האור בנויים מגלים (על סמך עדויות אמפיריות חד-משמעיות אחרות). כלומר, הוויכוח על טבעו של האור התחיל מראשיתה של הפיסיקה המודרנית, עוד מהמאה ה-17 ונמשך עד המאה ה-20.

רק בראשית המאה ה-20, בעקבות המחקרים של פיינמן ופיסיקאים אחרים, התברר שעלינו לקבל את האור כמות שהוא: **אבסורד** - הוא **גם** גלים **וגם** חלקיקים, והדרך היעילה לתאר את התנהגותו המוזרה, היא באמצעות מספרים מרוכבים ותהליכי חישוב מתקדמים ביותר (פיינמן, 1996: הערה 4 בעמ' 64). מטרת הרצאותיו בניו-זילנד, הייתה לתאר ולהסביר את האבסורד הזה, גם לאלה שלא למדו את תנאֵי הקדם ללימוד המקצועי של הפיסיקה החדשה (המתמטיקה של המספרים המרוכבים ושל החישובים בעזרת אינטגרלים מסלוליים). פיינמן ידע להסביר את תגליתו לקהל הרחב, בהשתמשו בחישובים מקורבים בעזרת "חיצים קטנים" שמתקדמים בחלל לכל מיני כיוונים ומסתובבים כמו טיל שאיבד את יציבותו. פשוט להפליא ומרתק. אני ממליץ לכל קורא/ת סקרן/ית ותאב/ת דעת לקרוא את הספר.

ובמדעי המחשב

במאמר הזה אני טוען שהעולם הדיגיטלי, קרי, עולם המחשבים והחישובים הדיגיטליים, הוא בעל מורכבות שהיא גדולה ואבסורדית, פי-שתיים ויותר, מזו של האלקטרודינמיקה הקוואנטית. מורכבות זו יכולה להסביר לא רק את הקושי של **הוראת מדעי המחשב**, אלא גם את הקושי הטמון בהצגה הוגנת ומזמינה של מדעי המחשב כתחום דעת בעל רלבנטיות יישומית רחבה לתחומי דעת רבים אחרים.

למשל, יש הרוצים להשתמש בתוצרים הנגזרים של מדעי המחשב **בחינוך**. בפרט, הם רוצים להשתמש בתהליכים שמספקים כלים דיגיטליים בלמידה ובהוראה. הם חייבים להכיר את תכונותיהם האופייניות של הכלים והתהליכים הללו. אבל, הם נרתעים מלהשיג הבנה מינימלית של תכונות אלה, ובצדק. תכונות אלה נחקרות ונלמדות, כמובן, במדעי המחשב. אבל, מסלולי הגישה אל הבנת תכונות אלה חסומים מפניהם בשל הכאוס השורר בהוראה השכיחה של מדעי המחשב, אפילו ללא מתמחים.

כאוס זה נובע מן הקשיים בהסברת מושגי הבסיס של מדעי המחשב. להלן כמה מהחולשות הנפוצות בהוראת מדעי המחשב הקשורות במושג האלגוריתם:

1. לעיתים קרובות, המונח "**אלגוריתם**" אינו מופיע בה. וגם אם המונח "**אלגוריתם**" מופיע בה, הוא איננו מוגדר בה בהגדרה ברורה נכונה ומפורשת. הזכרתי לעיל את (Abelson et al,1966). אציין שארביב, קפורי ומול, בספר קודם שלהם, על בסיס למדעי המחשב העיוניים (Arbib et al, 1981) לא הציעו הגדרה למונח "אלגוריתם". גם דניאל הילּיס, בספרו אודות הרעיונות הפשוטים שביסוד פעולתו של המחשב, (הילּיס, 2000) נמנע מלהתייחס אל מושג החישוב או אל המושג המסתתר מאחורי המונח "אלגוריתם". אפילו דאגלס הופשטטר, בספרו הנהדר, (הופשטטר, 2011), מתחמק מהגדרה הולמת למונח זה. במקומה, הוא משתמש בהיגדים העמומים הבאים: "תיאורים מדויקים של תהליכים אותם רצו (בני-אדם) שהמחשב יבצע" (שם: עמ' 328), "התוויה מפורטת של אופן ביצוע של משימה" (שם: עמ' 448).
2. כדי להתגבר על היעדר הגדרה מפורשת פשוטה, נהוג לעיתים קרובות להציע **דוגמאות שגויות**, כגון, מתכוני בישול, כללים למעבר כביש, כללים להחלפת צמיג במכונית, וכדומה. למשל, ראו (Harel, 1989: pp. 4-5). דוגמאות אלה הן שגויות משום שאלגוריתם איננו חל במישרין לא על חומרים פיסיקליים ולא על פעולות פיסיקליות, אלא אך ורק על סמלים מופשטים, על **תווים** ועל פעולות מיוחדות עליהם. בין המגבלות **העקרוניות** של כל האלגוריתמים וכל הכלים הדיגיטליים **לא מוזכרת** המגבלה הבסיסית והפשוטה שלהם: הם כולם פועלים דרך ובאמצעות **טקסטים תוויים**. לכן, לא ניתן ללמוד ממכונות שאינן דיגיטליות, כמו למשל, ממכוניות, שום דבר שחל על מכשירים או כלים דיגיטליים. לכן, התלמידים, במקרה זה, אינם יכולים לדעת שמתכוני בישול והנחיות להחלפת צמיגים (שם) **אינם יכולים** להיות דוגמאות לאלגוריתמים.
3. בקורסי "מבוא למדעי המחשב" או "מבוא לחשיבה חישובית" ברחבי העולם, במוסדות ההוראה הבכירים ביותר, לא מסבירים מה זה אלגוריתם, ובמקום זה, כפי הנראה, מצפים מהלומדים שיבינו בעצמם, ובעצם **ינחשו** מה זה אלגוריתם, **בשיטת הפעפוע**, מהתנסות בכמה דוגמאות, ובדרך כלל, גם ללא הכוונה של ממש. לא ידוע לי על פדגוגיה כלשהי שפותחה כדי לזמן מיומנויות לניחושים מוצלחים. הופשטטר מרמז על אסטרטגיה זו במילים הבאות: "היכולת להתבונן באלגוריתם הכתוב בשפת תכנות ולהבין מה הוא עושה היא יכולת נרכשת. בכל זאת אני מקווה..." (הופשטטר, 2011: עמ' 449).

אפשר למצוא תמיכה עקרונית בביסוס הוראת מדעי המחשב על "שיטת הפעפוע" בדברי החוקר אמיל פוסט, בעקבות תגליותיו לגבי אי-השלמות של תורות לוגיות ומתמטיות, תגליות שקדמו לגדל, כמצוטט בסקירה הנרחבת על פועלו בידי אלאסדייר אורקוהארט:

"זאת תוצאה של ניתוץ פסלים, מנקודת המבט של הלוגיקן הפורמלי, כי פירושה הוא שלוגיקה חייבת להיות בלתי-פורמלית, לא רק בחלקים מסוימים שלה

(כמו בפעולות שלה), אלא בעצם הפעולה המהותית שלה. יתר על כן, מותר לנו לכתוב: **התהליך הלוגי הוא ביסודו יצירתי"** (Urquhart, 2009: p. 442). אציין כבר כאן, אמיל פוסט היה בין מגדירי מושג החישוב בשנות ה-20 וה-30 (Davis, 1982: pp. 18-22).

כאשר אדזחר דייקסטרה רצה להביא לתשומת לבנו את **הפער** הקיים בין העולם הדיגיטלי ובין עולמנו המוכר, הוא הדגיש אותו בכותרתם של שני מאמרים מפורסמים שלו: "**אודות הפער התרבותי**" (Dijkstra, 1986) ו-"**אודות האכזריות בהוראה אמתית של מדעי החישובים**" (Dijkstra, 1988). אני מניח שאין צורך לתאר את תוכנם לקוראי "הבטים".

בכל זאת, אציין כי בשני מאמרים אלה, דייקסטרה דן בהשלכות המטרידות של תכונה אופיינית אחת בלבד של הכלים הדיגיטליים - **הטקסטואליות** שלהם. כי הרי מן הטקסטואליות נובעת, כמובן, עובדת היותם **בדידים** ולא רציפים. תכונה זו מספיקה כדי להעמיד את מדעי המחשב הרחק מטווח השגתם של המתודות האינטלקטואליות והמתמטיות העומדות לרשותנו מתקופת המהפכה התעשייתית. למרבית הצער, עוד לא פיתחנו מתודות, הדומות לכלי האנליזה המתמטית בעוצמתם, שניתנות ליישום מוצלח על האמצעים הדיגיטליים החדשים. לעומת זאת, בשדה מתעקשים לחקור אלגוריתמים ומערכות דיגיטליות על ידי "**נסיעות מבחן**". מבחינה זו, עדיין **לא יצאנו מעידן התעשייה** (גבעון, 2017).

דרך אגב, הטקסטואליות ההכרחית של הכלים הדיגיטליים היא שמחייבת שימוש בממשקים כדי לגשר על הפער העקרוני שקיים בין עולם התווים ובין העולמות שבהם אנו רוצים להפעיל מנגנונים דיגיטליים. גישור זה מושג במחיר של פערים ושל תוצאות לא רצויים, כמו, לדוגמה, בשימוש במוסיקה דיגיטלית (Rushkoff, 2010: pp. 70-71). ואם אתם מתעניינים בחינוך, כדאי שתדעו שקיימים תכנים חשובים שאינם ניתנים, עקרונית, לייצוג דיגיטלי שלם ולכן, למידתם חורגת מן הלמידה הסטנדרטית בבתי **הספר**. שאלו את העוסקים בחינוך הבלתי פורמלי. פירושו של דבר הוא שתכנים חשובים ייפגעו אם לימודם ימוצה בשימוש בכלי דיגיטלי, בכל פדגוגיה שהיא.

בחזרה אל היסודות

כאשר רוצים אנו להבין את טבעו של העולם הדיגיטלי אני מציע לחזור אל יסודותיו, אל שנות ה-30, אל הימים בהם הוגדרה מהות התהליכים שהכלים הדיגיטליים מיועדים לבצע מעצם עיצובם (Kleene, 1936; Post, 1936; Turing, 1936, 1937; Church, 1936). בימים ההם גם התחילו לחקור את המהות הזו כגלומה במושג "**החישוב היעיל**".

עלי לציין כי בלי להבין את תוכן ומשמעות ההגדרות הללו ואת תוצאות המחקרים הללו, לא ניתן להכיר ולהבין היטב, לא את התכונות המהותיות של הכלים הדיגיטליים הנוכחיים ולא את הפוטנציאל הגלום בתהליכים שמשולבים בשימושים בכלים אלה. אנסה במאמר זה להתייחס אל מהות זו בלי להסתבך יתר על המידה בהצגת הפרטים הטכניים של ההגדרות של מושג "**החישוב היעיל**". עלי לציין גם שכל קורס בסיסי במדעי המחשב, או בשימושים בכלים האלה, חייב לכלול יצירת הבנה בסיסית של התכונות המהותיות של תהליכים אלה. ראו כמה דוגמאות (גבעון, 2008; גבעון, 2018; גבעון, יוני 2018).

חשוב להבין שההגדרות משנות ה-30 נועדו גם להסדיר את השימוש במונחים הרבים, אשר, ללא כל הגדרה, מאז המאה ה-12, השתמשו בהם החוקרים, כדי להתייחס אל ההיבטים השונים של החישובים. אבל הסְדרה זו לא בוצעה בשלמותה. לדוגמה, ראו נא את הכותרות של המאמרים המקוריים של ארבעת מניחי היסודות של מדעי החישובים מ-1936 (כך התעקש דייקסטרה לקרוא למדעי המחשב, ובצדק). האם מישהו החפץ, או החפֵצה, לאתר מאמרים בסיסיים בנושא החישובים, יוכלו לאתר אותם מבלי לדעת מראש את הכותרות הללו? ובפרט, האם מישהו ישתמש בביטויים "מספרים הניתנים לחישוב", "פרוצדורה מכאנית", "תחשיב-λ", "תהליכים קומבינטוריים", "מערכות נורמליות", או "פונקציות רקורסיביות כלליות" כביטויי חיפוש, כאשר הוא, או היא, ירצו לאתר את ההגדרות המקוריות של מושג החישוב הדיגיטלי (כלומר, החישוב המתבצע באמצעים דיגיטליים), מבלי להכיר **אותן הגדרות** תחילה?

אפשר לומר אפוא, בצער רב, כי בכוונה או שלא בכוונה, היסודות שהונחו בשנות ה-30 הוסתרו היטב מעיני כל. לכן, אלה שעסקו בעיצוב הכלים החדשים ובשימושיהם, החל משנות ה-40, לא יכלו להיות מודעים להגדרות אלו והתעלמו מהגאונים שהמציאו וחקרו אותן (Daylight, 2012; 2015). טבעי אפוא, שהמחשבים הראשונים, שנבנו כמכונות חישוב כמה שיותר משוכללות, לא תמיד נבנו בהנחיית ההגדרות האלה, אלא על סמך אינטואיציות הנדסיות של בוניהם (Burks et al, 1946). גם ממציאת הקומפיילר הנפוץ הראשון, גרייס הופר, התלבטה בבעיה שנגרמה מחוסר מודעותה למחקרים הראשונים בנושא החישוב הדיגיטלי ולקשר שלהם להמצאתה (Daylight, 2012: p. 14).

במאמר קודם שלי, שפורסם ב"הבטים", שבו ניתחתי את מאמרו המפורסם של טיורינג (Turing, 1950), טענתי שהתעלמות זו, כפי הנראה, פגעה קשות בטיורינג ופגיעה זו התבטאה בכתיבת מאמר שצריך היה לעורר כמה תהיות (גבעון, פברואר 2018). למען האמת, עד לימינו, הגדרות אלו משנות ה-30, נחשבות ל"מתמטיות מדי", ל"תיאורטיות", או ל"מופשטות" ובוודאי ל"לא שימושיות"; לדוגמה, ראו (Nisan & Schocken, 2005: pp. 80-81) ביחסם אל הגדרת טיורינג. כלומר, ההתעלמות המצערת מתרומתם של טיורינג ושל עמיתיו משנות ה-30 להגדרת ולהבנת מושג החישוב המכאני, נמשכת עד לימינו.

הראשון ששם לב במיוחד למורכבות המסתורית של מנגנוני החישוב ובו-בעת הביע ביקורת כנגד האמונות התפלות שמונעות מאתנו להבין את טבעם המהותי, היה אלן טיורינג. במאמר שלו מ-1950, טיורינג טען במפורש שתי טענות מיוחדות במינן, המתייחסות אל מהות החישובים, טענות שמשום-מה השתכחו בסבב ההתלהבות מהרעיון של "**מבחן טיורינג**" (Turing, 1950).

הטענה הראשונה הייתה שאם רוצים למצוא **עקרון משותף** לדמיון שבין **כל המחשבים**, צריך להשתמש במודל של **פונקציה מתמטית** ולא לייחס חשיבות אל **החומרה** שממנה בנויים מנגנונים אלה (שם: עמ' 439). הוא לא נימק טענה זו באותו מאמר, ולכמה מאלה שעסקו בעיצוב מחשבים ובתכנותם לקח זמן רב עד שהבינו שמדעי המחשב הם יותר ענף של המתמטיקה השימושית מאשר של הנדסת האלקטרוניקה. כמה המשיכו לתפוס את מדעי המחשב בדרך שונה לגמרי. למשל, מחברי ספר המופת להוראת מדעי המחשב (Abelson et al, 1996) בהקדמה למהדורה הראשונה, המצוטטת גם במהדורה השנייה, מצהירים ללא היסוס שהם משוכנעים שמדעי המחשב אינם מדע ואין למדעי המחשב כל קשר למתמטיקה (שם עמ' xviii).

הטענה השנייה של טיורינג, הייתה מיוחדת במינה: הוא טען, כי מבחינת חוקרי החישובים, "**מנגנון**" ו"**כתיבה**" הם "**כמעט בעלי משמעות זהה**" (שם: עמ' 457). הוא לא נימק גם את טענתו זו באותו מאמר. כפי שנראה בהמשך, שתי הטענות האלה נובעות למעשה מההגדרות של שנות ה-30. כלומר, טיורינג דרש מקוראיו, או הניח, שיקראו גם את המאמרים המוקדמים על מהות החישובים. ביחד, נובע מהגדרות אלה, שבמדעי החישובים צריך לתת את הדעת על זהויות מפתיעות בין ישויות ממהויות ממשות שונות: פונקציות מתמטיות, מנגנוני חישוב, טקסטים ותהליכים.

למיטב ידיעתי, בשנים הראשונות של מדעי החישובים, מלבד טיורינג, רק שני מדענים שמו לב, לקשר המיוחד שבין מנגנונים וטקסטים, המתקיים בעולם החישובים הספרתיים והייחודי לו. אחד מהם היה מורי, פרופ' ארתור בֶּרְקס, מי שהיה עוזרו של פון ניומן בבניית המחשב **EDVAC** (Burks et al, 1946). ברקס ניהל את יחידת המחקר "**קבוצת הלוגיקה של המחשבים**" באוניברסיטת מישיגן, שבה עבדתי כחוקר לקראת התואר השלישי שלי, בתחום שלימים נקרא "**מדעי המחשב**". למען הגילוי הנאות, אני גיליתי את הטקסט שבו ציין ברקס את הזהות המופלאה הזו שבין מנגנונים וטקסטים, רק לפני שלוש שנים, כאשר קראתי את הספר על "**שחר הנדסת התוכנה: מטיורינג ועד דייקסטרה**" שפרסם אדגר דיילייט בשנת 2012. בספר זה דיווח דיילייט על מדעני המחשב הספורים שהכירו בתרומתו של טיורינג (Daylight, 2012). דיילייט גילה, בין היתר, שבכרך מיוחד של מחקרים בלוגיקה וביסודות המתמטיקה, שיצא לאור ב-1963, יש התייחסות מפורשת אל טענה של ברקס, שבגבולות מסוימים,

תוכנה וחומרה מחליפות זו את זו (שם: עמ' 14). אני חייב לציין כי בכל לימודי האקדמיים (בארץ ובארה"ב) משנת 1957 ועד 1966 אף אחד לא הזכיר את התופעה הזו, לא בשנת 1958, כאשר למדתי את המאמרים המקוריים של טיורינג (משנות 1936-37) כחלק מלימודי המתמטיקה שלי, ולא בשנים 1962-1959, כאשר עבדתי תחת הנחייתו של אחד ממפתחי תורת האוטומטים, פרופ' מיכאל רבין. מה שמטריד אותי עכשיו הוא, שאפשרות זו לא נרמזה אפילו, במשך ארבע שנים, אחרי-כן, כלומר, בשנים 1966-1962, כאשר עבדתי ולמדתי תחת הנחייתו הצמודה של פרופ' ארתור ברקס בכבודו ובעצמו. ייתכן שהוא לא ייחס משמעות מרחיקת לכת להחלפה ההדדית הזו שבין תוכנה לחומרה, או שהוא הבין שהיא רדיקלית מדי.

לעומתו, אדזחר דייקסטרה, מאבות תחום הנדסת התוכנה, התייחס ביתר עניין אל ההחלפה ההדדית שבין תוכנה לחומרה. באחד מטיוטות המאמרים המוקדמים שלו, שסימנו "EWD28" ושכותרתו, "**תהליכי הצבה**", תיאר מכונת חישובים אוניברסלית כמכונה המבצעת באופן שיטתי תהליכי הצבה (Dijkstra, 1962a). למעשה, המאמר מתאר הכללה של רעיון סדר פעולות החשבון כמשתקף מבעד לעיניו של מדען חישובים, המעוניין באופן שיטתי בתהליך החישוב, במנגנון הנדרש לביצועו, ובניסוח קודים להפעלתו. הוא פתח את המאמר הזה במשפטים הבאים: "מכונה מגדירה (בעצם המבנה שלה) שפה מסוימת, כלומר, את שפת הקלט שלה; ולהיפך, ההגדרה הסמנטית של שפה מפרטת מכונה שמבינה אותה, במילים אחרות, מכונה ושפה הן שתי פנים של אותו מטבע. אני מתכוון לתאר מטבע זה. אני משאיר זאת לגמרי בידיך לקבוע מי משני ההיבטים של הנושא של הרצאתי נחשבים בעיניך לחשוב ביותר, מכיוון שהנושא הוא מגוחך בשני ההיבטים." (שם, בעמ' 1).

יתירה מזו, דייקסטרה, במאמר אחר, "**כמה הגיגים אודות תכנות מתקדם**" (שסימנו "EWD32") פֵּרט כמה מסקנות, תיאורטיות ומעשיות, מ"**השקילות הלוגית**" שבין מכונות ובין תוכנות (Dijkstra, 1962b). לדוגמה, הוא טען כי "הודות לשקילות הלוגית שבין עיצוב מכונה ליצירת תוכנה, מתכנתים יכולים לתרום לעיצוב עתידי של מכונות, בחקירה על נייר, את האפשרויות של מכונות בעלות מבנה מהפכני יותר" (שם: עמ' 5).

אני טוען שמההגדרות ההיסטוריות של מושג החישוב נובעת זהות יותר מורכבת מאשר הזהות במשמעות של מנגנונים עם טקסטים. ראשית כול, כידוע, ההגדרות הללו חשפו שניתן כנראה להגדיר את מושג החישוב היעיל בארבע דרכים נבדלות זו מזו ושקולות זו לזו:

1. בהגדרת **מנגנוני חישוב** (ההגדרה של טיורינג של "**מספרים הניתנים לחישוב**" וגרסאות מפותחות שלה, באמצעות "**מכונות טיורינג**", על-ידי פוסט, צ'רץ', קלייני ומאוחר יותר, על-ידי מרטין דייוויס (Davis, 1958; Daylight, 2012: pp. 3-6; Kleene, 1952);
2. בהגדרת סוג מיוחד של **טקסטים**, למשל, **נוסחאות-λ** המוגדרות בתורה לוגית מסוימת כמו, בתוך **תחשיב-λ** של צ'רץ' (Church, 1936), ומאוחר יותר, באמצעות טקסטים **בכל שפת תכנות** שהיא "שלמה לפי טיורינג" (כלומר שניתן ליצור באמצעותה הדמיה של מכונת טיורינג אוניברסלית), לדוגמה, (Kfoury et al, 1982);
3. בהגדרת סוג מיוחד של **פונקציות מתמטיות** (ההגדרה של קורט גדל של **הפונקציות הרקורסיביות** של מספרים טבעיים, בהרצאותיו בפרינסטון ב-1934, שהורחבה על-ידי סטיבן קלייני (Kleene, 1936) על ידי הוספת האופרטור μ, הגדרה שטיורינג אל נכון ידע עליה כשכתב את מאמרו ב-1950);
4. בהגדרת סוג מיוחד של **תהליכי עיבוד** של מחרוזות של נתונים תוויים (ההגדרה של **המערכות הפורמליות** של אמיל פוסט (Post, 1936; הופשטטר, 2011: מעמ' 58 ואילך)).

בהצעות ההיסטוריות האלה, הוגדרו סוגים מיוחדים של מנגנונים, טקסטים, פונקציות מתמטיות ותהליכי עיבוד נתונים במטרה להגדיר מהו חישוב יעיל, או מהו אלגוריתם. חשוב לציין שמלכתחילה, המגדירים היו מודעים לעבודות עמיתיהם (כולן בוצעו

באוניברסיטת פרינסטון ותחת הדרכתו, או השפעתו, ובוודאי בידיעתו, של אלונסו צ'רץ'). לכן, הם מיד שמו לב לשקילות הלוגית ההדדית המתקיימות בין ארבע הישויות האלה והוכיחו אותה. הם גם שמו לב לבעיה המתעוררת בעקבות ארבע ההגדרות הללו: **האם וכיצד ארבע הגדרות, השונות כל כך זו מזו, יכולות לבסס מושג אחד?**

המעוניינים לקרוא על הסבך שבתוכו צמחו מדעי המחשב, יוכלו לקרוא על הדיונים שערכו מייסדי מושג החישוב בשנות ה-30 ביחס להגדרותיהם וביחס לבעיית ההגדרה הכללית של מושג **החישוב היעיל**, במאמר המפורט של מרטין דייויס (Davis, 1982). חשוב לציין שמרטין דייויס היה תלמידו של אמיל פוסט לתואר הראשון במכללה העירונית של ניו-יורק עוד בשנות ה-40.

כפי שציין דייויס, ההגדרות הללו, לעצמן, בלי הנחות נוספות, אינן יכולות להגדיר את מושג האלגוריתם מסיבה פשוטה, שהייתה ברורה לגדל ולפוסט (שם: עמ' 22). אמנם, כל אחת מהן מגדירה, בצורה מדויקת, סוג נבדל ושונה של ישויות: מכונות טיורינג (מנגנונים), ביטויי-λ (טקסטים), פונקציות רקורסיביות כלליות (פונקציות מתמטיות) ותהליכי הפקה של מחרוזות (תהליכי עיבוד מחרוזות באמצעות מערכות פורמליות), אבל אף אחת מהן איננה מגדירה במפורש מה זה אלגוריתם. כדי להכיר בקושי המתגלה כאן, נצטרך לעבור על כל הגדרה בנפרד ולנסות להשתמש בה להגדרת מושג האלגוריתם. אעשה זאת כדוגמה, במקרה של מכונות טיורינג.

נניח שנקבע, כהגדרה, שאלגוריתם זה מכונת טיורינג, כלומר פירוש המונח "אלגוריתם" הוא "מכונת טיורינג". זהו למעשה ניסוח מקוצר של התזה של טיורינג וצ'רץ': הגדרת אלגוריתמים כזהים עם מכונות טיורינג מצהירה שכל אלגוריתם הוא מכונת טיורינג וכל מכונת טיורינג הוא אלגוריתם. מן הדיונים המתוארים במאמרו של דייויס (שם) מתברר **שלא הייתה הסכמה** על קבלת תזה כזו, ובוודאי לא כהגדרה **פורמלית** למושג האלגוריתם. טבעי היה ששני החוקרים שגילו את **אי-השלמות** של התיאוריות הפורמליות של החשבון (פוסט וגדל) יבחנו בביקורתיות רבה את העדויות לאישושה של תזה המצהירה על הגדרה פורמלית **כלשהי** למשמעות המונח "אלגוריתם". שניהם האמינו שמושג האלגוריתם, או מושג החישוב היעיל, חורג ממה שניתן להגדרה באמצעות הגדרות פורמליות, בדיוק כפי שמשפטי אי-השלמות מעידים על חריגת האמת המתמטית מהוכחות פורמליות. בדרך כזו ניתן לחשוף את הבעיה בהגדרת משמעות המונח "אלגוריתם" ככל אחת משאר הישויות המוגדרות בהגדרות ההיסטוריות הללו.

עכשיו מובנת הכותרת של המאמר של דייויס. גדל לא הסכים לניסוח תזה כלשהי המזהה מראש אלגוריתמים עם מכונות טיורינג, עם נוסחאות-λ, עם פונקציות רקורסיביות כלליות, או עם תהליכי עיבוד נתונים במערכות Post. לדעתי, גדל, כמו פוסט, לא רק סברו שאין מספיק עדויות לכך, אלא גם סברו שאסור **לכבול** את רעיון החישוב היעיל, את מושג האלגוריתם, באמצעות הגדרה פורמלית קבועה ומגבילה. הגדרות פורמליות נחוצות להסקת מסקנות יעילה בתחום ממוקד ומוגדר, אך סביר להניח שאי-אפשר לתחום באמצעותן את מושג החישוב היעיל התלוי גם ביצירתיות האנושית הן לגבי חישובים והן לגבי מכונות חישוב.

בשעה שמשפטי אי-השלמות של פוסט ושל גדל נוגעים בקצוות המתקדמים של יסודות המתמטיקה, הדרישה של פוסט ושל גדל נוגעת לנקודת המוצא המידית של מדעי המחשב. לכן, משפטי אי-השלמות יכולים לא להופיע בהוראת המתמטיקה בשלביה המוקדמים, בשעה שהוראת מדעי המחשב חייבת **להתחיל** בהבהרת מושג החישוב היעיל. פירושו של דבר, משפטי אי השלמות אינם מפריעים להתחלת הלימודים במתמטיקה, ואילו בעיות בהבהרת מושגי היסוד של מדעי המחשב מקשות על הוראת מדעי המחשב מתחילתה.

מעֵבר להגדרת מושג האלגוריתם: הסיבוך האונטולוגי של מדעי המחשב

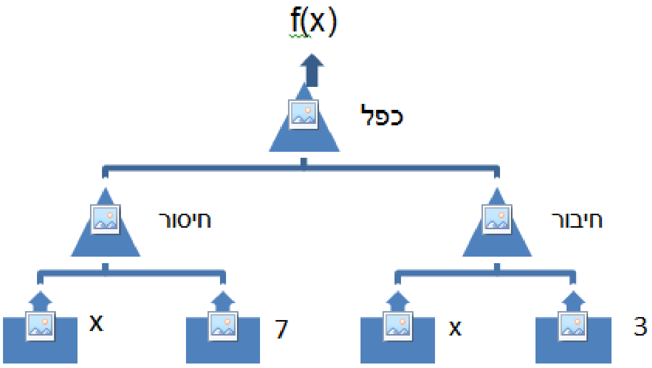
אונטולוגיה עוסקת בטבע הממשות. טענותיו של טיורינג מ-1950, אותן ניסח טיורינג ללא כל הנמקה: **המחשבים, במהותם, הם פונקציות מתמטיות וביחס אליהם אין להבחין בין חומרה לתוכנה** – הן טענות **אונטולוגיות** כי הן עוסקות בטבע הממשות של רכיבי עולם מדעי המחשב.

אציין ש**פונקציה מתמטית** מוגדרת על-ידי **כלל** המקשר קלט בעל תוכן מתמטי עם פלט בעל תוכן מתמטי. עובדה זו כבר מרמזת למעשה על הקשר שקיים בין **מנגנוני חישובים**, המבצעים קשרים בין קלט לפלט, לבין **טקסטים**, המתארים את כללי ההתנהגות של מנגנונים שכאלה כפונקציות. נבחן מקרה קונקרטי של כלל כזה.

כלל המגדיר פונקציה, **בדרך כלל** מנוסח באמצעות טקסט, באמצעות נוסחה. לדוגמה, הביטוי

"f(x)=(x-7)(x+3)"

הוא **טקסט** המגדיר גם את **הפונקציה** f (כאשר יודעים אנו באיזה טיפוס ערכים מדובר) ובו בעת, כפי שנראה מיד, גם את **תהליך חישוב** ערכיה, ובעקיפין, נוכל לראות שהוא מתאר גם את הרכב **המנגנון** המאפשר את ביצוע החישוב.



מבנה של מנגנון לחישוב פונקציה על סמך תיאורה

יישום כללי סדר פעולות החשבון מתייחס אל העובדה שלביטוי "(x-7)(x+3)", כמות שהוא, יש **מבנה תחבירי**, הקובע גם את תהליך חישוב ערכיו ומתאר גם את מבנה המנגנון המאפשר את חישוב הערכים של הפונקציה. המנגנון מתואר כמכונת חישובים קטנה המורכבת מיחידות עם קלט ופלט, המחשבות את פעולות החשבון הבסיסיות (אחת לחישוב פעולת החיסור, שניה לחישוב פעולת החיבור ושלישית לחישוב פעולת הכפל). ההרכב של מכונת החישובים הזאת נקבע לחלוטין על-פי מבנה הטקסט.

מתגלה כאן אפוא קשר, מוזר לכאורה, בין **פונקציות מתמטיות**, **טקסטים**, **תהליכים ומנגנונים**, לפחות בהקשר החישובים בחשבון. טיורינג, במאמרו מ-1950, הזכיר את תפקיד הפונקציות המתמטיות בהגדרת מושג החישוב, אך הוא העדיף להדגיש את הקשר שבין טקסטים למנגנונים, אולי מכיוון שחשוב היה לו לשחרר אותנו מן הקיבעון בחומרה האלקטרונית, אותו כינה "**אמונה תפלה**". קיבעון זה מתגלה גם בימינו בהזדמנויות רבות. הוא מתגלה אפילו בביטוי "מדעי ה**מחשב**".

אם כך, ההגדרות הפורמליות של פוסט, טיורינג, צ'רץ' ושל קלייני מגדירות ישויות בעלות ממשות נבדלת של זו מזו: מערכות פוסט, מכונות טיורינג, נוסחאות-λ ופונקציות רקורסיביות כלליות. מגדירי הישויות הללו גילו והוכיחו מיד את הקשרים הבאים:

(1) מערכות פוסט, מכונות טיורינג ונוסחאות-λ, כל אחת מהן מגדירה פונקציית קלט-פלט שהיא למעשה פונקציה רקורסיבית כללית כי אנו יכולים, למשל בשיטת המספור של גדל, לייצג טקסטים באמצעות מספרים טבעיים; וזהו הבסיס לטענתו הראשונה של טיורינג שמודל נכון למהות המחשבים הוא מודל של פונקציה מתמטית.

(2) לכל מערכת פוסט נתונה קיימת מכונת טיורינג שזהה לה בפונקציה שהיא מגדירה;

(3) לכל מכונת טיורינג נתונה קיימת נוסחת-λ שזהה לה בפונקציה שהיא מגדירה;

(4) לכל נוסחת-λ נתונה קיימת מערכת פוסט שזהה לה בפונקציה שהיא מגדירה.

לכן, אם נתעניין רק בפונקציות המוגדרות על-ידי ישויות אלה, כל הישויות האלה **זהות זו לזו**. למעשה, מוגדר כאן **יחס שקילות** (״**מגדיר אותה פונקציית קלט-פלט**״) שמספק לנו על-ידי הפשטה לוגית (באמצעות **מחלקות השקילות**) ישויות מסוג חדש. אפשר לקרוא להן ״**חישובים יעילים גרסת שנות ה-30**״. כאמור, לדעת גדל ופוסט, עדיין אין לנו כאן הגדרה שלמה למושג האלגוריתם כי מושג זה חייב להישאר פתוח.

לדעתי, תובנות, כמו של טיורינג, ברקס ודייקסטרה, צריכות להוביל מארבע ההגדרות הקלסיות אל **השערה** מדהימה ביחס לטבעם של הכלים הדיגיטליים הקיימים:

> **התזה האונטולוגית המוזרה:** העולם הדיגיטלי הקיים מורכב מכמה סוגי ישויות (**ארבעה לפחות**: מנגנונים, טקסטים, פונקציות מתמטיות ותהליכים), **החופפים זה לזה** ומחליפים זה את זה. ביסודם, הם מתפקדים בעולם הדיגיטלי כישויות חופפות.

מדובר אפוא בכמה אופנויות ייצוג שונות המקושרות זו אל זו בדרך לוגית מובטחת. כלומר, מדובר **במולטימדיה** עשירה והדוקה. פירושו של דבר, שיש לתזה האונטולוגית השלכות **חינוכיות**. היא מהווה המלצה ללמוד את העולם הדיגיטלי דרך כמה הגדרות במקביל, כדי להעשיר את הבנת הלומדים. הדבר לא נעשה בהוראת מדעי המחשב עד-כה.

למשל, ניסיון ללמד מדעי המחשב כמבוססים על הגדרה אונטולוגית מצומצמת אחת (לפי סוג ישויות אחד) למושג החישוב היעיל יהיה תמיד ניסיון המוגבל מלכתחילה. לדוגמה, הניסיון של הופשטטר לבסס את הבנתנו על סמך הבנת מערכות פורמליות, הוא מרתק לעצמו (הופשטטר, 2011). אבל, הקשר בין מערכות כאלה לבין המחשבים עצמם, או לבין המתרחש בתכנות, נשאר עלום ובלתי מוסבר. כך גם הניסיון של ארביב וחבריו להתחיל את הבנת מדעי המחשב העיוניים מהשימוש בשפת תכנות, נשאר מנותק מהמחשבים עצמם ומהפונקציות המתמטיות המתארות את מהותם (Arbib et al, 1981). הוראת מדעי המחשב כדוגמת שתי הגישות האלו, תמיד תשאיר פערים פתוחים בהבנת הלומדים: איך כלי דיגיטלי נתון, נניח ה״סמארטפון״ שלך, מתקשר למערכת פורמלית? כיצד טקסט יכול להפעיל ולשלוט במכונות? מה זאת שפת מחשב והאם היא שונה משפות התכנות האחרות? איך ניתן לבנות מחשב ששפת המחשב שלו היא שפת תכנות נתונה **כלשהי**? (למשל, מה זאת מכונת ליספ וכיצד היא ניתנת לבנייה?) מה תפקיד מערכות ההפעלה? ועוד.

התזה הזו יכולה אפוא להסביר את הלבטים שחוקרים חושפים בהסברים שהם מנסים לספק למושג המרכזי שממנו צמחו מדעי המחשב. מצד שני, התזה הזו גם מרמזת על דרך שבה יהיה אפשרי ליצור מושג רחב יותר וחדש של החישוב היעיל ובכך לפרוץ את התזה של צ׳רץ׳ וטיורינג, בעזרת הגדרות חדשות למושג של מה שניתן לחישוב. לא סתם צריך למצוא הגדרה חדשה במהותה למושג החישוב, אלא צריך להרחיב את ארבע ההגדרות המקוריות. אכן, רבה העבודה לפנינו.

גילוי התופעה של חפיפת ישויות מסוגים שונים הייתה צריכה לטלטל את העוסקים במדעי המחשב, לפחות בעוצמה דומה לעוצמת הטלטול שנגרם בפיסיקה על-ידי גילוי הזהות הבלתי מובנת שבין גל וחלקיק. מכל מקום, עדיין לא הצלחנו להפוך את התובנות האלה לכוח מניע, אקדמי או דידקטי להעמקת הבנת מדעי המחשב. עדיין לא פותחה **התיאוריה המוזרה של נתונים ואלגוריתמים**. אני משער, שעד שזה יקרה, **הוראת מדעי המחשב ויישומיהם** תמשיך להיות נוקשה ואכזרית (כדברי דייקסטרה), אם תהיה אמתית, או רופסת ופגומה, אם תהיה רכה וידידותית ללומד.

רשימת מקורות

גבעון, יהושפט. ״על אי-תאימות השימוש במצגות בהוראה אקדמית בתחומי תוכן מסוימים״, ***על הגובה***, גיליון 7, מרץ 2008, עמ׳ 41-43. נגישות נבדקה ביום 26 ביולי 2018: http://alhagova.colman.ac.il/files/08_2011/P-41-43.pdf

גבעון, יהושפט, ״באיזה עידן אנו חיים: שינויים וקיבעונות בנקודת המבט שלנו״ בלוג באתר ג׳וקופוסט, 10 ביולי, 2017.

גבעון, יהושפט, "TPACK – הצעת בסיס לידע בפדגוגיה ספרתית" פרק 13 בספר ***פדגוגיה דיגיטלית: אבני דרך ואתגרים בחינוך מתחדש***. עמ' 136-170. הוצאת מכללת סמינר הקיבוצים. 2018.

גבעון, יהושפט, "טיורינג נגד טיורינג ומבחן טיורינג במבחן", ***הבטים***, גיליון 47, פברואר 2018.

גבעון, יהושפט, "אי השלמות העקרונית של כמה פדגוגיות חדשות: עוד לקח דידקטי חשוב ממדעי המחשב", ***הבטים***, גיליון 48, יוני 2018.

הופשטטר, דאגלס ר', ***גדל, אשר, באך: גביש בן-אלמוות: פוגה מטפורית על נפשות ומכונות ברוח לואיס קרול***. אור יהודה: דביר. 2011. (המקור באנגלית: 1979).

הילס, דניאל ו', ***התבנית שבאבן: הרעיונות הפשוטים שביסוד פעולתו של המחשב***. הד ארצי, הוצאה לאור. 2000. (המקור באנגלית: 1998).

פיינמן, ריצ'ארד פ', ***התיאוריה המוזרה של אור וחומר***. הדפסה רביעית, מרץ 1996. הוצאת הקיבוץ המאוחד (המקור באנגלית: 1985).

Burks, Arthur W., Goldstine, Herman H., Von Neumann, John. "Preliminary discussion of the logical design of an electronic computer instrument," The Institute for Advanced Study, Princeton, 28 June 1946

Church, Alonzo, "An unsolved problem of elementary number theory," ***American Journal of Mathematics, 58,*** 345-363.1936.

Davis, Martin, ***Computability and Unsolvability***. McGraw-Hill, 1958.

Davis, Martin, "Why Gödel Didn't Have Church's Thesis" ***Information and Control 54,***3-24. 1982.

Daylight, Edgar G., ***The Dawn of Software Engineering: From Turing to Dijkstra***. Heverlee, Belgium: Lonely Scholar. 2012.

Daylight, Edgar G., "Towards a Historical Notion of ‘Turing - the Father of Computer Science’", ***History and Philosophy of Logic, 36*** :3, 205-228, 2015.

Dijkstra, Edsger W., "Substitution Processes", **EWD028**, Amsterdam Mathematical Center, January 1962a.

Dijkstra, Edsger W., "Some meditations on Advanced Programming", **EWD032,** Stichting Mathematisch Centrum. Rekenafdeling, 1962b.

Harel, David, ***The Science of Computing: Exploring the Nature and Power of Algorithms***. Reading. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.. 1989.

Kfoury Assaf J., Moll Robert N. and Arbib Michael A., ***A Programming Approach to Computability***, New York: Springer-Verlag, 1982.

Kleene, Stephen C., "General recursive functions of natural numbers," ***Math. Ann. 112***, 727–742. 1936.

Kleene, Stephen, C., ***Introduction to Metamathematics***. Amsterdam: North-Holland Publishing Co.. 1952.

Netz, Reviel, The Shaping of Deduction in Greek Mathematics : A Study in Cognitive History. (Cambridge: Cambridge University Press). 2003.

Post, Emil, "Finite Combinatory Processes - Formulation 1," ***Journal of Symbolic Logic 1***: 103–105. 1936.

Turing, Alan M., “On computable Numbers With an Application to the

Urquhart, Alasdair. "Emil Post" in ***Handbook of the History of Logic. Volume 5. Logic from Russell to Church***, Dov M. Gabbay and John Woods (Editors). Elsevier BV. 429-478. 2008. Accessed online: June, 23, 2018: http://www.ualberta.ca/~francisp/Phil428.526/UrquhartPost.pdf

Wirth, Niklaus. ***Algorithms + Data Structures = Programs***. Prentice Hall Series in Automatic Computation. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall. 1976.

Entsheidungsproblem". In: ***Proc. London Math. Society 2***, 42, 230-265. 1936.

Turing, Alan M., "On computable Numbers With an Application to the Entsheidungsproblem. A Correction". In: ***Proc. London Math. Society 2***, 43, 544-546. 1937

Turing, Alan M., "Computing Machinery and Intelligence", ***Mind LIX***, 433-460. 1950. Accessed online: June, 02, 2018: https://www.csee.umbc.edu/courses/471/papers/turing.pdf

סמינר קיץ 2018

כנס המורים הארצי

כנס המורים הארצי יתקיים השנה

ביום שני י' ניסן 15.4.19 באוניברסיטת בן גוריון בבאר שבע.

הרשמה ופרטים נוספים – נא לעקוב אחר ההודעות באתר

https://cse.net.technion.ac.il/

המורה הוא לא רק מלמד הוא גם לומד

תמי לפידות

מבוא

זירת ההתרחשות הכיתתית מנותחת בדרך כלל מהזווית של תהליכי הלמידה אותם עוברים התלמידים, אלא שהמורה הנוטל חלק פעיל באותה התרחשות עובר גם הוא תהליכי למידה שונים.

פעילות ההוראה מעמידה בפני המורה הזדמנויות רבות ללמידה. מורה המכין את עצמו להוראת נושא חדש לומד תחילה את הנושא. גם אם עליו ללמד נושא מוכר, יש להניח שישפר את ההבנה שלו במהלך הכנת הנושא להוראה. במהלך ההוראה השוטפת, עומדות בפני המורה הזדמנויות נוספות להתמודדות עם הבנתו את תחום התוכן. למשל, הוא לומד משאלות תלמידיו, מהצעותיהם לפתרון בעיות, ומהצורך למצוא דוגמאות שיבהירו את הנושא לתלמידיו. לכל אלה מתווספת הרפלקציה של המורה, תוך כדי העבודה עם התלמידים ולאחריה. התהליך הרפלקטיבי הזה מביא להעמקה נוספת של הבנת המורה ובעקבותיו לשינוי בהוראה שלו.

בנוסף לכל אלה, המורה לומד להכיר טוב יותר את תלמידיו ואת צרכיהם המיוחדים, את אופן חשיבתם וקשייהם; הוא לומד להכיר טוב יותר את עצמו ואת אופן העבודה שלו; הוא לומד להכיר את המערכות בתוכן הוא מתפקד - הכיתה, בית הספר, הקהילה ומערכת החינוך. דומה שתהליך הלמידה הזה אינו נפסק לעולם. **המורה הוא לא רק מלמֵד, הוא גם לומד**.

לפי בילט (Billett, 2004), בכל מקום עבודה יש איכויות פדגוגיות ופוטנציאל ללמידה עשירה ומשמעותית. כל בעל מקצוע לומד ומשפר את האיכות המקצועית שלו תוך כדי עבודתו, אולם במקרה של מקצוע ההוראה מדובר בהיבט ייחודי כיון שמהות המקצוע מתמקדת בלמידה. אמנם הלמידה הזו מכוונת לתלמידים, אולם למידה לא פחות משמעותית מתרחשת גם בקרב המורים העוסקים במלאכה.

לפי התיאוריה של "צמיחת ידע בהוראה" (Shulman, 1987), עבודת המורה כרוכה בתהליך בן חמישה שלבים: הבנה (comprehension), המרה (transformation), הוראה (teaching), הערכה (evaluation), ורפלקציה (reflection). התהליך הזה, ששולמן מכנה בשם "שכילה פדגוגית" (pedagogical reasoning), לא היה יכול להתבצע אלמלא היה המורה מתפקד גם כלומד בעצמו, שכן במהלכו המורה עוסק באופן פעיל בהיבטים שונים של התכנים אותם הוא מלמד. זו אמנם אינה המטרה הישירה של עבודתו, שכן ההוראה מרוכזת בעיקר בתלמידים ובלמידתם, אולם תוצר לוואי ישיר של עבודת ההוראה היא תהליך הדרגתי וממושך המשפיע על הבנת המורה את תחום התוכן אותו הוא מלמד. כפי שמציינת היימן (2001) "המורה בעצמו בעת ההוראה ודרך ההתנסות הלימודית שלו, לומד את עבודתו ומבנה את הבנתו הפנימית. הוראתו אמנם מכוונת לתלמידיו, אך כמתנסה, ממילא הוא חווה למידה משמעותית".

אם נוסיף להיבט האישי גם את ההיבט החברתי, הרי שנקבל תיאור כולל יותר. המורה אינו מתפקד בחלל הריק שכן הוא עובד עם תלמידים ולפעמים גם עם מורים עמיתים (בחדר המורים, בהשתלמויות, או בפורומים מתוקשבים). דיון משותף עם עמיתים למקצוע על תרגיל בעייתי, פתרון מעניין של תלמיד או התלבטות לגבי הוראת נושא מסוים יכולים להשפיע על הבנת המורה בכל אחד מהתחומים שנזכרו.

מה מייחד את למידת המורה?

מה מייחד את למידת המורה לעומת למידה של אנשים אחרים? מהם המרכיבים בעבודת המורה שמאפשרים את הלמידה שלו? נבחן קטעים מראיון שנערך עם מרינה (פרח הוראה).

במהלך אחד הראיונות עם מרינה, היא ציינה: **"אני התחלתי לחשוב עכשיו מצד של המורה ולא מצד של התלמיד"**. בתשובה לשאלה כיצד חל אצלה השינוי באופן החשיבה ומה המשמעות של "לחשוב כמו מורה" התייחסה מרינה לשלושה גורמים: אחריות, מוכנות, ומודעות. למרות שהעברית שלה כעולה חדשה אינה מושלמת, אפשר ללמוד מדבריה על השינוי באופן החשיבה שלה. שינוי שהיא עברה בעקבות ההתנסות שלה בהוראה. כל אחד מהגורמים שמרינה ציינה משפיע גם על למידת המורה.

הגורם הראשון שמרינה ציינה הייתה **האחריות** של המורה "לא רק לעצמי. אני אחראית על הכיתה הזאת ואני אחראית שמי שירצה יהיה חייב לקבל את מה שמגיע לו. [...] כאן אני נכנסתי ממש למצב רגיל של כיתה שאת עובדת וחייבת להכניס להם את הידע הזה. לא משנה באיזה דרך. עדיף שזה יהיה יותר מעניין, יותר טוב. אבל הבעיה העיקרית שהם ידעו לפתור את הבגרות". מורה לא יכול "להתחמק כי אין לי זכות לזרוק דברים כמו תלמיד, להגיד סתם או להעביר סתם חומר".

גם אם לא מקבלים את תפיסת מרינה, לפיה המורה אחראי ללמידת תלמידיו, הרי שראוי לבחון את עמדתה לפיה לומד "רגיל" אחראי בדרך כלל רק ללמידה של עצמו(*). מורה, לעומת זאת, אחראי (לפי תפיסת מרינה) גם ללמידת תלמידיו ולכן דרגת האחריות שלו גבוהה יותר. האחריות הזו מחייבת את המורה ללמידה משמעותית יותר כיון שהוא נדרש להגיע להבנה טובה ככל האפשר של תחום התוכן.

(*) לפי תפיסתי, כל לומד אחראי בראש ובראשונה ללמידה של עצמו והמורה יכול רק לסייע בתהליך הזה, או כפי שמציין אליוט (Elliott, 1989) ההוראה אינה קובעת מה התלמיד לומד כי אם מקנה לתלמיד הזדמנות לקחת אחריות ללמידתו.

הצורך לספק לכל תלמיד בדיוק את "מה שמגיע לו" מחייב את המורה לשליטה לא רק בתכנים, אלא גם להכיר את הכוח שלהם, את הקשרים ביניהם, ואת הסיבות לשימוש בהם (Even, 1990), ואין לו זכות "להעביר סתם חומר".

הגורם השני שמרינה בחרה לציין היה **המוכנות** שלה כמורה. כי "לא מספיק לדעת את החומר ולא מספיק לדעת איך להעביר את החומר. צריך ממש לחשוב מה יכול לקרות בכיתה, זה תלוי הרבה בתלמידים. אני צריכה להיות מוכנה ל- 30 דרכים שונות".

בניגוד ללומד רגיל, המורה צריך לבחון תסריטים אפשריים בזמן הכנת השיעור. כך, למשל, הוא אינו יכול להסתפק במציאת פתרון אחד לבעיה שיביא בפני הכיתה ועליו לחשוב על "30 פתרונות" נוספים. מציאת פתרונות כאלה מחייבת אותו לחשיבה נוספת על הבעיה, שלא כמו לומד המסתפק בפתרון יחיד. בניית התסריטים האלה מבוססת ברובה על הידע הפדגוגי-תוכני של המורה (Shulman, 1987), אבל היא מעודדת גם העמקה נוספת בלמידת התכנים כיון שחיפוש פתרונות שונים ומגוונים לבעיות מחייב תפיסה רחבה יותר וחשיבה יצירתית שמובילה ללמידה משמעותית (Smith, 1988).

מרינה ציינה בדבריה גם שרמת **המודעות** הנדרשת ממורה היא גבוהה יותר מזו של התלמיד, כי "אני חייבת להסביר לעצמי בשביל מה אני עושה כל דבר. [...] ויש לי הרבה התלבטויות עם עצמי. [...] חייב להיות משהו מאחורי כל מילה שאני אגיד בשיעור וצריך להחזיק משהו כל הזמן בראש".

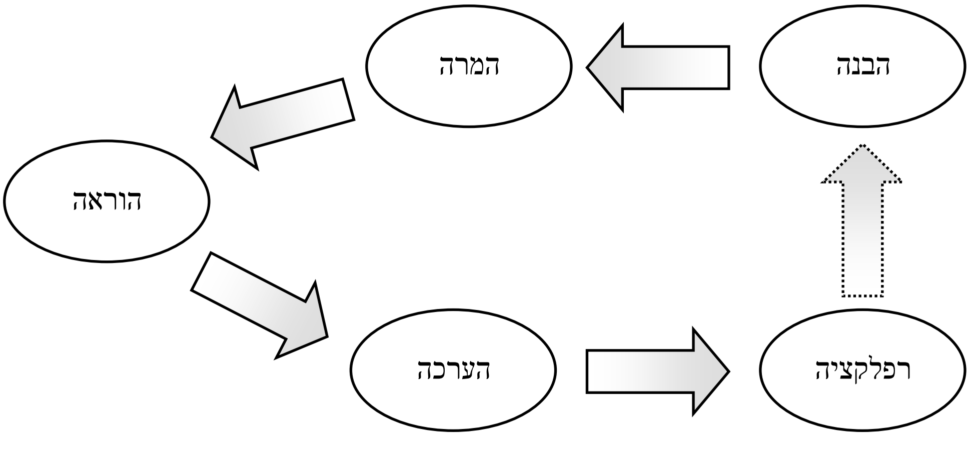
כדי להגביר את רמת המודעות שלו, המורה נזקק לרפלקציה שהיא עצמה מיומנות שעליו לפתח. הרפלקציה "בתוך הפעולה" והרפלקציה "על הפעולה" (Schön, 1983), המלוות את תהליכי קבלת ההחלטות של המורה תורמות ללמידתו כיון שהוא לא רק "יודע את החומר" אלא גם את מה שעומד מאחוריו וגם את ההצדקות להחלטות שהוא קיבל בסופו של דבר.

הציפייה שלנו ממורים מקצועיים היא שיוכלו לקבוע עבור תלמידיהם את האמיתות המקובלות בתחום. אבל עליהם להיות מסוגלים להסביר גם מדוע אמירה מסוימת נכונה, מדוע יש ערך בידיעתה/הבנתה, כיצד היא קשורה לאמירות אחרות, בתוך הדיסציפלינה ומחוץ לה, בתיאוריה ולמעשה. המורה צריך להבין לא רק את העובדות אלא גם את הסיבות ואת הבסיס לנכונותן. יתר על כן, נצפה מהמורה שיבין מדוע נושא מסוים הוא מרכזי בדיסציפלינה ומדוע נושא אחר הוא שולי. כל אלה מחייבים את המורה ללמידה מעמיקה יותר של תחום התוכן.

אם נתבונן בתהליך "השכילה הפדגוגית" (pedagogical reasoning) של שולמן (Shulman, 1987), הרי שכל אחד מהשלבים בתהליך הזה מערב את המורה בלמידה. כדי ללמד משהו, יש צורך **להבינו** תחילה ולשם כך יש ללמוד אותו. שלב ההמרה (כולל הכנה של התכנים להוראה; הצגת התכנים שנבחרו באמצעות דוגמאות, אנלוגיות, מטפורות והמחשות; בחירה של שיטות ההוראה המתאימות ביותר; התאמה של שיטות ההוראה ללומדים ומאפייניהם), העוסק בגישור בין הידע וההבנה של המורה לבין ההבנה ה"מצופה" של הלומד, מחייב את המורה לבחינה מחודשת ומעמיקה של תחום התוכן אותו הוא מתעתד ללמד.

בעקבות שני השלבים הראשונים (הבנה והמרה), מתקבל מערך שיעור ואז ניתן לגשת להוראה עצמה. במהלך ההוראה (במונח "ההוראה" הכוונה היא לכלל ההתנהגויות הנצפות במהלך פעילות ההוראה - ניהול כיתה, יחסי גומלין בין המורה לתלמידיו ובין התלמידים עצמם, התנהגות המורה ושיקוליו במהלך השיעור), מזומנות למורה הזדמנויות למידה רבות מעצם האינטראקציה החברתית שלו עם תלמידיו. תוך כדי ההוראה, המורה חייב גם **להעריך** את תלמידיו ואת תהליך הלמידה שלהם. הכוונה היא גם להערכה בזמן השיעור וגם להערכה פורמאלית יותר באמצעות מבחנים. כמובן שיש חשיבות רבה גם להערכה העצמית של המורה את פעילויותיו ואת הבנתו. תהליך ההערכה מוביל **לרפלקציה** שהיא ניתוח ביקורתי וחשיבה מושכלת על מהלך השיעור. הרפלקציה הזו עומדת במרכזו של תהליך הלמידה של המורה והיא גם זו המובילה להבנה מחודשת של תכני ההוראה. כל אלה ישמשו את המורה במעגל החוזר לקראת הוראתו את הנושא מחדש, כפי שמתואר בתרשים הבא.

תהליך השכילה הפדגוגית (Shulman, 1987)



ההתמקדות בלמידת המורה, מבוססת בעיקרה על התפיסה הקונסטרוקטיביסטית. לפי השקפה זו, למידה מתרחשת כאשר הלומד עוסק באופן פעיל בארגון מחדש של המבנים המנטאליים שלו (Confrey, 1995). הבנייה הזו מחייבת את הלומד להיות "פעיל באיסוף המידע ובארגונו, בעיבודו, בקישורו לידע קודם, במתן פירושים לו, ובהפיכתו ממידע לידע" (סלומון, 2000).

ההגדרות המקובלות בספרות ללמידה או ללמידה פעילה מתייחסות בדרך כלל ללומדים במסגרת "רגילה" (עם תכנית לימודים, מערכת הוראה ומורים) אבל הן רלבנטיות גם לעניינו של המורה. ההתנסויות שחווה כל מורה במהלך עבודתו הן אלה שמביאות אותו לידי מעורבות פעילה ומתמשכת עם התכנים הדיסציפלינאריים אותם הוא מלמד. העיסוק הזה מביא את המורה לארגון ולעידון מחדש של הידע וההבנה שלו בתחום התוכן. בנוסף, האינטראקציה של המורים עם תלמידיהם משמשת כגורם מניע ומדרבן בעידוד תהליכי הלמידה שעוברים אותם מורים ביחס למושגים בתחום התוכן. בהמשך לטענת פי (Pea, 1993) לפיה "אינטליגנציה איננה עניין של בעלות של הפרט, אלא איכות הצומחת מתוך המשא-ומתן הבין-אישי", נראה כיצד תהליך הלמידה הבין-אישי של המורה עם תלמידיו משפיע על האינטליגנציה המקצועית של המורים שהשתתפו במחקר. ההתייחסות ללמידה תהיה כאל **תהליך של יצירת משמעות הנבנית באופן אישי ומועשרת באמצעות אינטראקציה חברתית** (Borasi, 1994).

גם בדברי מרינה ניתן למצוא הדים להשפעת ההתנסות הפעילה. מרינה ציינה כי הפעם הראשונה בה החלה לחשוב כמורה הייתה "אחרי השיעור הראשון שאני הייתי לבד בכיתה". היא ציינה גם ש- "ככל שאני מדברת יותר אני מקבלת יותר" (מתייחס לשיחות שמרינה קיימה לאחר השיעורים עם המורה המאמנת). והאמירה המשכנעת ביותר בהקשר הזה נוגעת למעבר מידע תיאורטי ליישומו בפועל. מרינה טענה כי "ידעתי באופן תיאורטי אבל לא השלכתי על עצמי". רק עבודת ההוראה הפכה את הידע שמרינה רכשה במהלך לימודיה למשהו אישי שכן עד אז היא "ידעה באופן תיאורטי".

בהמשך לגרדנר ובואה-מנסילה (1995), ניתן לחשוב על רוב המרכיבים של עבודת המורה כ"ביצועי הבנה" בהם יש הדגשה על מעורבות הלומד ועל שימוש בדרגות הבנה גבוהות. בניגוד לתקופת לימודיו, שם למד את התכנים כ"לומד בלבד", הרי שכעת עומדת בפניו ההזדמנות ללמידה אחראית, מודעת ומשמעותית יותר.

מודעות לתהליכי למידה

מורים מביעים בדרכים שונות את המודעות שלהם לתהליכי למידה שהם עוברים. המודעות הזו תופסת מקום חשוב בתהליכי למידה כי הלמידה מבוססת על הדרך בה אנו מעבדים את ההתנסויות שלנו ובפרט על הרפלקציה של ההתנסויות האלה (Rogers, 1966). נביא מספר דוגמאות.

במקביל לעבודת ההוראה, רחל מודעת לכך שהיא עוברת בעצמה תהליך למידה. הגורם העיקרי שרחל מציינת כמניע את הלמידה שלה מבוסס על הצורך המקצועי לחפש דרכים להגיע לתלמידיה. המניע הוא לא אישי וההבנה שלה לא עומדת במרכז המאמץ הזה - "זה תהליך שהמורה עובר עם עצמו [...] כל הדברים האלה שאת נתקעת בהם בדרך, הם פותחים לך את ההבנה של עצמך. כי כשאני מחפשת את הדרכים להסביר למי שלא מבין מה קורה אז יש לי חשיבה מלמעלה שגורמת לי להבין באופן טבעי את הדברים יותר לעומק. זה לא שאני לא הבנתי קודם, אבל זה נראה לי כל כך ברור קודם שלא ניסיתי להתעמק יותר מדי במה קורה פה או למה, או איפה הקשיים. עצם זה שאני מתעסקת בזה, לחשוב על הדרך איך להסביר את זה, איך לראות את זה - כל אלה עוזרים לי ואחר כך אני יכולה לנסות ולמקד את עצמי לאותן נקודות שאני יודעת שבהמשך הן יהיו הקשות לתלמידים ומראש לשים עליהן דגש".
לפי המנגנון שרחל מתארת, המטרה שלה היא לסייע לתלמידים שלא הבינו את התכנים בפעם הראשונה. כלומר, היא כבר לימדה בדרך מסוימת שנראתה לה המתאימה ביותר וכעת עליה למצוא דרך חשיבה שונה כדי לסייע גם לתלמידים שלא הבינו. המנגנון הזה מחייב אותה לחשוב על אותו תחום תוכן במספר דרכים שונות (מה שלומד רגיל לא מתבקש בדרך כלל לעשות). רחל טוענת שהמנגנון הזה מפתח אצלה "חשיבה מלמעלה", או במילים אחרות היא נדרשת ליישם מיומנויות קוגניטיביות מתקדמות שיאפשרו לה להתמודד עם התכנים באופן מעמיק יותר. התהליך הזה משפיע הן על ההבנה שלה כמורה והן על תפקודה כבעלת מקצוע. ה"חשיבה מלמעלה" מסייעת לה אמנם למקד את ההוראה בקשיים של תלמידים אבל במקביל מחייבת אותה "לפתוח את ההבנה של עצמה".

גם לאה מצביעה על מודעות ברורה לתהליך הלמידה שהיא עוברת בעקבות ההוראה. באחד הראיונות, ציינה כי "זה מזכיר לי שהתחלתי ללמד פסקל. רק בסוף השנה ארגיש טוב ואוכל ללמד את זה כמו שצריך." לאה יודעת שכל "מחזור הוראה" שלה מסייע לה לשפר את המחזור הבא ולכן גם הקפידה לרשום לעצמה הערות בחוברת הלימוד שיזכירו לה היכן נתקלו התלמידים בקשיים, איזה תרגיל ראוי לתשומת לב מיוחדת, ואיזה הסברים היו מוצלחים יותר מאחרים.

ראוי לציין כי המודעות של לאה ורחל לתהליכי הלמידה שלהן ממוקדת בעיקר ב"למידה הפדגוגית" או בהתפתחות המומחיות שלהן כמורות. אולם כפי שנראה בהמשך, הלמידה שלהן מוצאת ביטוי משמעותי גם בלמידת התוכן הדיסציפלינארי.

גם פרחי הוראה מודעים לתהליכי הלמידה שלהם אבל המודעות הזו הייתה מרוכזת בראש ובראשונה בשאלות ההישרדות שלהם (Fuller, 1973), כפי שנראה במקרה של פאולינה.

בשיחת הרפלקציה לאחר השיעור הראשון שהעבירה פאולינה, שיבחה אותה המורה המאמנת - "לא ראו עליך שהתרגשת. התלמידים לא יכלו לקלוט את ההתרגשות." בתגובה לדברים אלה, אמרה פאולינה:

"אתמול ישבתי אולי 100 פעמים ודיברתי עם עצמי, מה אני צריכה להעביר. בבוקר לא היה לי כבר חשוב מה אגיד. באוטובוס (בדרך לבית הספר) התחלתי שוב לדבר לעצמי בראש. תפסתי את עצמי שאני יודעת כל מילה ופחדתי שאגיד מילה אחרת. אז הפסקתי לדבר לעצמי, אבל זכרתי את השיעור כמו שיר."

מה ניתן ללמוד מהתיאור של פאולינה? ראשית, היא מתייחסת לשיעור כאל הצגה שבה היא משחקת את תפקיד השחקן הראשי. תפיסה זו מעידה על התפקיד שפאולינה נותנת למורה וסותרת במובן מסוים את דבריה שנאמרו בשיחת ההנחייה לפני השיעור הראשון:

"חשוב לי שהתלמידים יעבדו כי אני יודעת שזה הכי טוב. גם כן כשאני לומדת, אם המרצה מדבר, אני עוד לא מבינה טוב. רק אחרי שאני עושה הרבה תרגילים בעצמי, אני מבינה את החומר ואפילו זה לא תמיד עוזר לי".

ההבנה של פאולינה כלומדת (במסגרת לימודיה לתואר אקדמי) שהלומד צריך להיות פעיל כדי לרכוש הבנה, אינה מתורגמת לשיקול "הוראתי" מקביל. היא מאמינה ש"זה הכי טוב" להפעיל את התלמידים, אבל תאור האופן שבו התכוננה לשיעור חושף את הקושי שיש לה כמורה מתחילה לתרגם את ההבנה הזאת לתכנית הוראה.

דבר שני שניתן ללמוד מהתיאור של פאולינה מתאים גם לממצאים אחרים שעלו במהלך המחקר. כמעט כל פרחי ההוראה תיארו כיצד הם "חולמים בראש" או "מריצים את השיעור כמו תכנית מחשב בראש". בנסיון לברר עם פאולינה מה בדיוק היא אמרה לעצמה בראש, התברר שהתלמידים לא לקחו כל חלק בתסריט הזה. כפי שציינה:

"בכלל לא ידעתי מה הם יגידו אז לא יכולתי לחשוב עליהם. לא כל בן אדם עובר אותם קשיים ואני יודעת רק את הדברים שאני עברתי ויכולה לשים דגש רק על זה. בגלל זה יכולתי רק לחשוב על מה שאני אגיד בכיתה".

החשש מן הבלתי נודע, כפי שבא לידי ביטוי בדברי פאולינה (שדיברה עם עצמה 100 פעמים), הוא ברור וקל להסבר בשלב שבו נמצאה לפני השיעור הראשון - שלב העיסוק בעצמי (the self stage) כפי שמכנה אותו פולר (Fuller, 1973).

במטלה הכתובה לאחר השיעור הראשון (ולאחר שיחת הרפלקציה), התייחסה פאולינה להרגשה שלה בעקבות השיעור שהעבירה:

"בשיעור הראשון שמורה מלמד (ראשון בחיים בכלל), לא חשוב מה הוא יגיד. העיקר שהמורה לא צריך לפחד ולדבר על משהו, כי רק כשיהיו לו טעויות, רק אז הוא ידע שהוא צריך לנקוט בצעדים [...] השיעור הראשון של מורה חדש לא תורם הרבה ללמידת תלמידיו. זה יותר חשוב שהוא (המורה) בעצמו ילמד".

פאולינה מתייחסת אמנם ללמידה אבל ההתייחסות שלה היא ל"למידה פדגוגית" (איך ללמד) ולא ללמידת תוכן דיסציפלינארי.

למידה מכוונת

למידה מכוונת מתרחשת כאשר הלומד מציב לעצמו מטרה ברורה של למידת נושא או תחום מסוים. בשלב הזה, הלומד מאבחן את מצב הידע שלו, מודע לכך שחסר לו ידע מסוים, ומתכנן פעולה אקטיבית כדי להשלים את הידע החסר (הכוונה עצמית בלמידה).

הלמידה הזו היא מודעת (conscious) ודומה יותר ללמידה "עצמאית סטנדרטית". כלומר, המורה מתפקד כלומד עצמאי, מחליט על מטרות הלמידה שלו ומנסה להשיגן.

קיימים שלושה שלבים בעבודת המורה בהם מתרחשת למידה מכוונת: שלב ה"הבנה", שלב ה"המרה" ושלב ה"רפלקציה".

למידה מכוונת בשלב ההבנה

לפי שולמן (1987), שלב ה"הבנה" הוא השלב הראשון בתהליך ההוראה. האחריות המקצועית של המורה מחייבת אותו להבין על בוריים את התכנים אותם הוא מתעתד ללמד. כאשר מורה חש שאינו בקיא מספיק בחומר הלימוד שעליו ללמד מתעוררת אצלו מוטיבציה עצמית ללמוד, לחזק ולחדד את הידע וההבנה שלו בתחום. לפי ממצאי המחקר, למידה בשלב ה"הבנה" אופיינית גם למורים מתחילים וגם למורים ותיקים ומומחים.

בניגוד למסגרת למידה רגילה, המספקת ללומד כלי הערכה חיצוניים (תגובות של מורה, מבחנים, ציונים וכדומה), במקרה שלפנינו לא קיימת הערכה חיצונית, והמורה הוא היחיד שיכול לקבוע את רמת הידע שלו ואת הצורך לחזק אותה או להעמיק בה. החלטה כזו יכולה להתבסס על אחריות כללית של המורה להתכונן לשיעור או על הכרה של המורה בחוסר ידע שלו בנושא ספציפי. ארוע כזה היה, לדוגמה, במקרה של חיים (אחד מפרחי ההוראה) שהיה צריך להכין שיעור בנושא "קבצים בסביבת פסקל". חיים לא למד את הנושא הזה לפני כן והיה לו ברור שעליו לחפש מקור ממנו יוכל להשלים את ידיעותיו בנושא. הפתרון של חיים היה לחפש ספר טוב "כי אני לא למדתי את זה אף פעם וידעתי שאני לא יכול להכין את השיעור בלי לעבור על כל ההוראות האלה. אז מצאתי ספר טוב ולפי הספר יכולתי לבנות את השיעור".

הלמידה בשלב ה"הבנה" שונה מלמידה רגילה גם במובן שאין תכנית לימודים שתכוון את הלומד או תציע לו סדר מובנה של לימוד התכנים, אין מורה שיוכל לסייע או להציב פיגומים תומכים (scaffolding), ולפעמים אפילו אין חומרים מסודרים. ניתן לאפיין את הלמידה הזו כלמידה פעילה המלווה באחריות והכוונה עצמית של הלומד.

ההחלטה של מורה להכניס את עצמו ללמידה בשלב ה"הבנה" יכולה לנבוע גם מבעיות שהוא נתקל בהן בשלב ה"המרה". הכוונה היא למצב בו המורה סבור כי הבין את החומר וניגש להכין את התכנים להוראה, אולם תוך כדי ההכנה הזו מתברר לו כי ההבנה שלו אינה שלמה, ולכן הוא "נסוג" במתכוון לשלב ההבנה לפני שיוכל להמשיך בהמרת התכנים להוראה. כך, למשל, היה במקרה של רונית.

רונית הכינה לתלמידים דפי עבודה בנושא "הוראת התנאי case". תוך כדי הכנת הדפים התעורר אצלה ספק לגבי החוקים של ההוראה ולכן היא פנתה לחברה.

"כשהכנתי להם את הדפי עבודה התברר לי שאני לא בטוחה איך זה עובד. ניסיתי לבדוק במחשב אבל לא הייתי בטוחה שאני בודקת את המקרים הנכונים. אחרי שלא הצלחתי לבד אז התקשרתי למאירה. היא לימדה שיעורים פרטיים בשנה שעברה ויש לה יותר ניסיון ממני. היא נתנה לי את הרשימה של כל המקרים ואז יכולתי להכין להם את הדפים כמו שרציתי".

הלמידה בשלב ה"הבנה" היא מכוונת-תוכן כיון שהתכנים הדיסציפלינאריים הם אלה שעומדים במרכז הלמידה של המורים. המקורות בהם נעזרים המורים בלמידה שלהם יכולים להיות ספרים, מדריכים למורה, אתרי אינטרנט, פורומים, צוותי פיתוח, ועמיתים להוראה.

בשלב ה"הבנה" המורה מתמקד אמנם בתכנים הדיסציפילנאריים אבל בפועל הוא מתכונן למפגש הצפוי לו עם התלמידים. ככל שיש למורה הבנה טובה יותר של התלמידים האלה – הוא גם יודע טוב יותר

כיצד להתכונן ומה עליו ללמוד כדי להיות מוכן למפגש הזה. היכולת לצפות שאלות עתידיות של תלמידים משמשת כגורם מדרבן למורה ללמוד את התכנים לעומק. כאשר המורה סבור שהוא הבין את התכנים, הוא יכול לעבור לשלב ההמרה.

למידה מכוונת בשלב ההמרה

בשלב ה"המרה" מתבצע הגישור בין הידע וההבנה של המורה לבין ההבנה ה"מצופה" של הלומד. השלב הזה כולל הכנה של התכנים להוראה; הצגת התכנים שנבחרו באמצעות דוגמאות, אנלוגיות, מטפורות והמחשות; בחירה של שיטות ההוראה המתאימות ביותר; התאמה של שיטות ההוראה ללומדים ומאפייניהם.

מורה שהגיע לשלב הזה סבור כי הוא "מבין" את התכנים וכעת עליו לבצע המרה שלהם לצורך הוראה, כך שיתאימו לתלמידים. ההמרה הזו היא אמנם פדגוגית במהותה אבל עצם העיסוק בהמרה מחייב את המורה לבחון גם את הידע התוכני של עצמו (רפלקציה תוכנית), ואת הידע שלו על הלומדים (מה מתאים להם ואיך).

נציג כעת שתי דוגמאות ללמידת תוכן המתרחשת בשלב ה"המרה". הדוגמה הראשונה לקוחה מאנה (אחת מפרחי ההוראה). הדוגמה ממחישה כיצד ידע תוכני חלקי או לא מספיק יכול לגרום לקשיים בביצוע ההמרה וכיצד ההוראה מסייעת לשפר את הידע החלקי הזה. הדוגמה השנייה לקוחה מרחל וממחישה כיצד "רפלקציה פדגוגית" (רפלקציה שבמרכזה עומדים שיקולים פדגוגיים) גוררת בעקבותיה "רפלקציה תוכנית".

אנה לומדת על פרוצדורות

אנה הכינה שיעור ראשון על פרוצדורות לתלמידי כיתה י"א. בראיון לפני השיעור, אמרה אנה:

"אורית (המורה המאמנת) ביקשה שאכין שיעור על פרוצדורות. חשבתי על זה הרבה בבית ולא נראה לי שיש מה לעשות כל השעתיים (מדובר בשיעור כפול). זה נושא פשוט ומספיק רק לתת להם את התחביר איך כותבים את זה. אפילו אם אני אתן הרבה דוגמאות לא יהיה לי מה לעשות כל הזמן. אז חשבתי שבשיעור השני אני אתחיל איתם כבר פרמטרים".

במהלך השיחה (עדיין לפני השיעור) ולאחר שהמורה המאמנת "כפתה" על אנה לעסוק רק בפרוצדורות, התפתחה שיחה ובה ניסתה אנה לפרט מה פרוש "לדעת או להבין פרוצדורות". אנה העלתה את הנקודות הבאות:

- "פרוצדורה זה תת תכנית.
- פרוצדורה עוזרת לחשוב יותר פשוט, כי כל פרוצדורה זה משימה קטנה, תת משימה ואם יש משימה מסובכת אז מחלקים לתת משימות.
- צריך להבין את התחביר של פרוצדורות ואיך קוראים להן ואיפה כותבים את זה בתכנית.
- פרוצדורה בתוך פרוצדורה. נכון שלא צריך את זה תמיד אבל יש אפשרות כזאת.

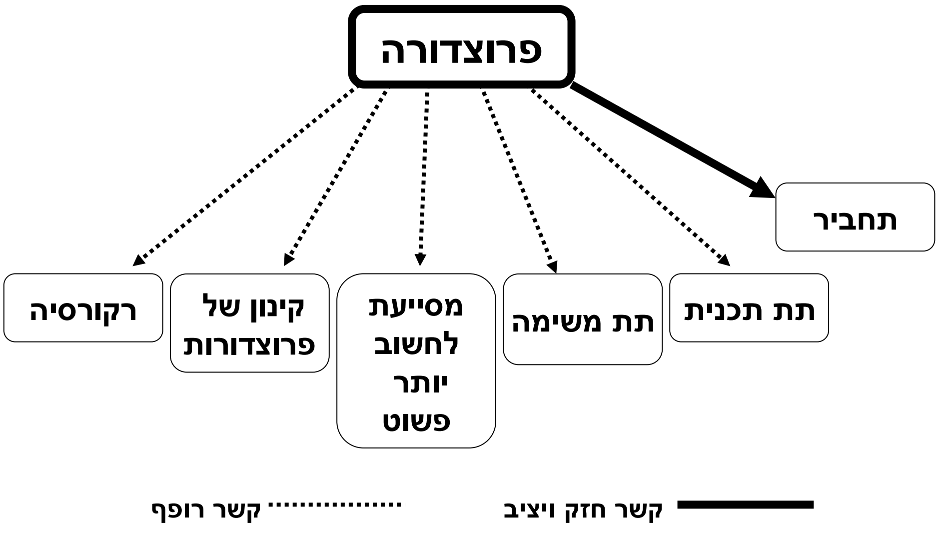
אוי, יש יותר מדי שאלות שלא חשבתי עליהן. יש גם רקורסיה."

אנה ניגשה להכנת השיעור מתוך הנחה שהיא מכירה היטב את תחום התוכן. כשהיא "חשבה על זה הרבה בבית" החשיבה שלה הייתה ממוקדת רק בהמרה של נושא הפרוצדורות להוראה. ההנחה שלה ש"זה נושא פשוט" לא אפשרה לה לבנות שיעור של שעתיים, שכן היא סברה שמספיק לתת לתלמידים את התחביר. התחושה הזו, ש"אין מה ללמד" מבוססת, בין היתר, על חוסר ההכרות שלה עם קשיים צפויים בלמידת המושג אצל התלמידים וכן על חוסר ההכרות שלה עם חוכמת הניסיון של הוראת מושג הפרוצדורה. אבל מעבר לכל אלה, לא ניתן להתעלם מהתפיסה התוכנית של אנה את המושג אותו היא אמורה ללמד.

כדי להבין תוכן דיסציפלינארי לעומקו, לא די בידיעת העובדות והמושגים של התחום ויש צורך גם בהבנת המבנים הסובסטנטיביים והסינטקטיים של התחום במובן שהוגדר ע"י שוואב (1974). במקרה שלפנינו, הבנת המושג "פרוצדורה" כוללת הרבה מעבר לתחביר של הגדרת פרוצדורות חדשות. המרכזיות שלהן בדיסציפלינה נובעת מתרומתן לתהליך הפיתוח של הפתרון כתהליך של עידון הדרגתי ומודולארי, מהאפשרות לבצע בעזרתן הפשטה בצורה יותר נוחה, ומתרומתן לקבלת תוצר קריא וברור יותר, נוח לניפוי שגיאות והכנסת שינויים בעתיד. למידת המושג "פרוצדורה" חייבת לכלול את כל אלה גם ברמת בית הספר התיכון.

ניתוח המקרה של אנה מעלה שיש לה מפת מושגים "מנותקת" של מושג הפרוצדורה. כשהתבקשה לפרט מה פרוש "לדעת פרוצדורות" היא ידעה לציין נושאים מרכזיים וחשובים שקשורים למושג הפרוצדורה (למשל, "פרוצדורה עוזרת לחשוב יותר פשוט"). העובדה הזו מצביעה על כך שהיא מכירה את הנושאים האלה. אבל העובדה שהיא לא הצליחה לחשוב על התכנים האלה כרלבנטיים להוראת נושא הפרוצדורות יכולה להצביע על ידע "סבילי" (inert knowledge) במונחים של פרקינס ומרטין (Perkins & Martin, 1986). כלומר, הידע קיים אצלה אבל היא לא מצליחה ל"שלוף" אותו לשימוש ברגע המתאים. לפי המודל של פרקינס ומרטין (שם), הידע ה"סבילי" הזה הוא אחד מהביטויים לידע השברירי (fragile knowledge) של אנה. ניתן גם לתאר את מפת המושג "פרוצדורה" אצל אנה כמפה עם קשרים רופפים או חלשים, כמו בתרשים המצורף.

מפת המושג "פרוצדורה" אצל אנה



הטענה בדבר הידע השברירי של אנה מקבלת חיזוק גם משתי עדויות נוספות הלקוחות מדברי הסיכום שלה לשיעור שהעבירה ומהראיון שהתקיים לאחר השיעור הזה.

במהלך השיעור, סיכמה אנה את הנושא החדש לתלמידים ואמרה: "פרוצדורה זה תת תכנית שעושה פעולה מסוימת בתוך התכנית וכותבים אותה בין המשתנים לתכנית הראשית. זה מה שלמדנו היום". (וכך הסתיים השיעור).

ואילו בראיון לאחר השיעור אמרה אנה:

נשאר לי בסוף יותר מדי זמן (כרבע שעה) והייתי צריכה לדבר גם על מה נותנת לנו פרוצדורה בכלל - הירכיה. אבל לא התכוננתי לזה ולא היה לי רעיון איך לעשות את זה. זה לא קל להסביר למה צריך היררכיה ואפילו עכשיו אני לא יודעת איך למצוא לזה דוגמה. בכלל, זה מצחיק שבהתחלה חשבתי שאין מה לעשות עם פרוצדורות. חשבתי שמספיק רבע שעה ואחר כך נעשה פרמטרים.

הידע השברירי של אנה בנוגע למושג הפרוצדורה לא רק הפריע לה לבצע המרה מוצלחת להוראת הנושא אלא פגם גם בשיעור שהעבירה לתלמידים.

הדגש העיקרי בשיעור של אנה היה על ההיבטים התחביריים והטכניים (איפה מגדירים, איך כותבים), כפי שבא לידי ביטוי גם בדברי הסיכום שלה לשיעור. היא אפילו לא ניצלה את העובדה שהתכנית נבנתה בקבוצות (אנה חילקה את הכיתה לקבוצות שכל אחת מהן בנתה חלק אחר מהתכנית שנתפרה ביחד על הלוח) ולא עסקה ביתרון של ניצול "כוח הביטוי" של פרוצדורות לשם חלוקת העבודה בין מתכנתים שונים. התופעה הזו של מתן דגש טכני מתועדת גם אצל שפרירי (1992).

בשלב הרפלקציה ניתן לראות התקדמות מסוימת בלמידה של אנה את מושג הפרוצדורה. היא מודה שהיה מקום לעסוק בהיררכיה ומודעת לחשיבות של הנושא הזה בהקשר לפרוצדורות. יחד עם זאת, הידע שלה עדיין לא מאפשר לה "לשלוף" דוגמה מתאימה והיא מודה ש"אפילו עכשיו אני לא יודעת" כיצד לעשות זאת. האמירות שלה יכולות לרמז על חיזוק הקשרים במפה המושגית של פרוצדורה ובעקבותיו תחילתה של למידה משמעותית שתאפשר לה לעבור מהוראה "אינסטרומנטאלית" להוראה "רלאציונית" (Skemp, 1976).

ראוי לציין שבמהלך השיעור אנה למדה הרבה על לומדים בכלל ועל קשיי למידה בנושא הפרוצדורות בפרט. היא גם למדה להכיר טוב יותר את הדינאמיקה בכיתה (בזמן העבודה בקבוצות) וכיצד להשתמש במשאבי ההוראה העומדים לרשותה (גירים צבעוניים, מטול שקפים, מחשב להדגמה). באופן כללי ניתן לומר שהשיעור, כולל תהליך הכנתו והרפלקציה בעקבותיו, הכריח את אנה לחשוב מחדש על נושא שהיה לה מוכר מלימודיה האקדמאים. הצורך למצוא דוגמאות, לספק הסברים ולהמחיש "מה נותנת לנו פרוצדורה בכלל" לא התעורר אצלה כסטודנטית מן המניין אלא רק בשלב שבו היה עליה ללמד את הנושא ולהיות מעורבת בהתנסות פעילה עם התכנים.

רחל לומדת בשלב ההמרה

למידה בשלב ה"המרה" אינה מאפיינת רק פרחי הוראה. היא מתרחשת גם אצל מורים מומחים. כך, למשל, היה במקרה של רחל. באחד הראיונות היא העלתה בעיה שקשורה לארגון תכנית הלימודים. הדוגמה הזו ממחישה כיצד "רפלקציה פדגוגית" (רפלקציה שבמרכזה עומדים שיקולים פדגוגיים) גוררת בעקבותיה "רפלקציה תוכנית" ולכן גם משפיעה על למידת התוכן אצל המורה.

להלן הראיון עם רחל, בו העלתה את הנושא:

רחל: תשמעי, חסר לי משהו בפרק 2. יש שם קפיצת מדרגה שמוכרחים למצוא לה פתרון. כל התרגילים שהם פותרים בפרק 2 הם ברמה של פונקציה אחת. ואז כשהם מגיעים לפרויקט, הם לא יודעים מה לעשות כי אף פעם לא כתבו יותר מפונקציה אחת ופתאום יש להם הרבה. הם לא יודעים איך לחבר אותם ובכלל לא יודעים איך לגשת לזה. אז אני מחפשת תרגילים שיהיה אפשר לתת להם בפרק 2 ויכריחו אותם לעשות הבנייה. כל מיני בעיות כאלה שהפתרון שלהן יחייב אותם לכתוב יותר מפונקציה אחת ולחבר אותן איכשהו.

ח: זה רעיון מצוין. איך באמת מוצאים בעיות כאלה?

רחל: אני חשבתי על זה הרבה. בעצם מה שצריך לעשות זה להכריח אותם להעביר פרמטר לפונקציה אחרת כי אי אפשר להשתמש בו בפונקציה הראשונה.

ח: למה את מתכוונת?

רחל: למשל, אם נגריל מספר אקראי אבל הם לא יוכלו להשתמש בו בפונקציה כי מותר להגריל רק פעם אחת. אז הם יהיו חייבים לבנות שתי פונקציות ולחבר אותן דרך הפרמטר.

ח: ויש לך רעיון לבעיה כזו?

רחל: אני צריכה לחשוב על זה.

אחרי כשבוע הצליחה רחל למצוא בעיה מתאימה. הבעיה הזו הובילה לבעיות נוספות ורחל יצרה סידרה של משימות לימודיות שהועמדו לרשות כל המורים המלמדים את יחידת הלימוד.

הדוגמה שהבאנו ממחישה שלצורך המרה מוצלחת (חיפוש משימות לימודיות שיכריחו תלמידים לעבוד עם מספר פונקציות ולקשר ביניהן), המורה חייב לבחון את הידע התוכני שלו ולכן זוהי "רפלקציה תוכנית" הממוקדת בתחום התוכן. רחל התבססה גם על הידע שלה על הלומדים (מה חסר בתכנית הלימודים כדי למנוע את קפיצת המדרגה). עצם העובדה שרחל הצליחה למצוא דוגמה מתאימה ואפילו סידרה שלמה של בעיות מהסוג הזה מצביעה גם על דרגת המומחיות שלה. רחל ראויה בהחלט להיות מדורגת בשלב ה"מומחיות" (expert) של ברלינר (Berliner, 1994). אך גם בשלב הזה היא ממשיכה ללמוד מחוכמת הניסיון ולשפר את הידע התוכני שלה.

למידה בשלב הרפלקציה

השלב השלישי בו נמצאו במחקר ממצאים ללמידה מכוונת הוא שלב ה"רפלקציה". לפי מודל ה"שכילה הפדגוגית" של שולמן (Shulman, 1987), הרפלקציה עומדת במרכזו של תהליך הלמידה של המורה והיא גם זו המובילה להבנה מחודשת של תכני ההוראה.
בדוגמה הבאה נראה שפרחי הוראה יכולים ללמוד בעקבות הרפלקציה שלהם על הוראתם, למרות שבספרות מדווח על קשיים של מורים מתחילים לבצע חשיבה רפלקטיבית יעילה. זו דוגמה שלקוחה מהמקרה של רונית ומדגימה את הגורמים המניעים את הרפלקציה ואת למידת התוכן שבאה בעקבותיה.

רונית לומדת בשלב הרפלקציה

נתחיל מתיאור האירוע.
רונית (אחת מפרחי ההוראה) לימדה בכיתה י' שיעור ראשון על הוראת התנאי IF בסביבת פסקל. זו הוראה שמאפשרת לבחור בין דרכי פעולה שונות בהתאם לתנאי מסוים. למשל, ההוראה הבאה תדפיס positive אם המספר number הוא חיובי.

```
if number > 0 then writeln ('positive');
```

במהלך החלק הראשון של השיעור, רונית הציגה לכיתה בעיה: "חייזר מגיע לכדור הארץ ורוצים ללמד אותו את חוקי התנועה". רונית התחילה לבנות יחד עם התלמידים תכנית שקולטת את צבע הרמזור (אדום, צהוב או ירוק) ומדפיסה הוראה מתאימה (עצור, התכונן, עבור בהתאמה). היא הספיקה לרשום על הלוח את ההוראות הבאות:

```
Writeln ('Please give a color');
Readln (color);
If color = red then writeln ('stop');
```

הצלצול להפסקה קטע את בניית התכנית ורונית החליטה לא לסיים את התכנית. בשיעור העוקב התלמידים עברו למעבדת המחשבים ועבדו עם דפי עבודה שרונית הכינה להם קודם לכן. בדפים האלה לא הייתה התייחסות לבעיית החייזר שרונית העלתה בשיעור הראשון.
אחד התלמידים (אבי) החליט ביוזמתו לנסות לסיים את התכנית ולהריץ אותה.

אבי כתב את התכנית הבאה וקרא לרונית: "אני מריץ את זה ולא יוצא כלום".

```
Program Ramzor;
Var  red, yellow, green, color : string [250];
Begin
        Writeln ('Please give a color');
        Readln (color);
        If color = red then writeln ('stop');
        If color = yellow
                then writeln ('get ready');
        If color = green then writeln ('go');
End.
```

רונית מבקשת מהתלמיד להריץ את התכנית פעם נוספת ואכן לא מודפסת על המסך כל הודעה.
רונית התבוננה ארוכות בתכנית ואחרי כשש דקות קראה למורה המאמנת (אסתר) כדי שהיא תסייע לתלמידים. רונית עצמה לא נשארה להקשיב להסברים של אסתר וניגשה לתלמידים אחרים שקראו לה.

עד כאן תאור הארוע. לפני שנבחן אותו, נסביר את הבעיה בתכנית של אבי.

> בתכנית Ramzor מוגדרים ארבעה משתנים ששמותיהם red, yellow, green, color וכולם מטיפוס מחרוזת. כלומר, הם יוכלו לקבל במהלך התכנית אך ורק ערכים שהם מחרוזות. מחרוזת בפסקל מוגדרת כרצף תווים החסום על ידי גרש משני קצותיו. למשל, 'have a nice day' היא מחרוזת.
>
> התכנית אמורה לקלוט צבע, כלומר מחרוזת מהסוג 'red' או 'green' ולהדפיס הוראת התנהגות מתאימה.
>
> אולם הוראת התנאי שכתב אבי בודקת את הערכים שנמצאים בשני משתנים, למשל color ו- red ואינה בודקת האם הקלט שנמצא במשתנה color שווה בערכו למחרוזת 'red'. (מאחר שערך ברירת המחדל של משתני מחרוזת בפסקל הוא המחרוזת הריקה, כל ההשוואות בפסוקי ה-if נכשלות, ולא מודפס כלום.)

חשוב לציין כי הטעות של התלמיד הייתה מבוססת על הדוגמה השגויה שרונית התחילה לרשום על הלוח בחלק הראשון של השיעור.

מדובר בשגיאה אלגוריתמית שכן התכנית שהתקבלה ערכה בדיקה שונה לחלוטין מזו שהייתה אמורה לבדוק. התלמיד לא היה אמור להגדיר משתנים עבור כל צבע אלא לקלוט את הצבע כקלט. התכנית המתאימה תהיה:

```
Program Ramzor;
Var  color : string [10];
Begin
        Writeln (‘Please give a color’);
        Readln (color);
        If color = 'red' then writeln (‘stop’);
        If color = 'yellow'
            then writeln (‘get ready’);
        If color = 'green' then writeln (‘go’);
End.
```

בשיחת הרפלקציה שהתקיימה מיד לאחר סיום השיעור, העלתה רונית מיוזמתה את המקרה של אבי:

רונית: היה לי בשיעור קטע מאד מביך כי תלמיד אחד התעקש לעשות את כל התכנית על הרמזור. הוא רצה להשתמש ב- red, green ו- yellow. עכשיו מה שקרה זה שהוא באמת הגדיר משתנים. את כל המשתנים הוא עשה בתור string (טיפוס מחרוזת). הוא עשה עוד איזה משתנה ורצה להכניס לתוכו את ה- red (רונית מתכוונת לנתון שהתכנית הייתה אמורה לקלוט). אבל זה לא עבד לו והוא קרא לי. אז הסתכלתי שם בתכנית ולא נכנס לי לראש מה צריך לעשות שם. וכל הזמן אני יושבת שם, רוצה לפתור ולא מבינה מה לא בסדר. זה דבר שאני אמורה לדעת ואמורה לחשוב עליו אבל אני לא קולטת מה קורה בתכנית שלו. אז קראתי לאסתר (המורה המאמנת) והיא הסבירה להם. אבל לי זה היה מאד מביך.

ח: אמרת שזה היה קטע מביך. את יכולה להסביר ממה נבעה המבוכה הזו?

רונית: גם בגלל התלמידים וגם בגללי, שאני לא הצלחתי. עצם זה שלא יכולתי לפתור להם את הבעיה.

זה לא היה משהו מאד מסובך. אבל אני עומדת שם ואני אומרת לעצמי איך זה יכול להיות שזה עובד ואין הודעת שגיאה או משהו כזה? זה היה לי קטע מאד מביך. גם מאכזב. איך אני הצלחתי לאכזב את עצמי וגם איך שאני נראית מול התלמידים.

ח: אז בואי נבין מה באמת קרה שם. התלמידים מריצים את התכנית, נותנים איזשהו נתון אבל התכנית לא מדפיסה כלום. למה זה לא מדפיס כלום?

רונית: תני לי רגע לראות. (מסתכלת על התכנית ואחרי כדקה קופצת) בגלל שזה תוכן, פה יש איזשהו תוכן שזה מקום בזיכרון ופה יש איזשהו תוכן. זה מקום בזיכרון וזה מקום בזיכרון, סתם אין בזה כלום, כל מיני garbage, זה לא שווה והתנאי לא מתקיים. ה- red צריך להיות במירכאות ולא משתנה.

ח: נכון, את צודקת. אז מה קרה בזמן השיעור? לא ראית את זה?

רונית: זה נראה לי עניין של הבנה שפתאום השתבש לי בראש. אני חושבת שזה יכול לקרות אבל לא צריך לקרות כי זה משהו מאד טריביאלי. זאת אומרת מה פתאום אני משווה בין שני מקומות בזיכרון ולא בין התוכן של מקום, של משתנה בתוכן.

רונית לא הצליחה לעמוד על הבעיה בתכנית של אבי תוך כדי השיעור. הראיון שלאחר השיעור מוכיח שהידע היה קיים אצלה אבל הוא לא היה נגיש בזמן השיעור. יחד עם זאת, הארוע הזה היה מספיק "מביך" ו"מאכזב" כדי ליצור אצלה מוטיבציה ללמוד את התכנית של אבי ולפענח את הבעייתיות שלה. גם אם לא הייתה מתקיימת שיחת רפלקציה, די ברור

שרונית הייתה הולכת הביתה, ממשיכה לחשוב על הבעיה ומוצאת פתרון (ואולי גם מגיעה איתו לשיעור הבא ומתקנת את הטעות שלה על הלוח).

האירוע שתואר וגרם לרונית מבוכה מתאים לשלב הראשון מבין חמישה שלבי החשיבה הביקורתית (critical thinking) של גאריסון (Garrison, 1992). הוא מכנה את השלב הזה "זיהוי הבעיה" (*problem identification*) והכוונה היא לאירוע מסוים המעורר את ההתעניינות בבעיה:

"[...] a triggering event arouses interest in a problem".

למידה בלתי מכוונת

נעבור כעת ללמידה בלתי מכוונת. למידה בלתי מכוונת מתרחשת כאשר הלומד אינו מתכוון ללמוד אלא מעסיק את עצמו בפעילות שונה. ממצאי המחקר מצביעים שעיקר הלמידה הזו מתרחשת בשלב ה"הוראה". הכוונה היא לכלל ההתנהגויות הנצפות במהלך פעילות ההוראה - ניהול כיתה, יחסי גומלין בין המורה לתלמידיו ובין התלמידים עצמם, התנהגות המורה ושיקוליו במהלך השיעור.

נציג שני אירועי למידה שהתרחשו בשלב ה"הוראה" ומצביעים על מאפייניה של למידת התוכן הבלתי מכוונת בשלב הזה. הדוגמה הראשונה לקוחה מהמקרה של חיים וממחישה כיצד שאלה בלתי צפויה של תלמידה מניעה את חיים למעבר מחשיבה יישומית (שימוש בכלל אצבע) לחשיבה קישורית.

הדוגמה השנייה לקוחה מהמקרה של פאולינה וממחישה כיצד פאולינה מחמיצה הזדמנות למידה. הדוגמה הזו ממחישה גם את הגורמים המעכבים למידת תוכן משמעותית אצל פרחי הוראה עקב החשש שלהם מהאינטראקציה עם התלמידים.

בניגוד לתפיסה של פאולינה לפיה המורה משמש כשחקן יחיד, זירת ההתרחשות הכיתתית מזמנת התרחשויות חברתיות המבוססות על האינטראקציה בין התלמידים ועל האינטראקציה שלהם עם המורה. ההתרחשויות האלה תורמות ללא ספק למורכבות של מקצוע ההוראה, כפי שמציין שולמן (Shulman, 2000),

> When you start inviting students to speak, the complexity rises and the unpredictability increases.

אולם באותו הזמן, יש לאינטראקציה הזו תרומה משמעותית גם ללמידה של המורה עצמו.

חיים בשלב ההוראה

במהלך שיעור שהעביר חיים על הנושא "פרמטרים", שאלה אחת התלמידות מדוע צריך פרמטרים ולא יכולים להסתפק במשתנים גלובליים (בהקשר לדוגמה ספציפית שנדונה בשיעור). בזמן השיעור חיים התחמק מהשאלה ובראיון לאחר השיעור אמר:

> "לא חשבתי על זה עד שויקי (התלמידה) שאלה. בקורס מת"מ בטכניון נתנו לנו כלל אצבע שאם משהו מופיע יותר מפעם אחת והוא דומה אז צריך פרוצדורות עם פרמטרים. היה לי ברור מהטכניון שיש כלל אצבע אבל בעצם לא שמתי לב שבכלל אפשר לעשות את זה עם משתנים גלובליים. בעצם לא חשבתי למה צריך פרמטרים ולא מספיק להשתמש רק בפרוצדורות או פונקציות. אולי אמרו לנו אבל עובדה שזה לא נטמע."

כמו במקרה של אנה, גם כאן נחשפת מפה מושגית עם קשרים רופפים. הפעם מדובר במושג "פרמטר" ובקשרים בינו ל"משתנים גלובליים". הרפלקציה של חיים בעקבות שאלת התלמידה הביאה אותו לתחילת התהליך של חיזוק הקשרים האלה. כל עוד תיפקד כ"תלמיד", הוא הסתפק בכללי אצבע שאיפשרו לו להשתמש בכלים העומדים לרשותו. אולם כמורה, שצריך להתמודד עם שאלות תלמידיו, יהיה עליו למצוא הסברים מספקים יותר, הן לעצמו והן לתלמידיו. לשם כך יהיה עליו להבין את הקשרים בין המושגים, את הייחוד של כל אחד מהם מבחינת כוח הביטוי ואת מקומם ככלים מרכזיים במדעי המחשב.

פאולינה מחמיצה הזדמנות למידה

גם הדוגמה הזו התרחשה בעקבות ה"הוראה", אבל היא ממחישה כיצד החששות המקצועיים של פאולינה יכולים לחסום או למנוע למידת תוכן משמעותית.

פאולינה (אחת מפרחי ההוראה) העבירה שיעור ראשון לתלמידי כיתה י"א על מערך חד-ממדי.

> בשפת פסקל (אותה למדו בכיתה בה העבירה פאולינה את השיעור), מקובל לטפל במערכים בעלי איברים מטיפוס דומה (למשל, רק מספרים שלמים).
>
> השיעור של פאולינה הוקדש למערך חד-ממדי.
>
> המערך A הוא מערך חד-ממדי בעל 6 איברים, שכולם מספרים שלמים.
>
> כדי לגשת, למשל, לאיבר השני במערך הזה, נשתמש בפסקל בביטוי A [2].
>
> | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
> |---|---|---|---|---|---|---|
> | A | 10 | 20 | -12 | 2004 | -999 | 600 |
>
> כאשר רוצים לעבור על כל האיברים של המערך מקובל להשתמש בלולאת מונה מהסוג הבא:
>
> for inex:=1 to n do writeln (A [index])
>
> הלולאה הזו מדפיסה את כל איברי המערך A לפי סדר הופעתם במערך.

המשימה אותה הציגה פאולינה לתלמידים עסקה בכתיבת תכנית טוטו. התכנית היתה צריכה לקלוט 14 ניחושים של משחקי כדורגל (1, X, או 2) ו- 14 תוצאות אמיתיות של המשחקים האלה. התכנית היתה אמורה לחשב ולהדפיס כמה ניחושים היו נכונים (זהים לתוצאות האמיתיות של המשחקים).

בשלב הראשון, התלמידים התבקשו לפתור את המשימה בעזרת הכלים המוכרים להם (כלומר, ללא מערכים).

לאחר שרוב התלמידים סיימו את המשימה, שאלה אותם פאולינה בכמה משתנים הם השתמשו.

תלמידים (שונים) הציעו תשובות: 28 , בין 28 ל- 35 , 16.

תלמיד אחד הציע (בקול חזק): 14 משחקים, 14 ניחושים, וסכום.

פאולינה קיבלה את ההצעה שלו, התעלמה מההצעות האחרות והמשיכה בשיעור.

לאחר סיום השיעור, התלמיד שהציע שימוש ב- 16 משתנים (יכונה להלן בשם רונן) עיכב את פאולינה בדרכה החוצה ושל: "אני לא מבין למה הפתרון שלי לא נכון. אני אמרתי שצריך 16 משתנים כי יש 14 תוצאות של 14 משחקים, עוד משתנה אחד יהיה לניחוש שנבדוק אותו בכל פעם עם התוצאה המתאימה, ויהיה צריך עוד מונה אחד. אז סך הכל זה 16 משתנים. מה לא נכון בפתרון הזה?".

פאולינה: "אבל יהיו חסרים לך משתנים".

רונן: "אבל למה?"

פאולינה מתקשה לענות ואחרי זמן מה עונה: "אני צריכה ללכת עכשיו אז נדבר על זה בשיעור הבא".

מיד בתחילת הראיון לאחר השיעור פאולינה התייחסה לשיחה הזו:

פאולינה: שמעת את התלמיד הזה עם ה- 16 משתנים? איך אני אשכנע אותו שהוא לא צודק?

חוקרת: איך תשכנעי אותו באמת? מה הבעייה בהצעה שלו?

פאולינה: אני לא מבינה איך אפשר רק משתנה אחד לניחוש. זה לא יעבוד

חוקרת: אולי תנסי להבין למה הוא התכוון? בואי תנסי לכתוב תכנית כמו שהוא הציע.

פאולינה: (מנסה ולא מצליחה. אחרי כחמש דקות היא מודיעה:) זה לא יעבוד.

אנה (בת הזוג שלה להתנסות בהוראה) מתחילה לכתוב:

```
read (guess); if guess = game1 then count:=count+1;
```

פאולינה: (מתפרצת) אבל זה לא טוב כי ב- guess יהיה בכל פעם משהו אחר.

אנה: חכי רגע. תני לי לכתוב את הכל. (ממשיכה לכתוב)

```
read (guess); if guess = game2 then count:=count+1;
:
:
read (guess); if guess = game14 then count:=count+1;
```

פאולינה: אוי, בכלל לא חשבתי שאפשר לעשות פתרון כזה. את רואה למה אני מפחדת? (פונה לחוקרת) כי יש להם תשובות שאני לא יכולה לחשוב עליהם בבית ובשיעור אני לא מצליחה להבין אותם. מה אני אעשה אם יהיה לי עוד פעם דבר כזה בשיעור הבא?

מה ניתן ללמוד מהאירוע הזה ומדוע הוא נכלל בקטגוריה של "למידה בלתי מכוונת"?

כאשר פאולינה התכוננה לשיעור, היא חשבה על פתרון מסוים שגם התאים לצרכים שלה בהצגת המשימה. הפתרון שחשבה עליו היה (לקוח מדפי ההכנה שלה לשיעור)

```
read (guess1); if guess1=game1 then
count:=count+1;
read (guess2); if guess2=game2 then
count:=count+1;
.
.
.
read (guess14); if guess14 = game14
then count:=count+1;
```

הפתרון הזה התאים לפאולינה כיון שהמעבר ממנו לייצוג בעזרת מערכים חד-ממדיים הוא כמעט מיידי.

```
for index:=1 to 14
begin
        read (guess [index]);
        if guess [index] = game
[index] then count:=count+1;
end;
```

בלולאה הזו יש שימוש בשני מערכים חד-ממדיים. מערך game מכיל את 14 התוצאות האמיתיות של המשחקים (תוצאת המשחק הראשון, תוצאת המשחק השני וכן הלאה) ומערך guess מכיל את 14 הניחושים המקבילים. המשתנה count הוא מונה שבעזרתו סופרים את מספר הניחושים הנכונים.

אבל רונן חשב על פתרון אחר (ונכון!) שפאולינה לא חשבה עליו. כמורה טרייה, הסיטואציה הזו הובילה אותה להרמת ידיים אבל אילו היתה מורה ותיקה יותר, זו הייתה יכולה להיות הזדמנות למידה גם בתחום התוכן (הכרות עם פתרון חדש שלא חשבה עליו), וגם בתחום הידע התוכני-פדגוגי: פאולינה יכלה ללמוד שהמוטיבציה להתחלת ההוראה של מערך חד ממדי צריכה להיות שונה או שצריך לקחת בחשבון שיש לבעית ה"טוטו" פתרון גם ללא מערך ולהציג את הפתרון השני כ"אלגנטי" יותר (ובכך גם יתרונו בבעיה הנוכחית).

הדוגמה הזו ממחישה גם את הגורמים המעכבים למידת תוכן משמעותית אצל פרחי הוראה עקב החשש שלהם מהאינטראקציה עם התלמידים. פאולינה, שהתחילה את ההתנסות שלה בהוראה עם חששות כבדים נמצאת בשלב "העיסוק בעצמי" (Fuller, 1973), ולכן הפחד שלה חסם למידה מהסוג "יכולים להיות תמיד פתרונות שאני לא יכולה לחשוב עליהם ולכן אני צריכה להיות יותר קשובה לתלמידים שלי <u>וללמוד מהם</u> או ביחד איתם". לא נותר אלא לקוות שבמהלך ההתנסות שלה בהוראה היא תשתחרר מהשלב הזה ותוכל להתקדם מבחינה אישית ומקצועית.

רשימת מקורות

גרדנר, ה., בואה-מנסילה, ו. (1995). הוראה להבנה בדיסציפלינות - ומעבר להן. הרפז (עורך), *חינוך החשיבה*. מכון ברנקו וייס, ירושלים. עלון 4, עמודים 14-24 (תרגום לעברית).

היימן, ר. (2001). *תכנון, הפעלה והערכה של השתלמות בית ספרית במתכונת מחקר פעולה שיתופי, מודל לפיתוח צוות מקצועי בבית הספר*. מופיע ברשת בכתובת http://web.macam98.ac.il/~olzang/sv/action/ravital/toc.htm

סלומון, ג. (2000). *טכנולוגיה וחינוך בעידן המידע*. אוניברסיטת חיפה/זמורה-ביתן.

שוואב, ג. ג'. (1974). מבנה הדיסציפלינות, משמעויותיו וחשיבותו. נוסבוים, י. (עורך). *גישות פילוסופיות ופסיכולוגיות בהוראת המדעים. מספרות החינוך, קבצי מאמרים מתורגמים, קובץ ט'*. בית הספר לחינוך של האוניברסיטה העברית בירושלים ומשרד החינוך.

שפרירי, נ. (1992). *קשרי גומלין במערכת ההתנהגויות הפרקטיות של המורה: זיקות בין מרכיבי "בסיס הידע הפרקטי האישי" של מורים המלמדים לוגו בכיתות יסוד*. חיבור לתואר דוקטור, אוניברסיטת ת"א.

Pea, R.D. (1993). Practices of distributed intelligence and designs for education. G. Salomon (Ed.), *Distributed cognitions. Psychological and educational considerations*. NY: Cambridge University Press, pp. 47-87.

Perkins, D.N. and Martin, F. (1986). Fragile knowledge and neglected strategies in novice programmers. In Soloway E. and Iyengar S. (eds.), *Empirical Studies of Programmers*. Norwood, NJ: Ablex Publishing Co., pp. 213-229.

Shulman, L.S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*. 57 (1), pp. 1-22.

Shulman, L. S. (2000). Teacher development: Roles of domain expertise and pedagogical knowledge. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 21(1), pp. 129–135.

Schön, D. (1983). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. New York: Basic Books.

Skemp, R.R. (1976). Rational understanding and instrumental understanding. *Mathematics teaching*, 77, pp. 20-26.

Smith, D.A. (1988). *A minimalist approach to computer use in calculus*. *Computing and Mathematics: The Use of Computers in Undergraduate Mathematics Instruction*, MAA Notes No. 9.

Berliner, D.C. (1994). Expertise: the wonder of exemplary performances. Mangieri, J.N., Collins Block, C. (eds.), *Creating powerful thinking in teachers and students*, Holt, Rinehart & Winston, Chapter 7.

Billett, S. (2004). Workplace participatory practices: Conceptualizing workplaces as learning environments. *Journal of Workplace Learning: Employee Counselling Today*, 16 (6), pp. 312-324.

Borasi G. (1994) Capitualizing on errors as ‘Springboards for inquiry’: A teaching experiment. *Journal of Research in Mathematical Education*, 25 (2), pp. 166-208.

Confrey J. (1995). A theory of intellectual development. *For The Learning of Mathematics,* 15 (2), pp. 36-45.

Even, R. (1990). Subject matter knowledge for teaching and the case of functions. *Educational Studies in Mathematics*, 21, pp. 521-544.

Fuller, F.F. (1973). *Teacher education and the psychology of behavior change: A conceptualization of the process of affective change of preservice teachers*. Presented at the annual meeting of the American Psychological Association in Montreal Canada.

Garrison, D. R. (1992) Critical thinking and self-directed learning in adult education: an analysis of responsibility and control issues. *Adult Education Quarterly*, 42(3), pp. 136-148.

סמינר למורים מובילים במדעי המחשב, ניר עציון

ביולי 2018 התקיים במלון ניר עציון סמינר קיץ תשע״ח למורים מובילים במדעי המחשב, בהשתתפות 38 מורים.
ההרצאות שניתנו בסמינר:

חישוב מבוזר

פרופ׳ קרן צנזור הלל, הפקולטה למדעי המחשב, הטכניון

בהרצאה זו נציג את תחום המחקר העוסק בתיאוריה של חישוב המבוזר. נגדיר את המודלים המתמטיים המקובלים עבור תיאור מערכת מבוזרת וחישובים המתבצעים בה, ונראה דוגמאות לבעיות מרכזיות ואלגוריתמים לפתירתן. כמו כן, נדון בכיווני מחקר עדכניים בתחום.

ביולוגיה חישובית

פרופ׳ יעל מנדל גוטפרוינד, הפקולטה לביולוגיה , הפקולטה למדעי המחשב , הטכניון

ביולוגיה חישובית (ביואינפורמטיקה) הוא תחום ידע צעיר יחסית המשתמש בגישות חישוביות לענות על שאלות ביולוגיות ורפואיות. תחום הביואינפורמטיקה קיבל תנופה משמעותית בעשור האחרון בעקבות ההתפתחות האדירה בטכנולוגיות ביולוגיות רבות תפוקה המייצרות מידע גולמי ביולוגי (לדוגמא רצפים של מאות אלפי גנומים של אנשים בריאים וחולים, מאות אלפי מבנים תלת מיימדיים של חלבונים וכו׳...). כמות המידע ההולכת וגדלה דורשת פיתוח של שיטות אנליטיות מתקדמות ויישומים מקוריים בכדי להפוך את המידע לידע וכן לפתח מודלים של חיזוי לקידום מדע בסיסי ולמחקר רפואי. בהרצאה אני אתאר מחקר שבו ישמנו במעבדה שיטה חישובית שבא משתמשים במנועי החיפוש המתמקדים בעולם, כגון גוגל, בכדי לזהות דמיון תפקודי בין חלבונים על סמך המבנה התלת מיימדי שלהם. שיטה זו יכולה לעזור לדוגמא בזיהוי חלבונים שיכולים לשמש כאתרי מטרה לתרופות חדשות או לשימוש בתרופות קיימות לטיפול במחלות שונות.

הפשטה בפתרון בעיות אלגוריתמיות

פרופ׳ אדם שורץ, הפקולטה להנדסת חשמל, המשנה הבכיר לנשיא הטכניון, הטכניון

מהנדס, על פי התפיסה בת זמננו, הוא אדם הבונה דברים על בסיס טכנולוגיה ומדע. הכשרת מהנדס כוללת חינוך לחשיבה וללמידה; הקניית מושגי יסוד ושפה המאפשרת תקשורת מקצועית; והקניית מיומנויות וידע עדכני. החינוך של כל מהנדס ומדען צריך לכלול הכשרה, ברעיונות ובשפה, של העולם הדיגיטלי. אני מציע את הרכיבים הבאים, כידע הכרחי לכל מהנדס:

- פרוצדורות ותוכנה (עקרונות תכנות, מעט מיומנות, הבנה כיצד זה עובד -יכולת הערכה של סיבוכיות המימוש)
- אלגוריתמים ומבני נתונים (חשיבה פרוצדורלית, יכולות ומגבלות, וארגון מידע)
- מידע עתק (big data) ניתוח, עיבוד, העברה, אחסון
- השכלה כללית: כיצד עובד עולם המחשוב (מחשבים, רשתות, אחסון וכו׳)

מענה למשתמשים במצבי חירום

עדי מנו, חברת גוגל ישראל

כאשר אנשים נמצאים במצב חירום - שיכול להגרם ע"י הוריקן, שריפה, שטפון, או אפילו התקפת טרור - הם זקוקים לעזרה פיזית, אבל גם למידע שיכול להיות מציל חיים. כיצד יכולה גוגל לנצל את המשאבים והידע שלה כדי לעזור לאנשים במצבים אלו?

הרעיונות הגדולים בהוראת מדעי המחשב בבית הספר

פרופ' עמירם יהודאי, אוניברסיטת תל אביב

כאשר מלמדים מדעי המחשב קל להתמקד בפרטים ולא לראות את התמונה הגדולה. הדבר נוגע במיוחד לתוכניות הלימוד החדשות לתלמידי בתי הספר שאומצו במדינות רבות, כאשר המורים מתמודדים עם מגוון נושאים מעורפל שיש ללמד. למה התלמידים צריכים לדעת איך "לקודד?" למה אנחנו מלמדים אותם איך לעבוד עם מספרים בינאריים? מהי המטרה של למידת אלגוריתם למיון?

ההרצאה תציג יוזמה מחקרית של טים בל מניו זילנד, שמוכר כאחד היוצרים של CS unplugged (מדעי המחשב ללא מחשב), שבו נבחן תחום מדעי המחשב ממבט על, ועוצבה רשימה של 10 "רעיונות גדולים" של מדעי המחשב. העבודה התבססה על קלט של מעצבי תוכניות לימוד במדעי המחשב ומומחים בתחום מדעי המחשב ברחבי העולם, ובהמשך שותף לה גם פול טימן, ממובילי תכנית ה AP במדעי המחשב מארה"ב, והמרצה, עמירם יהודאי, מי שהיה בשנות ה 90 יו"ר ועדת המקצוע והתכנית שעיצבה את תכנית הלימודים במדעי המחשב לתלמידי תיכון בישראל. כתוצר של המחקר נכתב מאמר שמציג את הרעיונות באופן שיאפשר למורה בכיתה להתחבר אל הטקסט, גם אם מדובר במורה לכיתות הנמוכות של בית הספר היסודי, עם רקע מוגבל במדעי המחשב. הצגת הרעיונות בצורה זאת אמורה לאפשר למורה להשתמש בטקסט כדי להציג את הנושאים הנלמדים בהקשר של תמונה גדולה יותר.

ההרצאה כללה דיון פתוח על הנושאים והרעיונות, כדי לקבל משוב ממורים שמלמדים בשכבות הגיל השונות.

וירטואליזציה ושימושים להגנת סייבר

ד"ר עמית רש, מכללת שנקר

נושא הגנת הסייבר הפך להיות נושא "חם" ומאד ואקוטי בעשור האחרון בעקבות ריבוי פריצות סייבר, גניבת מידע, גניבת זהות, השתלטות עויינות והצפנת דיסק לצורכי כופר. "היקף נזקי פשעי הסייבר בעולם: 500 מיליארד דולר בשנה" (גלובס, 04.04.2016). תוקפים ואנשי-אבטחה נעולים בריקוד טנגו בלתי-פוסק של הגנה-מפני-תקיפה ... עקיפת ההגנה ... הגנה-מפני-העקיפה וחוזר חלילה.

בהרצאה זו אדגים טכנולוגיה חדשנית, מהשנים האחרונות: "וירטואליזציית חומרה"; שעליה מבוססות מערכות שמריצות מספר מכונות וירטואליות על מחשב בודד. אני אסביר כיצד מנוצלת טכנולוגיה זו לצורכי הגנת סייבר, במסגרת הסטארט-אפ TrulyProtect, שאני נמנה עם מייסדיו.

.... החומרים שהוצגו בסמינר ניתנים לצפייה באתר המרכז הארצי ....

תמונות הסמינר המופיעות בעיתון צולמו ע"י ד"ר דן אהרוני ויריב דגן

.. להתראות בסמינר הבא ....

פרופ׳ קרן צנזור הלל

פרופ׳ יעל מנדל גוטפרוינד

פרופ׳ אדם שורץ

עדי מנו

ד״ר אבי כהן

ד״ר חנה צימרמן קרל

ענת עשת

ד״ר עמית רש

פרופ׳ עמירם יהודאי

ד״ר רונית בן- בסט לוי

ברכה דאום רייטר

גיא אלרם

מני עבודי

אלדד ון קרפלד

ענבל סמית

אֶבִי גרינולד

ביום השני של הסמינר, המשתתפים יצאו לביקור בעין הוד.
תחילה במוזיאון ניסכו למוזיקה מכאנית (תיבות נגינה) ולאחריו לסיור מודרך בעין הוד.
סיימנו את הערב בארוחת ערב במסעדת קאזה ברונה בזכרון יעקב.

הרצאות שניתנו בסמינר במסגרת ״שתף וספר״:

אלרם גיא: קידום בנות במדעי המחשב

מני עבודי: תכני לימודים ואירועים ייחודיים (ארדואינו, רחפנים, פיתוח אפליקציות בחט״ב, האקתון לחט״ב)

ברכה דאום רייטר: הצגת המגמה (הפעילות מיועדת לתלמידי כתות ט המתלבטים בבחירת מגמה) + רעיון להצגת המושג אלגוריתם

שרה פונק: מהלך כתיבת הספר החדש

אלדד ון קרפלד: מגמת תקשוב

ענבל סמית: מי הזיז את הדיסלקציה שלי? למידה באמצעות סרטונים בחינוך המיוחד

ליאת בודקר: התמודדות עם התלמידים שמתקשים בכיתות מדעי המחשב

מרי גבע: פרויקט מנצח + חדר בריחה

עומר אחמד: שימוש בפונקציות בקרב תלמידי התכנות בתיכון

אֶבִי גרינולד: הכנת מבחן

ולרי פקר: אלגוריתם גנרי ״הארנב והצב״

ירון יצחקי: Nand 2 Tetris - בניית מחשב משערים לוגיים, או Deep learning - זיהוי ספרות

לביא בונימוביץ: עיצוב חווית המשתמש בעקבות פעילות עם חברת פרופייל

שרה פונק

ליאת בודקר

מרי גבע

אלה מריאנובסקי

עומר אחמד

ולרי פקר

ירון יצחקי

לביא בונימוביץ

משתתפי סמינר קיץ 2018

אברמוביץ ישראל, ד״ר אהרוני דן, אלרם גיא, בודקר ליאת, בונימוביץ לביא, ד״ר בן בסט לוי רונית, בן דוד דורית, בן סימון רחל, בן שחר שלומית, ד״ר ברנדס עפרה, גבע מרי, גולקרוב מרגלית, גנדלמן אולגה, גזית ערן, גרינולד אֶבִי, דאום-רייטר ברכה, דגן יריב, פרופ׳ דולב שלומי, הוד אריק, ון קרפלד אלדד, ד״ר ח׳ליפה וליד, טוראל חני, יצחקי ירון, כהן דורית, ד״ר לפידות תמי, לרנר טטיאנה, מוכתר-אבל דגנית, מזרחי ליאור, מינסטר דפנה, מריאנובסקי אלה, סמית ענבל, עבודי מני, עומר אחמד, עשת ענת, ד״ר פז תמר, פונק שרה, פישר אסמרלדה, פקר ולרי, פרלמן רחל, צדיק אסף, קוטלובסקי קרן, שטיינר משה, שלוס-סגל ענת

הבטים בהוראת מדעי המחשב: משוב לגיליון פברואר 2019

קוראים יקרים

לאחר שסיימתם לקרוא את העיתון, אנא מלאו ושלחו משוב זה בהקדם למינהלת מל״מ.

תודה על שיתוף הפעולה,

צוות המרכז הארצי

משוב לגיליון פברואר 2019 של ״הבטים בהוראת מדעי המחשב״

נא למלא ולשלוח אל:

מינהלת מל״מ

בניין קנדה, קומה 1

קריית הטכניון, חיפה 3200003

פקס: 04-8295010

1. שם בית הספר ____

2. שם המשיב_____________________ מספר המורים שעיינו בגיליון זה בבי״ס _________

3. סמנו במשבצת המתאימה את חוות דעתכם :

הערות

חוות דעת כללית על הגליון	טובה מאד	טובה	לא טובה	
החשיבות של כתב העת	רבה מאד	רבה	לא חשוב	
מידת העניין	מעניין מאד	מעניין	לא מעניין	
תרומה לעבודתי	תורם מאד	תורם	לא תורם	

4. הערות נוספות :

____

____

____

____

____